



Ambiente

Guía para el control de fugas de refrigerante



REPÚBLICA DE COLOMBIA

Presidente de la República
Gustavo Francisco Petro Urrego

Vicepresidenta de la República
Francia Elena Márquez Mina

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Lena Yanina Estrada

Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio
Lilia Tatiana Roa Avendaño

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental
Mauricio Cabrera Leal

Director de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana (E)
Jairo Orlando Hómez Sánchez

UNIDAD TÉCNICA OZONO (UTO)
Coordinadora Nacional Proyecto UTO
Leydy María Suárez Orozco

Publicado por
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
(GIZ) GmbH

Como empresa federal, la GIZ asiste al Gobierno de la República Federal de Alemania en su labor para alcanzar sus objetivos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible.

Domicilios de la sociedad
Bonn y Eschborn, Alemania
Desarrollado por
Programa Proklima
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Alemania
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15
proklima@giz.de
www.giz.de/proklima

Proyectos del programa Proklima
Una eliminación sostenible y respetuosa con el clima de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SPODS)
Green Cooling Initiative III

Responsables
Guntram Glasbrenner, Director del programa Proklima,
guntram.glasbrenner@giz.de
Claudia Álvarez, Gerente de proyectos Proklima
claudia.alvarez@giz.de

Autores
GIZ, consultores externos
Giovanni Martín Barletta Manjarrés
Carlos Octavio Urrego Rodríguez

GIZ, HEAT GmbH
Rolf Huehren

Revisión temática
MinAmbiente; UTO, PNUD
Edwin Mauricio Dickson
James Alejandro Mendoza Avendaño

Nombre: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, autor | Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, autor | Giovanni Martín Barletta Manjarrés, autor | Carlos Octavio Urrego Rodríguez, autor | Rolf Huehren, autor.

Título: Guía para el control de fugas de refrigerante

Descripción: Bogotá : Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2025. | 72 páginas: cuadros, figuras, ilustraciones gráficas y tablas.

Incluye bibliografía.

Identificadores: ISBN 978-628-7598-35-5 (digital)

Materias: Tesauro Ambiental para Colombia: Acondicionamiento de aire | Fugas de refrigerante | Normas de calidad del aire | Normas técnicas de calidad ambiental | Refrigerante |

Clasificación: CDD 621.56 -dc21 CO_BoCDM

GIZ
Julián David González Venegas
Primera edición: abril de 2025
© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia (MinAmbiente)
© GIZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

Corrección de estilo: GIZ, consultor externo
Óscar Enrique Alfonso
Edición y cuidado del texto: Laura Porras Montenegro, Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental
Diseño y diagramación: Fundación Aica Colectivo
ISBN (digital): 978-628-7598-35-5

Por encargo de
Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores (BMUV) 11055 Berlín, Alemania

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), y cofinanciado por la Unión Europea (UE) 10963 Berlín, Alemania.

La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo financiero de la Unión Europea (UE), el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) y el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores (BMUV) de Alemania. Su contenido es responsabilidad exclusiva de la GIZ y de la Unidad Técnica Ozono de Colombia y no necesariamente refleja los puntos de vista de la UE, del BMZ y BMUV.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.



CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS	8
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO Y ALCANCE	11
1. FUGAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (RAC)	12
1.1. Fugas más comunes	13
1.2. Impactos directos e indirectos de las fugas de refrigerantes	16
1.2.1. Impactos directos o efectos primarios de las fugas de refrigerante: ambientales, físicos y a la salud	16
1.2.2. Impactos indirectos o efectos secundarios de las fugas de refrigerante: eficiencia energética, consumo de energía	18
1.2.3. Influencia de las fugas de refrigerante en el TEWI	18
1.2.4. Enfoque de precaución	19
2. NORMATIVAS APLICABLES AL SECTOR RAC	20
2.1. Norma técnica nacional	20
2.2. Normas técnicas internacionales	21
3. ASEGURAMIENTO DE LA HERMETICIDAD DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DURANTE LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPOS O SISTEMAS RAC	24
3.1. Durante la fabricación	24
3.1.1. Tecnologías, equipos e instrumentos de aseguramiento de la hermeticidad en la fabricación	25
3.2. Durante la instalación	27
3.2.1. Tecnologías e instrumentos de medición de fugas durante la instalación	29
3.2.2. Procedimientos para asegurar la hermeticidad durante la instalación	29
4. BUENAS PRÁCTICAS PARA GARANTIZAR SISTEMAS RAC SIN FUGAS DURANTE LA OPERACIÓN	36
4.1. Tecnologías, equipos e instrumentos de medición y detección de fugas durante la operación	37
4.1.1. Para métodos directos	37
4.1.2. Para métodos indirectos	38
4.2. Pruebas e inspecciones de fugas	39
4.2.1. Métodos directos de detección de fugas	40
4.3. Comparación de los métodos de detección de fugas	47
5. CORRECCIÓN DE FUGAS	50
5.1. Tecnologías, equipos e instrumentos de control de la hermeticidad durante la reparación	51
5.2. Procedimientos de control de la hermeticidad	51
6. REFERENCIAS	55
7. ANEXOS	56
Anexo A. Informe de análisis de fuga de refrigerante	56
Anexo B. Ejemplo formulario de "Registro proceso de refrigerantes"	58
Anexo C. Lista de refrigerantes	60
Anexo D. Equipo para uso de nitrógeno seco, libre de oxígeno	66
Anexo E. Cálculo de sobrecalentamiento y subenfriamiento	68
Anexo F. Normas de competencia laboral colombiana	69
Anexo G. Requisitos y procedimientos a cumplir por las empresas de servicios en refrigeración y acondicionamiento de aire	70
Anexo H. Tabla de periodicidad de control de fugas del sistema como lo indica la NTC6228 P 4	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Fugas más comunes	14
Tabla 2.	Equivalencia en emisiones de CO ₂	17
Tabla 3.	Norma NTC 6228	20
Tabla 4.	NTC 6572	21
Tabla 5.	Normas internacionales	21
Tabla 6.	Procedimientos de pruebas de presión y hermeticidad de la instalación completa del sistema	25
Tabla 7.	Consideraciones	27
Tabla 8.	Procedimientos para asegurar la hermeticidad durante la instalación	29
Tabla 9.	Consideraciones	32
Tabla 10.	Ejemplos de presiones de prueba adecuadas	34
Tabla 11.	Calidad de las sustancias de prueba de presión	34
Tabla 12.	Fuga de referencia	38
Tabla 13.	Instrumentos de medición	38
Tabla 14.	Características de un sensor de refrigerante	40
Tabla 15.	Métodos directos de detección de fugas	40
Tabla 16.	Detección de refrigerante en sistemas de refrigeración	42
Tabla 17.	Métodos indirectos de detección de fugas	44
Tabla 18.	Tipología de fugas de refrigerante	46
Tabla 19.	Comparación de métodos directos e indirectos	47
Tabla 20.	Parámetros para la detección y reducción de fugas de refrigerante	47
Tabla 21.	Resumen de pruebas y procedimientos de detección de fugas (procesos y aplicación en campo)	48
Tabla 22.	Procedimientos de pruebas en la instalación completa del equipo o los sistemas	51
Tabla 23.	Consideraciones	53
Tabla 24.	Cilindro comúnmente usado para el Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno y el gas trazador	67
Tabla 25.	Inspección durante el servicio	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Indicador de la tendencia de diferentes componentes individuales a tener fugas	12
Figura 2.	Aumento anual del costo operativo de un sistema de refrigeración con fugas, perspectiva global	13
Figura 3.	Consecuencias de una fuga de refrigerante	16
Figura 4.	Cronograma de reducción del consumo de HFC	17
Figura 5.	Refrigerantes de acuerdo con el PCA	17
Figura 6.	Alcance de emisiones directas e indirectas	18
Figura 7.	Norma ISO 817:2014 Categorización de grupos de seguridad de refrigerantes	22
Figura 8.	Diagrama de flujo proceso de fabricación de sistemas RAC	24
Figura 9.	Diagrama de flujo proceso de instalación de sistemas RAC	28
Figura 10.	Diagrama de flujo para la identificación de fugas en operación	36
Figura 11.	Marcas de seguridad en el lugar de pruebas de presión	39
Figura 12.	Sistema de monitoreo y control	46
Figura 13.	Diagrama de flujo de reparación por fugas del sistema de refrigeración	50
Figura 14.	Ejemplo de disposición de cilindros de Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno	66
Figura 15.	Conjunto de medidores de control de la presión intermedia	67
Figura 16.	Ejemplo de regulador de presión Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno	67

