MANUAL

BUENAS PRÁCTICAS EN LOS PROCESOS DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

ozono
COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO

MANUAL - BUENAS PRÁCTICAS EN LOS PROCESOS DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

AUTORIDADES:

Alvaro Horacio Ruiz García
MINISTRO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

Gilvio Janayo Caricari
VICEMINISTRO DE MEDIO AMBIENTE, BIODIVERSIDAD, CAMBIOS CLIMATICOS Y DE GESTIÓN Y DESARROLLO FORESTAL

Danna Elizabeth Lara Holguin
COORDINADORA NACIONAL COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO a.i.

EQUIPO TÉCNICO COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO

Vladimir Viza Cáceres
RESPONSABLE SUSTANCIAS QUÍMICAS REGULADAS POR EL PROTOCOLO DE MONTREAL DE LA COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO

Ivan Fernando Magne Chavez
GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LA COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO

Luis Gerardo Simon Cuellar
UJIER APOYO A LA COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO

RECONOCIMIENTO ONUDI

Jhorel Moisés Guzmán Ramirez - **ONUDI BOLIVIA**
Luis Bedoya Jaramillo - **ONUDI ECUADOR**

Luis Alberto Arce Catacora
PRESIDENTE CONSTITUCIONAL
DEL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

David Choquehuanca Céspedes
VICEPRESIDENTE CONSTITUCIONAL
DEL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

Alvaro Horacio Ruiz García
MINISTRO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

ACRÓNIMOS

HCFC - Hidroclorofluorocarbonos.
HFC - Hidrofluorocarbonos
CFC - Clorofluorocarbonos
HPMP - Plan de eliminación de los HCFC.
PCG - Potencial de Calentamiento Global
SAO - Sustancias Agotadoras de Ozono
PAO - Potencial Agotador de Ozono
RAC - Refrigeración y Aire Acondicionado.
ASHRAE - Asociación Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
CGO - Comisión Gubernamental del Ozono

ozono
COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO

PRESENTACIÓN

La protección de la capa de ozono y la mitigación del cambio climático son desafíos globales que requieren acciones concretas y sostenidas. En este sentido, el Estado Plurinacional de Bolivia, mediante el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, ratifica su compromiso con la implementación efectiva del Protocolo de Montreal y sus enmiendas, tratado ambiental internacional para la eliminación progresiva de las Sustancias Agotadoras del Ozono y de los Hidrofluorocarbonos que contribuyen al calentamiento global.

La elaboración del Manual de Buenas Prácticas en los Procesos de Instalación y Mantenimiento de Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado responde a la necesidad de fortalecer y reafirmar las capacidades del sector técnico en Bolivia, asegurando que las labores de instalación, mantenimiento y reparación de equipos se realicen bajo criterios de eficiencia energética, seguridad y sostenibilidad ambiental.

Este documento técnico se enmarca en los principios establecidos por la Constitución Política del Estado, que reconoce el derecho de la población a un medio ambiente sano y equilibrado, así como la obligación del Estado de conservar y proteger los recursos naturales. A su vez, contribuye directamente a los objetivos de la Agenda Patriótica 2025, que promueve la soberanía ambiental y el desarrollo de tecnologías limpias como parte de la transición hacia una economía baja en carbono.

Invitamos a los técnicos, instaladores, mantenedores, capacitadores y empresas del rubro a hacer uso de esta herramienta como una guía práctica y de referencia, que permita optimizar procedimientos, reducir emisiones de gases refrigerantes a la atmósfera y contribuir activamente a la preservación de la capa de ozono y disminución en la emisión de gases de efecto invernadero.

Alvaro Horacio Ruiz García
Ministro de Medio Ambiente y Agua

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado (RAC) requiere la aplicación de conocimientos técnicos actualizados que aseguren su funcionamiento eficiente, seguro y ambientalmente responsable. En particular, la manipulación de refrigerantes exige una comprensión clara de sus propiedades, clasificaciones, riesgos asociados y buenas prácticas operativas, con el fin de minimizar pérdidas, evitar fallas prematuras y reducir el impacto ambiental de los sistemas.

Este manual ha sido elaborado como una herramienta técnica de consulta y orientación para profesionales y técnicos del sector RAC. Su objetivo principal es estandarizar procedimientos en los procesos de instalación, diagnóstico, mantenimiento y servicio, incorporando criterios de eficiencia energética, control de emisiones y prevención de fugas de refrigerante.

El contenido incluye temas fundamentales como la clasificación y características físico-químicas de los refrigerantes, su impacto ambiental, los métodos para identificación y diagnóstico de fallas, así como las técnicas recomendadas para la recuperación, vacío, presurización y carga de refrigerantes. También se desarrollan procedimientos específicos para el manejo de refrigerantes naturales como hidrocarburos (HC), dióxido de carbono (CO_2) y amoníaco (NH_3), los cuales requieren protocolos particulares por sus propiedades y niveles de riesgo.

El enfoque de este manual es práctico, permitiendo a los técnicos mejorar la calidad de sus intervenciones, extender la vida útil de los equipos y contribuir a la reducción de emisiones a la atmósfera. Su aplicación correcta facilitará una gestión técnica más eficiente de los sistemas RAC, orientada a la mejora continua, la seguridad operativa y la sostenibilidad del sector.

INDICE

1. REFRIGERANTES: IMPACTO AMBIENTAL, IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD. 18
1.1. CLASIFICACIÓN DEL REFRIGERANTE POR COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DENOMINACIÓN. 18
1.1.1. Refrigerantes orgánicos. 18
1.1.2. Refrigerantes inorgánicos. 20
1.2. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS REFRIGERANTES. 20
1.2.1. Deterioro de la capa de ozono. 20
1.2.2. Protocolo de Montreal 22
1.2.3. Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal 23
1.2.4. Calentamiento Global. 24
1.2.5. Acuerdo de París y compromisos climáticos de Bolivia. 25
1.2.6. Interrelación entre el agotamiento de la capa de ozono, cambio climático y los refrigerantes fluorados 25
1.2.7. Unidades de medida para medir el impacto ambiental de los refrigerantes y los equipos que los contienen. 26
1.3. CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD DE LOS REFRIGERANTES. 28
1.3.1. Riesgos potenciales de acuerdo con el grado de seguridad del refrigerante 29
1.3.1.1. Manejo de riesgos en la manipulación de refrigerantes halogenados (CFC, HCFC, HFC). 29
1.3.1.2. Manejo de riesgos en la manipulación de refrigerantes hidrocarburos (HC). 30
1.3.1.3. Manejo de riesgos en la manipulación de dióxido de carbono (CO2) 31
1.3.1.4. Manejo de riesgos en la manipulación de amoníaco (NH3) 31
1.4. IDENTIFICACIÓN DE REFRIGERANTES. 34
1.4.1. Refrigerante contenido en un cilindro. 34
1.4.2. Refrigerante contenido en un sistema de refrigeración y/o aire acondicionado. 35
1.4.3. Pruebas de laboratorio y equipos especiales. 36
1.5. MISCIBILIDAD ENTRE LOS ACEITES Y REFRIGERANTES. 36
1.5.1. Factores que causan degradación de los aceites 38
2. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO (RAC) 40
2.1. METODO DE DIAGNÓSTICO Y VARIABLES DE ANÁLISIS EN SISTEMAS RAC. 40
2.1.1. Definiciones básicas. 40
2.1.2. Diagnóstico rápido del sistema de refrigeración. 44
2.1.2.1. Sobrecalentamiento en el evaporador y el compresor. 44
2.1.2.2. Subenfriamiento a la salida del condensador. 45
2.1.2.3. Toma de datos en un sistema de refrigeración o aireacondicionado. 47

2.1.2.4. Análisis de datos. 48
2.2. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA RAC. 48
2.2.1. Orden de trabajo. 48
2.2.2. Hoja de vida de un equipo. 48
2.2.3. Bitácora de mantenimiento. 51
2.2.4. Manuales. 51
2.3. HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS PARA DIAGNÓSTICO DEL SISTEMAS RAC. 52
2.3.1. Herramientas típicas de proceso de instalación, mantenimiento y puesta a punto de un sistema RAC. 53
2.4. CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN DE ACUERDO A SU APLICACIÓN. 58
2.4.1. Determinación de la presión de succión. 58
2.4.2. Determinación de la presión de descarga. 59
3. BUENAS PRÁCTICAS EN LA INTERVENCIÓN DE SISTEMAS RAC. 60
3.1. RECUPERACIÓN Y REGENERADO DE GASES REFRIGERANTES. 60
3.1.1. Recuperación en el propio equipo. 60
3.1.2. Recuperación de refrigerante en un cilindro. 61
3.1.3. Técnicas de recuperación a un cilindro. 62
3.1.3.1. Recuperación sin equipo. 62
3.1.3.2. Recuperación con equipo. 62
3.1.4. Recomendaciones para recuperar gas refrigerante. 65
3.1.5. Sustancia refrigerante residual. 66
3.2. PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA Y ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN SISTEMAS RAC. 67
3.2.1. Limpieza de un sistema de RAC. 67
3.2.1.1. Filtros de alta eficiencia. 69
3.2.1.2. Prueba de acidez. 69
3.2.2. Barrido de un sistema RAC. 70
3.2.2.1. Herramientas y equipos requeridos para barrido. 71
3.2.2.2. Precauciones en el proceso de barrido. 72
3.3. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD O PRESURIZACIÓN DE UN SISTEMA RAC. 73
3.3.1. Presurizar un equipo sin extraer la carga de refrigerante. 74
3.3.2. Búsqueda de fuga en un equipo. 75
3.3.2.1. Métodos directos para detectar fugas de refrigerantes. 77
3.3.2.2. Métodos indirectos para detectar fugas de refrigerantes. 78
3.4. PROCEDIMIENTO DE VACÍO EN UN SISTEMA RAC. 79
3.5. CARGA DE REFRIGERANTE EN UN SISTEMA RAC. 81
3.5.1. Carga de refrigerante. 81
3.5.2. Ajuste de carga por el valor de recalentamiento del refrigerante. 82
3.5.3. Herramientas y equipos requeridos. 82
3.6. REGISTRO Y MARCACIÓN DE SISTEMAS RAC. 83
4. REFRIGERANTES NATURALES, ALTERNATIVA EFICIENTE Y ECOLÓGICA. 84
4.1. REFRIGERANTES HIDROCARBUROS (HC). 87
4.1.1. Análisis de las propiedades termodinámicas de refrigerantes HC. 88
4.1.2. Compatibilidad de los refrigerantes HC con los lubricantes del mercado. 89

4.1.3. Compatibilidad de los refrigerantes HC con los materiales. 89
4.1.4. Inflamabilidad de los refrigerantes HC. 90
4.1.5. Estándares de seguridad para manejo de refrigerantes HC. 92
4.1.6. Buenas prácticas para el mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado con Hidrocarburos 92
4.1.6.1. Herramientas para trabajo con HC. 93
4.1.6.2. Evaluación de riesgos y controles de seguridad con refrigerantes HC. 94
4.1.6.3. Fuentes potenciales de ignición FPI (SOI – Sources of ignition). 95
4.1.6.4. Intervención del circuito con refrigerante HC. 96
4.1.6.5. Recuperación de refrigerante HC. 97
4.1.6.6. Ventilación de refrigerante HC. 98
4.1.6.7. Detección de fugas (pruebas de estanqueidad). 100
4.1.6.8. Reparación de fugas 100
4.1.6.9. Presurización 101
4.1.6.10. Vacío al sistema. 101
4.1.6.11. Carga de refrigerante HC 102
4.1.6.12. Determinación de la carga máxima o límite de carga de refrigerante (Mmax). 102
4.1.6.13. Sellado del sistema. 104
4.1.6.14. Consideraciones finales después de la intervención: 105
4.1.7. Proceso de reconversión con hidrocarburos HC 106
4.1.7.1. Estimación de la carga de HC equivalente (MHC) 108
4.2. DIÓXIDO DE CARBONO (R-744). 108
4.2.1. Densidad 109
4.2.2. Temperatura de descarga. 109
4.2.3. Lubricante y retorno de aceite. 109
4.2.4. Materiales 110
4.2.5. Potencial en aprovechamiento de calor. 110
4.2.6. Presiones de trabajo. 110
4.2.7. Riesgos asociados al uso de R-744 (CO_2). 111
4.2.8. Uso del CO2 como refrigerante. 113
4.2.8.1. Circuitos transcrítico. 113
4.2.8.2. Circuitos subcríticos. 115
4.2.9. Instalación, operación y servicio. 118
4.2.10. Herramientas y equipos para los refrigerantes de alta presión. 118
4.2.11. Evaluación general de riesgos. 119
4.2.12. Buenas prácticas de instalación 120
4.3. AMONÍACO (R-717). 123
4.3.1. Riesgos asociados al uso de R-717 (NH_3). 124
4.3.2. Posibles causas de fuga de Amoníaco. 125
4.3.3. Acciones en caso de fuga 126
4.3.4. Tipos de sistemas de refrigeración con Amoníaco. 127
4.3.4.1. Planta de amoníaco básica común: sistema bombeado monoetapa 127
4.3.4.2. Planta básica de amoníaco/CO2 como salmuera y en cascada. 128

4.3.5. Aceite usado con Amoníaco. 129
4.3.6. Compatibilidad con el acero. 129
4.3.7. Concentración de agua en el amoníaco. 130
4.3.8. Reglamentos para el uso de Amoniaco en sistemas RAC. 131
4.3.9. Evaluación general de riesgos. 131
4.3.10. Mantenimiento de sistemas RAC con amoníaco. 132
4.3.11. Limpieza en sistemas RAC con amoníaco. 133

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. OBJETIVOS DE REDUCCIÓN HCFC 22
TABLA 2. CRONOGRAMA DE REDUCCIÓN PARA LOS HFC 23
TABLA 3. INDICADORES AMBIENTALES DE LOS REFRIGERANTES MÁS USADOS. 27
TABLA 4. GRUPOS DE SEGURIDAD DE LOS REFRIGERANTES (ASHRAE 34 Y ISO 817). 29
TABLA 5. INTERRELACIÓN ENTRE EFECTOS OBSERVADOS/MEDIDOS Y POSIBLE CAUSA. 48
TABLA 6. PRIMERA PARTE: INFORMACIÓN RELEVANTE DEL EQUIPO. 49
TABLA 7. SEGUNDA PARTE: RUTINAS MÍNIMAS RECOMENDADAS. 50
TABLA 8. TERCERA PARTE: REGISTRO DE DATOS EN FORMATO DE HOJA DE VIDA. 50
TABLA 9. CUARTA PARTE: OBSERVACIONES. 50
TABLA 10. BITÁCORA DE MANTENIMIENTO. 51
TABLA 11. TABLA DE EVAPORACIÓN DE ACUERDO A LA APLICACIÓN. 58
TABLA 12.HUMEDAD RELATIVA Y ΔT. 58
TABLA 13. EJEMPLOS DE PRESIONES DE PRUEBA ADECUADAS PARA PRESURIZAR UN SISTEMA RAC (EN378:2016) 74
TABLA 14. PUNTOS SUSCEPTIBLES DE FUGAS. 76
TABLA 15. TIPO DE DETECTOR ELECTRÓNICO ADECUADO PARA CADA REFRIGERANTE .. 78
TABLA 16. RESUMEN DE LAS IMPLICACIONES DE LOS REFRIGERANTES NATURALES COMO REMPLAZO. 84
TABLA 17. APLICACIONES DE REFRIGERANTES NATURALES. 85
TABLA 18. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE REFRIGERANTES NATURALES 85
TABLA 19. PROPIEDADES AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD DE REFRIGERANTES NATURALES 85
TABLA 20. PROPIEDADES DE LOS HC 87
TABLA 21. CONTENIDO DE IMPUREZAS DE ALGUNOS HC. 87
TABLA 22. COMPARACIÓN DE LOS DATOS TÉCNICOS DE LOS REFRIGERANTES 88
TABLA 23. COMPATIBILIDAD DE DISTINTOS LUBRICANTES CON LOS REFRIGERANTES DE HC. 89
TABLA 24. Compatibilidad de distintos materiales con los refrigerantes de HC 90
TABLA 25. PROPIEDADES DE INFLAMABILIDAD DE LOS HC. 90
TABLA 26. CÓDIGOS DE SEGURIDAD PARA REFRIGERANTES HC. 92
TABLA 27. HERRAMIENTAS PARA TRABAJO CON HC. 93
TABLA 28. REQUISITOS DE CAPACIDAD DE CARGA 104
TABLA 29. FACTIBILIDAD TÍPICA PARA LA RECONVERSIÓN DE UN SISTEMA A HIDROCARBUROS 107
TABLA 30. CARACTERÍSTICAS DEL CO2. 109
TABLA 31. LIMITE PRÁCTICO DE TOXICIDAD DEL CO2 Y SUS EFECTOS. 111
TABLA 32. PRESIÓN DE PARADA Y TRABAJO. 112
TABLA 33. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA LOS REFRIGERANTES DE ALTA PRESIÓN 118
TABLA 34. LÍMITE PRÁCTICO DE TOXICIDAD DEL NH3 Y SUS EFECTOS. 124

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES POR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA – ASHRAE 34. 20
ILUSTRACIÓN 2. LA CAPA DE OZONO Y MECANISMO DE DESTRUCCIÓN. 21
ILUSTRACIÓN 3. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL. 30
ILUSTRACIÓN 4. PELIGRO INFLAMABLE, NO FUMAR. 31
ILUSTRACIÓN 5 . SEÑALES DE ADVERTENCIA DE PRESENCIA DE AMONÍACO. 33
ILUSTRACIÓN 6. ILUSTRACIÓN TÍPICA PARA UN REFRIGERANTE. 34
ILUSTRACIÓN 7. GUÍA N DE LA AHRI, COLOR DEL CILINDRO QUE CONTIENEN REFRIGERANTE. 35
ILUSTRACIÓN 8. LA ETIQUETA DE UN COMPRESOR Y SU NOMENCLATURA EN UN EQUIPO RAC. 36
ILUSTRACIÓN 9. IDENTIFICADOR DE REFRIGERANTES. 36
ILUSTRACIÓN 10. MISCIBILIDAD ENTRE REFRIGERANTES Y ACEITES (EXCELENTE=100; ACEPTABLE=50 y NO ES MISCIBLE=0). 38
ILUSTRACIÓN 12 MANÓMETRO 41
ILUSTRACIÓN 11. ESCALAS DE TEMPERATURA 41
ILUSTRACIÓN 13. VARIACIÓN DE LA ENTALPIA CON LA TEMPERATURA A PRESIÓN CONSTANTE. 42
ILUSTRACIÓN 14. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR. 42
ILUSTRACIÓN 15. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR EN UN DIAGRAMA DE MOLLIER. 43
ILUSTRACIÓN 16. DETERMINACIÓN DEL SOBRECALENTAMIENTO EN EL BULBO SENSOR. 45
ILUSTRACIÓN 17. TOMA DE DATOS EN UN SISTEMA RAC CON R-134A. 47
ILUSTRACIÓN 18. REGULADOR DE PRESIÓN. 53
ILUSTRACIÓN 19. DETECTOR DE FUGAS CON ANTORCHA DE HALURO. 53
ILUSTRACIÓN 20. DETECTOR DE FUGAS CON LUZ ULTRAVIOLETA. 54
ILUSTRACIÓN 21. DETECTOR DE FUGAS ULTRASÓNICO. 54
ILUSTRACIÓN 22. DOBLADOR O CURVADOR. 54
ILUSTRACIÓN 23. MANÓMETROS 55
ILUSTRACIÓN 24. BOMBA DE VACÍO 55
ILUSTRACIÓN 25. TERMÓMETROS 56
ILUSTRACIÓN 26. BALANZA ELECTRÓNICA. 56
ILUSTRACIÓN 27. PINZA AMPERIMÉTRICA 56
ILUSTRACIÓN 28. MULTÍMETRO DIGITAL. 57
ILUSTRACIÓN 29. CILINDRO RECUPERADOR. 57
ILUSTRACIÓN 30. PARTES DE UN CILINDRO DE RECUPERACIÓN 61
ILUSTRACIÓN 31. PROCESO DE RECUPERACIÓN SIN EQUIPO. 62
ILUSTRACIÓN 32. MÉTODO DE RECUPERACIÓN EN FASE LÍQUIDA. 63
ILUSTRACIÓN 33. MÉTODO DE RECUPERACIÓN EN DASE DE VAPOR 64
ILUSTRACIÓN 34. MÉTODO PUSH-PULL DE RECUPERACIÓN LÍQUIDA 64
ILUSTRACIÓN 35. PROCEDIMIENTO DE FLUSHING (LIMPIEZA)

CON AGENTE DE LIMPIEZA Y NITRÓGENO. 68
ILUSTRACIÓN 36. PRUEBA DE ACIDEZ....70
ILUSTRACIÓN 37. BARRIDO CON NITRÓGENO....71
ILUSTRACIÓN 38. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD....74
ILUSTRACIÓN 39. EQUIPO PARA EL USO DE NITRÓGENO SECO EN CAMPO 75
ILUSTRACIÓN 40. PUNTOS SUSCEPTIBLES DE FUGA....76
ILUSTRACIÓN 41. MÉTODOS PARA DETECTAR FUGAS....77
ILUSTRACIÓN 42. COMPARATIVA ENTRE PULGADAS DE MERCURIO
EN UN VACUÓMETRO ANALÓGICO Y MICRONES DE MERCURIO
EN UN VACUÓMETRO DIGITAL. 79
ILUSTRACIÓN 43. PROCESO DE VACÍO EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN. 80
ILUSTRACIÓN 44. CARGA DE REFRIGERANTE. 82
ILUSTRACIÓN 45. LÍMITES DE INFLAMABILIDAD APROXIMADOS EN AIRE
PARA LOS HC MÁS USADOS 90
ILUSTRACIÓN 46. TRIÁNGULO DEL FUEGO. 91
ILUSTRACIÓN 47. COMPORTAMIENTO DE UNA FUGA DE REFRIGERANTE HC....91
ILUSTRACIÓN 48. PASOS BÁSICOS PARA EVALUAR EL RIESGO DE INFLAMABILIDAD. 94
ILUSTRACIÓN 49. FUENTES DE IGNICIÓN 95
ILUSTRACIÓN 50. SEÑALIZACIÓN DE ÁREA DE TRABAJO. 97
ILUSTRACIÓN 51. MASA EQUIVALENTE DE REFRIGERANTE HALOGENADO
VS REFRIGERANTE HC....98
ILUSTRACIÓN 52. VENTEO DE REFRIGERANTE HC. 99
ILUSTRACIÓN 53. SEÑALES DE ADVERTENCIAS CUANDO SE USA HC
COMO REFRIGERANTE....106
ILUSTRACIÓN 54. CONVERSIÓN PARA ESTIMAR LA CARGA EQUIVALENTE DE HC 108
ILUSTRACIÓN 55. PUNTOS CRÍTICOS DEL CO2....110
ILUSTRACIÓN 56. CICLO TRANSCRÍTICO DEL CO2. 114
ILUSTRACIÓN 57. INSTALACIÓN DE CO2 TRANSCRÍTICO BOOSTER. 115
ILUSTRACIÓN 58. CICLO SUBCRÍTICO DEL CO2. 116
ILUSTRACIÓN 59. SISTEMA DE CO2 SUBCRÍTICO EN CASCADA. 116
ILUSTRACIÓN 60. CO2 SUBCRÍTICO EN BOMBEADO. 117
ILUSTRACIÓN 61. PASOS BÁSICOS PARA EVALUAR RIESGOS ASOCIADOS
AL EXCESO DE PRESIÓN. 119
ILUSTRACIÓN 62. PLANTA DE AMONÍACO BÁSICA COMÚN: SISTEMA BOMBEADO
MONOETAPA. 127
ILUSTRACIÓN 63. COMPARACIÓN DE UN SISTEMA DE AMONÍACO
BOMBEADO MONOETAPA Y UN SISTEMA DX CON HFC/HCFC 128
ILUSTRACIÓN 64. PASOS BÁSICOS DE LA EVALUACIÓN DE TOXICIDAD 131
ILUSTRACIÓN 65. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE ACUERDO A
HORAS DE TRABAJO....133

1. REFRIGERANTES: IMPACTO AMBIENTAL, IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD.

Un refrigerante es cualquier sustancia capaz de absorber y ceder calor en un sistema de refrigeración sin perder sus propiedades. En un sistema típico de compresión de vapor el refrigerante cambia de fase, pasando del estado líquido al gaseoso cuando absorbe calor y de gaseoso a líquido cuando pierde calor.

Antes de 1930, los refrigerantes más utilizados eran sustancias puras que normalmente eran peligrosas por su toxicidad o inflamabilidad, como el Amoníaco (R-717), Propano (R-290), o el Dióxido de carbono (R-744) y otros.

Después de 1930, surgieron refrigerantes a base de flúor, carbono y cloro, más estables y menos "peligrosos" que los usados usualmente, llamados halógenos o fluorocarbonos, punto de vista que cambió durante la década de los 70, cuando se descubrió que afectaban la capa de ozono y causaban calentamiento global.

1.1. CLASIFICACIÓN DEL REFRIGERANTE POR COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DENOMINACIÓN.

Los refrigerantes pueden ser primarios o secundarios, de acuerdo con su interacción con el medio a enfriar, si el refrigerante produce enfriamiento por evaporación directa, se dice que es PRIMARIO, o si transporta calor desde el producto a enfriar hasta el refrigerante primario, como agua, salmuera, glicoles, etc., se dice que es SECUNDARIO. Esta es sólo una manera de clasificar los refrigerantes, sin embargo, la más utilizada es la descrita en el Estándar 34 de la ASHRAE (Asociación americana de ingenieros de Calefacción, Refrigeración u aire Acondicionado), la cual clasifica los refrigerantes de acuerdo con su composición química y la designación numérica, por nivel de toxicidad y por inflamabilidad. A continuación, se describe la clasificación por composición química, más adelante se desarrollará la clasificación por toxicidad e inflamabilidad.

1.1.1. Refrigerantes orgánicos.

Son compuestos químicos o combinaciones de los elementos de la tabla periódica que contienen carbono. A continuación, se describen las familias de refrigerantes que pertenecen a este grupo.

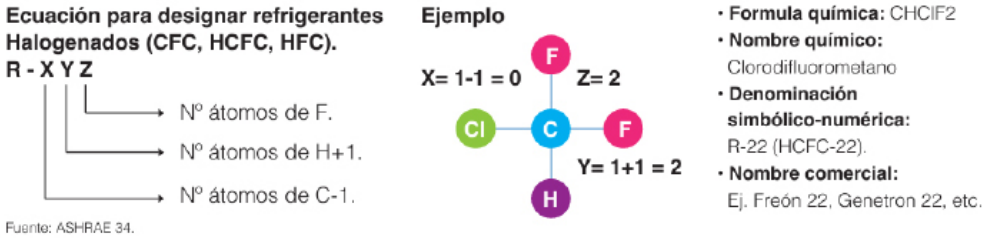
Refrigerantes halogenados. Proceden de hidrocarburos saturados o insaturados con sustitución de átomos de carbono por halógenos (Cl, Br, F, I). Se dividen en:

•CFC (Clorofluorocarbonos): dos átomos Cl (Cloro), muy estables en la atmósfera (+100 años), contribuyen a la destrucción del ozono. R-11, R-12, R-113, R-114, R-115, R-500 y R-502.

•HCFC (Hidroclorofluorocarbonos): un solo átomo de Cl, vida 2 a 28 años, afectan la capa de ozono en una proporción equivalente a entre el 2 al 10% de los CFC, han sido una solución intermedia; influyen tanto como los CFC en el calentamiento del planeta. R-22, R-123, R-124 y R-141b.

•HFC (Hidrofluorocarbonos): H (hidrogeno), F (Flúor) y C (Carbono), no destruyen el ozono, pero algunos de ellos tienen un efecto importante sobre el efecto invernadero. R-152a, R-32, R-125 y R-134a.

El nombre de estos refrigerantes se establece a partir de la fórmula química iniciando con la letra R, seguido de una expresión numérica, con posibilidad de añadir una letra final, la cual se emplea para indicar que se trata de un isómero, quedando la expresión así:



Fuente: ASHRAE 34.

Mezclas: Son mezclas de dos o más refrigerantes halogenados puros, se dividen en:

•Azeotrópica: Estas mezclas se comportan como una sustancia pura (no cambian la temperatura durante el cambio de fase a presión constante). De acuerdo con la ASHRAE 34, su designación simbólica numérica inicia con el 5XX.

•Zeotrópica: Estas mezclas no se comportan como una sustancia pura. Durante el cambio de fase las proporciones de las sustancias en el gas y el líquido son variables en el proceso de evaporación a presión constante, a esa diferencia de temperatura se le conoce como deslizamiento o “glide”. De acuerdo con la ASHRAE 34, su designación simbólica numérica inicia con el 4XX.

Al final de la designación de las mezclas se añade una letra mayúscula A, B, C, en caso de estar formada por los mismos componentes, pero en diferente proporción.

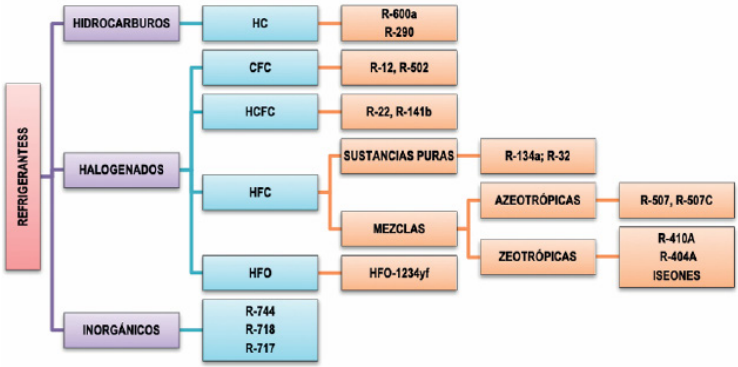
•HFO (Hidro Fluoro Olefinas): Los HFO (hidrofluorolefinas) son la cuarta generación de gases con base de flúor. Los refrigerantes HFO están formados por átomos de hidrógeno, flúor y carbono conectados por al menos una unión doble entre los átomos de carbono.

Los refrigerantes HFO tienen un potencial de agotamiento del ozono igual a cero y un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) insignificante, por lo que suponen una alternativa más inocua para el medio ambiente que los HFC. Los HFO tienen asignada la serie 1000, ejemplo HFO-1234yf, HFO 1234ze, entre otros refrigerantes hidrocarburos (HC). formados por carbono e hidrogeno con diferentes tipos de enlace. Los más comunes son: Etano (R-170), propano (R-290), Isobutano (R-600a).

1.1.2. Refrigerantes inorgánicos.

Son compuestos químicos o combinaciones de los elementos de la tabla periódica que no contienen carbono, excepto el CO2; los refrigerantes inorgánicos más comunes son el agua (R-718), amoníaco (R-717) y dióxido de carbono (R-744). Los compuestos inorgánicos tienen asignados la serie 700 y su número de identificación se completa agregando la masa molecular.

ILUSTRACIÓN 1. CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES POR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA – ASHRAE 34.

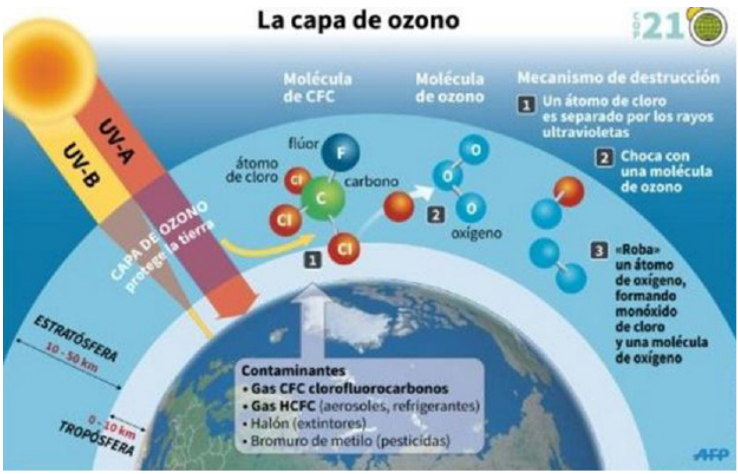


1.2. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS REFRIGERANTES.

1.2.1. Deterioro de la capa de ozono.

El ozono es un gas incoloro, inestable, de olor característico, que está presente en la atmósfera terrestre de manera natural. Las moléculas de ozono son químicamente idénticas, cada una con tres átomos de oxígeno, pero su concentración varía con la altura: el ozono de la estratósfera nos protege de la radiación ultravioleta de longitudes de onda B y C del sol, mientras que el ozono presente en la tropósfera tiene efectos tóxicos sobre los seres vivos. La mayoría de las moléculas de ozono, cerca del 90%, se encuentran en la atmósfera superior -la estratosfera-, entre 10 y 50 kilómetros por encima de la superficie terrestre.

ILUSTRACIÓN 2. LA CAPA DE OZONO Y MECANISMO DE DESTRUCCIÓN.



Fuente: Esquema de funcionamiento del ozono en la estratosfera terrestre (COP-21 / AFP)

Hacia 1980 la comunidad científica mundial demostró el daño que ciertos productos químicos denominados halocarbonos, compuestos que contienen cloro, flúor, bromo, carbono e hidrógeno le hacen a la capa de ozono, debido a su alta persistencia en la atmósfera y a la comprobada acción del cloro libre sobre las moléculas de ozono. Se estima que cada átomo de cloro puede destruir unas 100.000 moléculas de ozono antes de desaparecer de la estratósfera. Las principales sustancias que deterioran la capa de ozono son los refrigerantes CFC y HCFC.

El efecto de la disminución del ozono sobre la superficie terrestre provoca el aumento de los niveles de radiación ultravioleta B y C. La exposición moderada a la radiación solar de longitud de onda A no presenta peligro; de hecho, en los seres humanos constituye una parte esencial del proceso de formación de la vitamina D en la piel. Sin embargo, el aumento de los niveles de exposición a las longitudes de onda B y C puede producir efectos perjudiciales para la salud humana, los animales, las plantas, los microrganismos, los materiales y la calidad del aire, estos efectos se mencionan a continuación:

•En el ser humano: los seres humanos expuestos a la radiación UV B y C disminuyen sensiblemente su capacidad inmunológica, con lo cual se pueden activar enfermedades producidas por virus y bacterias. El principal efecto en el hombre es el aumento de incidencia en los cánceres de piel, especialmente entre la población blanca. Es igualmente significativa la acción sobre los ojos, provocando la formación de cataratas, deformación del cristalino y presbicia. Aumenta el riesgo de dermatitis alérgica y tóxica, complica las quemaduras de sol y produce un envejecimiento prematuro de la piel.

• En animales y plantas: el agotamiento de la capa de ozono produce efectos adversos serios sobre la agricultura, reduciendo directamente el crecimiento de las plantas y sobre los bosques, disminuyendo su productividad. La radiación ultravioleta produce cambios en la composición química de varias especies de plantas, disminuyendo la cantidad y calidad de las cosechas.

• En los materiales: los materiales empleados en la construcción, pinturas, gomas, madera, plásticos y envases son degradados por la radiación UV B y C. El daño ocasionado varía desde la pérdida de color hasta la pérdida de calidad y resistencia mecánica. El aumento de la radiación UV-B puede limitar la duración de los materiales y obligar a utilizar procesos de producción más costosos, generando pérdidas de miles de millones de dólares anuales.

1.2.2. Protocolo de Montreal

Es un acuerdo ambiental multilateral para la protección de la capa de ozono, en un régimen de cumplimiento estricto que se desarrolló con el objeto de establecer las acciones y mecanismos para reducir y eliminar las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) en el mundo. Entró en vigencia el 1 de enero de 1989. Hoy en día, 198 países hacen parte del Protocolo de Montreal y se han comprometido a eliminar el consumo y la producción de SAO conforme a este tratado, el cual inició con la eliminación de los CFC y otras sustancias. En septiembre de 2007, en la XIX Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal, se aprobó la aceleración en la reducción del consumo de los HCFCs, con la cual los Países del Artículo 5, países en vías de desarrollo como el Estado Plurinacional de Bolivia (aquellos que consumen menos de 0.3 kg/per cápita/año), adoptaron como primera medida de control de eliminación del consumo el año 2015, con una reducción del 10% respecto a la línea base (planteada con el promedio de los consumos de HCFC en los años 2009-2010). Las siguientes fechas de control son los años 2020 y 2025, en los cuales estos países deberán eliminar el 35% y el 67,5% de dicho consumo, respectivamente. Asimismo, para el año 2030 se deberá reducir el consumo en un 100% de la línea base.

En este marco, Bolivia ratificó el Protocolo de Montreal mediante la Ley N.º 1584 del 03 de agosto de 1994, y desde entonces ha venido cumpliendo progresivamente con los compromisos asumidos, en coordinación con el Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral y los organismos implementadores. El país ha ejecutado el Plan de Gestión para la Eliminación de los HCFC (HPMP), a través de la Comisión Gubernamental del Ozono dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, logrando importantes avances en la reducción del consumo de estas sustancias de acuerdo al siguiente calendario:

TABLA 1. OBJETIVOS DE REDUCCIÓN HCFC

AÑO	Consumo máximo permitido (Toneladas PAO)	Reducción (%)
2013	6,1	Línea Base
2015	5,49	10
2020	3,97	28
2025	1,98	50
2030	0	100

Fuente: 87ª Reunión del Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal (2021)

1.2.3. Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal

La Enmienda de Kigali fue adoptada el 15 de octubre de 2016 durante la 28ª Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal, celebrada en Kigali, Ruanda. Esta enmienda amplía el alcance del Protocolo de Montreal al incluir el control del consumo y la producción de los hidrofluorocarbonos (HFC), sustancias que no agotan la capa de ozono pero que poseen un alto Potencial de Calentamiento Global (PCG), en muchos casos miles de veces superior al del dióxido de carbono (CO_2).

La Enmienda de Kigali entró en vigor el 1 de enero de 2019. Se estima que su aplicación completa permitirá evitar hasta 0,4 °C de calentamiento global para finales del siglo XXI. Este instrumento constituye una de las medidas más eficaces y rentables a corto plazo para mitigar el cambio climático, complementando los beneficios climáticos ya alcanzados por el Protocolo de Montreal.

Bolivia ratificó la Enmienda de Kigali mediante la Ley N.º 1248 del 10 de octubre de 2019, y en consecuencia, forma parte del Grupo I del Artículo 5, que agrupa a países en desarrollo con menor consumo de HFC per cápita. De acuerdo con esta categorización, Bolivia debe cumplir con un calendario de reducción progresiva que comienza con una congelación del consumo de HFC en el año 2024 y culmina en 2045 con una reducción del 80% con respecto al nivel de referencia.

El calendario establecido para el Grupo I del Artículo 5, al que pertenece Bolivia, es el siguiente:

TABLA 2. CRONOGRAMA DE REDUCCIÓN PARA LOS HFC

Periodo de Aplicación de la Cuota de Importación HFC	Nivel de Control	Consumo máximo permitido (Tonelada CO_2-Equivalente)
Promedio de Consumo 2020, 2021 y 2022	Línea Base	677.884,00
2024 al 2028	Congelamiento	677.884,00
2029 al 2034	Reducción del 10%	610.095,60
2035 al 2039	Reducción del 30%	474.518,80
2040 al 2044	Reducción del 50%	338.942,00
≥ 2045	Reducción del 80%	135.576,80

Además, la Enmienda de Kigali promueve el uso de tecnologías con menor impacto climático y mayor eficiencia energética, considerando no solo las emisiones directas (fugas de refrigerante), sino también las emisiones indirectas asociadas al consumo de energía de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. En este sentido, la transición a refrigerantes de bajo PCG debe ir acompañada de mejores prácticas en instalación, mantenimiento, selección tecnológica y operación de los equipos, como se desarrollará en los capítulos siguientes del presente manual.

1.2.4. Calentamiento Global.

La temperatura de la Tierra se mantiene gracias a un equilibrio, entre el calor de la radiación solar que fluye desde el espacio y el enfriamiento de la radiación infrarroja emitida por la superficie caliente de la Tierra, que se escapa volviendo al espacio. El "efecto invernadero", es un proceso natural que consiste en la retención de una parte de la radiación solar que la Tierra recibe durante el día por acción de ciertos gases presentes en la atmósfera.

Este fenómeno ha dado lugar a unas condiciones climáticas propicias para el desarrollo de vida en el planeta. Sin embargo, como resultado de las actividades humanas, se ha alterado la concentración de dichos gases ocasionando que la atmósfera retenga más calor de lo debido, siendo esto la causa de lo que hoy se conoce como el calentamiento o cambio climático global. Los refrigerantes halogenados CFC, HCFC y HFC, son considerados gases efecto invernadero. A continuación, se mencionan algunas consecuencias del calentamiento global.

• **Alteración en el ciclo hídrico y en el clima:** se espera una afectación de los ciclos hídricos, las lluvias y a la disponibilidad del agua, así como cambios abruptos de temperatura y presión en la atmósfera con lo cual los tornados, huracanes y tormentas tropicales sucederían con mayor frecuencia y con una violencia inusitada hasta entonces.

• **Efectos en los ecosistemas:** se espera que el aumento en las temperaturas globales trastorne los diferentes ecosistemas y produzca la pérdida de diversidad de especies, a medida que mueran las especies que no puedan adaptarse. Algunos ecosistemas, como los bosques tropicales y manglares, probablemente desaparezcan debido a los nuevos climas locales más cálidos o la elevación del nivel del mar en la costa. Una atmósfera más calurosa acelerará el derretimiento de los glaciares y casquetes polares: la cantidad de agua resultante elevaría el nivel del mar y, con unos pocos centímetros de más, podría inundar las tierras fértiles de las cuales dependen cientos de miles de personas para obtener alimentos.

Por el avance del nivel del mar también se pueden contaminar las fuentes de agua dulce, alcanzar pérdidas importantes de zonas costeras e inundación de llanuras con la consiguiente pérdida de cultivos.

• **Efectos en la Salud:** un aumento en la temperatura de la superficie de la Tierra traerá como consecuencia un aumento en las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, las enfermedades infecciosas causadas por mosquitos y plagas tropicales, y en la postración y deshidratación debida al calor.

1.2.5. Acuerdo de París y compromisos climáticos de Bolivia.

El Acuerdo de París, adoptado en 2015 y en vigor desde 2016, es un tratado internacional que busca limitar el aumento de la temperatura media global muy por debajo de los 2 °C respecto a los niveles preindustriales, y proseguir esfuerzos para limitarlo a 1.5 °C. A diferencia del Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París involucra a todos los países, incluidos los países en desarrollo, mediante compromisos voluntarios conocidos como Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC).

Bolivia ratificó el Acuerdo de París mediante la Ley N.º 835 del 17 de septiembre de 2016, comprometiéndose a implementar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, priorizando el desarrollo integral con identidad, el respeto a la Madre Tierra y la soberanía sobre los recursos naturales. Dentro de estas acciones, se reconoce el rol clave de sectores como la energía, la agricultura y la refrigeración.

En el ámbito de la refrigeración, el Acuerdo de París destaca la importancia de reducir el uso de gases de efecto invernadero de alto Potencial de Calentamiento Global (PCG), como los hidrofluorocarbonos (HFC). Aunque no regula directamente estas sustancias, el acuerdo apoya medidas complementarias, como la implementación de la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal, que sí establece metas obligatorias para reducir progresivamente el consumo de HFC.

En este marco, las buenas prácticas en refrigeración, el uso de tecnologías eficientes y refrigerantes de bajo PCG se convierten en herramientas clave para cumplir los compromisos climáticos asumidos por Bolivia. Estas acciones no solo contribuyen a mitigar el cambio climático, sino que también fortalecen la sostenibilidad ambiental del sector.

1.2.6. Interrelación entre el agotamiento de la capa de ozono, cambio climático y los refrigerantes fluorados.

El agotamiento de la capa de ozono y el cambio climático son fenómenos ambientales distintos pero interconectados. Las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO), como los CFC y HCFC, no solo contribuyen a la degradación de la estratósfera, sino que también actúan como gases de efecto invernadero (GEI), ya que tienen la capacidad de absorber radiación infrarroja y aumentar el calentamiento global.

A esta problemática se suman los hidrofluorocarbonos (HFC), que surgieron como sustitutos de los CFC y HCFC por no afectar directamente la capa de ozono. Sin embargo, los HFC poseen un alto Potencial de Calentamiento Global (PCG), en muchos casos incluso mayor que el de las SAO que reemplazan. Esto implica que, si bien los HFC ayudan a proteger la capa de ozono, pueden tener un impacto negativo sobre el clima si no se gestionan adecuadamente.

El impacto climático total de un sistema de refrigeración depende tanto de las emisiones directas (fugas de refrigerantes) como de las emisiones indirectas, asociadas al consumo de energía. Por ello, la selección de refrigerantes con bajo PCG debe ir acompañada del uso de tecnologías de mayor eficiencia energética, mantenimiento adecuado y buenas prácticas operativas.

La implementación de refrigerantes alternativos, el diseño de equipos más eficientes y la adopción de medidas para prevenir fugas constituyen acciones clave para reducir el impacto ambiental de la refrigeración. Estas medidas se alinean con los compromisos asumidos por Bolivia en el marco del Protocolo de Montreal, la Enmienda de Kigali y el Acuerdo de París, integrando la protección de la capa de ozono con la mitigación del cambio climático.

1.2.7. Unidades de medida para medir el impacto ambiental de los refrigerantes y los equipos que los contienen.

Los indicadores más utilizados para medir los efectos a la capa de ozono y al clima, por parte de los refrigerantes son:

- **PAO (Potencial Agotador de Ozono, en inglés ODP).** El PAO es la relación del impacto sobre la capa de ozono que posee una sustancia química comparada con el impacto de una masa igual de CFC-11. Así, el PAO del CFC-11 es definido como 1. Otros CFC y HCFC tienen valores de PAO en el intervalo entre 0.01 y 1.0. Los HFC tienen un PAO con valor cero (0) debido a que no contienen cloro.

- **PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico).** El PCG es usado para comparar la capacidad de diferentes Gases de Efecto Invernadero (GEI) para atrapar calor de la atmósfera.

Los PCA son basados en la eficiencia radiativa (capacidad de absorber calor) de cada gas comparada con la del dióxido de carbono, así como en la velocidad de descomposición de cada uno (la cantidad emitida a la atmósfera en un número dado de años) relativa a la del CO2.

- **Tiempo de vida media.** La vida media de una sustancia es el tiempo necesario para que la concentración original disminuya en la atmosfera a la mitad, por acción de las transformaciones químicas o por remoción. Cuando la presencia de una sustancia es larga, se dice que es una sustancia estable, muy persistente, en el caso de los gases fluorados tienen un periodo de vida atmosférico bien extenso, razón por la cual el efecto en el medio ambiente es mayor y podrían afectar el clima por muchas décadas o siglos.

Muchos CFC, HCFC y HFC que se liberan en la atmósfera se manifiesta como gases de efecto invernadero, ya que absorben la radiación infrarroja proveniente de la superficie de la tierra.

Un número de alternativas potenciales para remplazo de los HCFC (HFC y mezclas de HFC) tienen un potencial de calentamiento global inclusive más alto que los HCFC,

TABLA 3. INDICADORES AMBIENTALES DE LOS REFRIGERANTES MÁS USADOS.

Nombre genérico	Vida media (años)	PAO	PCG
a. INORGÁNICOS			
Agua	-	0	0
Amoníaco	<1	0	0
Dióxido de carbono	120	0	1
b. ORGÁNICOS			
HIDROCARBUROS			
Etano (HC-170)	<1	0	3
Propano (HC-290)	<1	0	3
Isobutano (HC-600a)	<1	0	3
CLOROFLUOROCARBONADOS			
CFC-11	45	1	4750
CFC-12	100	1	10900
HIDROCLOROFLUOROCARBONADOS			
HCFC-22	11,8	0,055	1700
HCFC-123	1,4	0,06	93
HCFC-141b	9,2	0,11	630
HIDROFLUOROCARBONADOS			
HFC-134a	13,8	0	1430
HFC-32		0	675
HFC-236fa	220	0	9810
HFC-410A (50% R-125; 50% R - 32)		0	2087.50
HFC-507 (50% R125; 50% R134a)		0	3985
HFC-407C (23% R32; 25% R125; 52% R134a		0	1773.85
HFC-404A (44% R125, 4% R134a; 52% R143a)		0	3291.60
HIDROFLUOROLEFINAS			
HFO-1234yf		0	0
HFO-1234ze		0	0

Otra manera de determinar el impacto de estas sustancias, en particular su contribución al calentamiento global se basa en tener en consideración la configuración del sistema de refrigeración y aire acondicionado que los contiene con un enfoque integral de ciclo de vida, algunos de esos métodos son el TEWI y el LCCP, descritos a continuación:

• **TEWI (Total Equivalent Warming Impact (Impacto en el calentamiento Total equivalente, en español)).** Los científicos han definido un índice denominado TEWI, definido como la suma del impacto directo (causado por la emisión de refrigerante a la atmósfera) y el impacto indirecto (en relación con la energía usada a lo largo de la vida del equipo) sobre el calentamiento global. Este indicador depende de la eficiencia energética del equipo.

• **LCCP (Rendimiento Climático del Ciclo de Vida (Life Cycle Climate Performance)):** Recientemente desarrollado, este indicador integra el impacto en el calentamiento de las emisiones directas de los gases de efecto invernadero (GEI) del producto con las emisiones indirectas de GEI, asociadas al consumo energético del producto durante todo el ciclo de vida del refrigerante y del equipo, incluyendo las emisiones involuntarias provocadas por la producción química y la energía de los componentes y las emisiones producidas durante la eliminación o el reciclaje.

Estos últimos enfoques de medida ambiental deben ser considerados como punto de referencia para los fabricantes y usuarios de equipos de refrigeración y aire acondicionado, para planear acciones que redunden en la reducción del consumo de energía, en la adquisición de la cultura de la recuperación y el reciclaje de los refrigerantes, en el mejoramiento de la estanqueidad y reducción de la cantidad de carga de refrigerante en los equipos, minimizando así los impactos directos e indirectos que afectan los valores de los indicadores analizados.

1.3. CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD DE LOS REFRIGERANTES.

De acuerdo con el estándar 34 de la ASHRAE, los refrigerantes se clasifican de acuerdo a su inflamabilidad en tres grupos, basándose en el Límite Inferior de Inflamabilidad (LII) a presión atmosférica y temperatura ambiente, siendo:

• GRUPO 1: Refrigerantes no inflamables en estado de vapor a cualquier concentración en el aire.
• GRUPO 2: Refrigerantes cuyo límite inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, es igual o superior al 3,5% en volumen (V/V).
• GRUPO 3: Refrigerantes cuyo límite inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, es inferior al 3,5% en volumen (V/V).

Para la toxicidad, los refrigerantes se incluyen dentro de uno de los dos grupos A o B, de la siguiente manera:

• GRUPO A: Refrigerantes cuya concentración media en el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que pueden estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales y cuyo valor es igual o superior a una concentración media de 400 ml/m3 [400 ppm . (V/V)].

• GRUPO B: Refrigerantes cuya concentración media en el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que puedan estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales y cuyo valor es inferior a una concentración media de 400 ml/m3 [400 ppm. (V/V)].

Los grupos de seguridad se resumen en la siguiente tabla:

TABLA 4. GRUPOS DE SEGURIDAD DE LOS REFRIGERANTES (ASHRAE 34 Y ISO 817).

	Baja Toxicidad	Alta Toxicidad
No Inflamable	A1 (R-22; R-134a)	B1
Baja Inflamabilidad	A2	B2
	A2L (R-32; R-143a; R - 1234yf)	B2L (Amoníaco)
Alta Inflamabilidad	A3 (R-600a; R-290)	B3

Fuente. ASHRAE 34.

1.3.1. Riesgos potenciales de acuerdo con el grado de seguridad del refrigerante.

Es importante que se conozcan y se manejen con propiedad la clasificación de seguridad y las hojas de seguridad de las sustancias utilizadas, incluidos los refrigerantes, pues en ellas se encuentra información relacionada con la naturaleza de la sustancia, medidas de protección, tipos de protección que se deben utilizar, posibles riesgos que se pueden presentar y las soluciones ante ellos. A continuación, se detallan algunas de sus características, así como medidas de seguridad y recomendaciones de acuerdo con la clasificación de seguridad:

1.3.1.1. Manejo de riesgos en la manipulación de refrigerantes halogenados (CFC, HCFC, HFC).

Debido a que los HCFC y HFC no son tóxicos ni inflamables (Clasificación A1), las posibilidades de un accidente menor o muerte son de baja probabilidad. Sin embargo, no se debe de trabajar en áreas cerradas, ya que, si se tiene un derrame o una fuga grande de gas, inhibirá la presencia de oxígeno.

Exponerse a niveles elevados de fluorocarbonos por arriba de los permitidos, puede ocasionar síntomas de asfixia; también es posible que se presente pérdida de coordinación psicomotriz, aumento del pulso cardiaco, sensibilización cardiaca, respiración más profunda o inconsciencia. Si algunos de estos síntomas se presentan se debe salir al aire fresco.

El contacto del refrigerante líquido sobre la piel puede causar quemaduras por congelación, la cual se manifiesta con palidez o enrojecimiento, pérdida de sensibilidad o hinchazón.

Elementos de protección personal. Para el manejo de refrigerantes halogenados se deben usar los siguientes EPP:

- **Protección respiratoria:** Utilice equipo de respiración de aire autónomo de presión positiva en atmósferas deficientes de oxígeno. La concentración normal de oxígeno en el aire atmosférico es 20,9% y el organismo humano funciona correctamente con esa concentración. Si otra sustancia altera esta relación por sustitución, desplazando el oxígeno y se alcanzan valores umbrales de tolerancia, existe peligro de asfixia por anoxia esto sucede en ambientes cerrados cuando una fuga de refrigerante desplaza el oxígeno sustituyéndolo.

- **Ojos:** Utilice lentes de seguridad con protección lateral, goggles para proteger lentes correctores de la vista o pantallas faciales completas. No deberán utilizarse lentes del tipo de contacto o pupilentes.

- Utilice **calzado tipo bota con protección metatarsal y puntera de acero** para el manejo de cilindros. Los pantalones deberán portarse por fuera del calzado y sin valenciana.

1.3.1.2. Manejo de riesgos en la manipulación de refrigerantes hidrocarburos (HC).

Todos los refrigerantes hidrocarburos son inflamables, pero no tóxicos (Clasificación A3). Estos refrigerantes, cuando se mezclan con el aire, forman una mezcla inflamable que, en algunos casos, puede generar graves consecuencias. Por lo tanto, es importante que se cumplan los requisitos de seguridad apropiados en todo momento cuando se trabaje con este tipo de refrigerantes. Consulte la hoja de seguridad.

Todo equipo utilizado en el proceso de reparación debe ser apropiado para el uso con refrigerantes inflamables. Se deberá controlar si todas las herramientas e instrumentos (inclusive instrumental de medida) son apropiados para trabajar en el equipo. Antes de comenzar a trabajar con sistemas que contienen refrigerantes de HC, es necesario efectuar ciertos controles de seguridad para asegurarse de que el riesgo de ignición sea mínimo.

Equipo de protección personal. La labor debe ser desarrollada por trabajadores capacitados, y deben utilizar los siguientes elementos de protección personal (EPP):

ILUSTRACIÓN 3. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.

Seguridad en las instalaciones. Los principios básicos de seguridad son:

- Ventilación forzada para evitar la acumulación de gas en el local.
- Equipo eléctrico estándar excepto para ventiladores y sistemas de seguridad.
- Vigilancia continua con sensores de gas en áreas de posibles fugas, así como alrededor de las estaciones de carga, con alarma y ventilación doble a un 15% o 20% del LII y con desconexión de todos los equipos eléctricos que no son a prueba de explosión en el área de monitorización con un valor del 30 a 35% del límite de explosión inferior, LEL, dejando los ventiladores a máxima velocidad.
- Prueba de fugas en aplicaciones antes de cargar el refrigerante, para evitar realizar un proceso de carga en un sistema con fugas.
- Estaciones de carga diseñadas para refrigerantes inflamables y conectadas a sistemas de seguridad.

Señalización de zonas de riesgo de atmósferas explosivas. Se deberán señalizar los accesos a las áreas en las que puedan formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que supongan un peligro para la salud y la seguridad de los trabajadores.

ILUSTRACIÓN 4. PELIGRO INFLAMABLE, NO FUMAR.

1.3.1.3. Manejo de riesgos en la manipulación de dióxido de carbono (CO2).

El CO2 por clasificación de seguridad es clasificación es A1, es decir que no es tóxico ni inflamable. Sin embargo, al ser un gas licuado, el contacto con esta sustancia puede producir "quemaduras" por frío en la piel o daños en los ojos. La sobre exposición incrementa la frecuencia respiratoria y cardiaca y puede conducir a estado de coma y muerte. Es un gas asfixiante, que actúa por desplazamiento de oxígeno. Consulte la hoja de seguridad.

Equipo de protección personal. Llevar equipo de protección adecuado para las manos, cuerpo y cabeza. Al manipular cilindros emplear calzado de seguridad. En espacios confinados o sitios de ventilación deficiente, utilizar equipo de respiración autónoma. Emplear guantes aptos para este refrigerante. Se recomienda la utilización de lentes de seguridad.

1.3.1.4. Manejo de riesgos en la manipulación de amoníaco (NH3).

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés), el amoníaco es un gas

tóxico y es corrosivo para la piel, los ojos y los pulmones. El amoníaco también es inflamable en concentraciones de aire de 15% al 28% y puede ser mortal para los seres humanos a una concentración de 300 partes por millón (ppm); por lo anterior es clasificación B2L.

Equipo de protección personal para los chequeos rutinarios de mantenimiento preventivo. La labor debe ser desarrollado por trabajadores capacitados, y deben utilizar los siguientes elementos de protección personal (EPP):

- Casco.
- Mascara de rostro completo con filtro para amoníaco.
- Botas resistentes al amoníaco.
- Guantes protectores resistentes al amoníaco.
- Traje de PVC.
- Teléfono celular o equipo de comunicación.

Los chequeos rutinarios de mantenimiento son definidos en cada Planta de acuerdo con su tecnología e instalaciones. Ellos deben estar definidos en un documento escrito autorizado por el Administrador de Planta o Jefe de mantenimiento. Una copia de este documento debe ser recibido por cada operario y registrar su recibo en un documento.

Equipo de Protección Personal para utilizar en caso de fugas, derrames o emergencias. Al detectarse fugas o derrames, el personal del área y el de emergencia, deben contar con los siguientes equipos de protección personal.

- Equipo Respirador autónomo - Respiradores de Escape. En el mercado nacional es posible encontrar los siguientes equipos: Transaire® 5, Transaire® 10 y Custom Air V®.
- Traje Encapsulado Nivel A.
- Equipos ventiladores.
- Sensor de fugas de amoníaco de alarma al personal.
- Duchas para emergencias químicas.
- Agua en abundancia.

Estos equipos permiten abandonar en forma rápida las áreas afectadas por fugas o derrames y le proporcionan un suministro de aire continuo por un lapso. Los frigoríficos deben contar con un lugar de almacenamiento de estos equipos y con fuentes de agua ubicadas en áreas cercanas de los posibles lugares (puntos críticos) de emergencia. La ubicación de estos elementos debe ser tal que no puedan ser afectados por las eventuales emergencias.

El sitio de almacenaje debe contar con señalización reglamentaria, clara, legible desde al menos 20 metros, indicando su ubicación, así como contar con buena iluminación en caso de que las emergencias ocurran de noche. Los siguientes letreros, como mínimo, deben estar colocados en los Estanques de Recepción, puertas de acceso a las salas de Máquinas y en sectores del circuito del amoníaco en que hay válvulas, evaporadores y condensadores.

ILUSTRACIÓN 5 . SEÑALES DE ADVERTENCIA DE PRESENCIA DE AMONÍACO.

Sistemas de protección de las instalaciones. De acuerdo con la EPA, cualquier empresa que utilice refrigerantes de amoníaco, en cualquier capacidad, debe entrenar a fondo a todo el personal que va a estar operando los equipos de refrigeración de amoníaco, y asegurarse de que el personal comprenda los posibles peligros de usar el equipo, y sepa cómo evitar los accidentes. Las instalaciones deben contar con los siguientes elementos:

- Agua en abundancia.
- Indicadores de la dirección del viento.
- Válvulas de exceso de flujo y de sobrepresión.
- Alarmas de seguridad por temperatura.
- Alarmas de seguridad por presión.
- Grifos con mangueras con aspersores lluvia fina de agua.
- Sensores ambientales de fugas de amoníaco.
- Conos de señalización.
- Muros o barreras protectoras contra impactos de vehículos en recibidores de amoníaco.
- Pretil de contención para derrames de amoníaco.
- Alarma de accionamiento local en Sala de Máquinas y recibidor de amoníaco.

1.4. IDENTIFICACIÓN DE REFRIGERANTES.

1.4.1. Refrigerante contenido en un cilindro.

La manera más sencilla y segura de determinar el tipo de refrigerante contenido en un cilindro es ver la etiqueta con la cual el fabricante marca su producto. En la etiqueta de un cilindro que contiene refrigerante se podrán encontrar diferentes nombres o designaciones para la misma sustancia. A continuación, se presenta las diferentes denominaciones o formas de nombrar un refrigerante:

ILUSTRACIÓN 6. ILUSTRACIÓN TÍPICA PARA UN REFRIGERANTE

- Nombre comercial: es el nombre que el fabricante le da a su producto.
- Nombre químico: se puede utilizar el nombre químico completo de la sustancia o su fórmula química.
- Número CAS: número asignado por el Chemical Abstracts Service de Estados Unidos para identificar una sustancia química.
- Número NU: corresponde al número de identificación que las Naciones Unidas dan a las sustancias químicas. El sistema de numeración de las Naciones Unidas provee un número de identificación único para cada sustancia química.
- Número ASHRAE: número asignado por la American Society of Heating, refrigeration and Air Conditioning Engineers.

Por otro lado, hasta diciembre 31 de 2019, existió como método de identificación rápida del refrigerante contenido en un cilindro, el código de colores indicado por la Guía N del Instituto Estadunidense de Calefacción y Refrigeración (AHRI, por sus siglas en inglés), el cual, a partir del 1 de enero de 2020, mediante la Adenda 1, sugiere que todos los envases usados para transportar gases refrigerantes deberán lucir una pintura estándar de color gris verdoso (RAL 7044, que corresponde al PMS 413).

Esta medida busca evitar la selección inadecuada de refrigerantes, causada por las ligeras variaciones en los tonos de los cilindros que contienen sustancias de la misma familia, y al mismo tiempo brindar mayor seguridad en la identificación de cada gas, sobre todo ante el aumento en el uso de refrigerantes ligeramente inflamables (A2L) e inflamables (A3), que pueden significar riesgos adicionales. En este sentido, la Guía establece que los contenedores de sustancias clasificadas como A2L y A3 deberán exhibir una franja roja en el hombro o en la parte superior del envase, la cual indica la inflamabilidad del compuesto ante un evento de fuga.

RAL es un código que define un color mediante un conjunto de dígitos. Fue definido por el Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung en Alemania el año 1927.

Así mismo, el color que hasta ahora tenía asignado cada refrigerante se seguirá utilizando en los materiales impresos, como los empaques de cartón y las etiquetas que acompañan a cada cilindro.

ILUSTRACIÓN 7. GUÍA N DE LA AHRI, COLOR DEL CILINDRO QUE CONTIENEN REFRIGERANTE.

Fuente. Guía N de la AHRI.

Si bien las pautas de AHRI actúan como recomendaciones para la industria y no son requeridas por la ley, la industria se adhiere a la Guía N, por lo que todos los usuarios deben tener en cuenta que la etiqueta del cilindro y el tambor o la serigrafía, ahora servirán como el medio principal para identificar adecuadamente el tipo de refrigerante contenido en un cilindro o tambor.

1.4.2. Refrigerante contenido en un sistema de refrigeración y/o aire acondicionado.

No existe un método específico que garantice al 100% la identificación del refrigerante contenido en un sistema de refrigeración, lo más recomendable es inspeccionar físicamente el sistema en busca de placas que contengan información técnica, en la cual pueda estar el tipo de refrigerante empleado. Esta puede encontrarse en el cuerpo del equipo, en el compresor, en la unidad manejadora o en la condensadora. La válvula de expansión termostática, también le puede dar información sobre el tipo de refrigerante.

Conocer la aplicación o función que presta el equipo es de mucha utilidad porque esto puede ayudarle a conocer los rangos de temperatura en los que se encuentra trabajando y por ende le servirá para limitar los tipos de refrigerantes que puedan estar contenidos en él.

La relación presión – temperatura es otro método para identificar el tipo de refrigerante que contiene un sistema; para este método es necesario conocer la presión de vapor y la temperatura del refrigerante puro contenido, las cuales deben medirse en el mismo tiempo y en los mismos puntos, y compararla con las tablas establecidas para cada refrigerante.

ILUSTRACIÓN 8. LA ETIQUETA DE UN COMPRESOR Y SU NOMENCLATURA EN UN EQUIPO RAC.

Fuente: embraco.

1.4.3. Pruebas de laboratorio y equipos especiales.

Existen equipos especiales que permiten conocer con exactitud el tipo de refrigerante que está contenido en un cilindro o en un sistema de refrigeración. Uno de ellos es el identificador de refrigerantes, el cual es una unidad portátil que permite la identificación confiable del tipo de gas refrigerante contenido en un cilindro o sistema, mediante una muestra del mismo. Con este equipo se puede conocer del refrigerante su pureza, su composición y contenido de agua. Vienen acondicionados para conectarse directamente a los cilindros de refrigerante con procedimientos relativamente sencillos.

ILUSTRACIÓN 9. IDENTIFICADOR DE REFRIGERANTES.

1.5. MISCIBILIDAD ENTRE LOS ACEITES Y REFRIGERANTES.

La miscibilidad es la capacidad que tienen dos sustancias de mezclarse, en este caso se trata de los aceites y las diferentes sustancias refrigerantes que utilizan los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Desde la aparición de los HFC, que no agotan la capa de ozono y que no son miscibles con los aceites minerales, los fabricantes han trabajado para crear nuevos lubricantes. El uso de un lubricante que no sea miscible con un refrigerante HFC afecta negativamente la eficiencia del sistema de refrigeración; entonces, el aceite no miscible se separa en masas congeladas impidiendo el flujo de refrigerante en los dispositivos de expansión y elementos de transferencia de calor. El aceite no miscible se deposita en el fondo de los tubos del evaporador, provocando la falta de retorno de aceite al compresor, acelerando el desgaste de los componentes, hasta ocasionar la quema del compresor.

El compresor, en un sistema de refrigeración mecánico, debe ser lubricado para reducir la fricción y evitar el desgaste. El tipo especial de lubricante utilizado en los sistemas de refrigeración se llama aceite para refrigeración. Este aceite debe cumplir ciertos requerimientos especiales, que le permitan realizar su función lubricante, sin importar los efectos del refrigerante y las amplias variaciones de temperatura y presión.

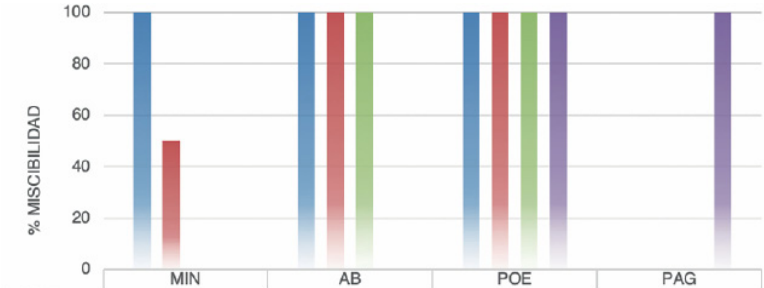
El aceite realiza las siguientes funciones: reduce el rozamiento, el desgaste y las pérdidas de energía; forma un sello entre las partes móviles, por ejemplo anillos con cilindros espirales de los scroll entre si, etc., para retener el vapor de refrigerante mientras está siendo comprimido; permite alcanzar la vida útil prevista para cada punto de fricción; amortigua el ruido generado por las partes móviles dentro del compresor; protege contra la corrosión y reduce los gastos de mantenimiento. Los aceites pueden ser:

• **Aceites minerales.** Son mezclas de hidrocarburos obtenidos por el proceso de destilación del petróleo crudo. Los aceites minerales se mezclan fácilmente con los refrigerantes CFC y HCFC. Son un poco menos higroscópicos que los aceites sintéticos. No son miscibles con los refrigerantes tipo HFC y sus mezclas. Por ser poco estables ante las variaciones de temperatura, presentan un bajo índice de viscosidad.

• **Aceites sintéticos.** Son fluidos fabricados especialmente para la lubricación por medio de reacciones químicas; se preparan “a la medida” para que tengan una estructura molecular controlada, con propiedades predecibles. Existen varios tipos de aceites sintéticos, pero los que mejor resultado dan en refrigeración son del tipo ALQUILBENCENO, diseñado como sustituto de los aceites minerales en sistemas que operan con CFC y HCFC y los de tipo POLIOLESTER (POE), POLIALQUILGLICOL (PAG), y FOSFATO ESTERES, diseñados para sistemas que operan con HFC y HFO. La característica principal de estos aceites es la miscibilidad con los HFC y sus mezclas. Las ventajas de los aceites sintéticos en el campo técnico de la lubricación son su alta estabilidad térmica y resistencia a la oxidación, la favorable relación viscosidad – temperatura, el alto punto de inflamación y el buen comportamiento en frío. Sin embargo, son más higroscópicos que los aceites minerales.

A continuación, se presenta la miscibilidad entre aceites y refrigerantes:

ILUSTRACIÓN 10. MISCIBILIDAD ENTRE REFRIGERANTES Y ACEITES (EXCELENTE=100; ACEPTABLE=50 y NO ES MISCIBLE=0).



	MIN	AB	POE	PAG
CFC	100	100	100	0
HCFC	50	100	100	0
HCFC+HC	0	100	100	0
HFC	0	0	100	100

Fuente: https://blogquimobasicos.com/2012/02/29/los-refrigerantes-y-los-lubricantes/

1.5.1. Factores que causan degradación de los aceites.

Cuando existen contaminantes en el sistema de refrigeración, tales como aire y humedad en una cantidad apreciable, se desarrollan todo tipo de reacciones químicas; entonces el aceite lubricante puede entrar en descomposición, perdiendo sus propiedades lubricantes y formando ácidos corrosivos y sedimentos en las superficies de cobre y/o corrosión ligera en superficies metálicas. Las temperaturas altas en la descarga del compresor, por lo general aceleran estos procesos. Los siguientes son los principales factores que degradan los aceites utilizados en refrigeración:

• **Calor excesivo.** Todos los aceites para refrigeración pueden ser descompuestos por el calor, cuando esto sucede, queda un residuo de carbón. Un buen aceite para refrigeración no debe carbonizarse al entrar en contacto con superficies calientes en el sistema durante su funcionamiento normal. Así mismo, dentro de un sistema de refrigeración, las reacciones entre el aceite y el refrigerante a altas temperaturas pueden causar problemas tales como: formación de lodos, ácidos, gomas, lacas, barnices y cobrizado. Estos depósitos afectan las válvulas de descarga, aceleran el desgaste, tapan los conductos del aceite y en los compresores herméticos y semiherméticos, interfieren con la operación del motor.

• **Humedad.** La presencia de agua en el aceite es crítica en cualquiera de sus formas: libre, diluida o emulsionada, ya que afecta el espesor de la película lubricante, disminuyéndola. Además de dificultar y/o impedir la lubricación, acelera el proceso de degradación del aceite, mediante la oxidación del mismo.

Los aceites sintéticos a base de polioléster (POE), son aproximadamente 10 veces más higroscópicos que los aceites minerales o de alquilbencenos (AB). Si el lubricante POE se expone a la humedad se producen alcohol y ácido.

Por esta razón, los lubricantes sintéticos de POE se envasan en recipientes metálicos, en latas, bajo un sofisticado método que utiliza vacío y nitrógeno. Si se utilizan envases de plástico, con el paso del tiempo, la humedad atraviesa el plástico y se combina con el lubricante.

• **Oxidación acelerada.** La estabilidad a la oxidación es la capacidad de un aceite para refrigeración a permanecer estable en presencia de oxígeno. La combinación de aire, humedad y aceite, con las altas temperaturas del compresor, producirá ácidos y lodos. La oxidación es un fenómeno que reduce la vida del aceite porque provoca aumento de la viscosidad, pudiendo llegar a ser doble e incluso triple que la del aceite nuevo.

2. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO (RAC).

2.1. METODO DE DIAGNÓSTICO Y VARIABLES DE ANÁLISIS EN SISTEMAS RAC.

Uno de los desafíos más relevantes que tienen los operadores, técnicos e ingenieros de los sistemas es saber exactamente las variables más relevantes en un sistema RAC y de qué manera interpretarlas para poder hacer un correcto, oportuno y acertado diagnóstico. Por años se ha generalizado asumir que desde un par de variables simples se puede llegar a conclusiones de manera correcta.

Es aquí donde la toma completa de datos, los principios de termodinámica y el manejo de algunas leyes muy simples permiten avanzar en este proceso y evitar:

- Fallas prematuras;
- Perdida de eficiencia en el sistema;
- Aumento de los costos operacionales (Manos de obra, Insumos, perdida de producto).

Para poder entrar al detalle en este tema se hace necesario precisar algunos términos y remitirnos al ciclo básico, y especialmente al diagrama de Mollier (Diagrama Presión - Entalpia),como se presenta en la siguiente sección.

2.1.1. Definiciones básicas.

- Primera Ley de la Termodinámica: La Energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.
- Formas de la Energía: Eléctrica, Térmica, Hidráulica, nuclear, eólica, solar, química, mecánica, etc.
- Energía: La capacidad de desarrollar un trabajo.
- Calor: Es una forma de Energía contenida en todas las substancias que estén a una temperatura por arriba del cero absoluto. Las unidades en que se mide el calor son:
- El BTU (British Thermal Unit) que es el calor necesario para elevar un °F a una libra de agua pura.
- Una kilocaloría (kcal) es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1 °C la temperatura de 1 kilogramo de agua pura. 1 Kcal = 3.968 BTU.
- Calor Específico: Es aquel que contiene una unidad de masa de una sustancia y se tomó como referencia al agua pura, asignándole un valor unitario. Unidades en BTU/lb.°F y en kcal/kg.°C.

• **Calor Sensible:** Es aquel que al añadirlo o retirarlo de una sustancia, causa un cambio en la temperatura de la misma.

• **Calor Latente:** Es aquel que al añadirlo o retirarlo de una sustancia causa un cambio de estado sin cambio de temperatura.

• **Trabajo:** Es la acción de una fuerza a lo largo de un desplazamiento, es la energía que cruza el límite de un sistema termodinámico. Tiene las mismas unidades del calor es decir BTU y JOULE.

• **Potencia:** Es el trabajo efectuado por la unidad de tiempo, en unidades inglesas: BTU/HR, BTU/MIN y en unidades SI sería J/s = Watts. También es muy usada en el aire acondicionado la tonelada de refrigeración (TR), la cual se define como la cantidad de calor necesaria para derretir una tonelada corta (2,000 lbs) de hielo a 32°F y convertirlo en agua a 32°F en 24 horas, es equivalente a 12,000 BTUH.

• **Entalpía:** Los cuerpos tienen energía debido a su temperatura y presión. Un gas a alta presión tiene energía (por ejemplo, cuando explota una caldera). A la energía almacenada en forma de temperatura y presión se le llama entalpía, en la industria de la refrigeración se acostumbra a usar la frase "contenido de calor" para designar lo mismo que entalpía. En el sentido estricto el calor es una forma de energía que fluye hacia el interior y el exterior de un cuerpo, y la entalpía o contenido de calor es una forma de energía almacenada en un cuerpo. Las unidades que se usan son: BTU/lb, kcal /kg, kj /kg.

• **Temperatura:** Es la medida de la intensidad del calor. Sus unidades de medida son: Fahrenheit (ºF), Celsius (ºC)), Kelvin (K) y Rankin (R).

• **Presión:** Se define como una Fuerza ejercida por unidad de área. Sus unidades son lb/pulg2 (psi) o Kg/Cm2 (1 Kg/Cm2 = 14.7 lb/Pulg2) ó en el SI N/m2 (Pa).

ILUSTRACIÓN 11. ESCALAS DE TEMPERATURA

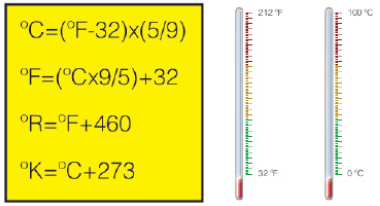


ILUSTRACIÓN 12 MANÓMETRO

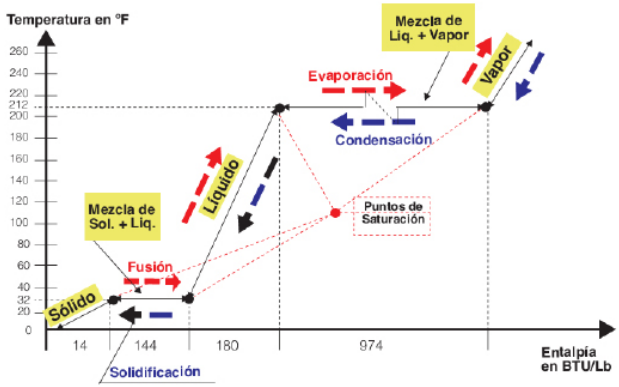
Pabsoluta = Patm + Pman

• **Presión atmosférica (Patm):** Es la presión ejercida por el peso de la columna de aire de la atmósfera que nos rodea. Al nivel del mar, 1 Atmósfera = 101325 Pascal (Pa) = 14.75 psia =760 mm Hg = 29.92 Pulg de Hg.
El instrumento utilizado para medir la presión atmosférica se llama barómetro.

• **Presión Manométrica (Pman):** Es aquella que se mide con un manómetro, por encima de la presión atmosférica. La presión manométrica se mide con un manómetro. El Manómetro indicará CERO, a la presión atmosférica.