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ANSI	Instituto Nacional de Normalización de los Estados Unidos
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de aire
AHRI	Instituto de Acondicionamiento de aire, Calefacción y Refrigeración
BPR	Buenas Prácticas en Refrigeración
CFC	clorofluorocarbono
EC	Comunidad Europea
EN	Normativa Europea
UE	Unión Europea
EPA	Agencia de Protección Ambiental (EE. UU.)
F-Gas	el gas fluorado
GEI	gas de efecto invernadero
GWP	Potencial de Calentamiento Global (por sus siglas en inglés)
PCA	Potencial de Calentamiento Atmosférico
HC	hidrocarburo
HCFC	hidroclorofluorocarbono
HFC	hidrofluorocarbono
HFO	HFC no saturados
HPMP	Plan de Gestión de la Eliminación de HCFC
HFO	hidrofluoroolefina
HVAC&R	calefacción, ventilación, acondicionamiento de aire y refrigeración
ISO	Organización Internacional de Normalización
MAC	Acondicionamiento de Aire Móvil
MSDS	hoja de datos de seguridad de materiales
NCL	Normas de Competencia Laboral
NSLO	nitrógeno seco libre de oxígeno
NTC	Norma Técnica Colombiana
ODP	Potencial de Agotamiento de Ozono (por sus siglas en inglés)

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS

OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (EE. UU.)
PAO	Potencial de Agotamiento de Ozono
PCA	Potencial de Calentamiento Atmosférico
PED	Directiva de Equipos a Presión
PPM	Mantenimiento Preventivo Planificado
PS	presión máxima permitida
PTFE	politetrafluoroetileno (teflón)
RAC	refrigeración, acondicionamiento de aire y bombas de calor
RHL	Licencia de Manipulación de Refrigerante
SAO	Sustancia Agotadora de Ozono
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
TCD	Detector de Conductividad Térmica
TEAP	Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica
TEWI	Impacto Total Equivalente de Calentamiento Atmosférico
TFA	Trifluoroacetic acid, CF ₃ C(O)OH
UTO	Unidad Técnica Ozono



INTRODUCCIÓN

La operación correcta de los sistemas de refrigeración y acondicionamiento del aire constituye un factor de gran relevancia en la protección ambiental, puesto que implica el control de emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono y generadoras de calentamiento atmosférico, a su vez determina el rendimiento energético (eficiencia) de los sistemas, lo que contribuye a disminuir consumos de energía.

Para lograr esa óptima operación de los sistemas es necesario prevenir y controlar las fugas de refrigerante; acción que se logra durante la fabricación, instalación, operación y mantenimiento adecuado de dichos sistemas. De acuerdo con lo anterior, es necesario contar con una guía técnica que oriente a los técnicos de servicio y operadores de los sistemas de refrigeración sobre cómo detectar, evaluar y corregir las fugas de refrigerante que afectan la operación de los equipos o sistemas y aumentan los costos de funcionamiento, al mismo tiempo que generan un gran detrimento ambiental.