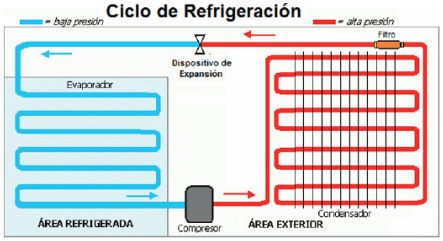
• **Efecto de la Presión en los cambios de estado:** A una mayor presión corresponde una mayor temperatura de evaporación.
• **Segunda Ley de Termodinámica:** El calor siempre viaja de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.
• **Variación de la entalpia con la temperatura a presión constante.**

ILUSTRACIÓN 13. VARIACIÓN DE LA ENTALPIA CON LA TEMPERATURA A PRESIÓN CONSTANTE.



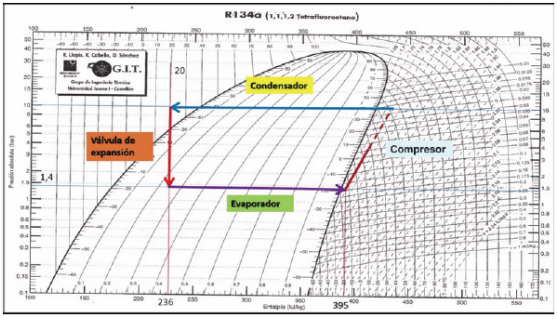
• **Diagrama de Mollier.** Se construye a partir de datos de presión en función de la entalpía y muestra curvas de temperaturas constantes. En él se puede visualizar todos los valores relacionados con los procesos de refrigeración por compresión de vapor y sus etapas, como compresión, condensación, expansión y evaporación. Cada refrigerante tiene su diagrama específico.
• **Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.** Termodinámicamente, cualquier sistema de refrigeración o enfriamiento es conocido como una máquina térmica invertida o como una máquina frigorífica (MF). Se define como un dispositivo que toma calor (Qo) de una región o fuente a temperatura baja (Tb) para cederlo (QC) a una región o sumidero a temperatura alta (Ta), siempre y cuando se realice un trabajo (W) sobre dicha máquina. Los sistemas de refrigeración son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales, comerciales y domésticas. Estos se encuentran constituidos principalmente por: compresor, condensador, dispositivo de expansión y evaporador.

ILUSTRACIÓN 14. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.



El ciclo de refrigeración se inicia en el compresor, cuando éste impulsa el gas refrigerante (sustancia empleada como absorbente de calor), desde la zona de baja presión ubicada después del evaporador hacia el sistema, incrementando su presión y temperatura. El gas es descargado en el condensador, donde el calor es removido y el gas refrigerante es condensado en un líquido a alta presión. El líquido refrigerante pasa entonces a través de la válvula de expansión del lado de alta presión al de baja presión, donde se reduce su presión y por tanto su punto de ebullición. Este líquido refrigerante a baja presión pasa por último por el evaporador, donde absorbe calor de los alrededores y se evapora, produciendo el enfriamiento. En este punto del sistema comienza de nuevo el ciclo con un gas refrigerante a baja presión.

ILUSTRACIÓN 15. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR EN UN DIAGRAMA DE MOLLIER.



Fuente: Refrigeración: conceptos básicos. Honeywell, Genetron refrigerantes. 2007.

• Rendimiento de la máquina de frío. Es la relación entre la cantidad de calor absorbida por el evaporador y la cantidad de energía eléctrica total consumida por la instalación, es decir el compresor y los auxiliares (ventilador, bombas, etc.). La manera más conocida de calcular es el rendimiento es a través del Coeficiente de operación (COP; por sus siglas en inglés, Coefficient of Performance):

$$\boldsymbol{COP} = \frac{\boldsymbol{Calor\ extraido\ (kW)}}{\boldsymbol{Trabajo\ del\ compresor\ (kW)}}$$

Para calcular el rendimiento, se utiliza también el EER, por sus siglas en inglés Energy Efficiency Ratio:

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

El SEER, Eficiencia energética estacional (Seasonal Energy Efficiency Ratio) se refiere al EER durante un periodo de tiempo. El SEER se obtiene a partir de distintas temperaturas exteriores y con el funcionamiento de las unidades a distintas etapas de capacidad. Para su cálculo se tienen en cuenta los siguientes parámetros

• Unidad funcionando al 100% de su capacidad, con una temperatura exterior de 35ºC y una temperatura interior de 27ºC.
• Unidad funcionando al 74% de su capacidad, con una temperatura exterior de 30ºC y una temperatura interior de 27ºC.
• Unidad funcionando al 47% de su capacidad, con una temperatura exterior de 25ºC y una temperatura interior de 27ºC.
• Unidad funcionando al 21% de su capacidad, con una temperatura exterior de 20ºC y una temperatura interior de 27ºC.

2.1.2. Diagnóstico rápido del sistema de refrigeración.

Para un diagnóstico práctico y en tiempo real, se requiere tener a mano los siguientes elementos:
a) la documentación técnica para conocer los valores bajo los que opera el sistema RAC Incluido la curva característica de consumo de corriente del compresor,
b) la Tabla de P – T (Presión – Temperatura) para el refrigerante que contenga el sistema.
c) hallar los valores de sobrecalentamiento y subenfriamiento del refrigerante Recomendados por el fabricante.

Basados en el valor del recalentamiento y subenfriamiento, el operador podrá diagnosticar si el sistema se encuentra funcionado dentro o fuera de parámetros. Las desviaciones de estos parámetros están asociadas a infiltraciones de gases no condensables, obstrucciones en el evaporador, falta o exceso de refrigerante, entre otras causas. Las infiltraciones de aire diluyen el volumen de refrigerante que circula, alteran la relación p2/p1 de compresión. La humedad que acompaña a las infiltraciones de aire ambiente se condensa en las zonas de baja temperatura, como la válvula de expansión y el evaporador, lo que aumenta la caída de presión y se opone al flujo adecuado del refrigerante. Esto descontrola el funcionamiento del dispositivo de expansión, reduciendo la capacidad de enfriamiento del sistema e incrementando los índices de consumo energético por unidad de refrigeración suministrada (kcal/h o kW).

2.1.2.1. Sobrecalentamiento en el evaporador y el compresor.

Es la condición en la cual el refrigerante completamente evaporado comienza a calentarse al absorber más calor y no existe más líquido que se evapore. Es decir, si se tiene un sobrecalentamiento correcto se va a lograr que el equipo opere eficientemente y además no va a existir el riesgo de que regrese líquido al compresor, dado que todo el refrigerante que regrese a él va a estar en fase de vapor.

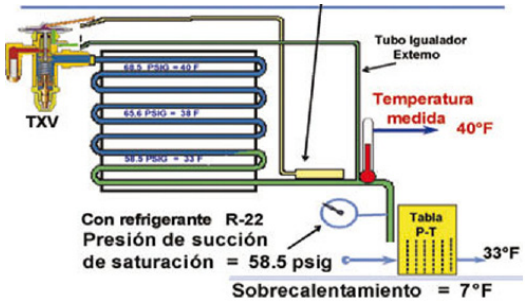
Sobrecalentamiento en el evaporador.
a) Mida la temperatura de la línea de succión, en el lugar donde se localiza el sensor remoto de la válvula de expansión termostática;
b) Obtenga la presión de la línea de succión, donde se coloca el bulbo sensor o en la línea del igualador externo;

c) Convierta la presión obtenida, a temperatura de saturación del evaporador, con la tabla de presión vs temperatura;
d) Reste la temperatura de saturación a la de la línea de succión.

Los valores de sobrecalentamiento en el evaporador recomendados por BOHN son los siguientes:

• Para alta temperatura (temperatura de evaporación de 0 °C o mayor). El sobrecalentamiento deberá estar entre 6 °C y 7 °C.
• Para media temperatura (Temperatura de evaporación: -18 °C a 0 °C). El sobrecalentamiento deberá estar entre los 3 °C y los 6 °C.
• Para baja temperatura (Temperatura de evaporación: menor a los -18 °C). El sobrecalentamiento deberá estar entre 1 °C y 3 °C.

ILUSTRACIÓN 16. DETERMINACIÓN DEL SOBRECALENTAMIENTO EN EL BULBO SENSOR.



Fuente: https://www.mundohvacr.com.mx/2006/09/la-valvula-termostatica/

Sobrecalentamiento en el compresor

a) Medir la presión en la válvula de servicio de succión del compresor.
b) Convertir ésta a temperatura de saturación usando la tabla de presión vs temperatura.
c) Medir con termómetro la temperatura de la línea de succión a una distancia aproximada de 30 cm antes del compresor.
d) Restar la temperatura de saturación de la temperatura de la línea de succión.

Los valores de sobrecalentamiento en el compresor recomendados por fabricantes y buenas prácticas están entre 20 °F y 30 °F (11.11 °C y 16.66 °C) para garantizar el funcionamiento correcto del compresor de refrigeración independientemente de la aplicación y del tamaño.

2.1.2.2. Subenfriamiento a la salida del condensador.

El Subenfriamiento es la temperatura que tiene un refrigerante líquido cuando está por debajo de su temperatura de saturación (mezcla de líquido / vapor) a una presión dada.

El subenfriamiento total en una instalación frigorífica se define como la diferencia entre la temperatura del líquido refrigerante justo antes de la válvula de expansión, y la temperatura saturada que corresponde a la presión antes de la misma (en el caso de refrigerante puros (R134a, R-22.) o mezclas azeotrópicas (R507A...). En el caso de refrigerantes mezclas zeotrópicas (R407C, R417A...) el subenfriamiento total es la diferencia entre la temperatura del líquido refrigerante justo antes de la válvula de expansión y la temperatura de burbujas que corresponde a la presión antes de la misma.

El subenfriamiento del líquido refrigerante antes de la válvula de expansión termostática es importante porque:

• Indica si la línea de líquido está llena o no, y en general da indicaciones de la carga de refrigerante y de la eficiencia del condensador.
• Un subenfriamiento suficiente asegura que no existe el fenómeno del "flash-gas" en la tubería de líquido: generación de burbujas de refrigerante en estado gaseoso debido a las pérdidas de carga provocadas por el rozamiento del líquido refrigerante durante su viaje por la tubería.
• Un aumento del subenfriamiento supone un aumento de la capacidad de enfriamiento por el aumento de la diferencia de entalpía.

El paso de la línea de líquido por un ambiente más frío que ella misma, aumentara el subenfriamiento, por el contrario, el paso de la línea de líquido por un ambiente más caliente que ella misma, disminuye el subenfriamiento y puede llegar a provocar "flash-gas".
Efectos del "flash-gas. El flash-gas es indeseable en cualquier instalación debido a su efecto sobre las válvulas de expansión. El paso de las burbujas a través del orificio calibrado de la válvula genera una disminución de la cantidad de refrigerante (kg) que pasa a través de ella. Esta alimentación deficiente del evaporador genera una caída del rendimiento del evaporador.

Valores adecuados de subenfriamiento:

Por recomendaciones de fabricantes y buenas prácticas, el subenfriamiento debe de estar entre 10°F y 15°F de subenfriamiento en la salida del condensador. Esta métrica es uno de los factores que se consideran al establecer una carga de gas refrigerante, pero primero se debe asegurar que el evaporador es el adecuado para la capacidad de la válvula de expansión. Adicionalmente, antes de tomar la medida se debe verificar que:

• El lugar de instalación de la unidad condensadora esté bien ventilado.
• El condensador y el evaporador estén limpios.
• Los instrumentos de medición estén calibrados.
• Subenfriamiento igual a cero significa que el refrigerante en la línea de líquido es una mezcla de líquido y vapor.

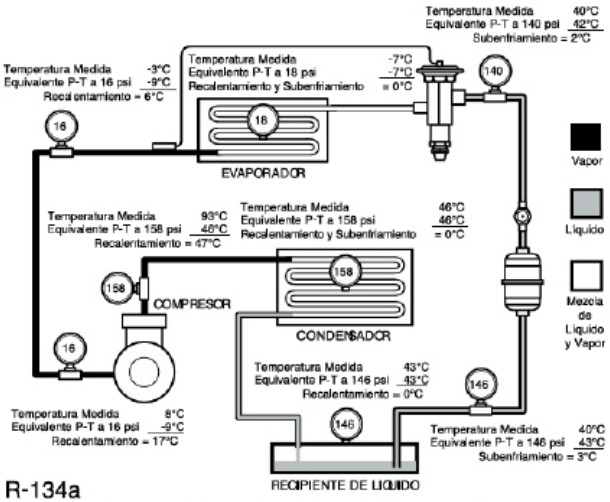
• Subenfriamiento mayor a 15°F puede indicar sobrecarga de refrigerante, restricción (como un deshidratador contaminado o una línea de líquido torcida o doblada), o una válvula de expansión cerrada o de tamaño insuficiente (corta), una válvula dañada (descalibrada). El subenfriamiento solo debe determinarse en las condiciones establecidas por el fabricante del evaporador.

2.1.2.3. Toma de datos en un sistema de refrigeración o aire acondicionado.

Los datos que se tomen deben cumplir con varios propósitos, como diagnosticar el estado de operación del sistema RAC, para prevenir fallas o ajustarlo a las condiciones requeridas por su aplicación. O para el análisis de su punto de eficiencia y garantizar que entregue el máximo rendimiento. Para tal efecto, las variables a medir serán:

- Temperatura de descarga del compresor leído a 5“de la válvula de servicio.
- Temperatura & presión a la salida del condensador.
- Temperatura & presión a la salida del evaporador.
- Temperatura y humedad ambiente (ext. & int.)
- Temperatura en la succión del compresor.
- Voltaje del compresor entre cada una de las fases.
- Consumo eléctrico por fase en amperes.
- Presión de descarga del compresor.
- Presión de succión del compresor.

ILUSTRACIÓN 17. TOMA DE DATOS EN UN SISTEMA RAC CON R-134A.



Fuente: Sporlan. FOLLETO 10-135(S1): Uso de la Tabla P-T Como Herramienta de Servicio.

2.1.2.4. Análisis de datos.

Con los parámetros medidos directamente y los cálculos indicados en las secciones anteriores se pueden identificar muchas de las condiciones que generan fallas prematuras. La correlación de ellas en la mayoría de los casos está asociada entre si a una condición de falla y deben analizarse de una manera integral. En la siguiente tabla se correlaciona la presión de descarga, presión de succión, el sobrecalentamiento, el subenfriamiento y el amperaje como efecto y la causa que lo puede generar.

TABLA 5. INTERRELACIÓN ENTRE EFECTOS OBSERVADOS/MEDIDOS Y POSIBLE CAUSA.

EFECTO / CAUSA	Presión de descarga	Presión de Succión	Sobrecalentamiento	Subenfriamiento	Corriente (Amperaje)
Sobrecarga de refrigerante	↑	↑	↓	↑	↑
Baja carga de refrigerante	↓	↓	↑	↓	↓
Restricción en la line de liquido	↓	↓	↑	↓	↓
Bajo flujo de aire en el evaporador	↓	↓	↓	↑	↓
Condensador sucio	↑	↑	↑	↑	↑
Temperatura ambiente baja	↓	↓	↓	↑	↓
Compresor ineficiente	↓	↑	↑	↑	↓
Bulbo de TXV suelto	↑	↑	↓	↓	↑
Bulbo de TXV con baja carga	↓	↓	↑	↑	↓
Bulbo de TXV sin aislamiento	↑	↑	↓	↓	↑

2.2. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA RAC.

2.2.1. Orden de trabajo.

Consiste en una descripción del trabajo específico a realizar, de los recursos necesarios (mano de obra y materiales), y de los costos incurridos. Son generadas cada vez que se advierte que un trabajo de mantenimiento es necesario. Se generan por solicitudes de trabajo, que luego de ser firmadas por el jefe de mantenimiento se convierten en órdenes de trabajo.

2.2.2. Hoja de vida de un equipo.

Es el documento informativo básico y fundamental que resume las características originales de cada equipo y los datos operativos de él y de cada uno de sus componentes

La hoja de vida del equipo debe complementarse con la ficha de historial de cada máquina y/o equipo, el cual consiste en un informe detallado ordenado cronológicamente de todas las intervenciones de mantenimiento realizadas en él. Cualquiera que sea el modelo que se elija (manejo manual o computarizado) se deben incluir sin excepción los siguientes datos e informaciones:

- Instalación de la que forma parte.
- Ubicación exacta dentro de la instalación.
- Tipo de máquina.
- Datos específicos físicos (modelo, tipo, dimensiones, peso) y tecnológicos (parámetros operativos).
- Proveedor y fecha de la compra con el número de pedido correspondiente Costo de la máquina puesta en planta y luego de montada.
- Planos de conjunto y de piezas con su ubicación en el archivo.
- Lista y codificación de las piezas de repuesto, con indicaciones para encontrar su posición en almacén, así como los planos correspondientes.
- Indicación del centro de costos a que pertenece.
- Aquellos otros datos que puedan ser de interés de los usuarios de las fichas.

La hoja de vida del equipo debe complementarse con la Ficha de Historial de cada máquina y/o equipo, el cual consiste en un informe detallado ordenado cronológicamente de todas las intervenciones de mantenimiento realizadas en cada equipo o en sus componentes.

Primera Parte: Información relevante del equipo. Esta primera parte está relacionada con información general del cliente y el equipo.

TABLA 6. PRIMERA PARTE: INFORMACIÓN RELEVANTE DEL EQUIPO.

GERENCIA DE PROYECTOS Y MANTENIMIENTO				Código	
MANTENIMIENTO SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO				Versión	
FORMATO DE HOJA DE VIDA				Fecha	
PROYECTO				(LOGO)	
EMPRESA CONSULTORA					
CLIENTE					
TECNOLOGÍA					
REFRIGERANTE					
DATOS DE PLACA DE EQUIPO 1					
Tipo		Marca		Modelo	
Serial		Refrigerante		Voltaje	
Potencia frigorifica (TR)		Potencia eléctrica (KW)		RLA (A) Comp.1	
LRA (A) Comp. 1		RLA (A) Comp. 2		LRA (A) Comp. 2	
RLA (A) Comp. 3		LRA (A) Comp. 3		RLA (A) Comp.4	
LRA (A) Comp. 4		FLA (A) Vent. Exterior		FLA (A) Vent. Interior	

Segunda parte: Rutinas mínimas recomendadas. Se listan las rutinas mínimas para hacer seguimiento en cada rutina. Para efectos de almacenar registros históricos, es conveniente que los datos tomados sean anotados en el formato de hoja de vida.

TABLA 7. SEGUNDA PARTE: RUTINAS MÍNIMAS RECOMENDADAS.

RUTINA DE MANTENIMIENTO							
Actividad	Frecuencia (Veces/año)	(Indique con una "x" para la actividad efectuada en esta rutina)					
		EQP N°1	EQP N°2	EQP N°3	EQP N°4	EQP N°5	EQP N°6
Inspección y limpieza de serpentin evaporador y condensador.							
Inspeccionar funcionamiento de ventiladores exteriores.							
Limpieza de Blower de suministro de aire.							
Inspección y limpieza de filtros de aire (cambiar filtro de ser necesario).							
Inspección y limpieza de bandeja de condensado y desagüe.							
Inspección y ajuste de componentes eléctricos.							
Inspección y limpieza de superficies exteriores del equipo.							
Ajustes de tornillos.							
Lubricación de rodamientos de Blower (Usar grasas a base de litio, marcas de referencia: Alvania 3 (Shell Oil), Chevron BRB2 (Standard Oil) o Regal AFB2 (Texas Oil).							
Toma de parámetros de funcionamiento (ver HV de eqp).							

Tercera parte: Registro de datos.

TABLA 8. TERCERA PARTE: REGISTRO DE DATOS EN FORMATO DE HOJA DE VIDA.

DATOS DE TRABAJO DE EQUIPO 1					
ELÉCTRICO	Mntto 1	Mntto 2	Mntto 3	Mntto 4	Mntto 5
Voltaje L1-L2					
Voltaje L2-L3					
Volateje L1-L3					
Amp Comp1. (L1/L2/L3)					
Amp Comp2. (L1/L2/L3)					
Amp Comp3. (L1/L2/L3)					
Amp Comp4. (L1/L2/L3)					
Amp. Vent ext. (L1/L2/L3)					
Amp. Vent int. (L1/L2/L3)					
TÉRMICO					
Temp db Sum Aire (°C)					
Temp wb Sum Aire (°C)					
Temp db Ret Aire (°C)					
Temp wb Ret Aire (°C)					

Cuarta parte: Observaciones. En esta sección se registran las observaciones y novedades encontradas en cada rutina, así como proponer acciones conducentes a una solución o mejor desempeño de la instalación.

TABLA 9. CUARTA PARTE: OBSERVACIONES.

OBSERVACIONES			
(Anote observaciones o comentarios importantes de la rutina, ejemplo, reparaciones efectuadas, averias encontradas, anomalías en el funcionamiento, etc.)			
ELABORÓ		APROBÓ	
FIRMA		FIRMA	

2.2.3. Bitácora de mantenimiento.

Es un archivo en el cual se lleva un registro diario, semanal o mensual de la tarea que realizas a los equipos. Se recomienda, gestionar la rutina de mantenimiento con su formato correspondiente y actualizar la hoja de vida con los datos y la información relevante.

TABLA 10. BITÁCORA DE MANTENIMIENTO.

Fecha de intervención		
Fecha de Entrega		
Datos del cliente		
Nombre: Dirección:		Teléfono: Celular:
Nombre del técnico		
Nombre: Empresa:		Teléfono: Celular:
Descripción del equipo		
Diagnóstico del equipo		
Falla	**Causa**	**Solución**
Observaciones		

2.2.4. Manuales.

• **Manuales del fabricante.** Los manuales del fabricante son documentos que contienen la información necesaria y relevante que el personal de mantenimiento debe conocer acerca de un sistema de refrigeración y/o aire acondicionado en particular o de alguno de sus componentes. El objetivo de estos manuales es proveer información lo suficientemente técnica y lo más didáctica posible: son una fuente primaria de datos y se constituyen en la guía principal de procedimientos detallados para prolongar la vida útil del equipo y conservar sus características de operación.

Los manuales del fabricante pueden contener uno o varios de los siguientes documentos: manual técnico de servicio, manual de mantenimiento, manual de operaciones, manual de seguridad e higiene, planos eléctricos, diagramas de alambrado, planos del fabricante, entre otros. Las NCL del sector se refieren a cualquiera de ellos indistintamente, dejando a criterio del trabajador la selección pertinente según el tipo de mantenimiento a realizar.

• **Manuales de mantenimiento.** Tienen por objetivo desarrollar tareas de mantenimiento en forma segura y eficiente contemplando dentro de su estructura los principios de funcionamiento de la máquina o equipos, su ubicación en el proceso, las tareas o procedimientos asociados al mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, incluyendo el análisis de riesgos e impacto ambiental, así como la investigación de averías, lista de partes y repuestos

Importancia del manual.

• Los manuales tienen que considerarse una parte integrante de la máquina y por lo tanto tienen que conservarse juntos.
• El manual debe conservarse en un sitio adecuado y con precaución para que no se deteriore.
• Antes de poner en funcionamiento la máquina, se debe leer con atención el manual para comprender su contenido y consultarlo cada vez que surjan dudas relativas al funcionamiento.
• El manual contiene informaciones importantes sobre la seguridad; estas informaciones describen la manera para realizar operaciones concretas que, si no se efectúan, podrían causar daños a las personas y a la máquina misma. Además, pueden encontrar informaciones útiles que les facilitarán el uso y el mantenimiento.
• Algunos manuales traen la lista de las piezas de repuesto.

Contenido de los manuales.

• Descripción del producto.
• Condiciones para uso de Garantía.
• Características principales.
• Datos técnicos.
• Dispositivos de seguridad.
• Informaciones generales.
• Que es lo que hay que hacer y que es lo que no hay que hacer.
• Condiciones de funcionamiento.
• Procedimientos de operación.
• Solución de problemas.
• Recomendaciones de mantenimiento.
• Esquema de conexiones.
• Despiece del equipo.

2.3. HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS PARA DIAGNÓSTICO DEL SISTEMAS RAC.

Los equipos, herramientas e instrumentos para la instalación, puesta en marcha y servicio de los sistemas RAC tienen que seleccionarse y utilizarse teniendo de acuerdo al tipo de refrigerante y su grado de seguridad (A1, A3, A2L, C02, NH3), las presiones de trabajo, y el aceite que utiliza el sistema.

2.3.1. Herramientas típicas de proceso de instalación, mantenimiento y puesta a punto de un sistema RAC.

Regulador de presión. Los reguladores de presión están diseñados para controlar la presión y están provistos de manómetros tanto del lado de alta presión contenido en el cilindro, como en el valor que se está ajustando en el sistema en labores bien de presurización para detección de fugas, o para generar una atmosfera de gas inerte para procesos de soldadura. Están destinados a ser empleados con cilindros de gases industriales a altas presiones, como nitrógeno, oxigeno, etc

ILUSTRACIÓN 18. REGULADOR DE PRESIÓN.

ILUSTRACIÓN 19. DETECTOR DE FUGAS CON ANTORCHA DE HALURO.

Detector de fugas con antorcha de haluro: Una antorcha de haluro es un detector de fugas económico, rápido y fiable, pero sólo puede utilizarse para detectar refrigerantes clorados. Se puede utilizar para detectar fugas tan pequeñas como 150 g por año. Una antorcha de haluro funciona según el principio de que el aire es atraído sobre un elemento de cobre con una llama alimentada por un combustible de hidrocarburo. Si hay vapor de refrigerante halogenado, la llama cambia de color azul a un color verde, como se muestra en la ilustración 2. No es tan sensible como el detector electrónico de fugas y podría ser peligroso debido a la llama abierta.

Detector de fugas con luz ultravioleta: Es un método en el que se introduce un colorante fluorescente o de color en el sistema, que viaja con el lubricante a través de los componentes del circuito. El punto de fuga se indica por la presencia de una mancha fluorescente de aceite. Esto puede incluir una lámpara ultravioleta y algún método para introducir la tinta en el sistema sin dejar entrar humedad o aire en el sistema.

ILUSTRACIÓN 20. DETECTOR DE FUGAS CON LUZ ULTRAVIOLETA.

ILUSTRACIÓN 21. DETECTOR DE FUGAS ULTRASÓNICO.

Detector de fugas ultrasónico: Un detector de fugas por ultrasonidos puede detectar las vibraciones creadas en el aire por fugas minúsculas de gas o vapor bajo presión, y convertirlas en un silbido o alarma audible que puede ser fácilmente detectado por el operador del detector de fugas. El detector de fugas ultrasónico utiliza ondas que viajan por encima de la frecuencia que los humanos pueden oír. Las ondas rebotan en las alteraciones del aire circundante causadas por la fuga de gas o vapor, que luego se convierte electrónicamente en un sonido útil que es escuchado por el oído humano.

Doblador o curvador. Para poder adaptar correctamente los tubos sin perjudicar su función, esta herramienta es necesaria para hacer que la estructura de los tubos de cobre se curve sin quebrarse.

ILUSTRACIÓN 22. DOBLADOR O CURVADOR.

Juego de manómetros con mangueras. Debe seleccionarse para el refrigerante adecuado. Los juegos de manómetros de refrigerantes sintéticos no son compatibles para sistemas de amoniaco, así como los juegos de mangueras de C02 deben estar diseñadas para las presiones de sistemas transcriticos que deben resistir valores de hasta los 95 bar.

ILUSTRACIÓN 23. MANÓMETROS

Los manómetros digitales permiten grabar registros y calcular sobrecalentamientos, subenfriamientos automáticamente, con selección del refrigerante.

ILUSTRACIÓN 24. BOMBA DE VACÍO

Bombas de vacío. La bomba de vacío es un equipo diseñado para extraer gases del interior de las tuberías del sistema RAC, reduciendo la presión a valores inferiores a la atmosférica. Debe seleccionarse en función del tipo de refrigerante. En sistemas que usan hidrocarburos como refrigerante (o refrigerantes A2L) deben emplearse bombas de vacío diseñadas para este propósito.

Una bomba de vacío generalmente se selecciona por su capacidad de extraer gases expresada en «CFM» o pies cúbicos por minuto.

sistemas residenciales típicos necesitan 4-5 CFM, mientras que los sistemas comerciales y de techo generalmente necesitan tanto como 6-8 CFM.

Vacuómetro. Es un dispositivo capaz de proporcionar información sobre el estado de deshumidificación, dicho de otro modo, tiene la capacidad de poder medir la presión de vacío necesaria para un vacío profundo en un sistema de refrigeración y climatización. La evacuación de un sistema se completa cuando un sistema tiene al menos unos 500 micrones. Un conjunto de manómetros analógicos solo indica que se está produciendo un vacío. Se utiliza en conjunto con la bomba de vacío

Termómetro. Es un instrumento de medida de la temperatura. Puede ser de lectura directa o indirecta, según que la indicación se realice en el propio instrumento o bien se lea a distancia en un instrumento indicador. Los termómetros se emplean para para el cálculo de parámetros claves, como sobrecalentamiento, subenfriamiento, temperatura de gas de descarga, y superficies o tuberías del proceso, conocer la temperatura del sistema en diferentes puntos de la tubería.

ILUSTRACIÓN 25. TERMÓMETROS

ILUSTRACIÓN 26. BALANZA ELECTRÓNICA.

Báscula electrónica. Se utiliza para pesar gases refrigerantes, permite cargar los sistemas por peso de refrigerante.

Cortador de tubo. Es una herramienta de corte para tubos de metal, especialmente usado sobre cobre. Se emplea para realizar cortes en ángulo recto. El corte se efectúa colocando el tubo entre los dos rodillos de la herramienta y la rodaja de corte.

Pinza amperimétrica. Es una herramienta de medición eléctrica que combina un multímetro digital básico con un sensor de corriente. Las pinzas miden la corriente. Las sondas miden la tensión. Tener una tenaza batiente integrada en un instrumento eléctrico permite a los técnicos colocar las tenazas de la pinza alrededor de un alambre o cable, y el otro conductor en cualquier punto de un sistema eléctrico para medir la corriente en dicho circuito sin desconectarlo /desactivarlo.

ILUSTRACIÓN 27. PINZA AMPERIMÉTRICA

Multímetro digital. Es un instrumento de medición usado para medir dos o más valores eléctricos. Con él se puede verificar voltajes, continuidad, intensidad de corriente o resistencia eléctrica. Es una herramienta de diagnóstico estándar para los técnicos de las industrias eléctricas y electrónicas.

ILUSTRACIÓN 28. MULTÍMETRO DIGITAL.

Abocardador. El abocardador también se conoce como abocinador, debido a la forma que imprime al extremo de los tubos. Esta herramienta se utiliza para el abocardado de tuberías flexibles.

Sirven para extender en forma cónica los extremos del tubo que se deben colocar sobre los chaflanes de la conexión.

ILUSTRACIÓN 29. CILINDRO RECUPERADOR.

Cilindro recuperador. El tanque de recuperado es una herramienta necesaria de todo técnico profesional y responsable pues garantiza que no se contamine el ambiente al no 'ventear' refrigerante a la atmósfera, además de que puede ser una forma de economizar pues en algunos casos este mismo refrigerante pudiese volver a ser utilizado. Estos tanques deben cumplir con las especificaciones del Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América (DOT, por sus siglas en inglés).

Equipo recuperador de refrigerantes. Es el equipo que transfiere el gas desde el sistema de refrigeración hasta un cilindro sin aplicarle ningún proceso al refrigerante.

Herramienta de mano a usar:

- Llave ratchet de refrigeracion.
- Juego de llaves para tubos.
- Martillo Pequeño.
- Destornilladores.
- Llaves regulables.
- Alicate universal, plano y extremos cuadrados.
- Juego de llaves para tuercas.
- Sierra para cortar metal.
- Lima plana semifinal.
- Juego de brocas.

2.4. CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN DE ACUERDO A SU APLICACIÓN.

Las aplicaciones de un sistema de refrigeración están básicamente determinadas por el ANSI/AHRI Standard 540, en el cual se da una clasificación en función de la temperatura de evaporación, así:

TABLA 11. TABLA DE EVAPORACIÓN DE ACUERDO A LA APLICACIÓN.

Aplicación	Temperatura de evaporación
Aire acondicionado y bomba de calor	23,33°C a 12,78°C
Refrigeración - Alta temperatura	-6,66°C a 10°C
Refrigeración - Media temperatura	-23,33°C a 0°C
Refrigeración - Baja temperatura	-40°C a -12,22°C
Refrigeración - Media temperatura extendida	-31,67°C a -3,89°C

Las relaciones compresión recomendadas son:

- Media Temperatura: la relación de compresión de diseño oscila entre 3:1 a 4:1
- Media Extendida: la relación de compresión de diseño oscila entre 4:1 a 5:1
- Baja Temperatura: la relación de compresión de diseño oscila entre 18:1 a 20:1

2.4.1. Determinación de la presión de succión.

Se utilizan básicamente dos métodos:

i. Conociendo la temperatura de evaporación en función de una aplicación especifica.
ii. En función del salto térmico en el evaporador (ΔT), la cual se define como la diferencia entre la temperatura del aire que entra al evaporador y la temperatura de evaporación del refrigerante (Te). La temperatura a la que entra el aire al evaporador suele considerarse igual a la temperatura de cámara o de conservación del producto (Tp), por lo tanto, se puede decir que:

$$\Delta T = T_p - T_e \rightarrow T_e = T_p - \Delta T$$

TABLA 12.HUMEDAD RELATIVA Y ΔT.

ΔT °C (convección forzada)	HR %
4,4 – 5,5	95 – 91
5,5 – 6,6	90 – 86
6,6 – 7,7	85 – 81
7,7 – 8,8	80 – 76
8,8 – 10	75 – 70

Fuente: Principios de Refrigeración, Roy Dossat

2.4.2. Determinación de la presión de descarga.

El condensador suele ser de un 35% a un 40% más grande que el evaporador, dependiendo de factores como la temperatura de evaporación del sistema, refrigerante, etc. Para poder condensar ha de haber de 10°C a 15°C de ΔT entre la temperatura de condensación a la presión de alta y temperatura del medio condensable o temperatura ambiente.

$$\Delta T = T_{condensaciòn} - T_{ambiente}$$

Para condensadores compactas enfriados por aire con convección forzada, se cumple la siguiente regla:

$$T_{condensaciòn} = T_{ambiente\ màxima} + 10°C\ a\ 15°C$$

Para condensadores enfriados por aire remotos, se cumple que:

$$T_{condensaciòn} = T_{ambiente\ màxima} + 10°C$$

Para condensadores enfriados por agua se cumple que:

$$T_{condensaciòn} = T_{ambiente\ agua} + 7°C$$

Ejemplo: En el caso de condensadores enfriados por aire con condición de entrada del aire al condensador de 35°C y si este fue seleccionado con ΔT de 11,11°C querría decir que la temperatura de condensación seria 46,11°C y si el sistema trabaja con R-404A presión sería de 291 Psig .

Como quiera que los ΔT no son estándar, una manera de llevar esto a un estándar es usando los criterios de ASHRAE. Los índices de condensadores refrigerados a aire están basados en la diferencia de temperatura (ΔT) entre la temperatura del aire que ingresa al serpentín y la temperatura de condensación saturada (que corresponde a la presión en la salida del condensador). En este caso los valores típicos de la ΔT son:

- de 5 a 9 K para sistemas de baja temperatura en un evaporador de temperatura de -30 a -40C,
- de 8 a 11 K en sistemas de temperatura mediana en un evaporador de temperatura de -7C, y
- de 14 a 17 K para sistemas climatizadores en un evaporador de temperatura de 7C.

3. BUENAS PRÁCTICAS EN LA INTERVENCIÓN DE SISTEMAS RAC.

3.1. RECUPERACIÓN Y REGENERADO DE GASES REFRIGERANTES.

Recuperar el gas refrigerante es el primer paso para reparar, hacer mantenimiento o cambios de dispositivos como tuberías, válvulas, instrumentos, sensores, etc., a un sistema de refrigeración o aire acondicionado en caso de que éste contenga refrigerante. En este proceso se transfiere el refrigerante en estado líquido o gaseoso, desde el sistema hasta un cilindro para recuperación. Si el refrigerante recuperado no está contaminado, se puede utilizar nuevamente en el sistema del cual se extrajo o en otro de similares características. Si el gas recuperado presenta impurezas, antes de recargarlo al sistema se lo debe pasar por un proceso de reciclado o regenerado en el sitio o en un lugar especializado, dependiendo de las necesidades. En caso de estar irreversiblemente contaminado, el gas debe almacenarse para su disposición final.

El reciclaje de refrigerantes se entiende como el proceso por medio del cual se extraen contaminantes como aceite, partículas en suspensión y humedad de la sustancia refrigerante. Para este proceso se utilizan filtros deshidratadores de tipo recargable de bloques desecantes.

La regeneración consiste en tratar un refrigerante para llevarlo al grado de pureza correspondiente a las especificaciones del refrigerante virgen, lo cual es verificado por un análisis químico. La máquina que se utilice para este cometido debe cumplir con la norma AHRI 700-93. El elemento clave de la regeneración es que se efectúe una serie completa de análisis, y que el refrigerante sea sometido a reprocesamiento hasta poder satisfacer las especificaciones correspondientes al refrigerante virgen. Si el refrigerante recuperado de sistemas de refrigeración y aire acondicionado presenta un alto nivel de contaminación (debido a un elevado contenido de acidez, presencia de impurezas o mezcla con otros refrigerantes de diferente composición), no puede ser reutilizado y debe ser sometido a disposición final. Esta disposición debe realizarse exclusivamente mediante tecnologías de destrucción aprobadas por el Protocolo de Montreal, tales como incineración en horno de alta temperatura, plasma de arco o pirólisis asistida, las cuales aseguran la descomposición segura y ambientalmente racional de las SAO´s y otras de alto PCG.

3.1.1. Recuperación en el propio equipo.

Su finalidad es recuperar todo el refrigerante en una parte del circuito (unidad exterior, condensadora o depósito de líquido). Para llevarla a cabo, se necesita por lo menos una válvula o llave de servicio que corte el paso de la sustancia. Se cierra el paso de la válvula con el equipo en marcha, por lo que el compresor vaciará de refrigerante la instalación almacenándolo en la zona prevista.

El proceso se da por terminado cuando la presión del manómetro se aproxime a la lectura de 0 bar, desconectando entonces la alimentación del equipo.

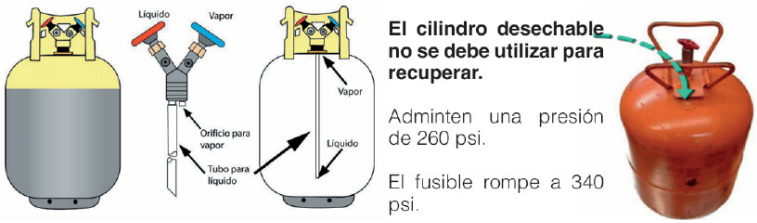
3.1.2. Recuperación de refrigerante en un cilindro.

El refrigerante puede extraerse en forma de vapor o de líquido, o en el estado parcialmente líquido y de vapor. En el sistema circula también aceite lubricante, por lo que, si se extrae en estado gaseoso, es más probable que el aceite permanezca en el circuito. Esto resulta deseable por dos razones:

I. Si el aceite está contaminado, puede que sea necesario manejarlo como residuo tóxico. En estos casos, es fundamental adoptar muchas más precauciones y debe estar disponible un técnico con certificación para manejo de residuos tóxicos.

II. Si el aceite permanece en el sistema, no será necesario medirlo y volverlo a introducir, lo que ahorrará tiempo y dinero. El técnico debe prestar una cuidadosa atención al manejo del aceite de cualquier sistema.

Cabe destacar que los refrigerantes sólo deben transferirse a cilindros normalizados, los cuales son reconocibles por su color y tipo de válvula. Su extremo superior es de color amarillo, el cuerpo gris y poseen una válvula especial que permite añadir o extraer líquido o vapor de estos. El cilindro debe estar limpio y en un vacío profundo antes de iniciar el proceso de recuperación o reciclado.

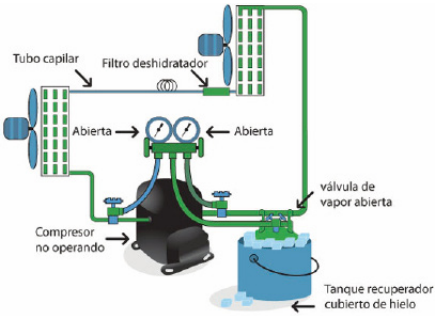


3.1.3. Técnicas de recuperación a un cilindro.

3.1.3.1. Recuperación sin equipo.

En este método no se utiliza un equipo de recuperación. Para generar la diferencia de presión necesaria se emplean técnicas recursivas que buscan disminuir la presión en el. cilindro de recuperación y elevar la presión del refrigerante en el sistema. Para ello se mantiene el cilindro sumergido en agua fría (con hielo de ser posible) y simultáneamente se calientan con un soplador de aire caliente los componentes de sistema (compresor, condensador, evaporador). Nunca emplear llama para este propósito.

ILUSTRACIÓN 31. PROCESO DE RECUPERACIÓN SIN EQUIPO.



Fuente: Manual de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

Los métodos de recuperación sin equipos no permiten hacer vacío ni alcanzar una presión manométrica igual a cero; por lo tanto, no recuperan el 100% del refrigerante del sistema. La cantidad de refrigerante recuperada dependerá de las condiciones ambientales, de la carga de refrigerante, de la eficiencia de la técnica empleada, entre otros factores. El cilindro de recuperación debe estar completamente vacío, libre de gases contaminantes, aire filtrado por apertura de válvulas o residuos de refrigerantes recuperados en anteriores procesos.

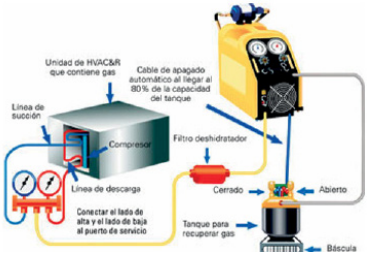
3.1.3.2. Recuperación con equipo.

Para retirar el 100% de refrigerante de un sistema, se necesita de un equipo o máquina capaz de generar la diferencia de presión requerida entre el sistema y el cilindro de recuperación. Estas máquinas permiten extraer el refrigerante de una manera más segura, evitando que se almacenen gases no deseables o sustancias como el aceite del compresor, en el cilindro recuperador, se debe tener en cuenta que cuando se recupera Refrigerante R-410A se necesitará un tanque con especificaciones DOT 400 }, esto es importante recalcarlo pues los tanques estándar DOT 350 no han sido diseñados para el manejo seguro de las altas presiones del R-410A.

Luego de haberse asegurado de tener el tanque de depósito adecuado para la labor de recuperación, se debe ser cuidadoso y no llenarlo más del 80% de su capacidad, de acuerdo con lo establecido en los reglamentos DOT para seguridad en el manejo de refrigerantes.
Existen cuatro formas de recuperar el refrigerante con equipo:

• **Método de recuperación en fase liquida.** El tipo de recuperación en fase líquida se utiliza cuando los equipos son muy grandes o de volumen de refrigerante considerable. Otra forma es extraer el refrigerante del tanque recibidor con bombas centrífugas o bombas neumáticas y enviarlas directamente a los tanques de recuperación.

ILUSTRACIÓN 32. MÉTODO DE RECUPERACIÓN EN FASE LÍQUIDA.



Fuente: Manual de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

En caso de que la máquina de recuperación no tenga un sistema de evaporación, se debe proteger contra la llegada de refrigerante líquido utilizando el juego de manómetros para ir dosificando, mediante las válvulas de operación, su ingreso desde el sistema a la máquina (utilizándolas como si fueran un dispositivo de expansión) durante las etapas iniciales de la recuperación.

• **Método de Recuperación en Líquido y Vapor.** Es importante saber el tipo y la cantidad de refrigerante que se va a recuperar. Es un proceso muy sencillo utilizado en cualquier sistema que no contenga cantidades de refrigerante mayores a los 9 Kg. de carga.

Previamente hay que retirar las válvulas pivote de los puertos de servicio, utilizar mangueras con válvulas de bola integradas y tratar de retirar primero el líquido del sistema y después el vapor restante, esta acción acelera la velocidad de recuperación del refrigerante.

Si cuando se empieza a retirar líquido del sistema el compresor de la maquina recuperadora suena, es importante saber que eso lo daña debido a que esto reduce notablemente su vida útil. Siempre debe hacerse la recuperación del lado de vapor en el tanque recuperador, esto reduce la posibilidad de la presencia de refrigerante líquido remanente en las líneas, así se garantiza un proceso más limpio. Durante la recuperación de gas, al momento de terminar y retirar las mangueras, pudiera salir una línea de refrigerante líquido al terminar.

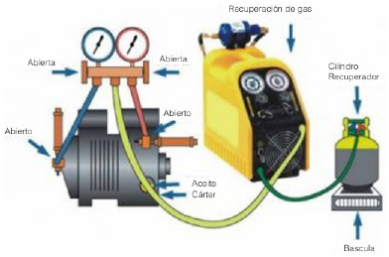
Se debe tomar en cuenta algunas observaciones en este proceso:

- El proceso aprobado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental), es instalar válvulas del lado de alta y baja presión, el refrigerante se extrae y se condensa en el cilindro recuperador.
- Se estima una recuperación del 80% del refrigerante debido que parte del refrigerante se recupera en fase líquida y otra parte en fase vapor.
- Es importante extraer el refrigerante de ambos lados.

• **Método de recuperación en fase de Vapor.** La recuperación de refrigerantes en fase de vapor es un poco más lenta y por consecuencia involucra un mayor tiempo para evacuar sistemas. Cuando los sistemas son grandes y en el diseño existen largos tramos de tubería, la práctica de recuperación en fase de vapor no es recomendada, pero en sistemas

pequeños fraccionarios y hasta de 5 toneladas de refrigeración la recuperación en vapor puede ser una solución.

ILUSTRACIÓN 33. MÉTODO DE RECUPERACIÓN EN DASE DE VAPOR



Fuente: Manual de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

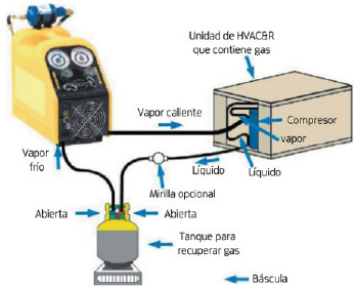
Para este proceso se requiere que las mangueras tradicionales de ¼" de diámetro sean sustituidas por mangueras de 3/8" de diámetro que ayudarán al proceso de recuperación. En este proceso, se utiliza una máquina recuperadora que absorbe el refrigerante en fase de vapor y lo condensa para trasladarlo al cilindro de recuperación.

Hay dos formas de conectar la máquina para recuperar vapor, según sea el caso:

I. En el juego de manómetros de los dos lados del compresor (sistemas comerciales medianos).
II. Sólo del lado de baja, donde hay que instalar una válvula pinchadora para extraer el refrigerante, y la cantidad a recuperar es pequeña (refrigeradores domésticos, aires acondicionados de baja capacidad).

• **Método Push-Pull de recuperación Liquida.** Este proceso es utilizado cuando se tienen equipos de gran tamaño donde la extracción del refrigerante puede involucrar un tiempo considerable por la cantidad contenida en el sistema.

ILUSTRACIÓN 34. MÉTODO PUSH-PULL DE RECUPERACIÓN LÍQUIDA



Fuente: Manual de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

La operación de "Push-Pull" se lleva a cabo utilizando el vapor del cilindro para empujar el refrigerante líquido fuera del sistema. Se conecta una manguera desde el lado del líquido de la unidad cuyo refrigerante se desea extraer a la válvula del líquido del cilindro de recuperación. Se conecta otra manguera desde la válvula de vapor del tanque recuperador a la entrada de la succión de la recuperadora y finalmente, se conecta una tercera manguera desde la salida o la descarga de la máquina recuperadora al puerto de vapor del equipo.

El tanque recuperador succionará el refrigerante líquido (movimiento pull) de la unidad de climatización desactivada cuando la máquina recuperadora haga disminuir la presión del cilindro.

El vapor succionado del tanque recuperador por la máquina recuperadora será empujado de vuelta (movimiento push), comprimido hacia el lado que corresponde al vapor en la unidad desactivada.

Una vez que la mayoría del refrigerante haya sido cargado del sistema al tanque recuperador, la recuperadora comenzará a ciclar, controlada por su presostato de baja presión de succión, removiendo el resto del refrigerante en forma de vapor. Cuando la máquina de recuperación ya no continúe ciclando y se detenga por completo, eso indica que se ha recuperado todo el refrigerante posible del sistema.

La recuperación se debe realizar en cilindros especiales para este uso. Tenga en cuenta que los cilindros aptos para este almacenamiento son retornables y poseen características aptas para esta actividad. No se deben reutilizar los cilindros comerciales o no retornables debido a normas de seguridad. Todo cilindro de recuperación debe contar con su ficha de recuperación, donde se identifique la serie del cilindro, tipo de refrigerante almacenado, peso, fecha y motivo por el cual se recuperó el refrigerante.

No mezclar refrigerantes de diferente composición en un mismo cilindro, si esto se presenta, la sustancia no podrá reutilizarse de nuevo, será considerada no reciclable, y deberá ser llevada a un Centro de Acopio de refrigerantes o a un gestor de residuos autorizado para su disposición final adecuada.

3.1.4. Recomendaciones para recuperar gas refrigerante.

• Utilizar cilindros para recuperar refrigerantes con la certificación DOT (Department Of Transportation). Estos cilindros se tienen que probar cada cinco años.
• Utilizar cilindros vacíos y limpios y con un vacío lo más bajo que permita la bomba de vacío disponible, al menos 250 micrones.
• No debe cargarse el cilindro más allá del 80% de su capacidad.
• Si existe la posibilidad de que pueda estar expuesto a una temperatura mayor de 54°C (130°F), sólo debe llenarse hasta el 60% de su capacidad. Esta limitación permitirá que el refrigerante se expanda cuando el cilindro se caliente sin que se dispare la válvula de seguridad.
• Si no se deja el espacio suficiente, cuando el refrigerante se expanda puede ocasionar que el cilindro explote si falla la válvula de seguridad.
• Dependiendo del equipo que se tenga para recuperar refrigerante, existen diferentes métodos para determinar que se llegó al 80 % de su capacidad: se puede calcular mediante el uso de una báscula o con un tanque con flotador integrado conectado al dispositivo de apagado (Shut off) de la maquina recuperadora.
• Se debe tener cuidado de no dejar refrigerante líquido atrapado en las válvulas.
• No deben mezclarse los refrigerantes. Las mezclas de refrigerantes no son reciclables
• Se debe marcar el tipo del gas refrigerante contenido en el cilindro recuperador, si se tienen varios, habrá que etiquetarlos con nombre del gas que contiene.

• Los cilindros deben manejarse con cuidado. No azotarlos o golpearlos contra el piso.
• Siempre deben mantenerse en posición vertical. Además de amarrarlos o encadenarlos para evitar que se caigan.
• NUNCA debe calentarse un cilindro con un soplete de flama abierta.

3.1.5. Sustancia refrigerante residual.

Un residuo es toda aquella sustancia o producto que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o infecciosas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. En este sentido, si se ha recuperado un gas refrigerante, que no puede ser reincorporado al sistema porque ha sido extraído de un equipo que ha sufrido quema de compresor (con alto contenido de acidez) o se va a realizar una reconversión a otro refrigerante, o se ha dado una mala práctica y se ha mezclado con uno de diferente composición, se considera una sustancia residual, y como tal debe ser direccionada a un proceso de destrucción.

Se debe tener claridad que el generador es responsable de los residuos o desechos peligrosos que él genere. La responsabilidad se extiende a sus afluentes, emisiones, productos y subproductos, por todos los efectos ocasionados a la salud y al ambiente. Las principales obligaciones del generador son:

• Garantizar que el envasado o empacado, embalado y etiquetado de sus refrigerantes residuales se realice conforme a la normatividad vigente.
• Mantener y suministrar a quien transporta los refrigerantes residuales las respectivas Hojas de Seguridad.
• Divulgar el riesgo que estos residuos representan para la salud y el ambiente, además, brindar el equipo para el manejo de estos y la protección personal necesaria para ello.

Tenga en cuenta que se prohíbe:

• Quemar refrigerantes residuales a cielo abierto.
• Ingresar refrigerantes residuales en rellenos sanitarios ya que no existen celdas de seguridad dentro de éste, autorizadas para la disposición final de este tipo de residuos.
• La disposición o enterramiento de refrigerantes residuales en sitios no autorizados para esta finalidad por la autoridad ambiental competente.
• El abandono de refrigerantes residuales en vías, suelos, humedales, parques, cuerpos de agua o en cualquier otro sitio.

La experiencia ha demostrado que es muy complicado lograr un manejo adecuado de este tipo de residuos peligrosos, inclusive en los países industrializados. Frente a las dificultades económicas y tecnológicas que experimentan los países en la destrucción y/o eliminación de estas sustancias, la mejor manera de contribuir es evitando su formación a través de la realización de buenas prácticas.

Para el caso de envases de refrigerantes, se recomienda consultar la Guía Q, expedida por el Instituto de Refrigeración, Aire Acondicionado y Calefacción - AHRI - de los Estados Unidos, sobre recuperación de contenido y reciclaje apropiado de cilindros de refrigerante, la cual ofrece un procedimiento para recuperar el contenido y posterior reciclaje de cilindros.

3.2. PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA Y ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN SISTEMAS RAC.

Los contaminantes son potentes enemigos del sistema de refrigeración y aire acondicionado. En el interior del sistema solo debe existir refrigerante y aceite, y cualquier otra sustancia es un contaminante, que a corto o mediano plazo provocará una falla. Los contaminantes se pueden clasificar en tres grandes grupos primarios:

• Humedad: causa principal de la congelación de las válvulas, produce acidez en el sistema y cuando reacciona con el refrigerante puede causar corrosión.
• Aire: es la principal causa de elevadas temperaturas mientras se está utilizando el aire acondicionado, ya que favorece la inestabilidad del gas refrigerante, cuando se mezcla con el aceite se puede producir una especie de barro que disminuye la eficacia en la refrigeración y además permite que la humedad entre al sistema.
• Suciedad: puede obstruir la tubería del sistema o las válvulas de expansión también puede crear acidez llevando a la misma acción abrasiva acelerando el deterioro del sistema.
Estos contaminantes usualmente ingresan de forma combinada al sistema. La presencia de contaminantes y altas temperaturas internas, provocan complejas reacciones químicas que favorecen la creación de nuevos contaminantes. El escenario es indeterminado, debido a que los síntomas se manifiestan en función del grado de contaminación del sistema, el volumen interno, el tipo de refrigerante, el tipo de aceite y las diversas características constructivas. Sin embargo, el resultado siempre es el mismo: falla del compresor.

3.2.1. Limpieza de un sistema de RAC.

La limpieza de sistemas es uno de los procesos más importantes para el buen funcionamiento de los equipos de refrigeración y aire acondicionado. Hacer una buena limpieza es eliminar toda la posible suciedad que se encuentre en nuestro sistema.

Los casos más usuales en que se debe realizar esta tarea pueden ser, cuando el motocompresor se haya quemado, al hacer un cambio de aceite y/o refrigerante, o si se requiere efectuar una limpieza por cualquier otro factor.

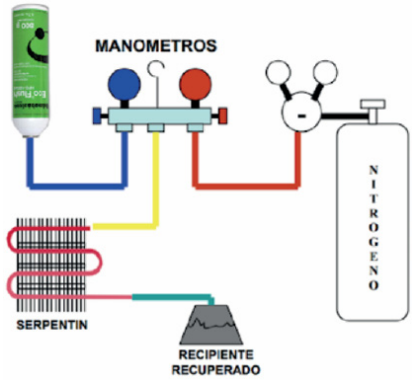
Cuando un sistema de refrigeración se contamina con agua, o por quema del bobinado del motor, se debe realizar un proceso de barrido y limpieza del sistema dependiendo del grado de contaminación, para tomar la decisión de realizar o no una descontaminación a fondo, se debe revisar el compresor en el caso de los sistemas semiherméticos; y en los herméticos al observar una muestra de aceite de la unidad, y realizar una prueba de acidez.

En el caso de una contaminación leve por humedad, con el proceso de vacío y la acción de filtro deshidratador se puede dar solución, mientras que, con una contaminación severa, se recomienda realizar una limpieza del sistema, inyectando nitrógeno seco y utilizar un agente de limpieza adecuado o filtros de alta eficiencia o de quemado.

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

i. Retirar el refrigerante del sistema mediante una máquina recicladora y un cilindro de recuperación, siempre respetando todos los criterios técnicos y de seguridad involucrados.
ii. 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. separándolos unos de otros si fuese posible, para facilitar su limpieza En todo este proceso, se debe retirar la mayor cantidad posible de aceite contaminado.
iii. 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, puntos de medición y cualquier modificación que permita tener un sistema más amigable para futuras intervenciones, evitando hacer conexiones roscadas y empleando conexiones soldadas cuando sea posible y lógico.
iv. Instalar el compresor de reemplazo y sustituir el filtro de líquido (secador). Es recomendable aumentar la capacidad del filtro indicado, hasta terminar el proceso de limpieza. Luego de esto se debe realizar los procesos de buenas prácticas hasta poner el sistema en funcionamiento.

ILUSTRACIÓN 35. PROCEDIMIENTO DE FLUSHING (LIMPIEZA) CON AGENTE DE LIMPIEZA Y NITRÓGENO.



Fuente: Guía para utilizar correctamente Quimobásicos Eco® Flush 1233zd presurizado.

3.2.1.1. Filtros de alta eficiencia.

En los procesos de limpieza algunas veces se hace necesario utilizar filtros de alta eficiencia, los cuales poseen características especiales, que son las que hacen que el filtro sea capaz de eliminar ceras, lodos, barnices, partículas, humedad y ácidos, estas características son:

- Núcleo formulado con criba molecular, para alta capacidades eliminación de agua, y alúmina activada, para eliminación de ácidos.
- Carbón activado que junto con los otros desecantes elimina ceras, resinas y otros productos de la descomposición del aceite.
- Núcleo poroso moldeado, para asegurar una porosidad uniforme en toda la longitud y superficie del núcleo.
- Malla de seguridad a la salida, número 100 que recoge partículas que hayan podido desprenderse del núcleo durante el ensamble o protección en caso de rotura del núcleo.

Los filtros de alta eficiencia son más efectivos en la línea de líquido, colóquelo inmediatamente antes de cualquier otro control como válvula de expansión termostática, válvula solenoide o indicador de líquido y humedad. La capacidad de eliminación de ácido del filtro es la misma en la línea de líquido o en la línea de succión, aunque son más frecuentemente instalados en la línea de succión, justo antes del compresor. Este procedimiento es usado para limpiar un sistema nuevo o sistema que ha sufrido la quema de un compresor hermético.

3.2.1.2. Prueba de acidez.

La prueba de acidez es un procedimiento que se puede realizar tanto en la instalación como en el taller de servicio para determinar si el contenido de ácido del aceite se encuentra dentro de los límites de operación segura para un sistema de refrigeración en particular. La prueba se basa en la reacción química de soluciones con una muestra de aceite tomada del sistema de refrigeración.

La presencia de ácidos en el sistema de refrigeración es indicio de una próxima quemadura del compresor. Hay que eliminar de inmediato la acidez en el sistema mediante el reemplazo de los filtros deshidratadores correspondientes en las líneas de líquido, succión, y si el sistema lo permite, en la línea de retorno de aceite. Los sistemas con refrigerantes HFC y con aceite POE, son mucho más propensos que los sistemas que usan refrigerantes y aceites tradicionales para captar humedad rápidamente y generar acidez, por lo que requieren más cuidados.

En el mercado existen diferentes presentaciones de esta prueba, con rangos y aplicaciones específicas que responden a las recomendaciones de su respectivo fabricante. En general, si se sospecha de la presencia de acidez y, antes que ocurra un daño extensivo y/o una quema de motor, se debe probar el sistema de refrigeración para determinar si el contenido de ácido del aceite está dentro de los límites aceptables que propone el fabricante del equipo.

ILUSTRACIÓN 36. PRUEBA DE ACIDEZ.

El fabricante de un kit para pruebas de acidez debe indicar el código de colores para leer los resultados de la prueba, así como las especificaciones y rangos que aplican según el tipo de aceite a analizar.

El probador de acidez es ideal para ser usado con todos los tipos de aceite de refrigeración, incluyendo el aceite Polioléster (POE).

Precaución: Antes de obtener la muestra de aceite asegúrese de que la presión del cárter del compresor o del recibidor de aceite sea igual a la presión atmosférica. Use los métodos apropiados de recuperación cuando sea necesario. Pasar por alto estas recomendaciones puede ocasionar daños al sistema y/o heridas al usuario.

Advertencia: Las sustancias químicas del probador de acidez son tóxicas e inflamables, pero representan mínimos riesgos si se usa apropiadamente. Consérvese en un lugar seguro, en donde no se permita fumar o esté al alcance de los niños

3.2.2. Barrido de un sistema RAC.

El barrido es procedimiento empleado para retirar elementos extraños del interior de tuberías de refrigeración, como polvo, limaduras, residuos de soldadura, adicionalmente retira altos contenidos de humedad presentes en las tuberías por inadecuada disposición de éstas antes de conectarse al sistema. El barrido igualmente se realiza siempre que haya quema de compresor, como complemento a la limpieza.

El procedimiento básico de barrido consiste en hacer fluir nitrógeno por la tubería del sistema de refrigeración. Por ser este un gas inerte, que no provoca ningún tipo de contaminación en las partes internas del sistema, y que al ser expulsado a la atmosfera por el extremo libre de las tuberías del sistema no causa ningún daño al medio ambiente y permite la eliminación de contaminantes.

Para mejorar este procedimiento se acostumbra a obturar con la mano intermitentemente el extremo libre para acelerar la salida de estos residuos.

Como referencia, en sistemas domésticos se ajusta la presión de salida en el regulador de nitrógeno máximo a 120 psig. Es un método poco costoso, versátil y muy seguro si se cumple con todas las normas que demanda la utilización de gases de alta presión.

3.2.2.1. Herramientas y equipos requeridos para barrido.

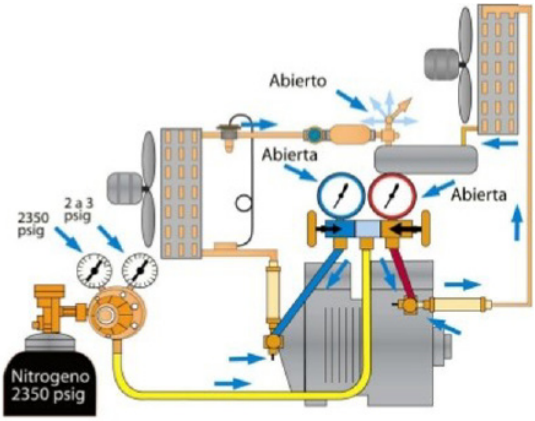
Para un óptimo desarrollo del procedimiento se debe contar con herramientas, equipos y elementos de protección personal para evitar y prevenir accidentes que puedan afectar la salud del técnico y personas alrededor, estos equipos son:

• Cilindro para nitrógeno: son cilindros diseñados para contener gases comprimidos a alta presión (puede variar entre 1800 y 2000 psig, el valor más común para la presión de carga es 2000 psig). Están construidos de acero, sin costura y tratados térmicamente; su espesor de pared varía entre 3 y 5 mm, salvo en la base y el hombro donde el espesor es mayor para hacer seguro el manejo y permitir el estampado.

• Válvula del cilindro: cada cilindro tiene una única válvula especial y distinta, dependiendo del gas que contenga, determinada por la entidad que desarrolla y promueve estándares y prácticas de seguridad en aplicaciones industriales de gases, conocida como CGA (Compressed Gas Association). Esta válvula permite llenar, transportar y vaciar el contenido del cilindro en forma segura.

• Regulador de presión para nitrógeno: es un dispositivo que permite mantener la presión de salida o de servicio constante, independiente de la presión y del flujo de entrada proveniente del cilindro.

ILUSTRACIÓN 37. BARRIDO CON NITRÓGENO.



3.2.2.2. Precauciones en el proceso de barrido.

Es esencial que el técnico de servicio tenga un completo entendimiento, sobre aspectos de seguridad en el manejo y almacenamiento de los refrigerantes y/o agentes de limpieza.

Es necesario que, en el manejo de cualquier tanque o cilindro, ya sea de refrigerante o de limpieza se utilicen guantes y lentes de seguridad, para así protegerse de cualquier incidente que se pudiese presentar, como por ejemplo quemaduras. Otro factor que se debe tomar en cuenta es la responsable manipulación de los cilindros de nitrógeno. Se debe mantenerlos en lugares seguros, donde no estén expuestos al calentamiento excesivo ni golpes o caídas; con el fin de prevenir accidentes durante el desempeño del trabajo. Otras recomendaciones:

- Cuando se utiliza nitrógeno como agente impulsor, se debe revisar muy bien el estado de las mangueras del manómetro, utilizando preferentemente un dispositivo en tubería de cobre para efectuar la conexión entre el regulador del cilindro la pipa de nitrógeno y el manómetro de refrigeración.
- La manguera roja se utilizará para conectar al sistema el manómetro de refrigeración porque en este punto la presión puede ser mejor controlada. De no contarse con una manguera de alta presión (roja) o tener dudas de su buen estado; para efectuar la conexión entre el equipo y el manómetro de refrigeración, se debe utilizar otro dispositivo en tubería de cobre.
- En sistemas de refrigeración domésticos, se puede iniciar el barrido con una presión de 30PSI en la parte del tubo capilar y de manera progresiva se puede aumentar sin que se pase de 80PSI, una presión suficiente para el tipo de sistema y diámetro de tubería que permitiría la eliminación de suciedad o partículas.
- Para equipos de mayor capacidad y diámetro de tubería, se puede llegar a requerir de una mayor presión, que bien podría ser 100PSI, pero se debe tener un especial cuidado con el fin de evitar una ruptura en algunos acoples soldados y las mangueras utilizadas, que se pueden averiar produciendo un efecto de látigo y hasta causar alguna lesión al operario.
- Una inadecuada manipulación o transporte del cilindro puede provocar daños a la válvula o la ruptura del cilindro y puede exponer al usuario a todos los riesgos asociados, por estas razones, todas las personas que manejen estos cilindros deben utilizar un equipo de protección básico que consiste en: guantes para proteger las manos de rasguños o heridas; gafas para proteger los ojos de los daños asociados con la liberación de presiones y botas de seguridad con punteras reforzadas en caso de caída del cilindro.

3.3. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD O PRESURIZACIÓN DE UN SISTEMA RAC.

Procedimiento empleado para verificar que no existan fugas en el sistema, llamada prueba de estanqueidad. El sistema se carga con un gas inerte, comúnmente nitrógeno, que debe ser seco libre de oxígeno, calidad industrial que permita alcanzar un valor de presión de prueba estipulado por norma, por el fabricante o diseñador. Después de un tiempo determinado, se verifica que la lectura en el manómetro de salida del regulador de nitrógeno no haya disminuido, de lo contrario, existe una fuga en la tubería que debe ser reparada.

Cuando se utiliza nitrógeno para presurizar un sistema en la detección de fugas el método correcto, es presurizar poco a poco e ir buscando la fuga, y dependiendo del equipo, se debe establecer una presión de inicio, que puede estar comprendida entre 30 y 60 PSI para iniciar y que se puede ir aumentando paulatinamente conforme se observe o no una variación en la presión de control del manómetro, un aspecto que no todos los técnicos tienen en cuenta. Un sistema no se puede presurizar de manera excesiva; 80/100 psig se puede considerar como una presión satisfactoria para buscar una fuga y se considera segura hasta cierto punto, para ser aplicada a un sistema tipo industrial; el excederse no deja de ser un riesgo porque se puede producir una ruptura o desacople de tubería.

Algunos fabricantes de equipos de aire acondicionado recomiendan presurizar el sistema en dos etapas, la primera se debe mantener durante pocos minutos para hallar las fugas más importantes y una segunda a mayor presión, que se debe mantener durante 24 horas para hallar las fugas más pequeñas. Ningún sistema de refrigeración se debe presurizar con oxígeno y mucho menos con acetileno. Se deben guardar todas las normas de seguridad en el manejo del nitrógeno. Es la mejor forma de evitar un accidente laboral y/o incurrir en un daño mayor en el equipo, por un mal uso de las presiones del nitrógeno.

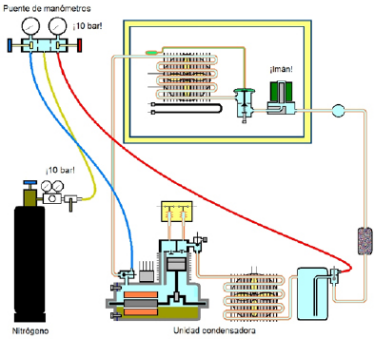
Se recomienda su práctica siempre que el sistema haya perdido su hermeticidad por requerimientos de mantenimiento o se necesite conectar tubería nueva. La norma que estipula los lineamientos para conducir la prueba de estanqueidad en sistemas de tubería es la ANSI / ASME B31.5 denominada “Refrigeration Piping and Heat Transfer Components”. Según esta norma, en un sistema RAC, los compresores, condensadores, evaporadores, elementos de seguridad, manómetros, mecanismos de control y sistemas probados en fábrica no se prueban en campo, a no ser que presenten evidencias de fuga.

TABLA 13. EJEMPLOS DE PRESIONES DE PRUEBA ADECUADAS PARA PRESURIZAR UN SISTEMA RAC (EN378:2016)

Refrigerante	Lado de baja presión - PS en psi	Lado de baja presión - Presión de prueba PS x 1.1	Lado de alta presión - PS en psi	Lado de alta presión - Presión de prueba PS x 1.1
(Temperatura de condensación 55ºC / temperatura ambiente máxima 32ºC)				
R-22	166.8	184.2	301,6	331,8
R-290	149.4	163.9	262,5	288,7
R-717	165.3	181.3	320,5	352,5
R-134a	104.4	114.6	201,6	221,7
R-407C	191.4	210.3	345,1	379,6
R-404A	203	223.4	359,6	395,6
R-410A	274.1	301.7	482,9	531,1
R-32	281.4	308.9	495,9	545,5

Fuente: EN 378:2016. – Nota: PS: Presión de Servicio – psi es psig

ILUSTRACIÓN 38. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD.



Fuente: Cuadernos de taller Prueba de estanqueidad Efrén Andrés Díaz

3.3.1. Presurizar un equipo sin extraer la carga de refrigerante.

Cuando se requiera presurizar un sistema para la búsqueda de fuga a partir del acumulador de líquido, hasta la succión del compresor y no se cuenta con la posibilidad de extraer el refrigerante del sistema se puede optar por recoger el refrigerante en el acumulador de refrigerante del equipo; para lograrlo se debe cerrar la válvula de corte a la salida del acumulador de refrigerante, para que el equipo pare por baja presión y el refrigerante quede acumulado entre éste, el serpentín condensador y la válvula de corte de la descarga del compresor la cual debe ser cerrada luego de que el equipo haya recogido el gas y pare por baja presión.

Cuando se practica esta técnica, no se puede dejar que el equipo se vaya a vacío porque al hacerlo, se estaría permitiendo la entrada de aire al sistema por el lado de la fuga.

Si por alguna circunstancia se requiere presurizar todo el sistema incluido el serpentín del condensador luego de parar el equipo por baja presión, sin que llegue a cero psig, se cierra la válvula de entrada al tanque.

Efectuada esta operación, se tiene que desconectar la tubería de acople al tanque acumulador para evitar la contaminación del refrigerante acumulado en su interior por una posible fuga en las válvulas de corte de la entrada y la salida del acumulador.

Cuando no se requiera extraer el refrigerante acumulado en el serpentín de condensación luego de cerrar la válvula de corte de la descarga del compresor, se debe desconectar la válvula de corte de la succión para evitar la contaminación del refrigerante por paso a través del compresor. Cerrar la válvula de la línea de succión del compresor, y asentar el vástago hasta el fondo, para lograr con esto sellar la línea de baja y poder presurizar el sistema, igualmente se debe retirar el filtro secador, y justamente aprovechando este punto previa adaptación de un apéndice de carga elaborado adecuadamente con tubería de cobre, se presuriza el sistema. Cuando se aísla correctamente el sistema, se garantiza que el refrigerante no se va a contaminar con nitrógeno; pero de tener duda, lo mejor es tratar de extraer la mayor cantidad de refrigerante posible, para no contaminarlo.

ILUSTRACIÓN 39. EQUIPO PARA EL USO DE NITRÓGENO SECO EN CAMPO

Fuente: GIZ (Sociedad Alemana para la Copoperación Internacional)

3.3.2. Búsqueda de fuga en un equipo.

La búsqueda de fugas en un equipo de refrigeración puede resultar una labor sumamente laboriosa si se tiene en cuenta que al momento de buscarla se debe hacer de acuerdo con el diseño o trazado de la tubería y la ubicación del equipo.

El realizar una observación general de las condiciones de instalación tanto del equipo como de la tubería, puede ayudarnos a indicarnos cuáles pueden ser los puntos más susceptibles para que se presente una fuga, los cuales se mencionan a continuación:

- Tramo de tubería con algunas características particulares tales como: Tramos descolgados.
- Tramo con mucha vibración.
- Paso forzado a través de una pared o muro o de un sector a otro.

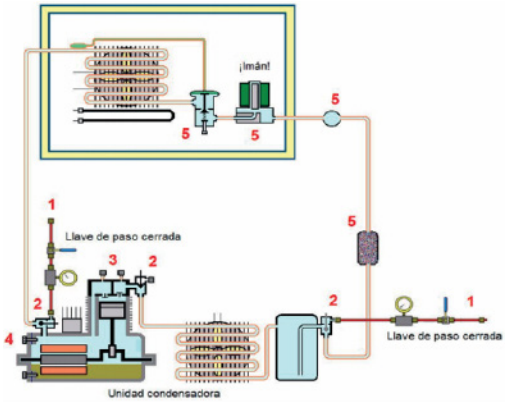
• Tubería soportada en estructuras metálicas con un punto de apoyo inadecuado que pueda producir un roce mecánico.
• Tramos que deberían estar rectos y no lo están, puede ser un indicio de un desplazamiento forzado y por consiguiente puede haberse presentado una fractura en la soldadura de acople de un codo o una unión.
• Paso de tubería por áreas de mucho tráfico, son las más propensas a ser golpeadas o abolladas lo que puede producir una fuga.

Por lo general donde se presenta una fuga de refrigerante casi siempre se presenta una huella de aceite (dependiendo del tipo de refrigerante) o de acumulación de suciedad impregnada de aceite, no siempre hay que esperar encontrar la gota de aceite a punto de caer al suelo.

Cualquier irregularidad en el cordón de soldadura hay que revisarlo muy bien y estos se presentan casi siempre en aquellas soldaduras que fueron realizadas con dificultad por su proximidad al piso o a la pared. La linterna y el espejo permiten ver con claridad el área de la soldadura.

Se debe establecer un cierto orden en la búsqueda empezando por aquellos sitios donde una fuga se puede presentar con mayor facilidad.

ILUSTRACIÓN 40. PUNTOS SUSCEPTIBLES DE FUGA



Fuente: Cuadernos de taller Prueba de estanqueidad Efrén Andrés Díaz

TABLA 14. PUNTOS SUSCEPTIBLES DE FUGAS.

Puntos	Descripción
1	Todos los racores y uniones roscadas del dispositivo utilizado para introducir nitrógeno (racores, manómetro y llave de paso).
2	Tapones y prensaestopas de las válvulas de servicio del compresor y del recipiente de líquido.
3	Conexiones para los presóstatos.
4	Juntas y uniones en la carcasa y la culata del compresor.
5	Accesorios intercalados en las tuberías mediante uniones roscadas o soldadas.

Fuente: Cuadernos de taller Prueba de estanqueidad Efrén Andrés Díaz Nota: Las uniones roscadas son más propensas a presentar fugas. Dar preferencia a uniones soldadas (ejecutadas según las buenas prácticas en refrigeración)

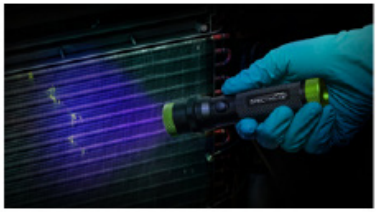
3.3.2.1. Métodos directos para detectar fugas de refrigerantes.

• **Detector de fugas.** Los detectores de permiten descubrir o identificar las fugas de gas en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Existen diferentes tipos de equipos y procedimientos para descubrir o detectar las fugas en un sistema:

• **Método del agua – jabón.** Es un procedimiento económico y eficaz a la hora de detectar fugas y es el método más empleado por los técnicos. Consiste en preparar una mezcla de agua y jabón que genere una espuma persistente y aplicarla en los componentes o uniones de los sistemas donde se presume pueden estar las fugas; en el lugar donde se encuentre la fuga se forman burbujas en la superficie del tubo, pueden ser muy pequeñas, que se pueden detectar a simple vista, prestando mucha atención. Ignorar las burbujas que se forman y desaparecen en la superficie de la bola de espuma. En ocasiones se requiere "frenar" con la misma esponja o con el dedo el deslizar del agua-jabón para poder percibir una fuga que puede pasar inadvertida porque el agua jabón pasa muy rápida sobre ella y la burbuja indicadora de fuga, no se alcanza a formar bien. En fugas muy pequeñas, pero no por ello menos importantes, la formación de burbujas puede ser lenta y formar burbujas de pequeñas dimensiones.

• **Detectores por contraste de luz UV.** Existen en el mercado productos para la detección de fugas de gases refrigerantes que son tintes UV o fluorescentes que se agregan al lubricante como un aditivo. Estos aditivos se incorporan en el sistema para que circulen junto con el gas refrigerante, y a través de una lámpara de luz ultravioleta o a simple vista, se inspecciona la tubería y componentes del equipo detectando las fugas gracias al brillo fluorescente que emite el aditivo. En la actualidad algunos fabricantes ofrecen refrigerantes que ya tienen incluido el aditivo para permitir a simple vista o con la ayuda de lámparas la identificación de las fugas.

ILUSTRACIÓN 41. MÉTODOS PARA DETECTAR FUGAS.



• Detectores electrónicos. En el mercado se encuentra gran diversidad de modelos y fabricantes de estos equipos, con capacidad para detectar cualquier tipo de gas refrigerante CFC, HCFC, HFC, HC y mezclas como el R-404A. Por lo general, cuentan con una sonda flexible que permite su manipulación en ubicaciones difíciles y un sensor electrónico para la detección. Según el modelo y el fabricante, pueden variar desde equipos muy sencillos hasta detectores de diez escalas de sensibilidad y diferentes alarmas visuales y auditivas para identificar las fugas más pequeñas.

Son prácticos para detectar zonas de fuga, pero deben ser complementados con espuma jabonosa para detectar sitios exactos.