OBJETIVO Y ALCANCE

Presentar metodologías alternativas técnicas para detectar fugas en los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire, considerando que identificar y corregir las fugas en un sistema deben ser herramientas que permitan disminuir y eliminar pérdidas de refrigerante, reducir los costos operacionales de energía e insumos y mejorar los rendimientos termodinámicos de los sistemas.

Además, exponer metodologías directas e indirectas para detectar fugas y plantear aplicaciones para obtener resultados favorables para tal fin.

1. FUGAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (RAC)

SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Los sistemas de refrigeración más utilizados son los de compresión de vapor; controlar las fugas de refrigerante en estos sistemas es imprescindible para conseguir un rendimiento operativo óptimo acompañado del correcto balance entre la cantidad de refrigerante en el sistema, las presiones, las temperaturas de operación, el efecto refrigerante (ER), el coeficiente de rendimiento (COP), la eficiencia energética del refrigerante (EER), el subenfriamiento y el sobrecalentamiento que aportan al menor consumo de energía de los equipos y forman parte de las buenas prácticas en refrigeración.

En refrigeración y acondicionamiento de aire, se acostumbra utilizar la expresión "gases refrigerantes" para referirse a los fluidos utilizados para el proceso termodinámico dentro de los sistemas; por lo que el término refrigerante, en esta disciplina, no se debe confundir con los fluidos empleados en los motores automotrices o transformadores de corriente, entre otros equipos.

¿QUÉ SON LAS FUGAS DE REFRIGERANTE?

Una fuga puede definirse como un camino, agujero o defecto en un elemento por medio del cual puede pasar un fluido. El tamaño de las fugas puede variar en kg/s o en g/año o en mg/año. Algunas fugas pueden ser muy pequeñas para ser detectadas incluso con tecnología de detección de alta sensibilidad. Si existen factores internos o externos, como esfuerzos térmicos, vibraciones o condiciones ambientales, puede ser cuestión de tiempo llegar a detectar una fuga muy pequeña.

IMPORTANCIA DE DETECTAR LAS FUGAS DE REFRIGERANTE

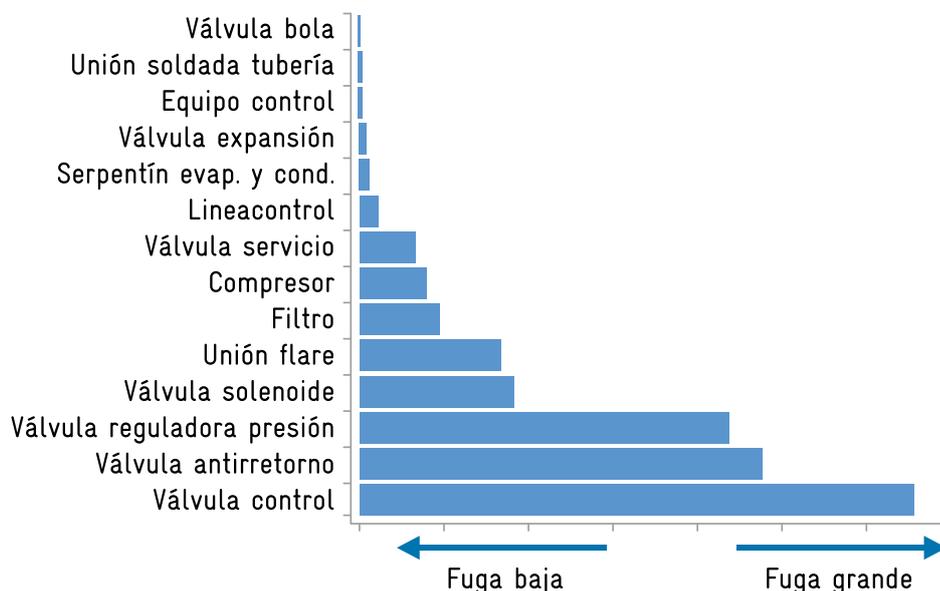
La refrigeración y el acondicionamiento de aire han tenido un amplio desarrollo en las últimas décadas motivado por la sustitución de refrigerantes que afectan el ambiente y la necesidad de mejorar el rendimiento y la reducción de los consumos energéticos de los sistemas instalados.