TABLA 15. TIPO DE DETECTOR ELECTRÓNICO ADECUADO PARA CADA REFRIGERANTE

	Semiconductor	Electroquímico	Catalítico	Infrarrojo
Concentración <<baja>> de amoníaco (< 100 ppm)	-	✔	-	-
Concentración <<media>> de amoníaco (< 1000 ppm) 1)	(✔)	✔	-	(✔)
Concentración <<alta>> de amoníaco (< 10.000 ppm)	✔	-	✔	(✔)
Concentración <<muy alta>> de amoníaco (>10.000 ppm)	-	-	✔	(✔)
Dióxido de carbono CO_2	-	-	-	✔
HC Hidrocarburos	(✔)	-	✔	(✔)
HCFC - HFC Halocarburos	✔	-	-	(✔)

✔ Mejor solución (✔) Apto, pero menos atractivo - No apto

Fuente: Detección de gas en sistemas de refrigeración. Danfoss.

3.3.2.2. Métodos indirectos para detectar fugas de refrigerantes.

Los métodos indirectos para detectar fugas pueden ser usados si:
• Las fugas de los sistemas se desarrollan lentamente y son difíciles de detectar utilizando métodos directos; y
• Los sistemas están localizados en áreas bien ventiladas, por lo que el refrigerante se dispersa demasiado rápido y no es posible usar métodos directos.
• El método indirecto no proporciona información precisa sobre la ubicación de la fuga.

La presión, la temperatura, la corriente del compresor, el nivel de líquido o el volumen de recarga se pueden analizar para identificar si el refrigerante se ha fugado. El estado de servicio de un sistema con fugas será diferente a uno que funcione en condiciones normales:

• La presión de succión será inferior (salvo que esté controlada, por ejemplo, en un sistema central);
• El recalentamiento útil (es decir, el recalentamiento alcanzado en el evaporador) aumentará;
• El subenfriamiento se reducirá;
• La presión de descarga se reducirá (salvo que esté controlada).

Tanto un recalentamiento excesivo como un subenfriamiento bajo o tendiente a cero son indicadores claros de que la carga de refrigerante es baja. Medir el nivel de líquido del tanque acumulador puede también ser un buen método para identificar una pérdida de refrigerante. No obstante, los niveles de líquido variarán naturalmente si cambian las condiciones ambientes o de carga.

3.4. PROCEDIMIENTO DE VACÍO EN UN SISTEMA RAC.

El vacío es una operación que se realiza para extraer los gases no condensables y la humedad absorbida por el sistema al momento de estar abierto. La idea fundamental es lograr el buen funcionamiento de todos los componentes y la eficiencia del filtro secador. Esta operación consiste en bajar la presión del sistema a tal punto que la temperatura de ebullición del agua sea muy inferior a la del ambiente, utilizando un equipo fabricado para este fin. De esta manera el agua se evapora y es extraída del sistema.

Para realizar este procedimiento, es necesario utilizar adecuadamente los elementos de protección personal (EPP). Es requisito indispensable realizar barrido y presurización al sistema antes de iniciar la práctica de vacío. Se requiere saber el valor de vacío a obtener, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo a tratar y el aceite utilizado. Con base en el tipo de aceite se recomienda alcanzar un vacío de 500 micrones, si es aceite mineral o aceite Alquilbenceno y 250 micrones si es aceite Polioléster (POE). Con el aceite POE se debe alcanzar un mayor vacío debido a que adsorbe bastante humedad en pocos minutos.

Es importante mencionar que el micrón (μ) es una dimensión muy pequeña, y se utiliza cuando se desea mucha precisión, lo que no es posible hacer con un manómetro normal (del tipo de Bourdon), por esta razón se requiere el uso de un instrumento capaz de leer micrones, llamado VACUÓMETRO. Tenga en cuenta que una pulgada de Hg es igual a 25.400 micrones.

ILUSTRACIÓN 42. COMPARATIVA ENTRE PULGADAS DE MERCURIO EN UN VACUÓMETRO ANALÓGICO Y MICRONES DE MERCURIO EN UN VACUÓMETRO DIGITAL.

Fuente. Testo. Acerca de la medición de vacío en sistemas HVAC con vacuómetros digitales.

El uso de una bomba de vacío adecuada es importante, es inaceptable usar un compresor hermético o semihermético, para efectuar el vacío de su propio sistema, ya que además de su ineficiencia, cuando los devanados eléctricos están sujetos a un alto voltaje y se encuentran en un vacío, se produce un arco eléctrico, quemando el motor de inmediato.

Para seleccionar la bomba adecuada es importante tener en cuenta la velocidad de bombeo o caudal de trabajo, generalmente expresado en pies cúbicos por minuto (cfm). Elija el caudal de la bomba según el tamaño del sistema a evacuar.

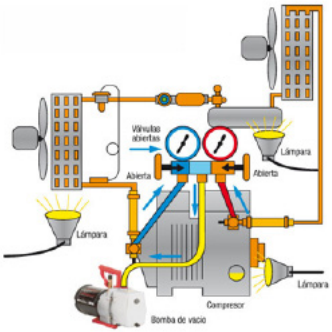
1 cfm = 28,56 l/min = 1.69 m3/h.

La capacidad de la bomba es proporcional a su tamaño y potencia. Si la bomba elegida es demasiado grande puede alcanzar el nivel de vacío en poco tiempo, pero produce formación de hielo en las paredes internas de la tubería. Después de cierto tiempo, el hielo empezará a descongelar y evaporar. Como resultado, aumenta la presión y se encontrara otra vez humedad en el circuito. En caso contrario, con una bomba demasiado pequeña, el tiempo de evacuación será demasiado largo.

El proceso de vacío inicia realizando las conexiones necesarias entre la bomba de vacío, las mangueras y el sistema utilizando vaselina en las uniones roscadas para mejorar el sellado, y poner en funcionamiento la bomba. Cuando se llegue al vacío respectivo, antes de detener la bomba es necesario interrumpir la operación de ésta, cerrando la válvula que la vincula con el circuito. Esto se hace con el propósito de evitar que el vacío logrado se pierda y que el aceite presente en la bomba se devuelva al sistema.

Una vez terminada la operación, es el momento de verificar el valor de vacío alcanzado en el interior del sistema mediante el vacuómetro: Si el vacuómetro muestra un aumento en la presión y se detiene en un nivel de vacío no deseado, es posible que aún persista humedad en el sistema: pequeñas gotas que, al evaporarse, aumentan la presión interna del sistema. En este caso continué con la operación de vacío por más tiempo y vuelva a realizar la medición. Si el vacuómetro muestra un acelerado y constante aumento de la presión es señal que existen fugas en el sistema. Tenga en cuenta que el problema puede existir en las conexiones realizadas para el vacío, es por ello que se recomienda mejorar el sellado de las uniones roscadas. Si la medición en el vacuómetro no sufre modificaciones con el tiempo, el sistema estará listo para ser cargado con refrigerante.

ILUSTRACIÓN 43. PROCESO DE VACÍO EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.



Fuente: Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado - SEMARNAT.

Es recomendable cambiar el aceite de la bomba después de cada vacío mientras que este fluido aún esté caliente, ya que, si no se hace, los vacíos subsecuentes, serán cada vez más lentos, además que la vida útil de nuestra bomba se reducirá, debido a que se comienzan a oxidar las válvulas internas, perdiendo éstas el sello.

3.5. CARGA DE REFRIGERANTE EN UN SISTEMA RAC.

Una vez hecho el vacío en la instalación es el momento de efectuar la carga de refrigerante. Algunos equipos compactos indican en su placa de características la cantidad de refrigerante a introducir en ellos, pero si se trata de una instalación no compacta, esta indicación no suele figurar debido a que la cantidad de refrigerante dependerá de factores tales como la longitud de las tuberías, el tamaño del evaporador, etc. En principio, y a falta de otros datos, el volumen de refrigerante líquido a introducir se establecerá considerando que, en el caso más crítico, el recipiente de líquido deberá ser capaz de contener todo el refrigerante de la instalación. Si además se tiene en cuenta que la normativa establece que los recipientes destinados a contener refrigerante no deben llenarse más allá del 80
% de su volumen, se concluirá que la cantidad de refrigerante a introducir inicialmente será igual al 80% del volumen del recipiente de líquido.

Para hacer este procedimiento, recuerde utilizar adecuadamente los elementos de protección personal (EPP). Se deben tener a la mano siempre las tablas de presión y temperatura del refrigerante a usar. El refrigerante se puede cargar en estado gaseoso, de acuerdo con la naturaleza del refrigerante y de las condiciones del equipo. Lo más importante es cargar el refrigerante en estado líquido por alta o en estado gaseoso por baja. Si el filtro del sistema posee una válvula, no se debe utilizar para la carga de refrigerante. La carga inicial se debe realizar con el sistema apagado, aprovechando la diferencia de presión entre el vacío del sistema y la presión positiva del cilindro que contiene refrigerante.

3.5.1. Carga de refrigerante.

Se requiere que el sistema no tenga una carga inicial de refrigerante. Esta es la forma más fácil, siempre que el equipo haya sido desarrollado por un fabricante y éste facilite la carga de refrigerante óptima para su equipo, en peso. Si el equipo es compacto, con tuberías instaladas en fábrica, se utiliza una balanza con la cual se mide el peso del cilindro que contiene una cantidad inicial de refrigerante. Se realizan las conexiones necesarias y se procede a cargar el sistema. La cantidad exacta de refrigerante estará dada por la lectura de la balanza hasta que la diferencia en peso sea igual a la cantidad óptima suministrada por el fabricante. En el caso de sistemas que requieran instalación de tubería (Split), se calcula una carga adicional de refrigerante teniendo en cuenta la longitud y diámetro de la tubería y el valor adicional en peso que recomienda el fabricante para un refrigerante en particular. Se debe tener en cuenta la influencia del peso de la manguera de transferencia de refrigerante y posicionar ésta para que su peso no influya en la lectura de la balanza.

3.5.2. Ajuste de carga de Refrigerante por Masa.

ILUSTRACIÓN 44. CARGA DE REFRIGERANTE.

Cuando se requiera ajustar la carga de refrigerante, se tiene dos tipos de ajuste en el sistema:

-Recuperar completamente el refrigerante del sistema utilizando garrafas recuperadoras y equipos adecuados. Posteriormente, se debe pesar la cantidad recuperada y realizar un vacío completo en el sistema, con el fin de eliminar incondensables, humedad y vapores residuales. Una vez realizado el vacío, se procede a cargar el refrigerante conforme a la cantidad especificada por el fabricante, indicada en la placa de características técnicas del equipo.

-Añadir refrigerante gradualmente en pequeñas cantidades, utilizando una balanza de precisión para medir el peso exacto (en gramos). Durante el proceso, se debe monitorear la estabilización de la presión del sistema. Después de un tiempo de funcionamiento, se puede verificar la correspondencia entre presión y temperatura según la tabla PT (presión-temperatura). Si la presión aún no se encuentra dentro de los rangos adecuados, se debe continuar con la carga siguiendo el mismo procedimiento, hasta alcanzar una carga cercana a la óptima.

De acuerdo con las buenas prácticas establecidas en normas internacionales de refrigeración, se recomienda priorizar el método de recuperación y carga por masa, ya que garantiza mayor precisión y seguridad operativa.

No se recomienda ajustar la carga únicamente basándose en la presión del sistema o en la tabla PT, ya que las variaciones de temperatura ambiente pueden inducir errores significativos en la estimación de la cantidad adecuada de refrigerante.

3.5.3. Herramientas y equipos requeridos.

Además del manómetro, mangueras y conexiones, se debe contar con los siguientes equipos:

• **Balanza automática de carga:** este instrumento permite una carga rápida y eficiente del refrigerante en cualquier sistema de refrigeración obteniendo una mayor precisión, utilizan un sistema automático de cierre del flujo de refrigerante y varían en su resolución, capacidad de carga y en las dimensiones de su plataforma.

• **Cilindro de carga portátil:** este instrumento consta de un tubo o cilindro de vidrio con un indicador de nivel de líquido; permite transferir refrigerante a un sistema y medir la cantidad requerida en la escala impresa. El cierre del flujo de refrigerante es manual. El cilindro tiene un manómetro y una válvula manual en la parte inferior para llenar el cilindro de carga o para cargar refrigerante líquido en el sistema de refrigeración. También posee una válvula en la parte superior del cilindro usada para cargar refrigerante en estado de vapor.

3.6. REGISTRO Y MARCACIÓN DE SISTEMAS RAC.

• Identificación de la instalación. Todo sistema de refrigeración montado in situ debe tener rotulado en forma permanente, de manera legible y fija en un lugar de fácil acceso, la información siguiente: a) nombre y dirección del instalador; b) tipo y carga inicial de refrigerante; y c) presión que se debe aplicar para la prueba de estanqueidad in situ.

• **Rotulado de los componentes.** Cada sistema y cada unidad de condensación individual, compresor o unidad de compresión adquirida por separado, para montaje en su punto de destino en un sistema de refrigeración y climatización, deben tener una placa de identificación que contenga el nombre del fabricante o marca comercial, el número de identificación, las presiones de diseño y el refrigerante para el cual se ha diseñado. El refrigerante se debe identificar según la clasificación de seguridad.

• **Identificación de los dispositivos de regulación de la tubería.** Los sistemas que contengan más de 50 kg de refrigerante deben tener una inscripción permanente, que indique: a) Las válvulas o interruptores que controlan el flujo de refrigerantes, la ventilación y el (los) compresor(es). b) El tipo de refrigerante que contiene la tubería cuyo recorrido es por fuera de la sala de máquinas. La identificación de la tubería debe estar de acuerdo con ASME A 13.1 u otras directrices reconocidas por la industria. En los esquemas que indiquen la dirección de los flujos, la función, la temperatura o la presión se deben aplicar las prácticas vigentes.

• **Rotulado por cambio de refrigerante.** Siempre que se cambie el refrigerante, se debe colocar la información pertinente al cambio realizado, tanto el tipo de refrigerante como de aceite.

4. REFRIGERANTES NATURALES, ALTERNATIVA EFICIENTE Y ECOLÓGICA.

Diferentes estudios se han realizado para identificar las mejores opciones de reemplazo de los refrigerantes HCFC, los cuales agotan la capa de ozono. Entre las principales alternativas figuran los HFC de alto PCG, los HFO, las mezclas HFC/HC, el dióxido de carbono (CO_2), los hidrocarburos (como el propano - R-290), el amoníaco (NH_3), entre otros.
Si bien no existe un refrigerante ideal que cumpla con todas las características deseadas, cualquier opción que se considere como sustituto debe evaluarse en función de los siguientes criterios técnicos y ambientales:

- Potencial Agotador del Ozono (PAO): igual a cero.
- Coeficiente de rendimiento (COP): lo más alto posible, para garantizar eficiencia energética.
- Potencial de Calentamiento Global (PCG): lo más bajo posible.
- Estabilidad química: especialmente a altas temperaturas y condiciones operativas.
- Compatibilidad con materiales del sistema: incluyendo metales, elastómeros y lubricantes.
- Seguridad: baja toxicidad e inflamabilidad, según aplicación y normativa vigente.
- Costo razonable y disponibilidad comercial.

Las principales sustancias que se pueden considerar como remplazo, por sus características termodinámicas y su bajo impacto ambiental, son los refrigerantes naturales listados en las siguientes tablas:

TABLA 16. RESUMEN DE LAS IMPLICACIONES DE LOS REFRIGERANTES NATURALES COMO REMPLAZO.

Refrigerante	Seguridad	PCG	Eficiencia	Costo	Otros
Hidrocarburo (HC)	Baja Toxicidad, alta inflamabilidad. Cambios en el sistema desde la fabricación y reducción de la carga para mitigar el riesgo de la inflamabilidad; fácil uso en sistemas nuevos.	~3	Buena	½ a 2 x R-22	Miscible con aceite mineral, no debe realizarse Drop-in por razones de seguridad.
Amoniaco (NH_3)	Alta toxicidad, baja inflamabilidad - uso principalmente limitado a sistemas indirectos, necesita diseño especial.	0	Excelente.	<<R -22	Incompatibilidad con materiales de cobre, no puede usarse con retrofit.
Dióxido de carbono (CO_2)	Baja toxicidad, no es inflamable - muy pocas restricciones en operación, pero posee altas presiones de operación lo que lo lleva a poseer una construcción adecuada para soportar estas presiones.	1	Buena en frío, pobre en climas cálidos.	>>R -22	Altas presiones de operación que no permite que sea usado en sistemas existentes, demanda experta para diseño de equipos.

Fuente: Air conditioning and refrigeration industry refrigerant selection guide. AIRAH. 2003.

TABLA 17. APLICACIONES DE REFRIGERANTES NATURALES.

APLICACIÓN	TIPO DE COMPRESOR	REFRIGERANTE
Congeladores y neveras	Hermético	R600a,R290
Comercial - Media temperatura	Hermético	R290 - R600a
	Reciprocante abierto	R290 - R600a
Comercial e industrial - Baja temperatura	Hermético	R170 - R290
	Semihermético	R170 - R290
	Reciprocante abierto	R170 - R290 - R744
	Todos	R170 - R290 - R744
Comercial e industrial	Tornillo	R290 - R600a - R744
	Reciprocante abierto	R170 - R290 - R600a - R717 - R744
	Todos	R600a - R290 - R744
A.A. móvil o refrigeración	Reciprocante hermético y abierto	R600a - R290
Aire acondicionado	Reciprocante abierto	R170 - R290- R717
	Centrífugo	R600a
	Semihermético	R290
	Tornillo	R600a - R717
	Hermético	R600a
	Todos	R290

Fuente: Air conditioning and refrigeration industry refrigerant selection guide. AIRAH. 2003.

TABLA 18. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE REFRIGERANTES NATURALES

Refrigerante	Masa molar	Punto de congelamiento	Punto de ebullición	Temperatura crítica	Presión crítica
R-170	30.07	-182.8	-88.6	32.2	4872
R-290	44.10	-187.3	-42.1	96.7	4248
R-600a	58.12	-159.6	-11.6	134.7	3640
R-717	17.03	-77.7	-33.3	132.5	11330
R-744	44.01	-56.6	-78.4	31.1	7384
R-1270	42.08	-185.2	-47.7	92.4	4665

Fuente: Air conditioning and refrigeration industry refrigerant selection guide. AIRAH. 2003.

TABLA 19. PROPIEDADES AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD DE REFRIGERANTES NATURALES

Refrigerante	Nombre	Formula Química	PAO	GWP 20; 100; 500 años	Clasificación de seguridad
R-170	Etanol	C2 H6	0	3,3,3	A3
R-290	Propano	C3 H8	0	3,3,3	A3
R-600a	Isobutano	C4 H10	0	3,3,3	A3
R-717	Amoníaco	NH3	0	0,0,0	B2L
R-744	Dióxido de carbono	CO2	0	1,1,1	A1
R-1270	Propileno	C3 H6	0	3,3,3	A3

Fuente: Air conditioning and refrigeration industry refrigerant selection guide. AIRAH. 2003.

Es importante entender que por sí solos los refrigerantes no logran las mejores condiciones para ser adoptados como una alternativa definitiva, estas condiciones se traducen en barreras, que serán mencionadas a continuación:

• **Tecnología y Seguridad.** Hace referencia a condiciones técnicas específicas y de seguridad que no permiten el uso de un refrigerante determinado.

• **Suministro y disponibilidad.** Hace referencia a la disponibilidad o suministro de material, equipo, componente o fluido o servicio o actividad, necesario para la operación, servicio técnico o mantenimiento del sistema de enfriamiento.

• **Comercial (inversiones, beneficios, incentivos financieros).** Hace referencia a los costos adicionales en los que se incurre con la adopción de un refrigerante nuevo con los cuales el costo-beneficio se disminuye más allá de lo que es aceptable. También se incluye en esta barrera la falta de inversión e incentivos financieros adecuados.

• **Mercado y Marketing.** Hace referencia a la percepción que tienen los empresarios o comercializadores al considerar que no hay demanda de los clientes o técnicos para el producto refrigerante, y es típico que el usuario final o consumidor no acepte ese refrigerante por temor al cambio. Adicionalmente es difícil que existan tales productos en el mercado porque en general siguen comercializando siempre lo mismo y a muy pocos les gusta arriesgar con nuevas opciones.

• **Capacitación y disponibilidad de expertos (Know-How).** Hace referencia a la falta de capacitación o actualización de las empresas o técnicos para emprender el uso de un refrigerante en particular, esto lleva a que exista poca mano de obra calificada.

• **Reglamentos y normas.** Hace referencia a la falta de regulaciones existentes que prohíban el uso de refrigerantes dañinos para el ambiente y la falta de regulación o estándares para sistemas o equipos, diseño o construcción de estos.

• **Aspectos sicológicos y sociológicos.** Hace referencia a la resistencia general al cambio por parte de los actores del proceso, mecánicos, técnicos, ingenieros, de las empresas o de las organizaciones de la industria. Tienen una resistencia, cuando van a usar refrigerantes naturales, basados en rumores, la influencia de grupos reaccionarios, o por falta de voluntad para cambiar a tecnologías alternativas.

El conocimiento y análisis de los aspectos mencionados ayudará a determinar la mejor alternativa de remplazo con bajo PCG, para los HCFC y HFC con alto PCG. Es por ello que en este apartado se hará un esfuerzo para detallar las especificaciones técnicas y operativas de los refrigerantes que experimentan mayores barreras para su implementación en Bolivia y en general en el mundo: los refrigerantes naturales como CO2 (Dióxido de Carbono), NH3 (Amoníaco) y HC (Hidrocarburos), los cuales poseen poco o ningún Potencial de Calentamiento Global.

4.1. REFRIGERANTES HIDROCARBUROS (HC).

Los refrigerantes hidrocarburos (HC) han sido usados desde 1867, y en conjunto con el amoníaco fueron los refrigerantes más utilizados antes de la implementación de los refrigerantes químicos a partir del año 1930. Los gases hidrocarburos son muy usados como agentes presurizadores en envases propelentes (insecticidas, aromatizadores, aerosoles, entre otros).

Los refrigerantes de hidrocarburo son gases naturales libres de cloro y flúor, compuestos de hidrógeno y carbono. Se encuentran en forma natural principalmente en el gas natural, en el petróleo y en gases de refinerías. Son inflamables bajo condiciones especiales, tienen baja reactividad química y constituye el componente más volátil de los derivados de petróleo. Los hidrocarburos más usados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 20. PROPIEDADES DE LOS HC

Refrigerante	Nombre químico	PAO	PCG	Punto de ebullición	Clasificación de seguridad
R-600a	Isobutano	0	<3	-11°C	A3
R-290	Propano	0	<3	-11°C	A3
R-1270	Propileno	0	<3	-11°C	A3
R-170	Etano	0	<6	-86°C	A3

Fuente: Technical Training Workshop on HC Refrigerants; Safety and Application. Daniel Colbourne.

Es importante asegurarse que el HC a utilizar como refrigerante tenga un grado de pureza apropiado, por ello no es recomendable usar GLP (Gas licuado de petróleo) u otro similar como refrigerante. Las condiciones que un HC, debe tener para ser empleado como refrigerante se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 21. CONTENIDO DE IMPUREZAS DE ALGUNOS HC.

	Valor específico de HC	Azufre	Humedad	Aromáticos
Refrigerante	97.5 –99.9%	0–5 ppm	0–10 ppm	0–10 ppm
GLP	50 – 95%	0– 200 ppm	0–300 ppm	0– 20,000 ppm

Fuente: Technical Training Workshop on HC Refrigerants; Safety and Application. Daniel Colbourne.

Entre los beneficios que presenta la utilización de refrigerantes HC, en aplicaciones frigoríficas se encuentran:

• Alta eficiencia, reducen la energía utilizada en refrigeración y en sistema de acondicionamiento de aire.
• Son rentables económicamente, ya que el costo de producción es más bajo que el de otros gases refrigerantes.

4.1.1. Análisis de las propiedades termodinámicas de refrigerantes HC.

En esta sección se muestran las propiedades de los refrigerantes hidrocarburos propano (R-290) e isobutano (R-600a) para compararlas con las propiedades del refrigerante R-22, R404A y R-134a, altamente utilizados en la industria RAC.

TABLA 22. COMPARACIÓN DE LOS DATOS TÉCNICOS DE LOS REFRIGERANTES

Refrigerante	R290	R22	R404A	R134a	R600a
Temperatura máxima en [°C]	96.7	96.1	72.5	101	135
Peso molecular en kg/kmol	44.1	86.5	97.6	102	58.1
Punto de ebullición normal en ºC	–42.1	–40.8	–45.8	–26.5	–11.6
Presión a -25 ºC en bar (absolutos)	2.03	2.01	2.50	1.07	0.58
Densidad del líquido a -25 ºC en kg/l	0.56	1.36	1.24	1.37	0.60
Densidad del vapor a -25/+32 ºC en kg/m3	3.6	7.0	10.0	4.4	1.3
Capacidad volumétrica a - 25/55/32 °C en kJ/m3	1164	1244	1334	658	373
Entalpía de vaporización a - 25 °C en kJ/kg	406	223	186	216	376
Presión a + 20 ºC en bar (absolutos)	8.4	9.1	11.0	5.7	3.0

Fuente: Notas del instalador – DANFOSS.

• **Presión.** Una diferencia entre el R-290 y el R-134a es el nivel de presión, que se asemeja al R-22 y al R-404A, p.ej. a -25 °C de evaporación la presión es aprox. un 190 % del R-134a, un 81 % del R-404A, un 350% del R-600a o casi igual a la del R-22. En relación a este dato, el punto de ebullición normal se encuentra cercano al del R-22. Así, los evaporadores deberán ser diseñados de forma similar que para el R-22 o R-404A.

Los niveles de presión y de temperatura extrema son casi idénticos a los del R-22. Sin embargo, la temperatura de descarga es mucho menor. Esto ofrece la oportunidad de trabajar a mayores relaciones de presión, implica unas temperaturas de evaporación más bajas o mayores temperaturas del gas de aspiración.

• **Capacidad volumétrica.** El R-290 presenta una capacidad volumétrica del 90% aprox. del R-22 o del 150% del R-134a a 45ºC de temperatura de condensación. Debido a ello, el volumen de barrido de gases necesario para el compresor está cercano al R-22 también, y es de un 10% a un 20% mayor que para el R-404A. La capacidad volumétrica es de 2,5 a 3 veces aprox. la capacidad del R-600a.

Por lo tanto, elegir entre el R-290 o el R-600a producirá diferencias en el diseño de la instalación debido al distinto flujo de volumen necesario para las mismas necesidades de refrigeración. La capacidad de refrigeración volumétrica es un valor calculado a partir de la densidad del gas de aspiración y la diferencia de entalpía de evaporación.

• **Calor latente de vaporización.** El calor latente de vaporización es la diferencia en entalpias entre el líquido saturado y el vapor saturado de una sustancia a una presión o temperatura dada.

Este valor determina el calor de condensación o evaporación disponible por cada kg de fluido a ciertas condiciones de presión y temperatura. Este dato puede ser utilizado para calcular el flujo de masa de refrigerante requerido.

Los hidrocarburos tienen alrededor de dos veces el calor latente que el R-22. Esto indica que el flujo másico circulando a través del sistema de refrigeración con refrigerantes hidrocarburos requerido será siempre aproximadamente la mitad del requerido por un sistema de refrigeración con R-22.

• Coeficiente de desempeño (COP). El butano y el isobutano muestran valores ligeramente del COP mayores que el R-22, mientras que el Propano presenta valores tan solo un poco por debajo del compuesto en relación, -2.5% para el caso de bajas temperaturas de evaporación y alrededor de -1% para valores de altas temperaturas de evaporación. Para todos los casos la pequeña diferencia entre los valores de COP con el R-22 es de gran consideración.

4.1.2. Compatibilidad de los refrigerantes HC con los lubricantes del mercado.

Los refrigerantes de hidrocarburo tienen una compatibilidad química completa con casi todos los lubricantes que normalmente se utilizan en los sistemas de refrigeración. La buena miscibilidad se mantiene con la mayoría de los lubricantes en todas las condiciones de funcionamiento. Cuando pueda producirse una dilución elevada, es posible que deba utilizarse un lubricante con menor solubilidad o mayor viscosidad para compensar la dilución.

TABLA 23. COMPATIBILIDAD DE DISTINTOS LUBRICANTES CON LOS REFRIGERANTES DE HC.

Tipo de lubricante	Compatibilidad
Mineral (M)	Completamente soluble en refrigerantes de HC. Excesivamente soluble a altas temperaturas. Compensar con un aceite de mayor viscosidad.
Alquilbenceno (AB)	Completamente soluble y los grados de viscosidad típicos se aplican en todos los casos.
Semi sintético (AB/M)	Mezcla de aceites AB y M que adquiere propiedades convenientes para utilizarla con los refrigerantes de HC.
Polioléster (POE)	Por lo general, presenta solubilidad excesiva en los refrigerantes de HC. Puede requerir un grado de viscosidad más elevado.
Polialquilenglicol (PAG)	Soluble o parcialmente soluble en refrigerantes de HC, según las condiciones. Generalmente, los grados normales son satisfactorios.
Polialfaolefino (PAO)	Soluble en refrigerantes de HC, pero generalmente se utiliza para aplicaciones a temperaturas bajas.

Fuente: Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo (HC). Duracool.

4.1.3. Compatibilidad de los refrigerantes HC con los materiales.

Prácticamente todos los elastómeros comunes y materiales plásticos para refrigeración utilizados como juntas tóricas, alojamientos de válvulas, juntas y obturadores, son compatibles con los refrigerantes de hidrocarburo.

Tabla 24. Compatibilidad de distintos materiales con los refrigerantes de HC

Materiales compatibles	Materiales no compatibles
PTFE (politetrafluoretileno), Nailon, Neopreno, Viton, Cauchos nitrílicos, HNBR (nitrilo hidrogenado).	EPDM (Monómero de etileno polietileno dieno), Cauchos naturales, Cauchos de silicona

Fuente: Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo (HC). Duracool

4.1.4. Inflamabilidad de los refrigerantes HC.

Los refrigerantes HC son inflamables. Los límites de inflamabilidad típicas son alrededor de 2% - 10% cuando mezclado en el aire. Estas características le confieren una clasificación "A3" según la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers o ASHRAE). Se deben consultar las normas específicas, que indican los requisitos para el uso seguro de los refrigerantes de clasificación "A3" en comercios e industrias. Una de las normas más relevante es la norma europea EN 378. En Canadá, Estados Unidos y cualquier otra región donde no se hayan dictado normas, el técnico debe remitirse a ASHRAE 15-2019. El equivalente ASHRAE a la clasificación "A3" que se utiliza en la Norma EN 378 es "L3".

ILUSTRACIÓN 45. LÍMITES DE INFLAMABILIDAD APROXIMADOS EN AIRE PARA LOS HC MÁS USADOS

Fuente: Technical Training Workshop on HC Refrigerants; Safety and Application. Daniel Colbourne

Para determinar los valores en los cuales los refrigerantes HC son inflamables, se debe tener en cuenta los límites de inflamabilidad máximo (UFL) y mínimo (LFL) de la concentración de un combustible dentro de un medio oxidante para que la llama, una vez iniciada, continúe propagándose. El calor debe ser suficiente para alcanzar la temperatura de ignición, la relación combustible/comburente (aire) debe estar dentro de los límites de inflamabilidad. La diferencia entre ambos límites se conoce como rango inflamable. Otro parámetro que manejar es la concentración estequiométrica, que indica el valor más inflamable de la mezcla.

TABLA 25. PROPIEDADES DE INFLAMABILIDAD DE LOS HC.

Propiedad		R600a	R290	R1270
Clasificación de seguridad ASHRAE 34)	-	A3	A3	A3
Temperatura de ignición.	°C	460	515	455
Límite inferior de inflamabilidad (LFL)	Kg/m3	0.0430	0.0380	0.0430
	%	1.8	2.1	2.5
Límite superior de inflamabilidad (UFL)	Kg/m3	0.202	0.171	0.174
	%	8.5	9.5	10.1
Concentración estequiométrica	Kg/m3	0.074	0.072	0.077
	%	3.1	4.0	4.4

Fuente: Technical Training Workshop on HC Refrigerants; Safety and Application. Daniel Colbourne.

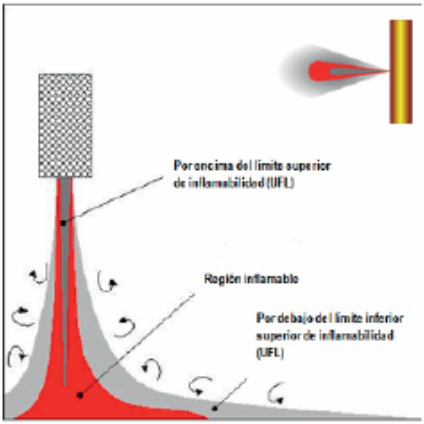
ILUSTRACIÓN 46. TRIÁNGULO DEL FUEGO.

Fuente: Technical Training Workshop on HC Refrigerants; Safety and Application. Daniel Colbourne

Si la concentración de gas en aire es menor que el LFL no se produce la ignición por resultar la cantidad de combustible insuficiente o un exceso de aire y por encima del UFL tampoco se produce la ignición por resultar con exceso de combustible o falta suficiente de aire. Es posible impedir la propagación de una llama en una mezcla de gases combustibles mediante un exceso de cualquiera de sus componentes. En la práctica, podemos prevenir la posibilidad de inflamación en una mezcla de gases, asegurándonos que la mezcla esté fuera de rango de inflamabilidad. Las técnicas son: eliminar la suficiente cantidad de combustible, eliminar la fuente de ignición o el aire, que para el caso es imposible.

Una fuga de refrigerante HC tiende a concentrarse en el piso, así una fuga extremadamente grande tiene a formar concentraciones inflamables cerca al piso.

ILUSTRACIÓN 47. COMPORTAMIENTO DE UNA FUGA DE REFRIGERANTE HC



Fuente: Technical Training Workshop on HC Refrigerants; Safety and Application. Daniel Colbourne

Estas propiedades, proporcionan los datos necesarios para realizar el diseño seguro de los sistemas de refrigeración que utilizan hidrocarburos como refrigerantes. Algunos parámetros que se pueden calcular a través de estas propiedades son la carga de refrigerante, el flujo de ventilación y la determinación del rango de temperaturas de operación de los componentes del sistema.

4.1.5. Estándares de seguridad para manejo de refrigerantes HC.

Hay una gran cantidad de códigos y normas de seguridad apropiados para el uso de refrigerantes HC y equipo relacionado. Por lo general, los sistemas de refrigeración deben diseñarse y fabricarse de acuerdo con los requisitos generales de seguridad para los refrigerantes de clasificación A3/L3.

La diferencia más importante entre los sistemas que utilizan refrigerantes inflamables y los que utilizan refrigerantes no inflamables, es la tolerancia de volumen por metro cuadrado y el uso de equipos eléctricos adecuados que no constituyan un riesgo en caso de fugas. A continuación se mencionan algunos códigos o estándares utilizados principalmente en Europa.

TABLA 26. CÓDIGOS DE SEGURIDAD PARA REFRIGERANTES HC.

ESTÁNDAR	TIPO DE EQUIPO	APLICACIÓN
EN 378	Comercial e industrial	Componentes, dispositivos de seguridad, diseño del sistema, ubicación, carga límite, clasificación del refrigerante, lugar de instalación, mantenimiento.
ISO 5149	Comercial e industrial	
BS 60335-2-24	Neveras domésticas y congeladores	Pruebas de presión, sistema eléctrico.
BS 60335-2-40	Aire acondicionado en fábricas y bombas de calor	Pruebas de presión, sistema eléctrico, mantenimiento, carga límite.
BS 60335-2-89	Fábricas, edificios comerciales, frigoríficos.	Pruebas de presión, sistema eléctrico.

Fuente: Technical Training Workshop on HC Refrigerants; Safety and Application. Daniel Colbourne.

Cabe destacar que el código BS 60335-2-24 es aplicado para sistemas que usan hasta 150 gramos de refrigerante inflamable.

Los mismos códigos pueden estar detallados en varios códigos regionales (provinciales, estatales o municipales). Es responsabilidad del ingeniero o contratista de sistemas de refrigeración o aire acondicionado conocer y entender las restricciones que regulan el uso de refrigerantes A3/L3 y seguir las pautas correspondientes.

4.1.6. Buenas prácticas para el mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado con Hidrocarburos.

Esta sección se ocupa principalmente de las actividades que deben implementar los técnicos que trabajan con equipos que utilizan refrigerantes HC, incluye aspectos de manejo, comprobación de área e identificación de riesgos. Es importante que los técnicos estén capacitados y que sigan los protocolos de trabajo seguro. Si el equipo lo permite, es recomendable trasladarlo a un taller que sea apropiado para el tipo de reparación y donde el trabajo pueda realizarse con seguridad.

4.1.6.1. Herramientas para trabajo con HC.

Todo equipo utilizado en el proceso de reparación o mantenimiento debe ser apropiado para el uso con refrigerantes inflamables. Se deberá prestar especial atención a la selección de:

TABLA 27. HERRAMIENTAS PARA TRABAJO CON HC.

Productos	Anotaciones
Detectores de gas	Deben ser electrónicos y adecuados para uso con gases inflamables y el refrigerante en cuestión.
Balanzas/ básculas	Si son electrónicas, deben se adecuadas para uso en un área donde puedan estar presentes refrigerantes inflamables, según lo confirme el fabricante.
Juego de manómetros/ calibradores/mangueras	Los materiales deben ser compatibles de manera que soporten la presión máxima y, de ser electrónicos, ser apropiados para uso en presencia de un refrigerante inflamable
Manómetro de vacío (vacuómetro)	Si es electrónico, debe ser adecuado para usar en presencia de refrigerantes inflamables, según lo confirme el fabricante
Bomba de vacío	Debe ser adecuada para uso con gases inflamables (por ejemplo, que no traiga motor universal – (con escobillas)) o dispuesta de manera que se pueda encender/ apagar desde un lugar donde no lleguen las emisiones de refrigerantes inflamables
Adaptadores para cilindros de refrigerantes	Asegúrese de contar con el adaptador de cilindro correcto, que permita retirar el refrigerante del cilindro de manera segura.
Cilindro de recuperación	Debe estar tasado para la máxima presión del refrigerante en uso y contar con las advertencias necesarias con relación al gas inflamable; también es importante adherirse a las normas de manejo para el cilindro de refrigerante.
Máquina para recuperar refrigerantes	Debe ser apropiada para usar con el tipo de refrigerante en consideración y también estar adecuadamente diseñada para refrigerantes inflamables.
Manguera de ventilación	Debido a que el impacto ambiental de las liberaciones directas de ciertos refrigerantes inflamables es mínimo, específicamente de los hidrocarburos, algunas veces se ventila antes que recuperar (generalmente para cargas de refrigerante pequeñas); en este caso se necesita una manguera de ventilación de suficiente longitud para permitir una evacuación directa hacia un lugar seguro en el exterior.
Ventilación mecánica	Cuando se trabaja con cargas mayores de refrigerante, es aconsejable contar con una unidad de ventilación mecánica segura, que ayude a diluir el refrigerante que se haya podido liberar por accidente.
Equipo de Protección Personal (EPP)	Normalmente implementos estándar como gafas, guantes, extinguidor de incendios
Letreros de advertencia	Adhesivos con advertencia de gas inflamable (triángulo amarillo), Letreros de advertencia de gas inflamable, Letreros de advertencia de área de trabajo.

Fuente: FICHA TÉCNICA Programa Acción por el Ozono.

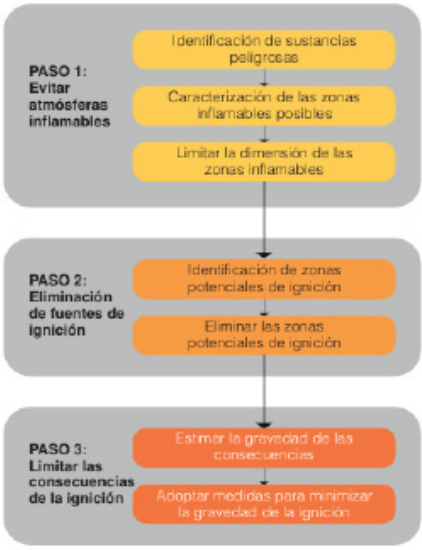
Solo trabaje con Nitrógeno seco libre de Oxígeno, la presencia de oxígeno puede introducir un riesgo de inflamabilidad (y la presencia de humedad puede ser perjudicial para la fiabilidad y el funcionamiento del sistema de refrigeración). En algunos países, el dióxido de carbono (CO2) puede ser de más fácil acceso para los técnicos que el nitrógeno, siempre y cuando cumpla los mismos requisitos en términos de ausencia de oxígeno y humedad, es decir, el dióxido de carbono seco libre de oxígeno.

4.1.6.2. Evaluación de riesgos y controles de seguridad con refrigerantes HC.

Con todos los refrigerantes inflamables existe riesgo de ignición por la concentración de gas inflamable, que es causada por una fuente de ignición desprotegida – podría ser una chispa eléctrica, una llama desnuda, una superficie muy caliente, o cualquier otro evento que genere suficiente energía. Por ello, antes de comenzar a trabajar con sistemas que contienen refrigerantes HC, es necesario efectuar una evaluación de riesgos y tomar ciertas medidas de seguridad para asegurarse de que el riesgo de ignición sea mínimo. Se recomienda:

- Realizar el trabajo bajo un protocolo de seguridad para minimizar el riesgo de explosión de un gas o vapor inflamable mientras se lleva a cabo la tarea.
- Debe evitarse el trabajo en espacios cerrados.
- Asegúrese de que las condiciones de seguridad dentro del área se hayan cumplido mediante el control de materiales inflamables.
- Se debe controlar el área con un detector de refrigerante adecuado para asegurar que el técnico tenga conocimiento de ambientes potencialmente inflamables. Asegúrese de que el equipo para detección de fugas utilizado sea apropiado para su utilización con refrigerantes inflamables, es decir que no genere chispas, esté sellado correctamente o sea inherentemente seguro.

ILUSTRACIÓN 48. PASOS BÁSICOS PARA EVALUAR EL RIESGO DE INFLAMABILIDAD.



Fuente: FICHA TÉCNICA Programa Acción por el Ozono

- Si se realizara algún trabajo a altas temperaturas sobre el equipo de refrigeración o alguna parte de éste, se deben tener al alcance de la mano equipos extinguidores de incendios adecuados. Tenga próximo al área de carga un extinguidor de incendios de polvo químico seco o de CO2.
- Todas las fuentes posibles de ignición, incluidos los cigarrillos, deben permanecer lo suficientemente alejadas del lugar donde se realiza la instalación, reparación, traslado o eliminación, en la que pueda producirse un escape de refrigerante inflamable hacia los espacios colindantes.
- Si es necesario soldar con aleaciones de estaño y plomo o zinc y cobre, esto debe realizarse en un lugar alejado del sistema en reparación, aire acondicionado o sistema de refrigeración. Si esto no es posible, el sistema debe evacuarse totalmente.
- Antes de comenzar el trabajo, el área que rodea al equipo debe ser examinada para detectar todo riesgo de inflamabilidad o ignición.
- Exhiba carteles con la prohibición de fumar.

• Asegúrese de que el área se encuentre al aire libre o que esté adecuadamente ventilada antes de abrir el sistema o realizar algún trabajo. Durante el período de desarrollo del trabajo, debe mantenerse un cierto grado de ventilación. La ventilación debe disipar de manera segura todo refrigerante liberado y eliminarlo preferentemente hacia el exterior.

4.1.6.3. Fuentes potenciales de ignición FPI (SOI – Sources of ignition).

No deben existir fuentes de ignición que formen parte del sistema o equipo de refrigeración con HC, por ello antes de realizar la carga con HC, se debe hacer una revisión exhaustiva para identificar las fuentes de ignición.

ILUSTRACIÓN 49. FUENTES DE IGNICIÓN

• **Componentes eléctricos:** Se deben tomar precauciones para evitar la posibilidad de que existan fuentes de ignición directas provenientes de contactos eléctricos descubiertos. Se debe prestar especial atención a los artículos eléctricos que puedan producir chispas durante el funcionamiento normal. Para ello se puede aplicar los siguientes métodos:

- Aislar las terminales.
- Ubicarlos dentro de recintos apropiados.
- Reemplazarlos por componentes en estado sólido.
- Reemplazarlos por componentes a prueba de explosiones.
- Ubicarlos en el exterior.

Las precauciones adecuadas mencionadas anteriormente por lo general se llevan a cabo si estos componentes no están formados sólo por piezas de estado sólido, o se encuentran en recintos firmemente encapsulados o sellados, o se encuentran ubicados en el exterior de la cobertura de las partes que contienen refrigerante. Los motores, incluidos los ventiladores, las bombas y los compresores, deben ser de un modelo sin escobillas para evitar posibles chispas. Los siguientes componentes se consideran como posibles fuentes de ignición:

- Interruptores manuales de encendido y apagado.
- Interruptor del nivel de líquido.
- Interruptor de la bomba de condensación
- Termóstatos.
- Conmutadores de flujo.
- Reguladores de velocidad del ventilador.
- Interruptores automáticos por caída o aumento de presión.
- Relés de arranque.
- Reguladores de humedad.
- Interruptores del diferencial de aceite

- Reguladores programables.
- Conmutador de retardo del ventilador.
- Relés de voltaje - Relojes/ interruptores de descongelación.
- Interruptor automático.
- Relés universales.
- Interruptores/relés de tiempo.
- Interruptores de aislamiento.

Tenga en cuenta que si la carga del refrigerante excede los 2.5 kg. (5.5 lb) en cualquier circuito de refrigeración, la elección de los artefactos eléctricos y su instalación debe realizarse de acuerdo con los requisitos provinciales, municipales o estatales pertinentes. En las salas de máquinas, es suficiente con instalar un equipo de detección de fugas para que desconecte la electricidad de toda la sala de máquinas mediante un interruptor automático cuando se detecte la existencia de refrigerante. El dispositivo de detección además debe iniciar la ventilación con un sistema de extracción apropiado desde una fuente de energía independiente.

- **Superficies calientes:** Se deben evitar las partes de máquinas de refrigeración cuyas superficies puedan tornarse excesivamente calientes. La superficie de todos los componentes que puedan tener contacto con el refrigerante liberado debe presentar una temperatura máxima que esté por lo menos 100°C (212°F) por debajo de la temperatura de ignición del refrigerante utilizado.

4.1.6.4. Intervención del circuito con refrigerante HC.

Lo ideal sería que cuando se accede a un sistema, ya sea para añadir refrigerante o retirarlo, deben emplearse válvulas de servicio. Si las válvulas de servicio no están presentes, debe ser utilizada una válvula de tipo Schrader. Para sistemas pequeños normalmente es necesario uso de válvulas pinchatubo.

En estos casos es esencial que la selección de la válvula pinchatubo se haga teniendo en cuenta el diámetro de la tubería a intervenir, para evitar la liberación de refrigerante. Es importante señalar que el uso de válvulas Schrader o válvula pinchatubo es debe ser considerado como un punto de acceso permanente al sistema. Por lo tanto, después de que todo el refrigerante sea eliminado o cargado, y el equipo opere en las condiciones de operación óptimas, se deben obturar y sellar.

En ninguna circunstancia, el sistema debe ser abierto si contiene cualquier refrigerante inflamable u otro gas a presión, por medio de corte o rotura de tuberías. Otros aspectos deben ser considerados, cuando se va a acceder al sistema:

- Si es necesario abrir un sistema, en especial para cambiar piezas o para soldar, se debe recuperar en su totalidad el refrigerante, usando los procedimientos adecuados.

• Aunque puede ser posible hacer pump-down en un sistema y acumular el refrigerante en algunos componentes de este mientras no está trabajando, generalmente es preferible recuperar toda la carga de refrigerante en cilindros, en el caso de fallos inesperados.
• Si el refrigerante se ha removido, el sistema debe ser barrido con Nitrógeno seco; y se debe asegurar que no queden residuos de HC, si es necesario repita varias veces el proceso.
• Antes de realizar cualquier trabajo adicional, el área debe ser inspeccionada con un detector de refrigerante adecuado.
• Antes y durante de un proceso de soldadura debe circularse nitrógeno seco a través de la tubería a baja la velocidad.
• No deben ser utilizados ni aire comprimido ni oxígeno para el lavado o presurización del sistema en ninguna circunstancia.

ILUSTRACIÓN 50. SEÑALIZACIÓN DE ÁREA DE TRABAJO.

Fuente: Operación de equipo de aire acondicionado tipo split con HC. GIZ Proklima International.

4.1.6.5. Recuperación de refrigerante HC.

Antes de trabajar en un sistema, es necesario retirar el refrigerante. En la mayoría de los casos se recomienda ventearlo, pero también se puede recuperar. Los procedimientos de recuperación con los refrigerantes tradicionales aplican con los HC. Sin embargo, hay que prestar atención a los siguientes aspectos:

•La máquina de recuperación utilizada debe ser adecuada para uso con refrigerantes inflamables, y en particular, no debería tener ninguna fuente potencial de ignición (los requisitos son los mismos que para una máquina recuperadora convencional).

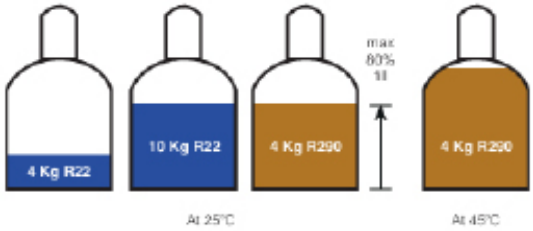
•El cilindro de recuperación debe ser adecuado para el refrigerante utilizado (específicamente, en lo concerniente a la calificación de presión y la compatibilidad de las juntas de las válvulas, etc.)

Al conectar las mangueras entre el sistema de refrigeración, manómetros, máquina de recuperación, y cilindro de recuperación, asegúrese de que las conexiones sean seguras y no hay fuentes potenciales de ignición cerca. Dado que es una buena práctica purgar las mangueras, el manifold y la maquina recuperadora antes de la recuperación, procure que sea con el mismo refrigerante. Asegúrese que haya suficiente ventilación, para diluir el refrigerante ventilado.

El llenado del cilindro de recuperación debe hacerse con cuidado, monitoreando la masa de refrigerante añadido, por lo tanto, el cilindro debe mantenerse preferiblemente encima de una balanza electrónica durante el proceso. Asegúrese de que el cilindro no se llene en exceso, eso significa que el cilindro no debe llenarse por encima del 80% de su volumen de refrigerante líquido. Del mismo modo, la presión de descarga también debe ser monitoreada para asegurarse que la presión máxima admisible del cilindro de recuperación no se supere nunca. Después de que la recuperación se ha completado, el cilindro de recuperación debe ser etiquetado con el tipo y la masa de refrigerante que contiene.

Los refrigerantes HC en estado líquido tienen menos de la mitad de la densidad de los refrigerantes halogenados, y por lo tanto ocupan más de dos veces el volumen dentro de un cilindro. Si esto no se considera al añadir el refrigerante a un cilindro de recuperación, existe la posibilidad de ruptura del cilindro, por ejemplo, si se tienen 10 kg de R-22, la masa equivalente de R-290 serían 4 kg, ver la figura.

ILUSTRACIÓN 51. MASA EQUIVALENTE DE REFRIGERANTE HALOGENADO VS REFRIGERANTE HC



Fuente: Proklima Internationa. Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants

La capacidad máxima de llenado del cilindro se puede estimar a partir de:

Max llenado de HC (kg) = 0,4 × máximo de llenado de HFC o HCFC (kg).

Después de recuperado el refrigerante del sistema es recomendable hacerle barrido con Nitrógeno seco para eliminar cualquier residuo de refrigerante HC.

4.1.6.6. Ventilación de refrigerante HC.

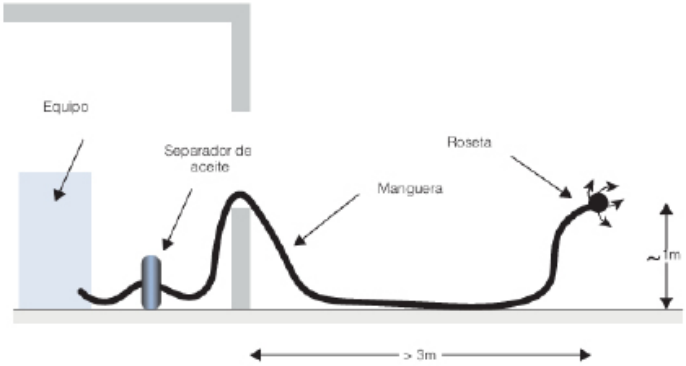
La ventilación (o venteo) puede llevarse a cabo como una alternativa a la recuperación de refrigerante. Los refrigerantes HC tienen PAO cero y PCG muy bajo, por lo cual, bajo ciertas circunstancias, puede considerarse aceptable ventilarlos (o ventearlos).

Normalmente, la ventilación (venteo) solamente se lleva a cabo con sistemas que contienen una pequeña cantidad de refrigerante, típicamente menos de 150 g; cantidades más grandes deben ser recuperadas. Si la ventilación (venteo) se debe llevar a cabo, se requiere un conjunto de procedimientos especiales para asegurar que se realiza de forma segura, y mediante el uso adecuado de una manguera adecuada. Las recomendaciones por seguir son las siguientes:

- La ventilación (venteo) en el interior de un edificio no es admisible en ninguna circunstancia.
- La ventilación (venteo) no debe ser en un área pública, o cuando las personas no son conscientes del procedimiento que se realiza en lugar.
- Se debe utilizar una manguera que tenga una longitud tal que se extienda al menos 3 metros más allá del exterior del edificio.
- La ventilación (venteo) debe tener lugar únicamente bajo la certeza de que el refrigerante no va a acumularse en un edificio adyacente, y que no va a migrar a un lugar por debajo del nivel del suelo.
- El tubo o manguera debe ser de material que sea compatible con refrigerantes HC.
- Idealmente, el tubo o manguera debería tener un tipo de aspersor en el extremo, con bastantes orificios, de manera que el refrigerante sea ventile en diferentes direcciones, de manera que se diluya con más facilidad.
- No debe haber fuentes de ignición cerca de la descarga de la manguera.
- Una señal de advertencia de gas inflamable debe colocarse cerca de la descarga de la manguera.
- La manguera debe ser revisada periódicamente para asegurarse de que no tiene agujeros o dobleces, que podrían llevar a fuga o bloqueo del paso de flujo.

Al llevar a cabo la ventilación (el venteo), el flujo de refrigerante debe ser medido usando un manifold con manómetros a una velocidad baja, a fin de garantizar que el refrigerante sea bien diluido. Una vez que el refrigerante ha dejado de fluir, el sistema debe barrerse con nitrógeno seco para asegurar que no existan trazas de refrigerante HC en el interior.

ILUSTRACIÓN 52. VENTEO DE REFRIGERANTE HC.



Fuente: Proklima Internationa. Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants

4.1.6.7. Detección de fugas (pruebas de estanqueidad).

La detección de fugas es una actividad importante para llevar a cabo cuando se trabaja en sistemas de refrigeración, más aún si el refrigerante que utiliza es HC. Los métodos más comunes para detectar fugas en un sistema con HC son:

- **Prueba de la burbuja:** el sistema está presurizado a la presión de trabajo nominal con nitrógeno, y con agua jabonosa u otro fluido especial, se chequean una a una las uniones.
- **Prueba de presión:** el sistema está presurizado a la presión de trabajo nominal con nitrógeno, y se chequea la presión durante un periodo de tiempo (al menos 10 minutos) con el fin de comprobar si hay una caída de la presión. Esto debe realizarse en un ambiente de temperatura constante. El método no es tan preciso, ya que con él no se puede identificar fugas muy pequeñas y el cambio de presión puede darse por otros factores tales como compensación de la presión interna de la mezcla con aceite.
- **Detector de gas electrónico:** Luego de la carga del sistema con refrigerante, y con un detector de fugas se chequea cada unión, junto con este método se utiliza el método de la burbuja.
- **Colorante fluorescente:** Esto requiere la adición de un tinte particular dentro del sistema, el cual normalmente se mezcla con el aceite. Seguidamente si hay fuga, esta se puede ubicar con la ayuda de una lámpara de luz ultravioleta. Este método también se suele usar en unión con el del método de la burbuja.

Tras la identificación de la fuga, se deben utilizar métodos apropiados para repararla. Es esencial ser conscientes de que los sistemas pueden tener más de una fuga, por lo que el sistema debe ser revisado en varias ocasiones, incluyendo las fugas recientemente reparadas.

Se recomienda inspeccionar regularmente el sistema, el nivel de carga y revisión de fugas, sobre todo en los sistemas más grandes.

4.1.6.8. Reparación de fugas.

Es de suma importancia reparar adecuadamente las fugas de refrigerante, tan pronto como se descubren. Si ellas no pueden ser reparadas inmediatamente, el refrigerante debe ser removido del sistema hasta que la fuga sea reparada adecuadamente. Se deben seguir varias recomendaciones para reparar una fuga:

- Repare la fuga correctamente - esto quiere decir, recuperar el refrigerante, identificar el sitio donde se da la fuga, determinar el motivo de la fuga y llevar a cabo la reparación de la fuga.
- Del análisis de la fuga y posterior determinación de la causa, trate de identificar y definir las acciones pertinentes para que la fuga no vuelva a ocurrir.
- Si se ha producido la fuga de una conexión roscada, trate de hacer la unión con una soldadura fuerte o un método efectivo de unión.

• Antes de iniciar la reparación, asegúrese de que el refrigerante ha sido retirado totalmente y el sistema haya sido barrido con nitrógeno seco, especialmente si se llevado a cabo una soldadura.

Para sellar el sistema después de la intervención, se recomienda utilizar una soldadura fuerte o soldaduras en frio, por ejemplo “Lokring”.

4.1.6.9. Presurización.

Normalmente se debe hacer una prueba de presurización después de haber intervenido el sistema. La presurización debe ser realizada de la misma manera que se hace con otro refrigerante. En resumen, los pasos a seguir son:

• Usar los elementos de protección personal adecuados.
• Cargar el sistema con un gas inerte, normalmente nitrógeno seco.
• Poco a poco presurizar el sistema a 1,1 × presión de trabajo permisible del sistema, según lo prescrito en la placa de datos del sistema.
• Mantenga la presión durante varios minutos y verifique el manifold, para identificar cualquier cambio de presión.

Si la presión máxima de trabajo no aparece en la placa, entonces puede ser calculada de acuerdo con la presión de saturación del refrigerante a 55 °C.

4.1.6.10. Vacío al sistema.

Después de que el sistema haya sido sellado y presurizado, es necesario realizar vacío, con el fin de eliminar los gases no condensables, la humedad y el refrigerante residual no deseado.
Al conectar las mangueras entre el sistema, manifold y la bomba de vacío, asegúrese de que las conexiones son seguras y no hay fuentes potenciales de ignición cercanas. Además, asegúrese de que la descarga de la bomba está en una zona libre de posibles fuentes de ignición. Utilice un vacuómetro.
El sistema debe alcanzar una presión deseada de 500 micrones o menos, luego se deja reposar durante aproximadamente 15 minutos para asegurarse de que todo el refrigerante se ha eliminado del aceite y cualquier humedad residual se ha evaporado. Si la presión aumenta, esto podría darse debido a la evaporación de humedad o una fuga. Si continúa después de dos o más procedimientos de vacío, esto indica la presencia de una fuga, en este caso debe identificarse y corregir la fuga, y volver a realizar el procedimiento de vacío. Asegúrese de que la bomba de vacío es de buena calidad y de la capacidad adecuada para el sistema, de igual manera el nivel de aceite de la bomba debe ser el correcto.

La bomba de vacío debe estar libre de posibles fuentes de ignición, por ejemplo, el interruptor on/off que sea de un tipo que no produzca chispa.

4.1.6.11. Carga de refrigerante HC.

La carga de los sistemas de refrigeración con refrigerantes HC es similar a aquellas que se realizan con refrigerantes halocarbonados. Antes de la carga, el sistema debe haber llegado a un vacío por debajo de 500 micrones y se debe haber sostenido durante al menos 15 minutos. Al igual que con todas las mezclas de refrigerantes, las combinaciones de refrigerantes de HC también deberán cargarse en estado líquido, para efectos de mantener la composición correcta de la mezcla.

Se deberá tener extremo cuidado de no llenar excesivamente el sistema de refrigeración. (Tenga en cuenta que los volúmenes de carga de los refrigerantes de HC generalmente contienen de 40% a 42% de la carga de HCFC y de 35% a 38% de HFC.

En sistemas de baja capacidad empleando R600a tenga en cuenta que la precisión de carga debe mantenerse dentro de más o menos un gramo, este control es muy importante, pues de ello depende el buen rendimiento del sistema de refrigeración, razón por la cual es necesario tener una balanza con adecuada precisión para realizar la carga por peso. Se deberán cumplir los siguientes requisitos adicionales:

- Asegúrese de que no se contaminen los distintos refrigerantes cuando utilice el equipo de carga.
- Las mangueras o tuberías deben ser lo más cortas posible para minimizar la cantidad de refrigerante en ellas.
- Se recomienda mantener los cilindros en posición vertical y cargar el refrigerante en estado líquido.
- Asegúrese de que el sistema de refrigeración presente una conexión a tierra antes de cargarlo con el refrigerante.
- Coloque una etiqueta en el sistema una vez que se haya completado la carga. La etiqueta debe indicar que tipo de refrigerantes HC se ha cargado en el sistema y que el refrigerante es inflamable. Coloque la etiqueta en un lugar visible del equipo.

4.1.6.12. Determinación de la carga máxima o límite de carga de refrigerante (Mmax).

Los límites de carga o las cantidades máximas de los refrigerantes inflamables que se pueden incluir dentro de un sistema están restringidos de acuerdo con el nivel de riesgo que supone para los ocupantes y las personas en el área circundante o el tipo de equipo de refrigeración. Existen dos criterios básicos para determinar la carga máxima:

a) La primera es el tamaño de la carga admisible (en kg), como función del tamaño de la habitación o volumen (en m3) y límite práctico, basado en el LFL (Límite inferior de Inflamabilidad) y en kg/m3, para el refrigerante.

b) El segundo es el tamaño de la máxima carga (en kg) y esto se refiere al límite superior absoluto que la carga admisible puede alcanzar para la clase de ocupación.

El menor de estos dos valores (en kg), será la máxima cantidad de refrigerante que puede estar contenida en el sistema de enfriamiento.

Los sistemas con capacidades de carga de 150 gr (0.33 lb) o inferiores pueden instalarse en habitaciones de cualquier tamaño. Sin embargo en mayo 2020, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) aprobó un aumento del límite de carga de hidrocarburos en vitrinas comerciales autónomas a 500 g (17.6 oz) de 150 g (5.3 oz) bajo su estándar IEC 60335-2-89. En todo caso, la habitación donde se instale el equipo debe tener un tamaño tal que una pérdida repentina de refrigerante no ocasione que la concentración media en la habitación supere el límite práctico de 0.008kg/m3 (0.00049944 lb/ft3).

Tenga en cuenta que, los refrigerantes inflamables de uso común son más pesados que el aire y tienden a ubicarse a nivel del suelo. Esto significa que incluso con las restricciones de carga de 20% de Límite Inferior de Inflamabilidad, si existen habitaciones mal ventiladas puede darse un accidente. En general para calcular la máxima carga se considerará la ecuación dada por EN378-1:2008, la cual establece:

$$Mmax = 2.5 \times LFL1.25 \times h \times \sqrt{A}$$

Mmax = Carga Máxima en kg.
LFL= Límite inferior de Inflamabilidad, kg/m3
h = Altura de la unidad, m, (0.6 para piso, 1.0 para ventana, 1.8 para muro, 2.2 para techo)
A = Área del piso, m2

Si se instala un equipo que puede liberar su carga en una habitación con espacio vacío bajo el suelo, se deben tomar ciertas precauciones. En aquellos lugares en donde existen fuentes de ignición en los espacios vacíos bajo el suelo, deben sellarse o ventilarse. Los sistemas de refrigeración que contengan más de 1.0 kg. (2.2 lb) no deben ubicarse en espacios bajo el nivel del suelo.

Si existen instalaciones ubicadas en el techo de una construcción, se deben tomar precauciones para asegurar que, en el caso de un escape, el refrigerante no ingrese al edificio.
Los requisitos de capacidad de carga según la norma EN 378, sección 1, anexo C están resumidos en la siguiente tabla:

TABLA 28. REQUISITOS DE CAPACIDAD DE CARGA

Categoría	Ejemplos	Volúmenes calculados a partir de los límites prácticos
A. Un lugar donde la gente puede dormir o donde el número de personas presentes no se controla o al que cualquier persona tiene acceso sin estar al corriente de las medidas de seguridad personales.	Hospitales, cárceles, hogares de ancianos, teatros, supermercados, terminales de transporte, hoteles, salas de conferencias, viviendas, restaurantes, pistas de hielo, compartimentos de vehículos.	✓ 1.5 kg. (3.3lb) por sistema sellado, siempre que no haya fuentes de ignición asociadas al sistema de refrigeración. ✓ 5kg. (4.99kg) en salas de máquinas especiales o al aire libre.
B. Recintos, partes de edificios o edificios, donde sólo pueden estar conjuntamente un número limitado de personas, alguno de ellos necesariamente tiene que estar al corriente de las precauciones de seguridad personal.	Laboratorios, lugares de fabricación en general, edificios de oficinas.	✓ 2.5 kg. (5.5lb) por sistema. ✓ 10kg. (22lb) en salas de máquinas especiales o al aire libre.
C. Una ocupación no abierta al público y donde sólo se permite el acceso al personal autorizado. Las personas autorizadas deben estar al corriente de las precauciones de seguridad personales generales del establecimiento.	Cámaras frigoríficas, refinerías, mataderos, las áreas no públicas en supermercados, instalaciones de fabricación.	✓ 1.5 kg. (3.3lb) por sistema sellado, siempre que no haya fuentes de ignición asociadas al sistema de refrigeración. ✓ 5kg. (4.99kg) en salas de máquinas especiales o al aire libre. ✓ No tiene límites si todas las piezas que contienen refrigerante se colocan en una habitación especial para máquinas o al aire libre.

Fuente: Norma EN 378, sección 1, anexo C .

4.1.6.13. Sellado del sistema.

Al terminar el trabajo con el sistema, se debe sellar el circuito de acuerdo con las pautas. Esto significa mediante:

- El uso de conectores de compresión (por ejemplo, Lokring)
- Obturar el puerto de servicio (tubo de proceso) mediante compresión del tubo y posterior sellado del extremo con soldadura.
- Cierre de válvulas de servicio

Generalmente, se debe evitar dejar en el sistema válvulas Schrader o de corte. Las válvulas Schrader pueden tener fugas cuando no se sellan adecuadamente debido a su uso repetido conectando y desconectando accesorios de medición y los tapones, que se deben mantener en la válvula para consolidar el sellado se pueden retirar fácilmente y a menudo son ignorados y dejados fuera. Las válvulas de corte son únicamente para uso temporal (por ejemplo, recuperación de refrigerante), pero no se deben dejar de modo permanente en el sistema.

4.1.6.14. Consideraciones finales después de la intervención:

• **Efectuar una revisión final de fugas.** Después de efectuar la carga de refrigerante, realizar pruebas de detección de fugas usando una combinación de detectores de HC y prueba de burbuja, revisando cada unión, conexión y componente para comprobar ver que no haya presencia del refrigerante. Si se identifica alguna fuga, siga los procedimientos adecuados para repararla.

• **Verificaciones finales:** Después de efectuar la carga y de que se ha completado la verificación de que no haya fugas, realice las verificaciones finales para garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema:

• Repita las verificaciones a los componentes eléctricos (es decir, que no haya fuentes potenciales de ignición)
• Inicie la operación de la máquina de refrigeración y haga funcionar la unidad durante 15 a 30 minutos.
• Solo después que la máquina haya entrado en régimen de funcionamiento normal (se produzca el primer ciclo de parada por sus controles normales de operación), verifique que las presiones, temperaturas y corriente de operación sean las esperadas.
• Asegúrese de que se hayan vuelto a colocar las tapas de sellado de las válvulas.

• **Señalización para sistemas instalados en el lugar, de los compresores y sistemas unitarios.** Las instrucciones de seguridad relacionadas con el refrigerante en uso deben exhibirse principalmente en las salas de máquinas. Se recomienda que los sistemas de refrigeración instalados en el lugar posean una placa claramente visible que proporcione al menos la siguiente información:

• Nombre y domicilio del instalador.
• Año en que se realizó la instalación
• Tipo de refrigerante
• Niveles de presión permitidos para el sistema
• Carga aproximada del refrigerante

• **Señalización de tuberías.** Las tuberías deben señalizarse preferentemente de acuerdo con un código apropiado (por ejemplo, un código de color para indicar la sustancia que circula por dentro).

• **Etiquetas adhesivas para gases inflamables:** Es recomendable que todos los sistemas tengan pegadas por lo menos dos etiquetas adhesivas de “gases inflamables” antes de la puesta en funcionamiento. Las etiquetas deben ubicarse sobre el compresor, el receptor y cualquier otra parte del sistema a través de la cual el técnico podría tener acceso al refrigerante.

ILUSTRACIÓN 53. SEÑALES DE ADVERTENCIAS CUANDO SE USA HC COMO REFRIGERANTE

Fuente: Operación de equipo de aire acondicionado tipo split con hidrocarburos. GIZ Proklima International.

4.1.7. Proceso de reconversión con hidrocarburos HC.

Cuando se utiliza un refrigerante inflamable en un sistema que comúnmente usa un refrigerante no inflamable, se aplica el término “reconversión”. Esto es importante ya que se diferencia de otras frases como “recarga”, “drop-in (fácil reemplazo)” y “retrofit”. El motivo para esto radica en que cuando se cambió de refrigerante no inflamable (como R-12) fue cambiado por otro refrigerante no inflamable (como R-134a), el cambio requerido en el sistema, se relacionó con el rendimiento (por ejemplo, cambio de longitud de tubo capilar) o compatibilidad (por ejemplo, cambio del tipo de aceite). Sin embargo, al cambiar un refrigerante no inflamable (como R22) por un refrigerante HC (como R290), se deben tomar en cuenta consideraciones adicionales. Estas incluyen la identificación de si el HC se puede aplicar o no dadas las condiciones particulares desde una perspectiva de seguridad y, de ser así, realizar los cambios necesarios al equipo, que tiene relación con la reducción del riesgo de inflamabilidad.

No se recomienda la conversión de equipos con R12, R134a, R-22 a R600a o R-290, porque estos sistemas no están diseñados para la utilización de refrigerantes inflamables, además los elementos de seguridad eléctricos no están de acuerdo con las normas necesarias. Sin embargo, si decide hacer la reconversión, es necesario que considere cuidadosamente las implicaciones y pondere los riesgos y beneficios, y siga cuidadosamente las recomendaciones dadas en este capítulo, más las expuestas a continuación:

- Todo técnico que participe en la reconversión debe estar capacitado, ser competente y si es posible certificado para usar refrigerantes inflamables.
- Si el equipo está operando bien, no realices la reconversión. Déjelo como está.
- Sólo realizar la reconversión con permiso del propietario de la instalación.
- Utilizar equipos de servicio y mantenimiento apropiado para el uso de refrigerantes HC.
- Si la situación lo permite, se recomienda retirar el equipo de su ubicación actual a un ambiente de trabajo controlado, donde el trabajo del equipo puede llevarse a cabo de manera más segura y controlada.

Cuando se presenta la opción de reconvertir un sistema en particular, es importante seguir una secuencia lógica de consideraciones relacionadas con la seguridad, para facilitar la decisión correcta. Dichas consideraciones incluyen los siguientes aspectos:

- El tipo y complejidad del equipo que se va a modificar.
- El ambiente y la ubicación donde está instalado el equipo.
- La cantidad de refrigerante usado (en relación con la ubicación del sistema).
- La facilidad o posibilidad de modificar partes del sistema.
- La facilidad o posibilidad de manejar las fuentes potenciales de ignición.
- La necesidad de que el propietario desarrolle una conciencia específica sobre el funcionamiento del sistema.

En la siguiente tabla se listan algunos equipos y la posibilidad de reconvertirlo a HC, ésta puede ayudar en la evaluación de la idoneidad del equipo (por lo general con respecto a los requisitos de las normas de seguridad), aunque sigue siendo necesario considerar otros aspectos relacionados con la seguridad.

TABLA 29. FACTIBILIDAD TÍPICA PARA LA RECONVERSIÓN DE UN SISTEMA A HIDROCARBUROS

Sector	Tipo de equipo	Tipo de sistema	Idoneidad
Aires acondicionado, deshumidificadores y bombas de calor domésticos.	Unidades portátiles	Integral	✔ ✔
	Unidades de ventana	Integral	✔ ✔
	Unidades de pared	Integral	✔
	Split (Unidades divididas)	Remoto	✔ ✔
Bombas de calor y aires acondicionados comerciales	Split (Unidades divididas)	Remoto	✔ ✔
	Multi-split (Múltiples divisiones/VRV)	Distribuido	x x
	Con ducto en paquete	Remoto	x
	Con paquete central	Remoto	✔ ✔
	Chillers Centrífugos	Integral/indirecto	x x

Fuente: Operación de equipo de aire acondicionado tipo split con hidrocarburos. Proklima International.

La convención utilizada da a entender lo siguiente:

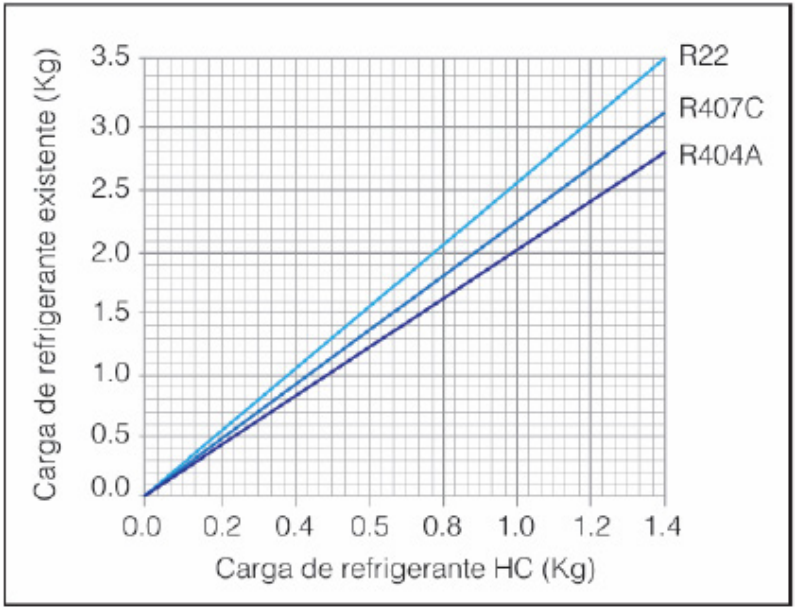
✓ ✓ Frecuentemente factible:
✓ Algunas veces factible
x Normalmente NO es factible
x x NO es factible (casi siempre)

Como se puede observar en la anterior tabla, los sistemas de ductos y multi-split, que usan grandes cargas de refrigerante, no son adecuados para la reconversión a refrigerantes HC, al igual que los sistemas de refrigeración con gran cantidad de tuberías y varios evaporadores en los edificios de varias plantas.

4.1.7.1. Estimación de la carga de HC equivalente (MHC).

Esto se hace con base en el valor de la carga existente, usando la placa de datos del equipo y/o verificando la cantidad existente de refrigerante "antiguo" durante el proceso de recuperación. Con este dato en la siguiente figura, estime la masa equivalente de refrigerante HC.

ILUSTRACIÓN 54. CONVERSIÓN PARA ESTIMAR LA CARGA EQUIVALENTE DE HC



Fuente: Operación de equipo de aire acondicionado con HCs. GIZ Proklima International.

4.2. DIÓXIDO DE CARBONO (R-744).

El CO2 (dióxido de carbono) es un gas incoloro e inodoro, que está presente en la atmósfera en una concentración del 0,042%. En refrigeración, es conocido por la sigla R-744 (ASHRAE 34). Se trata de una sustancia pura, por lo que no tiene deslizamiento de temperatura durante el cambio de fase. Es un gas no inflamable, y no explosivo. Sus características termodinámicas en baja temperatura permiten reducir los volúmenes de los circuitos frigoríficos y los consumos energéticos. La temperatura crítica de 30,98°C limita su utilización.

Hasta los años 50, el CO2 había sido utilizado en sistemas de transporte marítimo refrigerado, siendo posteriormente remplazado por CFC y más tarde por refrigerantes HCFC.

TABLA 30. CARACTERÍSTICAS DEL CO2.

Criterio	Descripción
Capacidad de enfriamiento	Capacidad volumétrica significativamente más alta en comparación con los refrigerantes convencionales.
Eficiencia	Depende del sistema y temperatura ambiente
Condiciones de operación	Presiones de trabajo y de parada significativamente superiores en comparación con los otros refrigerantes comunes en refrigeración.
Propiedades ambientales	Potencial de calentamiento global= 1; significativamente más bajo que los refrigerantes HFCs.
Disponibilidad del refrigerante	Varía dependiendo del sitio, pero generalmente disponible.
Disponibilidad de los componentes del sistema	Muchos componentes son diferentes a los usados con los HFCs, pero estos están generalmente disponibles.
Costo	El costo del refrigerante R744 es más bajo que los HFCs, pero el sistema con este refrigerante es generalmente más costoso.
Disponibilidad de ingenieros y técnicos competentes	Varia globalmente pero generalmente es bajo, los ingenieros y técnicos deben poseer buen entendimiento de los principios básicos y buenas prácticas de refrigeración y deberán perfeccionar el entrenamiento en el manejo del R744.
Seguridad	Baja toxicidad y no inflamable; alta presión.
Facilidad de uso	La alta presión y punto crítico bajo hacen necesario un sistema más robusto.
Disponibilidad de estándares	Estándares de seguridad ASHRAE 15 y 34 e ISO 5149 que incluye R744.

Fuente: Emerson Climate Technologies. Guide for Subcritical and Transcritical CO2 Applications. 2015.

4.2.1. Densidad.

La densidad del CO2 es mucho más elevada en comparación con otros refrigerantes, esto debido a que el volumen desplazado para obtener la misma capacidad de refrigeración es mucho más pequeño. Eso conlleva:

- Compresores de menor tamaño (cilindrada).
- Menor cantidad de refrigerante en la instalación.
- Menor tamaño de recipiente y líneas.

4.2.2. Temperatura de descarga.

La compresión de cualquier gas, conlleva un aumento de la temperatura de este por encima de la de saturación a la presión final. La compresión de CO2 en un ciclo en cascada [-50/-5°C], puede llevarlo a temperaturas de descarga cercanas a los 80°C.

4.2.3. Lubricante y retorno de aceite.

Los aceites Poliester (POE) tienen buena miscibilidad con el R744 y son predominantemente usados como lubricantes en los compresores que utilizan este refrigerante. El R744 líquido es más pesado que el aceite, en comparación con los HFC, por tal razón es necesario un sistema eficaz de separación y retorno de aceite al compresor.

4.2.4. Materiales.

El R744 es compatible con muchos materiales usados en sistemas de refrigeración. Los elastómeros deben ser seleccionados cuidadosamente ya que el R744 es más penetrante que otros refrigerantes. Las tuberías de acero se utilizan a menudo en los sistemas con R744, debido a las altas presiones, sobre todo en las líneas de descarga y las cabeceras. El acero normal puede ser frágil a temperaturas bajas, en el caso de una fuga la temperatura puede reducirse casi a -78 °C, por lo tanto, debe usarse acero especialmente apto para baja temperatura.

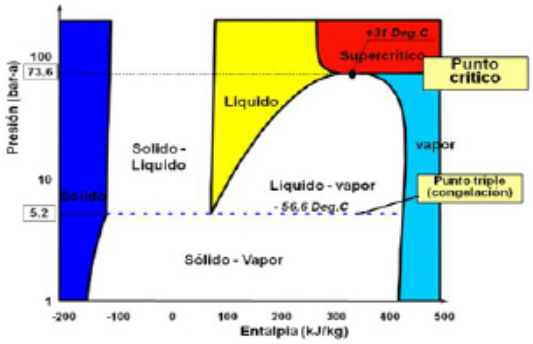
4.2.5. Potencial en aprovechamiento de calor.

La temperatura de descarga del sistema con R744 es más alta que sistemas con HFC con similares temperaturas de evaporación y ambiente. Esto provee un mayor potencial para el aprovechamiento de temperatura de proceso dada.
Adicionalmente cuando el refrigerante está en condiciones transcríticas, la temperatura en el gas cooler se reduce en el proceso de intercambio de calor; esto es una ventaja sobre un condensador subcrítico, donde la temperatura del refrigerante se reduce solamente mientras haya un sobrecalentamiento entre la temperatura de descarga y la temperatura de saturación de condensación, la mayor parte de rechazo de calor se hace a temperatura constante.

4.2.6. Presiones de trabajo.

La principal característica que condicionará el diseño de una instalación de CO2 son las elevadas presiones a las que opera el circuito. Comparando el CO2 con otros refrigerantes utilizados habitualmente en el campo de la refrigeración comercial e industrial, se observa que la presión de saturación de éste está muy por encima del resto en cualquier rango de temperaturas, especialmente en las de condensación.

ILUSTRACIÓN 55. PUNTOS CRÍTICOS DEL CO2



Fuente: "El uso del CO2 como refrigerante en centrales frigoríficas". Pecomark

4.2.7. Riesgos asociados al uso de R-744 (CO_2).

El R744 es no inflamable, pero presenta altas presiones, es toxico en altas concentraciones y posee alta posibilidad de formar hielo seco cuando se aplica o manipula. El CO2 es más pesado que el aire, por lo que tiende a descender. Este hecho puede resultar muy peligroso (especialmente en espacios reducidos), ya que al no ser auto alarmante (como el amoníaco) puede desplazar el oxígeno hasta límites nocivos para la salud. Ello conlleva a la necesidad de una especial atención a la detección de fugas y la ventilación de emergencia.

• Asfixia. El R744 es inodoro, es más pesado que el aire, requiere altas presiones para su aplicación práctica en refrigeración y es asfixiante. Los límites de concentración del R744 son mucho menores que para los HFCs por su alto índice de desplazamiento de oxígeno.

• El límite de concentración de para el R744, 40000 ppm.
• El límite de concentración del R404A, 130000 ppm.

TABLA 31. LIMITE PRÁCTICO DE TOXICIDAD DEL CO2 Y SUS EFECTOS.

ppm de CO2	Efectos
420	Concentración en la atmósfera
5000	Límite de exposición a largo plazo (8 horas)
15000	Límite de exposición a corto plazo (10 min)
30000	Malestar, dificultad para respirar, dolor de cabeza, mareos, etc
100000	Perdida de la conciencia, muerte
300000	Muerte rápida.

Fuente: Emerson Climate Technologies. Guide for Subcritical and Transcritical CO2 Applications. 2015.

Si una fuga de R744 se diera, podría resultar en un sobrepaso del límite práctico para un espacio cerrado ocupado como en un cuarto frio, en este caso se deben tomar precauciones para prevenir la asfixia. Estas incluyen el uso permanente de un detector de fugas que active una alarma en el evento de una fuga.

• **Alta presión**. Los componentes del sistema, tuberías, herramientas y equipos deben ser aptos para operar a las altas presiones de trabajo que presenta este refrigerante. Cabe señalar que la presión de parada en algunos sistemas (por ejemplo, los sistemas en cascada) es superior a la presión máxima de trabajo permitida, (PSMA), de ahí el ajuste de la válvula de alivio de presión.

Para asegurarse de que la presión no alcance la presión de alivio en el caso de un fallo, los sistemas con R744 pueden ser equipados con un pequeño sistema de refrigeración auxiliar. Lo recomendable es que opere con una fuente de alimentación auxiliar que se encenderá cuando la presión suba por encima de un punto de referencia (esto es más baja que la máxima presión de trabajo permisible, pero superior a la presión de funcionamiento normal).

Se debe tener cuidado al cargar los sistemas con R744. La presión máxima de operación de algunos sistemas (por ejemplo, sistemas en cascada y partes de sistemas transcriticos es normalmente por debajo de la presión del cilindro con R744. Estos sistemas deben ser cargados lentamente y con cuidado para evitar la actuación de válvulas de descarga.

TABLA 32. PRESIÓN DE PARADA Y TRABAJO.

Parada a temperatura ambiente de 50°F	638 psig
Parada a temperatura ambiente de 86°F	1031 psig
Baja temperatura de evaporación (comida congelada)	145 - 218 psig
Alta temperatura de evaporación (comida conservada)	363 - 435 psig
Condensador en el sistema en cascada	435 - 508 psig
Presión de corte en el sistema en cascada por alta	522 psig
Presión válvula de alivio en el sistema en cascada	580 psig
Lado de alta en el sistema transcrítico	1305 psig
Presión de corte en el sistema transcrítico	1566 - 1827 psig
Presión válvula de alivio en el sistema transcrítico	1740 - 2030 psig

Fuente: Emerson Climate Technologies. Guide for Subcritical and Transcritical CO2 Applications. 2015.

• **Hielo seco.** Hielo seco (R744 sólido) es formado cuando la presión y la temperatura del R744 es reducida por debajo del punto triple (75.1 psia, -69.8°F). Esto normalmente no ocurre con las condiciones propias de trabajo del sistema de refrigeración, pero pueden darse cuando:

• Si durante la descarga de la válvula de alivio se ventea vapor de R744.
• Se ventea R744 durante un servicio (cambio o remplazo de un componente, por ejemplo).
• Carga un sistema que se encuentra por debajo de 75.1 psia (ejemplo un sistema en vacío).

El hielo seco no se expande cuando se ha formado, pero puede convertirse en un gas cuando absorbe calor (por ejemplo, del medio ambiente). Si el hielo seco es atrapado en el sistema, este absorberá calor de los alrededores y se convertirá en gas. Esto resultara en un incremento significativo de la presión.

El hielo seco puede bloquear los conductos de respiración, por lo que se debe tener cuidado para asegurar que esto no vaya a ocurrir, mediante:

• Uso de válvula de alivio apropiada.
• Cuando se ventila el R744 de un sistema durante el servicio, éste debe ser venteado como un líquido, monitoreando la presión. El R744 debe ser venteado siempre fuera del edificio.

• **Quemadura por congelación.** El contacto con el R744 solido o líquido puede causar quemaduras y debe ser evitado. Se debe usar equipo de protección personal, incluyendo guantes y gafas, cada vez que se trabaje con R744.

4.2.8. Uso del CO2 como refrigerante.

Las elevadas presiones de trabajo del CO2, así como su punto crítico situado a 31,06ºC, llevan a diseños frigoríficos sustancialmente distintos de los circuitos frigoríficos más habituales. Fundamentalmente los circuitos frigoríficos con CO2 se dividen en 2 categorías:

4.2.8.1. Circuitos transcrítico.

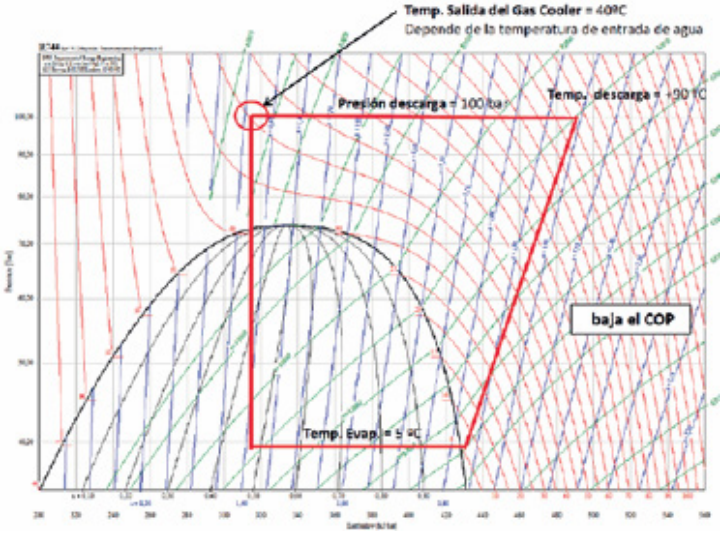
La parte de alta presión del circuito se sitúa por encima del punto crítico. El CO2 en el lado de alta presión no se condensa, sino que se desrecalienta. Las presiones del lado de alta se sitúan en el orden de los 100 bar.

• Circuitos transcrítico de una etapa. En el sistema transcrítico de una etapa, se divide en dos secciones de presión: una sección de alta presión y una sección de presión intermedia. La sección de alta presión comienza en el compresor de alta presión, incluye el " gas cooler" y llega hasta la válvula de control de alta presión. La presión de diseño de esta sección se sitúa normalmente entre 90 y 120 bar. La sección de presión intermedia comienza en la válvula de expansión de alta presión, que hace que el caudal se divida en gas y líquido en el recipiente. La fase gaseosa se deriva a la línea de aspiración de los compresores de alta presión a través de la válvula de bypass del recipiente, mientras que el líquido fluye hasta la válvula de expansión, donde se expande al llegar a los evaporadores. El gas que sale de los evaporadores se mezcla con el gas procedente del bypass y entra a continuación en la línea de aspiración hasta llegar a los compresores de alta presión, completando el circuito.

La condensación en un sistema de enfriamiento con refrigerante halogenado consiste en una transformación a presión constante del refrigerante en estado gaseoso a líquido, en el caso de un ciclo transcrítico se tiene una transformación en la que el gas supercrítico reduce constantemente su temperatura, ello implica la construcción especial de un intercambiador de calor de alta presión, el cual recibe el nombre de enfriador de gas (gas cooler) en vez de condensador.

El coeficiente de rendimiento (COP) de este sistema es muy variable. A diferencia de los sistemas subcríticos, el COP máximo no ocurre cuando la presión de condensación está en un mínimo, el COP óptimo del sistema transcrítico depende de las condiciones de evaporación y temperatura a la salida del gas cooler, que está típicamente a una presión entre 1305 psig y 1450 psig. En general, la presión para una capacidad óptima es mucho mayor que la del COP óptimo.

ILUSTRACIÓN 56. CICLO TRANSCRÍTICO DEL CO2.



Fuente: software Coolpack

La desventaja de este sistema es que la capacidad y la eficiencia varían significativamente con la temperatura ambiente y la cantidad de refrigerante en el sistema.

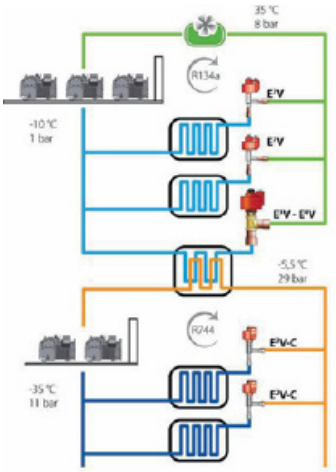
• **CO2 transcrítico Booster (sistema transcrítico de dos etapas).** El sistema transcrítico de CO2 de dos etapas (denominado habitualmente sistema transcrítico de CO2 tipo "Booster") es uno de los sistemas más prometedores, sobre todo para las regiones con climas fríos. La razón es que su eficiencia energética es igual o mayor que la de los sistemas en los que se utiliza refrigerante R-404A y su diseño es relativamente sencillo. Además, los sistemas transcriticos de CO2 poseen unas características únicas de cara a la recuperación de calor.

Un sistema transcrítico de dos etapas, tienen las mismas características que los sistemas de una etapa, con la única diferencia de que incorporan una sección de baja temperatura (baja presión). El líquido fluye desde el recipiente hasta la válvula de expansión, donde se expande antes de llegar hasta los evaporadores.

El gas que sale de los evaporadores se comprime en el compresor y se mezcla con gas procedente del bypass de gas del recipiente. Este sistema puede también incluir intercambiadores para la recuperación del calor para calefacción y para el agua caliente sanitaria. Para climas un poco más cálidos, la eficiencia del sistema transcrítico Booster es optimizable con soluciones de compresión paralela o mediante subenfriado externo.

Los controles existentes en un sistema transcrítico de CO2 pueden dividirse en cuatro grupos: controles del gas cooler, controles de presión del recipiente, controles de capacidad de los compresores y controles de los evaporadores.

ILUSTRACIÓN 57. INSTALACIÓN DE CO2 TRANSCRÍTICO BOOSTER.



Fuente: CAREL. Soluciones para aplicaciones retail de CO2.

En las aplicaciones en las que exista recuperación de calor se deben incorporar diversas funciones de control en torno al gas cooler.

PROS

- Instalación con utilización completa de refrigerantes naturales (CO2).
- Varios estudios demuestran una eficiencia mayor de cada tipo distinto de instalación (R404A tradicional o CO2 Subcrítico) con temperatura ambiental media inferior a los 15 °C
- Tecnología en estandarización, costes en reducción.

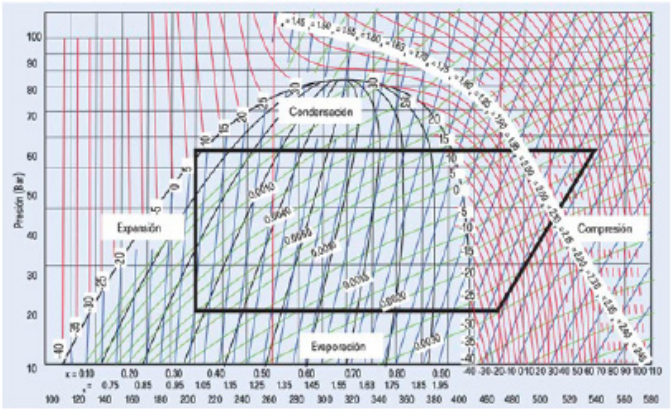
CONTRAS

- Altas presiones en juego (hasta 120 bar).
- Instalaciones normalmente más complejas que las tradicionales.

4.2.8.2. Circuitos subcríticos.

La aplicación más simple para el R744 como refrigerante es la subcrítica, allí el CO2 se utiliza como fluido secundario en un ciclo de dos etapas, que puede ser en Cascada o Booster. La parte de alta presión de circuito se sitúa por debajo del punto crítico. El CO2 en el lado de alta presión se condensa. Las presiones del lado de alta se sitúan del orden de 30 bar (-5ºC).

ILUSTRACIÓN 58. CICLO SUBCRÍTICO DEL CO2.

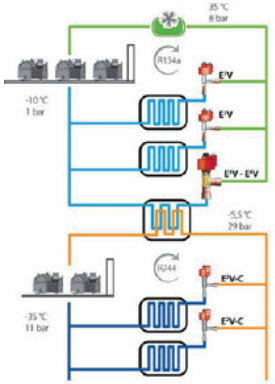


Fuente: Software Coolpack.

• **CO2 subcrítico en Cascada.** El sistema tipo cascada consiste en dos sistemase de refrigeración independientes que tienen en común un intercambiador de calor. El condensador del sistema de baja temperatura con CO2 sirve como evaporador al sistema de alta. En el circuito primario puede utilizarse NH3, HC o un HFC. El sistema tipo cascada permite reducir la alta temperatura de carga.

La aplicación principal de este sistema es refrigerar a bajas temperaturas, evaporando el CO2 por debajo de -30ºC.

ILUSTRACIÓN 59. SISTEMA DE CO2 SUBCRÍTICO EN CASCADA.



Fuente: CAREL. Soluciones para aplicaciones retail de CO2.

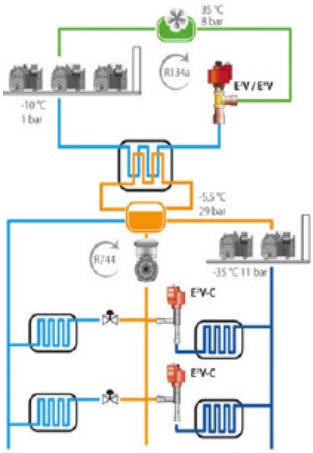
PROS

- Sistema relativamente similar a una instalación tradicional (R404A)
- Presiones de funcionamiento similares a las tradicionales (max 45 bar)
- Reducción del contenido de gas no natural
- Eficiencia de la instalación mejor que las estándar y aplicable en todos los climas.

CONTRAS

- Si no es NH3 o HC, instalación no es completamente “verde”.
- Si es NH3, la central de media temperatura no puede ser utilizada en todos los países para suministrar incluso a los equipos de media temperatura.
- Si es HC, se deben tener en cuenta las buenas prácticas con refrigerantes inflamables.

ILUSTRACIÓN 60. CO2 SUBCRÍTICO EN BOMBEADO.



Fuente: CAREL. Soluciones para aplicaciones retail de CO2.

• CO2 subcrítico bombeado. Menos utilizada que las tradicionales instalaciones subcríticas en cascada, permite delimitar los refrigerantes HFC en la sala de máquinas. Los equipos de media son alimentados con CO2 liquido bombeado, mientras que los equipos de baja temperatura están dotados de válvulas de expansión. El CO2 se refrigera en una enfriadora dedicada (NH3 o R134a) en el interior de un depósito con un evaporador, normalmente, de haz tubular.

A las instalaciones tradicionales se añade la gestión de las bombas que hacen circular el CO2 líquido en los evaporadores de media, en estos evaporadores no se expande, sino que se calienta solamente retornando al recipiente en estado semilíquido.

El sistema consta de los siguientes elementos principales:
(1) Estación de bombeo de CO2
(2) Sistema de Enfriamiento/condensación de CO2
(3) Depósito de acumulación de CO2
(4) Evaporadores de CO2

PROS
• Bajo contenido de refrigerante no natural;
• Posibilidad deutilizar también amoníaco (NH3) que permanece limitado en sala de máquinas;
• Instalación completamente “verde” para el ambiente final.

CONTRAS
• Muy sensible al dimensionamiento de las tuberías del sistema bombeado;
• Incremento de costos por adquisición de bombas y aumento de consumo energético por operación de las bombas.

• Ciclo mixto. Se combinan los dos sistemas descritos anteriormente. Es muy adecuado cuando se requieren dos temperaturas, como por ejemplo en supermercados, donde se disponen de servicios de refrigerados y de congelados. Los servicios de media temperatura, funcionan con el CO2 como fluido secundario y los servicios de baja temperatura mediante evaporadores de expansión directa.

4.2.9. Instalación, operación y servicio.

Este apartado no es una guía completa para puesta en marcha y servicio de un sistema con R744. Los técnicos responsables de la instalación, puesta en marcha, mantenimiento y reparación de sistemas con R744 deben ser entrenados en el manejo seguro de este refrigerante. Los puntos importantes a tener en cuenta son:

- Presiones altas en sistema y cilindro, aproximadamente 725 psig a 59°F.
- R744 es un asfixiante (el límite práctico en ASHRAE 15 y 34 es de 0,006 lb/ft3).
- Existe un alto riesgo de quemaduras por congelación del R744 en estado líquido o sólido.
- Existe un alto riesgo de presión excesiva con líquido o gas atrapado.
- Se debe utilizar equipo de protección personal adecuado, incluyendo guantes y gafas.
- Los cilindros con R744 son pesados, por lo que es necesario tener cuidado. Ellos deberán estar sujetos al trasladarlos, garantizando que no se muevan.
- Equipos para carga y ventilación de R744 deben ser usados. No deben usarse mangueras de manómetros estándar.
- No debe soldarse mientras todavía exista R744 en el sistema o en alguna de sus partes.

4.2.10. Herramientas y equipos para los refrigerantes de alta presión.

Para los técnicos e ingenieros que trabajan directamente con refrigerantes de alta presión, resulta esencial contar con herramientas y equipos adecuados, algunos de ellos se mencionan a continuación:

TABLA 33. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA LOS REFRIGERANTES DE ALTA PRESIÓN

Productos	Anotaciones
Detectores de gas	Deben ser electrónicos y destinados para uso con el refrigerante en cuestión
Juego de manómetros / calibradores/mangueras	Los materiales deben ser compatibles de manera que soporten la presión máxima; actualmente no existen modelos digitales para presiones extremadamente altas
Adaptadores para cilindros de refrigerantes	Asegúrese de contar con el adaptador de cilindro correcto, que permita retirar el refrigerante del cilindro de manera segura
Cilindro de recuperación	Debe estar tasado para la máxima presión del refrigerante en uso y contar con las advertencias necesarias siempre que sea relevante (también es importante adherirse a las normas de manejo para el cilindro de refrigerante)
Manguera de ventilación	Debido a que el impacto ambiental de las liberaciones directas de dióxido de carbono es mínimo, es frecuente recurrir a la ventilación antes que a la recuperación; se necesitará una manguera de ventilación de suficiente longitud para permitir una evacuación directa hacia un lugar seguro en el exterior
Máquina para recuperación del refrigerante	Debe ser apropiada para el tipo de refrigerante en uso y estar diseñada para manejar la alta presión del refrigerante
Equipo de Protección Personal (EPP)	Normalmente se requieren implementos estándar como gafas y guantes

Fuente: Uso seguro de alternativas a los HCFC en la Refrigeración y el Aire Acondicionado: Refrigerantes de alta presión. https://www.unep.org/ozonaction/.

4.2.11. Evaluación general de riesgos.

Con todos los refrigerantes que operan bajo presión (es decir, presión atmosférica por encima de, 1.01 bar, abs.), existe siempre el riesgo de que ésta se libere demasiado rápido, ya sea debido a una apertura accidental o porque se rompen partes que se encuentran bajo presión. Esto puede causar daño físico a las personas como resultado de la onda de presión generada, o más frecuentemente, daños indirectos a causa del impacto dealgún proyectil. Los refrigerantes que operan con alta presión potencialmente causan impactos más severos que otros (asumiendo que todas las demás condiciones sean iguales).

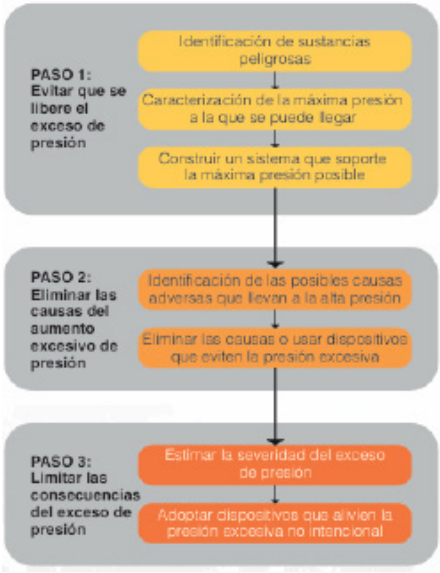
En principio, el procedimiento general de evaluación para todos los refrigerantes consiste en determinar los niveles máximos de presión a los cuales puede esperarse que opere el equipo – o sus distintas partes – y luego diseñar la

tubería y los componentes que los toleren adecuadamente (teniendo en cuenta factores de seguridad).

Cualquier circunstancia asociada a las condiciones de operación que pueda llevar a que la presión suba a niveles aún mayores, debe ser manejada mediante el uso de dispositivos de seguridad que interrumpan la operación o alivien la presión de manera segura si llega a ser necesario. Por lo tanto, además de evaluar los riesgos, es necesario identificar y aplicar medidas de mitigación con el fin de minimizar los riesgos de que se llegue a resultados impredecibles y sus consecuencias.

En términos generales, cuando se usan refrigerantes de alta presión se requieren medidas de mitigación más amplias.

ILUSTRACIÓN 61. PASOS BÁSICOS PARA EVALUAR RIESGOS ASOCIADOS AL EXCESO DE PRESIÓN.



Fuente: Uso seguro de alternativas a los HCFC en la Refrigeración y el Aire Acondicionado: Refrigerantes de alta presión. https://www.unep.org/ozonaction/

4.2.12. Buenas prácticas de instalación.

Debe hacerse pruebas de presión y estanqueidad durante tiempo suficiente antes de la puesta en servicio del sistema. Esto evita problemas futuros asociados con confiabilidad.

• **Tuberías.** Las tuberías deben ser colocadas de acuerdo a procedimientos técnicos y recomendaciones del fabricante, para minimizar la caída de presión y permitir el retorno del aceite al compresor. Es importante que las tuberías estén correctamente apoyadas y fijadas. Una tubería que no se haya fijado correctamente vibrara a alta velocidad, provocando rupturas que pueden causar lesiones o la muerte.

Las líneas de ventilación de las válvulas de alivio deben llevar a un lugar seguro, donde el refrigerante se disperse y se disipe el riesgo de asfixia. Las líneas de ventilación deben ser de diámetro suficiente para evitar que el R744 se solidifique y bloquee las líneas de ventilación en sí. El método más fiable de unión de tuberías es por soldadura. Las juntas mecánicas deben evitarse siempre que sea posible. Si se utilizan accesorios deben estar certificados para trabajar a alta presión. El procedimiento de unión debe ser especificado por el fabricante.

• **Prueba de presión.** Deben hacerse pruebas de presión y de estanqueidad en todo el sistema de acuerdo a las especificaciones correspondientes.

• **Evacuación.** Los sistemas deben ser evacuados a fondo para eliminar gases no condensables y la humedad. Los gases no condensables como el aire y el nitrógeno tienden a acumularse en el condensador o el gas cooler, donde causan un aumento de la presión. Esto conduce a una reducción de la capacidad, la eficiencia y la fiabilidad del sistema. El efecto de los gases no condensables en un sistema con R744 es mayor en comparación a los sistemas con HFC, especialmente en los sistemas transcriticos.

• **Carga del sistema con R744.** Debido a las propiedades físicas del R744, el producto se almacena en botellas como un líquido, estas deben cumplir con requisitos para recipientes a alta presión. El R744 debe poseer un alto grado de pureza (99,99%), con un contenido de humedad de menos de 10 partes por millón (por peso). Los cilindros con R744 son más pesados que otros cilindros de refrigerante, por lo que es necesario tener cuidado al manipularlos. Por lo general son menos estables que otros cilindros debido a su relación de diámetro - altura, por lo que deben estar protegidos cuando están en uso, se almacenan o transportan.

El equipo utilizado para conectar el cilindro al sistema de debe ser compatible con la presión. Generalmente se utiliza típicamente manguera hidráulica o manguera de acero trenzado. La conexión con el cilindro debe tener el acople adecuado con la válvula del cilindro. No puede ser utilizado un adaptador estándar para un cilindro con refrigerante halogenado.

Todas las líneas de carga deben ser evacuadas o purgadas antes de la carga para reducir la entrada de aire y humedad en el sistema.

Para prevenir la formación de hielo seco, el sistema deberá ser cargado con R744 en estado de vapor a una presión por encima del punto triple (75,1 psia). Cuando esto se logra el sistema puede ser cargado con R744 en estado líquido.

Al cargar los sistemas con R744 se debe cuidar que las válvulas de alivio no se descarguen. La presión del cilindro con R744 será mayor que algunas o todas las presiones de alivio encontradas en el sistema, especialmente aquellas ubicadas en el lado de baja del sistema en cascada y las partes intermedias del sistema transcrítico. Para evitar la descarga del refrigerante por las válvulas de alivio se debe cargar el sistema lentamente para permitir que la presión del sistema se iguale, especialmente durante la carga inicial del sistema.

• **Carga del lado de baja del sistema en cascada.** Antes de cargar el lado de baja de un sistema en cascada, se debe cargar el lado de alta.

• **Carga de un Sistema transcrítico Booster.** Es poco probable que todo el refrigerante pueda ser cargado sin arrancar el sistema. El sistema no deberá ser cargado en su totalidad por la succión. Los sistemas con una presión intermedia que es más alta que la presión de cilindro deberá ser bombeado o reducir la presión intermedia para ser cargado. Alternativamente, la presión del cilindro puede ser incrementada calentándolo con un calentador termostáticamente controlado.

Los compresores del lado de alta deben estar adecuados para operar antes de que inicien los compresores del lado de baja.

• **Chequeo del sistema.**

Chequeo genera antes de poner en marcha el sistema:
• Inspección visual.
• Documentación del sistema y sus placas, especialmente lo relacionado con las presiones de trabajo de los equipos.
• Funcionamiento de los dispositivos de seguridad.
• Pruebas de control para asegurar que todos funcionen correctamente, incluyendo las presiones de corte de los enclavamientos, transductores y dispositivos de control del lado de baja, alta y aceite.
• Ajustar la presión de todos los dispositivos de seguridad y otras presiones de corte.
• Ajustar la presión de la válvula de regulación del gas cooler.
• Niveles de aceite de compresores y reservorios de aceite.
• Núcleos dispuestos en los filtros secadores.
• Registros de las pruebas de presión.
• Todas las válvulas abiertas / cerradas de acuerdo con las especificaciones de operación.

Durante el arranque:
• Rotación del ventilador; chequéela antes de operar.
• Nivel de refrigerante.
• Nivel de aceite en los compresores y en los reservorios de aceite.
• Sobrecalentamiento de la válvula de expansión.
• La presión y la temperatura del intercambiador de calor del sistema en cascada.
• Regulación de la válvula tanto en modo subcrítico como en transcrítico.
• Presión de operación del regulador de la válvula de regulación.
• Funcionamiento de cualquier unidad de refrigeración auxiliar.

Durante el mantenimiento: Los sistemas con R744 deben ser mantenidos de acuerdo con buenas prácticas de refrigeración. Esto incluiría:

• Una revisión general de las condiciones del sistema.
• Revisar el nivel de aceite.
• Comprobar el nivel de refrigerante.
• Inspeccionar y verificar los elementos de seguridad como puntos de corte, transductores y sensores.
• Cambio de filtros de aceite y filtros secadores, según sea necesario
• Llevar a cabo una prueba de acidez en una muestra de aceite
• Revisar los detectores y alarmas de R744.
• Chequear el funcionamiento de la válvula de control siguiendo las indicaciones dadas por el fabricante.
• Comprobar la ventilación sala de máquinas.

• **Detección de fugas.** Los sistemas con R744 pueden tener un alto potencial de fugas debido a las altas presiones y el menor tamaño de la molécula., adicionalmente estos sistemas poseen un alto número de uniones lo que aumenta la probabilidad de fugas. Las fugas son peligrosas y aumentan el consumo de energía del sistema. Estas pueden ser detectadas mediante los siguientes métodos:

• Inspección visual - muchas fugas dan lugar a manchas de aceite en y alrededor del sistema.
• Aerosol (Spray) detector de fugas, aunque es de difícil aplicación en juntas aisladas y secciones por debajo de 32°F.
• Detector manual de fugas adecuado para el R744, generalmente usa tecnología de infrarrojo.
• Detector de fugas ultrasónico.
La detección de fugas debe ser metódica y realizada en todo el sistema. Las fugas deben ser reparadas tan pronto como se identifiquen.
El trabajo debe llevarse a cabo en un área bien ventilada. Si no hay instalado un detector de fugas permanente, el técnico debe utilizar un detector de fugas personal especial para R744, de manera que se garantice que la zona es apta para trabajar. Se deben usar elementos de protección personal.

4.3. AMONÍACO (R-717).

El amoníaco es un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H), siendo su fórmula NH3 y su nomenclatura R-717 (ASHRAE-34).

El amoníaco es un compuesto común y existe naturalmente en el ambiente. El 80% aproximadamente del amoníaco que se produce en las plantas químicas, se utiliza como abono inyectado directamente en la tierra y compuestos fertilizantes. El 20% restante se fabrica para uso textil, plástico, explosivo, refrigerante y otros productos.

El amoníaco se utiliza como refrigerante en instalaciones frigoríficas industriales desde principios del siglo XX. Este refrigerante tiene muy buenos rendimientos energéticos y además no es dañino para la capa de ozono y no causa calentamiento global, ya que su composición se mantiene muy poco tiempo en la atmosfera, por lo que se podría catalogar como un gas biodegradable. Asimismo, el coste del amoníaco es muy inferior a cualquiera de los gases sintéticos que hay en el mercado. Aproximadamente el 90% de los sistemas de refrigeración industrial para alimentos operan con refrigerante amoníaco.

Desde el punto de vista operacional, el amoníaco es generalmente aceptado como el refrigerante industrial más eficiente y económicamente efectivo. En comparación con los refrigerantes halogenados, el amoníaco ofrece las siguientes ventajas:

- El amoníaco no es contaminante por lo que no daña la capa de ozono y no causa calentamiento global. Tal es así que la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) ha identificado al amoníaco como un sustituto aceptable de sustancias dañinas al ozono en los principales sectores industriales, incluyendo la refrigeración y aire acondicionado.
- El amoníaco tiene rendimientos termodinámicos en torno a un 3 a 10% superiores a otros refrigerantes, por lo que a igualdad de capacidad frigorífica tiene un consumo energético menor.
- La mejor característica de seguridad que tiene el amoníaco es su auto alarma provocada por su olor característico a diferencia de otros refrigerantes industriales. Esto tiene la ventaja de que las posibles fugas se detectan fácil y rápidamente. Por otro lado, el fuerte olor del amoníaco provoca en los individuos la reacción de abandonar el área antes de la existencia de una acumulación peligrosa.
- El coste del amoníaco es menor que el de otros refrigerantes y además se requiere de una menor cantidad para la misma aplicación. Todo esto se acumula en costos de operación menores, lo que se traduce en mejores precios competitivos de los productos refrigerados o ahorro económico en la climatización.

Pero no todo son ventajas, la principal desventaja de utilizar amoníaco como refrigerante, es la alta inversión en el equipo y la instalación del sistema correspondiente, ya que para que sea rentable una instalación de este tipo debe existir una gran demanda de refrigeración. Si la demanda es muy baja, el costo de un sistema de refrigeración utilizando amoníaco como refrigerante es demasiado alto, por lo cual, en la mayoría de instalaciones pequeñas se siguen utilizando refrigerantes comunes.

4.3.1. Riesgos asociados al uso de R-717 (NH_3).

El amoníaco es un refrigerante que según el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias, está clasificado en el grupo L2 y grupo de seguridad B2L. Según esta clasificación la sala de máquinas específica, diseño y construcción se rige por la instrucción técnica IF-07 de este mismo reglamento y particularmente por su apartado 6. "Salas de máquinas específicas para refrigerantes del grupo L2".

• **Toxicidad.** Las sustancias tienen un nivel de toxicidad conocido como concentración máxima permisible (MAC). Expresada en partes por millón (ppm), es el valor de la concentración media ponderada en el tiempo que no resulte perjudicial para las personas durante una exposición de 8 horas al día, 40 horas a la semana. Para el amoníaco, la concentración MAC es de 20 ppm en Europa y de 25 ppm en EE. UU. Una sustancia se considera muy tóxica si su concentración MAC sobrepasa las 400 ppm. Independientemente de si se utiliza la concentración MAC europea o la estadounidense, el amoníaco debe siempre tratarse como un refrigerante muy tóxico. La mayoría de las personas habrán abandonado ya la zona a un nivel de 100 ppm, y nadie permanecerá voluntariamente con más de 200 ppm sin mascarilla y protección ocular. Por encima de 400 ppm, la única protección fiable es un traje a prueba de gases como el empleado por el servicio de bomberos.

TABLA 34. LÍMITE PRÁCTICO DE TOXICIDAD DEL NH3 Y SUS EFECTOS.

Respuesta del Organismo	Concentración de amoníaco (ppm)
Olor mínimo perceptible	5 ppm
Olor fácilmente detectable	20 - 50 ppm
No molesta o daña la salud por exposición prolongada	50 - 100 ppm
Molestia General y lagrimeo de ojos. Efectos no perdurables en exposiciones cortas	150 - 200 ppm
Severa irritación de ojos, nariz y garganta. Efectos perdurables en cortas exposiciones.	400 - 700 ppm
Fuerte tos y espasmos bronquiales. Peligro, menos de media hora de exposición.	1700 ppm
Puede ser fatal.	2000 - 3000 ppm
Serios edemas, estrangulamiento, asfixia y muerte rápida	5000 - 10000 ppm
Muerte inmediata	Sobre 10000 ppm

Fuente: Guía de Uso y Manejo de Amoníaco en la Refrigeración de Frutas y Hortalizas Frescas: Plan de Emergencia. ASOEX.

• **Inflamabilidad.** El amoníaco presenta una baja inflamabilidad. Un charco de amoníaco a baja temperatura no arde de forma espontánea. Para su ignición es necesario utilizar una fuente de calor externa, y el fuego se detendrá una vez que esta se retire. Ello se debe al bajo nivel de calor radiado desde las llamas hasta el charco.

• **Explosión.** Las mezclas de amoníaco y aire seco al 15-28 % de volumen de amoníaco son explosivas. La energía de ignición necesaria para iniciar la explosión es elevada, y el amoníaco líquido no puede arder bajo presión atmosférica. Su rango explosivo está muy por encima de las 100.000 ppm, por lo que ninguna persona podría trabajar en un entorno con riesgo de explosión de amoníaco. Una humedad del aire elevada, así como cualquier mezcla de aire, amoníaco y vapores de aceite, reduce el límite de concentración, lo cual obliga a reconsiderar el límite explosivo utilizado para calcular la capacidad de la ventilación de emergencia.

4.3.2. Posibles causas de fuga de Amoníaco.

Las estadísticas internacionales de accidentes con amoníaco en plantas frigoríficas indican que los accidentes con este compuesto tienen su origen en el siguiente orden de importancia:

• **Deficiente mantención de válvulas.** Para reducir el riesgo de fallas, se debe considerar en el plan preventivo, la calibración y mantención anual de válvulas de seguridad, de alivio de presión, efectuada por técnicos con la debida competencia certificada por alguna institución tecnológica o del Estado.

• **Purgas.** Para reducir el riesgo de daños a la salud de los operarios, se debe utilizar los equipos de protección personal cada vez que se efectúen purgas y utilizar válvulas de corte rápido. El operador nunca puede dejar de estar presente en esta operación.

• **Trasvase de amoníaco.** Para reducir el riesgo de daños a la salud, se deben utilizar los equipos de protección personal cada vez que se efectúen trasvases de amoníaco o recargas, para lo cual se deben utilizar mangueras específicas
para amoníaco y purgar los vapores remanentes en recipientes con agua, restringiendo en todas las operaciones el ingreso de personas ajenas a las operaciones. El operador nunca puede dejar de estar presente en esta operación.

• **Tuberías o "Piping".** Para reducir el riesgo de roturas o filtraciones, se debe considerar en el plan preventivo la medición planificada de espesores, revisiones para verificar permanentemente su estado y efectuar pruebas de presión, efectuadas por personal técnico con la debida competencia.

• **Mangueras.** Se deben utilizar siempre mangueras específicas para amoníaco. Asimismo, se debe descartar mangueras vencidas. Duran máximo cinco (5) años. En caso de detectar cualquier defecto, daño mecánico, desgaste de material o falla en las conexiones deben ser descartadas. Jamás utilizar mangueras que no se han fabricado exclusivamente para amoníaco.

4.3.3. Acciones en caso de fuga

Se ha de advertir inmediatamente y debe ser atendida por personal autorizado, formado y equipado con los elementos de protección correctos, máscaras de gas, guantes y botas. Las fugas pueden producirse a consecuencia del desgaste, de las vibraciones, del error humano o de un accidente externo. La gravedad de la fuga puede ir desde el mero olor a amoníaco hasta un chorro de amoníaco líquido.

• **Fuga menor, no se activa ninguna alarma.** En caso de que se produzca una pequeña fuga, basta con "rastrear el olor" en busca del punto de mayor concentración con una máscara de protección a mano. Este tipo de fugas suelen estar ocasionadas por fallos en las juntas (bridas, conexiones roscadas, cubiertas de los dispositivos de control, empaquetaduras de las válvulas de cierre, etc.). Compruebe las posiciones de las válvulas de cierre anteriores y posteriores al área sospechosa (según el sentido de flujo) en caso de que la fuga empeore. Un papel de tornasol humedecido, colocado en cada junta, mostrará la ubicación precisa de la fuga. En presencia de amoníaco, el color del tornasol pasa de rojo a azul. En la mayoría de los casos basta con volver a apretar la junta para detener la fuga. De no ser así, debe inspeccionarse la propia pieza de conformidad con el procedimiento de revisión habitual.

• **Fuga por error humano, se activa la alarma de bajo nivel.** Este tipo de fugas accidentales pueden producirse durante la revisión y el mantenimiento al dejar piezas flojas de forma inadvertida. Ello pone de relieve la preferencia de trabajar siempre en parejas, de modo que la segunda persona se encargue de apretar las válvulas de cierre.

• **Fuga catastrófica, se activa la alarma de alto nivel.** La rotura de una tubería por causas externas o internas es un ejemplo de liberación catastrófica de grandes cantidades de amoníaco. En este caso se debe seguir el procedimiento habitual de alarma. Si la fuga se produce en la sala de máquinas, la ventilación de emergencia se encargará de extraer el gas de amoníaco. Dependiendo del tamaño de la planta, se procederá automáticamente a aplicar otras medidas de seguridad tales como el aislamiento de partes de dicha planta por medio de válvulas de cierre automáticas. Tan pronto como el amoníaco de la planta alcance la presión atmosférica, la temperatura descenderá hasta -33 °C y la evaporación se ralentizará enormemente.

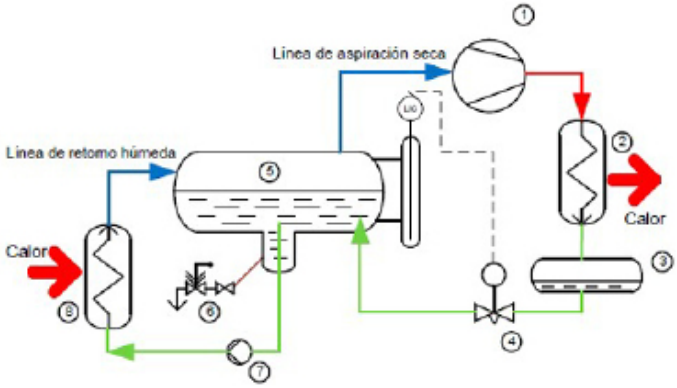
La acción óptima en este caso consiste en inspeccionar la zona equipado con un traje a prueba de gases. Si no fuera posible, la única opción será ventilar la zona hasta que se haya evaporado todo el amoníaco.

4.3.4. Tipos de sistemas de refrigeración con Amoníaco.

4.3.4.1. Planta de amoníaco básica común: sistema bombeado monoetapa.

Una planta básica de amoníaco contiene los siguientes elementos: compresor (1), condensador (2), recipiente (3), dispositivo de expansión (4), separador de líquido (5) con drenaje de aceite (6), bomba de refrigerante (7) y evaporadores (8).

ILUSTRACIÓN 62. PLANTA DE AMONÍACO BÁSICA COMÚN: SISTEMA BOMBEADO MONOETAPA.



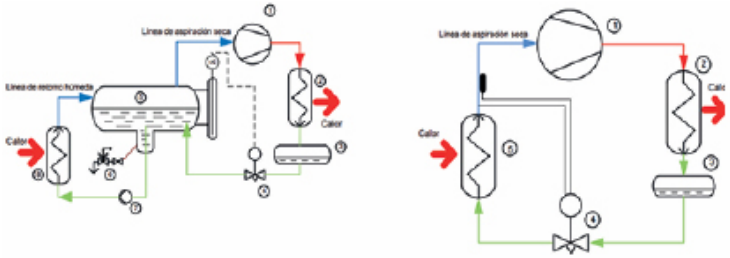
Fuente: De los HFC/HCFC al amoníaco en la refrigeración industrial. Danfoss

El compresor aspira el gas seco (resultante del evaporador y el flash gas) del separador a la temperatura de evaporación, lo comprime hasta la temperatura de condensación y lleva el gas de descarga recalentado hasta el condensador. El condensador licua el refrigerante a la vez que disipa el calor del gas refrigerante mediante el sistema de enfriamiento.

Desde el condensador, el líquido refrigerante llega hasta el dispositivo de expansión a la presión de condensación, y próximo a la temperatura de esta. En el dispositivo de expansión, el amoníaco se expande hasta la temperatura de evaporación y, a continuación, pasa al separador. En el separador se separa el gas líquido del flash gas. El líquido refrigerante, a la temperatura y presión de evaporación, es succionado por la bomba y enviado hasta el evaporador. La tasa de circulación es, generalmente, de 1:3; es decir, un tercio del flujo másico se evapora en el evaporador, absorbiendo la capacidad calorífica. En el evaporador se produce el intercambio de calor. Hasta el separador retorna una mezcla de gas y líquido; el líquido se separa del gas y el compresor puede aspirar el gas seco. De este modo se cierra el circuito.

El aceite del compresor no suele ser soluble en amoníaco, por lo que permanece en el sistema y es recogido en el evaporador. Ello limita la capacidad y origina averías que se pueden evitar mediante un dispositivo de drenaje de aceite en el colector de aceite del separador.

ILUSTRACIÓN 63. COMPARACIÓN DE UN SISTEMA DE AMONÍACO BOMBEADO MONOETAPA Y UN SISTEMA DX CON HFC/HCFC



Fuente: De los HFC/HCFC al amoníaco en la refrigeración industrial. Danfoss.

	Sistema de amoníaco bombeado monoetapa	Sistema DX con HFC/HCFC
1	+ compresor	+ compresor
2	+ condensador	+ condensador
3	+ recipiente	+ recipiente
4	+ válvula de expansión	+ válvula de expansión termostática para cada evaporador (punto de expansión en cada evaporador)
5	+ separador (frío)	+ evaporador
	+ drenaje de aceite (necesario)	
	+ bomba de amoníaco (frío)	
	+ estación de válvulas en cada evaporador	+ estación de válvulas en cada evaporador
	+ línea de retorno húmeda (fría)	
	+ línea de aspiración seca (fría)	+ línea de aspiración seca (fría) (debe considerarse si es necesario un acumulador en la línea de aspiración para proteger el compresor frente al refrigerante líquido)

Fuente: De los HFC/HCFC al amoníaco en la refrigeración industrial. Danfoss.

4.3.4.2. Planta básica de amoníaco/CO2 como salmuera y en cascada.

Cuando las condiciones locales limitan la cantidad de amoníaco, es práctica común crear un sistema de trabajo indirecto con glicol o salmuera. Con la creciente popularidad del CO2 como refrigerante, resulta más eficiente optar por el amoníaco/CO2 como salmuera para aplicaciones de enfriamiento y por el amoníaco/CO2 en cascada para congelación. El CO2 requiere tuberías mucho más pequeñas y una energía de bombeo notablemente menor en comparación con los glicoles. Dada la elevada presión de trabajo del CO2, la industria ha desarrollado componentes normalizados con una presión máxima de trabajo de 52 bares. La combinación amoníaco/CO2 en cascada está siendo cada vez más popular gracias a la baja carga de amoníaco, que queda limitado a la sala de máquinas. Además, la alta capacidad volumétrica del CO2 permite reducir todavía más las dimensiones de la tubería y el compresor. También es posible alcanzar con mayor facilidad puntos de congelación más bajos.

4.3.5. Aceite usado con Amoníaco.

El amoníaco no es miscible con los aceites comunes. Además, es más ligero que el aceite, lo que simplifica bastante los sistemas de retorno de aceite. Se usa para el retorno del aceite un sistema de circulación mediante bomba o por gravedad. Las ventajas de estos sistemas respecto a los sistemas de tipo DX son:

• Las bombas distribuyen el refrigerante líquido a los evaporadores de manera eficiente y retornan la mezcla de vapor y líquido al separador de líquido.
• El recalentamiento puede reducirse a 0K, aumentando la eficiencia del evaporador sin arriesgarse al arrastre de líquido en el compresor.
• El bajo diferencial de temperatura reduce la deshidratación del producto almacenado.
• Los sistemas de circulación por gravedad poseen una carga de refrigerante relativamente baja.

4.3.6. Compatibilidad con el acero.

El amoníaco puro no tiene efecto alguno sobre los metales si se encuentra completamente seco, pero ataca y destruye el cobre y sus aleaciones si contiene incluso una pequeña cantidad de agua. En consecuencia, las plantas de amoníaco utilizan tuberías y equipos de acero o acero inoxidable. Las tuberías de acero se especifican de conformidad con diferentes normas, habitualmente DIN o ANSI, en función de la región geográfica. El diámetro exterior es el mismo para ambas normas. Se diferencian en el grosor de la pared. La norma ANSI establece tres grados de grosor para el mismo diámetro exterior: calibre 80, calibre 40 y calibre 20. El calibre 80 se corresponde con el tipo de pared más gruesa, mientras que el calibre 40 se considera la versión más o menos estándar. El calibre 20 solamente está disponible para tamaños de tubería de 200 mm o más. La elección del grosor de la pared se fundamenta en la resistencia mecánica y en el impacto de corrosión esperado. Todos los calibres son aptos para la presión de trabajo máxima estándar de 25 bar estipulada para una planta de amoníaco.

Las tuberías de acero se conectan por medio de soldaduras, que deben someterse a inspección por rayos X, allí los grosores de pared deben verse iguales o prácticamente iguales.

En las plantas de amoníaco, el menor tamaño empleado para las tuberías suele ser DIN 15. Las líneas de control, de menores dimensiones, se fabrican en acero inoxidable de pared fina, con tamaños de 6, 8 o 12 mm. Otra manera de conectar las tuberías entre sí, y estas con los componentes, es mediante una rosca interior o exterior. Ello se hace principalmente en EE. UU., y sólo para conexiones hasta DIN 32. Es sobre todo un problema de costes, ya que puede evitarse contratar soldadores autorizados para realizar las conexiones. La norma EN 378 limita el uso de estas tuberías roscadas a los dispositivos de control, seguridad e indicación conectados a los componentes.

4.3.7. Concentración de agua en el amoníaco.

Normalmente, el agua no es considerada un problema en los sistemas con amoníaco. El agua que queda en el sistema o que se introduce a través de una pequeña fuga, se combinará con el amoníaco anhídrido para formar hidróxido de amonia. Usualmente este hidróxido de amonia circula en el sistema sin causar dificultades. Por ejemplo, no se congelará en el dispositivo de expansión sino hasta que la temperatura baje debajo de -78 °C. Sin embargo, el agua en cantidades considerables incrementa la velocidad de la corrosión de las partes del compresor y contribuirá a hacer más espeso y viscoso el aceite.

En las instalaciones de refrigeración por amoníaco nunca se ven filtros secadores. Los tamaños moleculares del amoníaco (NH3) y el agua (H2O) son demasiado similares como para poder crear una preferencia respecto a la absorción de uno u otro. Por suerte, la miscibilidad entre ambos depende de la temperatura. Esta agua puede eliminarse por medio de un recipiente de bypass donde se caliente el amoníaco contaminado, enviándose al lado de aspiración una vez limpio. Cuando el amoníaco hierve en el evaporador, el gas resultante es en esencia 100% amoníaco. Cualquier agua asociada con el amoníaco permanece como hidróxido de amonía líquido. En el sistema normal con pequeña cantidad de agua, esta solución amoníaco-agua es arrastrada en forma de gotas por la velocidad del gas de succión de regreso al compresor. El agua residual se elimina de forma manual o automática.

Si está presente una cantidad considerable de agua, el operador del sistema observará que la temperatura del evaporador no corresponderá a la presión que indica la tabla presión-temperatura para el amoníaco. La temperatura del evaporador será mayor que la esperada siempre que haya exceso de agua. Un incremento de 3 °C en la temperatura del evaporador indica la presencia de más del 12% de agua en el amoníaco. El operador también puede observar una alta presión en el condensador que no puede ser reducida purgando. Cuando el contenido de agua es muy elevado, puede resultar más económico reemplazar todo el amoníaco.

Método de prueba. Se recomienda el siguiente método de prueba para determinar si un sistema contiene agua en exceso. Saque una muestra de amoníaco líquido de la parte inferior del acumulador de succión y deposítelo en un vaso de vidrio abierto. Coloque un plato de vidrio encima de la parte superior del vaso. Si el sistema contiene agua en exceso se formará gotas de agua en la parte inferior del plato.

4.3.8. Reglamentos para el uso de Amoniaco en sistemas RAC.

En la mayor parte de los casos, los reglamentos pueden dividirse en tres partes:

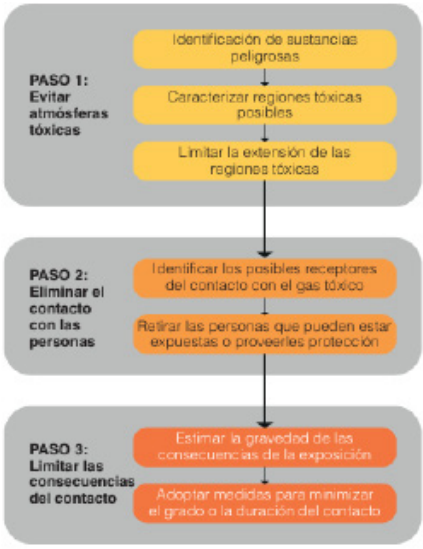
• Reglas de diseño y construcción de las plantas, prescritas por la norma EN 378 para la zona de la UE.
• Reglas de diseño para recipientes a presión, prescritas de forma precisa por distintas normas. En Europa, estas reglas las marca la Directiva PED. Normalmente, los fabricantes y proveedores de estos recipientes garantizan su conformidad.
• Equipos y procedimientos de seguridad, incluida la ventilación de las salas de máquinas en función del volumen de amoníaco y de la construcción de la planta. En su mayor parte quedan descritos en reglamentos normativos como las normas EN 378 y ANSI/ASHRAE/IIAR. Una vez conocidos el diseño de la planta y sus condiciones de funcionamiento, basta con emplear una lista de control para determinar los equipos a instalar y los procedimientos a seguir. Entre los criterios se incluyen la distancia desde la planta hasta el vecino más próximo según el volumen de amoníaco, la construcción de la planta y la ubicación (interior o exterior) de los componentes que contienen amoníaco líquido. Las reglas a este respecto varían de un país a otro, por lo que resulta extremadamente importante contar con un conocimiento minucioso de ellas.

4.3.9. Evaluación general de riesgos.

Con los refrigerantes de alta toxicidad y especialmente el amoníaco, el principal riesgo es la inhalación de refrigerante que pueda escapar. Otros riesgos, aunque menos comunes, incluyen el contacto directo con el refrigerante líquido y la posible ignición si el refrigerante se encuentra en concentración inflamable.

Se puede presentar exposición excesiva a una concentración tóxica en el caso de un escape accidental de refrigerante dentro de un recinto cerrado – o aún en un espacio abierto si el escape es de suficiente magnitud – y las personas presentes no cuentan con Equipos de Protección Personal adecuados en ese momento. Particularmente en el caso del amoníaco, pueden presentarse reacciones adversas aún a concentraciones extremadamente bajas (del orden de decenas o cientos de partes por millón en el aire).

ILUSTRACIÓN 64. PASOS BÁSICOS DE LA EVALUACIÓN DE TOXICIDAD



Uso seguro de alternativas a los HCFC en la Refrigeración y el Aire Acondicionado: Refrigerantes de alta toxicidad. https://www.unep.org/ozonaction/

La inhalación puede producir irritación de ojos, nariz y garganta, tos, opresión de pecho, inflamación, lagrimeo, fotofobia, dolor de cabeza y confusión, y eventualmente puede ser fatal. El contacto directo con la piel puede dejar quemaduras mientras que la inhalación puede causar quemaduras en la boca y garganta.

4.3.10. Mantenimiento de sistemas RAC con amoníaco.

Estas instalaciones solo podrán ser manipuladas por personal cualificado y en lo posible certificado. Asimismo, en las labores de mantenimiento se adoptarán estrictas medidas de seguridad para evitar accidentes, como, por ejemplo; la utilización de máscara con filtro, equipo autónomo, guantes, gafas, cascos, etc. Es muy importante revisar y registrar las condiciones de operación para prevenir anticipadamente las fallas y tomar las precauciones adecuadas.

Es muy conveniente registrar los datos cada una o dos horas, y llevar una bitácora de operación por turno, tomando en cuenta los siguientes datos a registrar:

- Presión de succión.
- Presión de descarga.
- Presión de suministro de aceite (1.5 a 2.5 kg/cm2 arriba de la presión de descarga).
- Presión diferencial del filtro de aceite. No sobrepasar de 0.8 kg/cm2.
- Temperatura de succión.
- Temperatura de descarga.
- Temperatura en separador de aceite.
- Sobrecalentamiento.
- Amperaje del motor.

- Inspección periódica. De acuerdo con las horas de operación, es necesario revisar los siguientes términos periódicamente.

R: Revisar.
D: Desarmar y Revisar.
C: Cambio de piezas.
G: Cambio de grasa.

ILUSTRACIÓN 65. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE ACUERDO A HORAS DE TRABAJO.

Horas de operación (Miles de horas)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Sello de eje	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Descargador		R		R		R		R		R	
Cojinete de empuje					D					D	
Cojinete principal					C					C	
Cojinete lateral					D					C	
Anillos "O"					C					C	
Juntas					C					C	
Sello de eje	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Cojinete		D		D		D		D		D	
Acoplamientos	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Válvula reguladora de presión de aceite		R		R		R		R		R	
Asiento de válvulas de retención					D					C	

Fuente: Diseño, instalación y puesta en marcha de un equipo con tecnología de nuevos materiales de ingeniería, para un sistema de refrigeración industrial con amoníaco y circuito glicol. Z

- **Mantenimiento preventivo.**

a) Cambio de aceite lubricante: cambiar cada 3000 horas (en caso de observarse muy sucio, se cambia en cualquier momento).
b) Limpieza de filtros: Limpiar cuando haya una presión diferencial del filtro de aceite de más de 1 kg/cm2.
- Limpiar filtro de succión cada tres meses. Este filtro se encuentra antes del compresor.
- Limpieza de filtros de válvulas solenoides: suministro de líquido y enfriamiento de aceite.

c) Manómetros: Revisar su **exactitud** una vez cada tres meses.
d) Válvula de seguridad y dispositivos de protección. Revisar funcionamiento mínimo cada seis meses.
e) Extracción de agua al condensador (cada seis meses), además ventilar rociadores, tensión de bandas, ventilador e incrustación en los tubos de condensador (cada tres años).
f) Revisión (Overhaul) del compresor. Cada tres años.
g) Limpieza de placas del evaporador. Cada dos años.

4.3.11. Limpieza en sistemas RAC con amoníaco.

Las escamas y otros contaminantes de los sistemas con amoníaco causan muchos problemas innecesarios. Los contaminantes solidos que circulan en los sistemas de refrigeración con amoníaco tienden a obstruir la válvula de flotador, causan erosión en el eje de la valvular de expansión y producen daños al compresor. Las partículas contaminantes pueden ser fácilmente eliminadas instalando un filtro en la línea de líquido. El mantener el sistema sin suciedad y escamas evita el rayado de las paredes de los cilindros y por tanto extiende considerablemente la vida del compresor. El filtro con núcleo estándar es la mejor selección para sistemas con amoníaco. Los elementos filtrantes se deterioran si son usados para servicio en sistemas con amoníaco, por lo tanto no es recomendable usarlos.

El filtro debe instalarse con una línea de desvío o circunvalación para que el filtro pueda evacuarse y ser aislado mediante válvulas para poder cambiar núcleos. Se debe instalar una válvula de alivio después del filtro. Cuando se instala un filtro por primera vez en un sistema sucio, puede que sea necesario cambiar los núcleos después de varios días de operación dado que se pueden haber colectado grandes cantidades de escamas. El cambiar varias veces los núcleos limpiará el sistema gradualmente. Una vez que el sistema ha sido limpiado, el cambiar los núcleos una o dos veces al año mantendrá el sistema operando adecuadamente.

Se recomiendan dos procedimientos para la limpieza de sistemas con amoníaco:

a) Instale el sistema teniendo en mente la limpieza del sistema. Si los sistemas con amoníaco se construyeran con el mismo grado de limpieza que se aplica para los sistemas que usan otros refrigerantes, entonces resultarán considerablemente menos problemas. Use nitrógeno para presurizar el sistema. Use un separador de aceite para evitar que el aceite se acumule en el evaporador.

b) Para eliminar escamas residuales y otros contaminantes solidos del sistema, instale un filtro secador de núcleo reemplazable en la línea de líquido. La acción continua de filtrado mantendrá limpio al sistema y se pagará muchas veces en la reducción en el mantenimiento del compresor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia. Manual de buenas prácticas en refrigeración. 2014.

[2] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. UNIDAD TECNICA OZONO. Cartilla Didáctica "El mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado y la certificación por competencias laborales". Segunda edición, 2008.

[3] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Mayo de 2006.

[4] Instituto de Refrigeración, Calefacción y Aire Acondicionado (AHRI). AHRI Guideline N-2016: Assignment of Refrigerant Container Colors. Disponible en http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/Guidelines/AHRI_Guideline_N_2016.pdf. Consultado en julio de 2016.

[5] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DE LA REFRIGERACIÓN – ACAIRE Guía de Buenas Prácticas de Ingeniería. Refrigerante de Hidrocarburos. 2013.
http://acaire.org/acaire/wp-content/uploads/2016/03/BPI-08-Refrigerantes-de-hidrocarbur os-revisada-2013.pdf

[6] JAIME DE JESUS RINCON Q. LIMPIAR CON NITROGENO.
http://2jjrefrigeracion.blogspot.com.co/2011/03/limpiar-con-nitrogeno-tuberia-de.html.
Consultado en julio de 2016

[7] Montreal Protocol on Substances that deplete the ozone layer. HFC and PFC task force of the Technology and Economic Assesment Panel. The implications to the Montreal Protocol of the inclusion of HFCS and PFCs in the Kyoto Protocol. Report of the TEAP HFC and PFC task force, October 1999.

[8] Informe especial IPCC/GETE sobre La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos. Resumen para responsables de políticas Informe de los Grupos de trabajo I y III del IPCC y Resumen técnico Informe aceptado por los Grupos de trabajo I y III del IPCC pero no aprobado en detalle. 2005, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. ISBN: 92-9169-318-9.

[9] Preparing for HCFC phase-out: Fundamentals of uses, alternatives, implications for Article 5 countries. United Nations. Industrial Development Organization. Vienna, 2009.

[10] Forofrio. El vacío en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Disponible en: http://www.forofrio.com/index.php?option=com_content&view=article&id=245:el-vacio-en- los-sistemas-de-refrigeracion-y-aire-condicionado&catid=9:actualidad&Itemid=54. Consultado en julio de 2016.

[11] DÍAZ, Efrén Andrés. Cuadernos de taller: Prueba de estanqueidad. Operación de vacío. Carga de refrigerante. Consejería de Educación, Cultura y Deporte. Centro del Profesorado y de Recursos de Gijón-Oriente. Disponible en: http://www.cifplalaboral.es/ckfinder/userfiles/files/Carga_de_refrigerante.pdf. España. 2013.

[12] HEATCRAFT WORLDWIDE REFRIGERATION. Evaluation of HCFC Alternative Refrigerants. Shaobo Jia. Global Innovation. 2009.

[13] COLBOURNE, D. HASSE, V. USINGER, J. GRAMMIG, T. Options and implications of replacing HCFCs with natural refrigerants in China. GTZ-Proklima. 2010.

[14] Technology and Economic Assessment Panel (TEAP). 2010. "TEAP 2010 Progress Report, Volume 1: Assessment of HCFCs and Environmentally Sound Alternatives, Scoping Study on Alternatives to HCFC Refrigerants under High Ambient Temperature Conditions." May 2010. Available online at: http://www.unep.ch/ozone/Assessment_Panels/TEAP/Reports/TEAP_Reports/tea p-2010-progress-report-volume1-May2010.pdf. Accessed September 30, 2010.

[15] COLBOURNE, Daniel. BARRIERS TO THE USE OF LOW- GWP REFRIGERANTS IN DEVELOPING COUNTRIES & OPPORTUNITIES TO OVERCOME THESE. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Disponible en: http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7476-e-Report-low-GWPbarri ers. pdf. 2010.

[16] ATMOSPHERE 2010. HOW TO BRING NATURAL REFRIGERANTS FASTER TO MARKET. SUMARY REPORT. 2010.

[17] CRINCOLI RONDÓN, Claudio Andrea. REFRIGERANTES HIDROCARBUROS COMO ALTERNATIVA PARA LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN. Miniproyecto de Ingeniería Química. Departamento de Termodinámica y Fenómenos de Transferencia. Consultado en julio de 2016.

[18] GIZ PROLIMA INTERNATIONAL. Operación de equipo de aire acondicionado tipo split con hidrocarburos. Eschborn, Alemania. septiembre de 2014

[19] DURACOOL, INC . MANUAL DE CAPACITACIÓN SOBRE PRODUCTOS REFRIGERANTES DE HIDROCARBURO (HC). Refrigerantes Ecológicos S. A. de C. V. 2008.

[20] HUNG PHAM, RAJAN RAJENDRAN. R32 And HFOs As Low-GWP Refrigerants For Air Conditioning. Emerson Climate Technologies Inc. Disponible en URL: http://www.emersonclimate.com/en-us/Documents/R32_and_HFOs_as_Low-GW P_Ref_ for_AC.pdf. Sidney, Ohio 45414 USA. 2012.

[21] AGUILO, Roberto R. La eficiencia energética en las instalaciones frigoríficas en supermercados. Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G. Revista Frio y Calor, Edición 89. Consultado en julio de 2016.

[22] CO2 una nueva era en la refrigeración. Carrier Refrigeración Iberica S.A. Disponible en: http://www.carrier-refrigeracion.es/carrier_futuro_co2.htm. Consultado en julio de 2016.

[23] HENRIK PEDERSEN AND DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE. Low GWP Alternatives to HFCs in Refrigeration. Environmental Projekt no. 1425. . ISBN No. 978-87-92903-15-0.

[24] Emerson Climate Technologies. Commercial CO2 Refrigeration Systems Guide for Subcritical and Transcritical CO2 Applications. 2015.

[25] CAREL. Soluciones para aplicaciones retail de CO2. Disponible en URL: http://www.carel.com/documents/10191/0/%2B4000018ES/aeb76e11-0e72-4534 -943d-ea2c02a91bf0?version=1.0. Consultado en julio de 2016.

[26] LENOX EMEA. CO2 TRANSCRÍTICO CO2 SUBCRÍTICO. Disponibe en: http://www.friga-bohn.com/download/brochure/CO2/Solutions%20CO2%20(es).p df. Consultado en Julio de 2016.

[27] DANFOSS. Application Guide. Sistemas transcríticos de CO2 de 1 y 2 etapas Como controlar el sistema. 7/2012.

[28] Rodríguez, Manuel . Refrigeración con amoníaco: aplicaciones, funcionamiento y propiedades. Revista Digita. Marzo de 2016.

[29] Guía de Uso y Manejo de Amoníaco en la Refrigeración de Frutas y Hortalizas Frescas: Plan de Emergencia. Asociación de Exportadores de Frutas de Chile, Asociación Gremial. ASOEX. Julio de 2012. Chile.

[30] SPORLAN Valve Company. Filtros Secadores Líneas de líquido y succión. Boletín EXP(S1) 40-10. Abril de 2002. Washington, MO.

[31] FERNANDEZ Gutiérrez, Gersain Alejandro. Diseño, instalación y puesta en marcha de un equipo con tecnología de nuevos materiales de ingeniería, para un sistema de refrigeración industrial con amoníaco y circuito glicol. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Profesional Azcapotzalco. Octubre de 2010.

[32] NCh 3241-2011. Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION INN - CHILE. 2011.

[33] Osalan. Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. LEGISLACIÓN SOBRE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. Septiembre de 2014.

[34] CEPYME. Guía técnica para la seguridad y salud en atmósferas explosivas. Vol I. Disponible en: http://www.conectapyme.com/gabinete/publicaciones/atex.pdf. ARAGON.

[35] Proklima Internationa. Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants. Eschborn, September 2010.

[36] Sistemas de Refrigeración - Eficiencia. Sistema de informaciones y herramientas de cálculo para aplicaciones energéticas. Disponible en: http://www.energianow.com/select/bd_sistema_refrigeracion1.php.

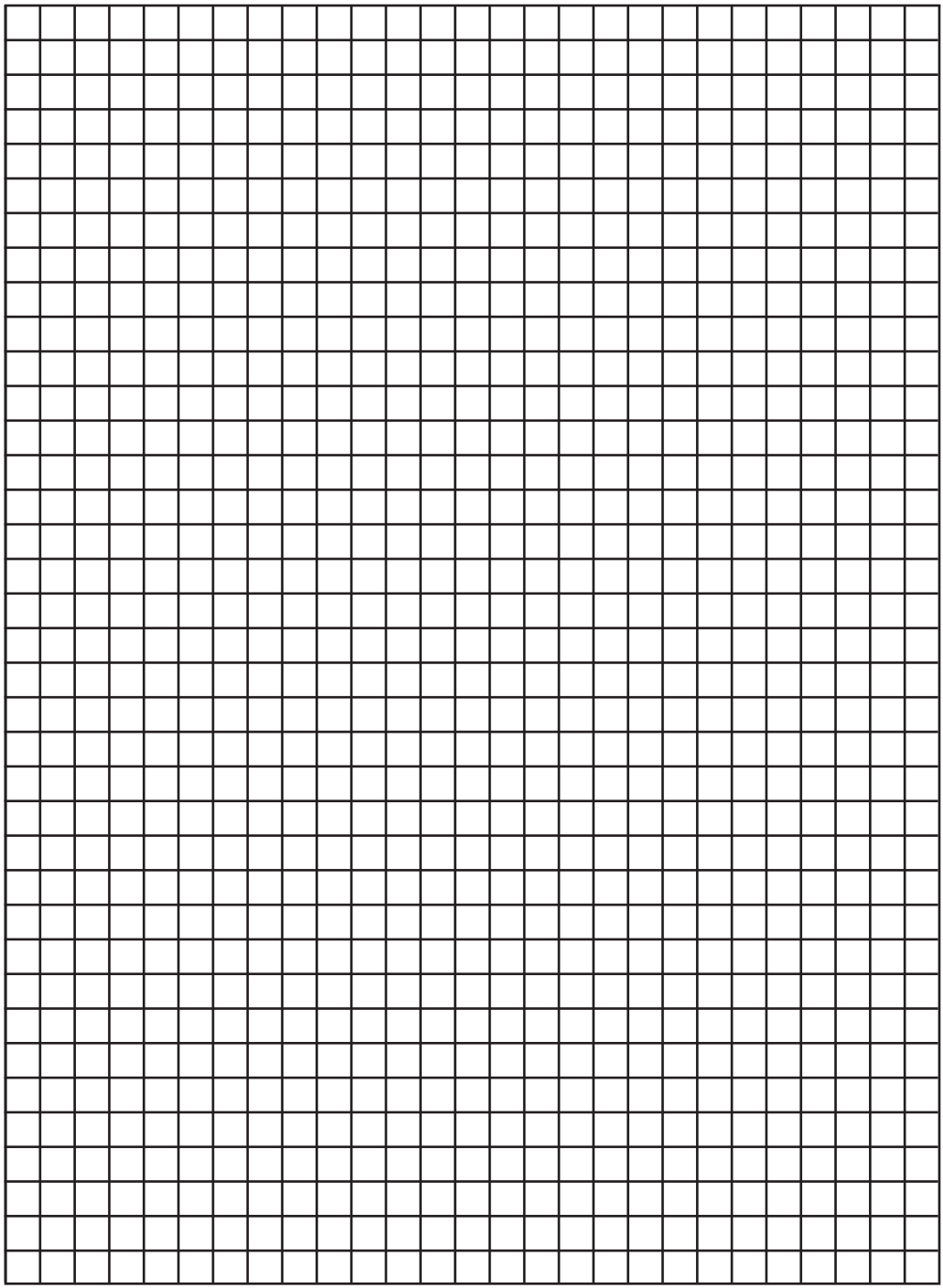
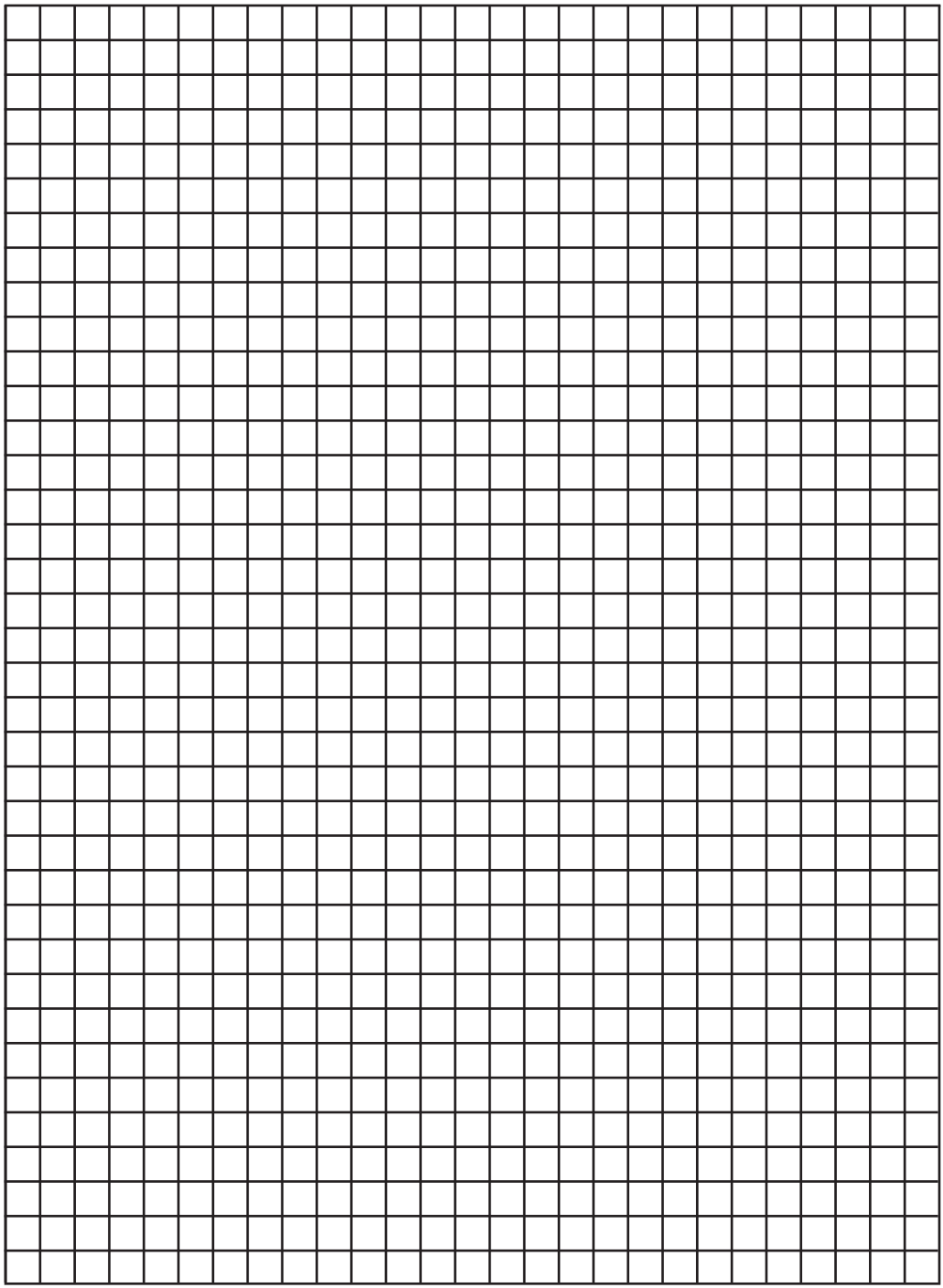
[37] Mide el sobrecalentamiento para proteger el compresor. Disponible en: https://www.gildardoyanez.com/tips/sobrecalentamiento/.

[38] Subenfriamiento en el sistema de refrigeración. Disponible en: http://bohnmexico.blogspot.com/2017/12/subenfriamiento-en-el-sistema-de.html.

[39] Sporlan. FOLLETO 10-135(S1): Uso de la Tabla P-T Como Herramienta de Servicio. Disponible en:
https://sporlanonline.com/literature/international/s1/10-135_S1.pdf.

[40] Revista Cero Grados. Carlos González Sierra. Refrigerantes. Técnicas de recuperación. Disponible en:
https://0grados.com.mx/refrigerantes-tecnicas-de-recuperacion/. Julio 13, 2018.

[40] Safe Use of HCFC Alternatives in Refrigeration and Air-Conditioning: Higher Pressure Refrigerants (Available in Spanish). Disponible en: https://www.unenvironment.org/ozonaction/resources/factsheet/safe-use-hcfc-alt ernatives-refrigeration-and-air-conditioning-higher-pressure.

[41] Safe Use of HCFC Alternatives in Refrigeration and Air-Conditioning: Higher Toxicity Refrigerants (Available in Spanish) https://www.unenvironment.org/ozonaction/resources/factsheet/safe-use-hcfc-alt ernatives-refrigeration-and-air-conditioning-higher-toxicity

[42] Safe Use of HCFC Alternatives in Refrigeration and Air-Conditioning: Flammable Refrigerants (Available in Spanish) https://www.unenvironment.org/ozonaction/resources/factsheet/safe-use-hcfc-alt ernatives-refrigeration-and-air-conditioning-flammable.