Tener sistemas de refrigeración, acondicionamiento de aire y bombas de calor (RAC) herméticos para que los refrigerantes utilizados dentro de los circuitos no se fuguen del sistema cerrado de refrigeración es un desafío; por ser sistemas de presión, estos presentan tendencia a fallas o defectos en las uniones soldadas o roscadas de los accesorios mecánicos, entre otras.

En la industria de RAC, los componentes y los sistemas completos deben ser sometidos a pruebas de fugas para asegurar la hermeticidad. Igualmente, existen normas y reglamentos internacionales para prevenir y reducir las emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) y las que generan efecto invernadero, como el Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali.

Las fugas de refrigerante tienen consecuencias en los sistemas de refrigeración en los niveles mecánico, ambiental, económico y de seguridad. En sistemas con poca carga de refrigerante, una fuga se convierte en la caída de la capacidad frigorífica del equipo; en sistemas comerciales e industriales que contienen recipientes de líquido, una fuga de refrigerante no se aprecia rápidamente, sino cuando el sistema empieza a presentar variaciones de temperatura y presiones, aumento del tiempo de operación del compresor, mayor consumo de energía y menor respuesta del refrigerante en el evaporador.

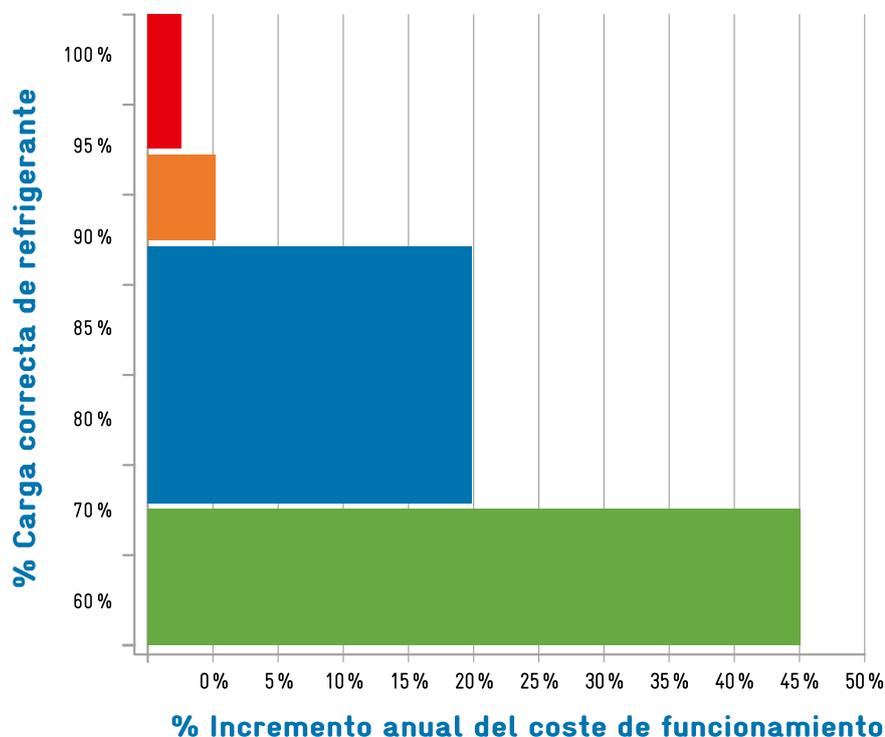
FIGURA 1. INDICADOR DE LA TENDENCIA DE DIFERENTES COMPONENTES INDIVIDUALES A TENER FUGAS



Fuente: elaboración propia, con datos de Proklima *Guidelines for the safe use of hydrocarbons*.

Las fugas de refrigerante aumentan el consumo de energía de los sistemas de refrigeración, tal como se aprecia en la figura 2.

FIGURA 2. AUMENTO ANUAL DEL COSTO OPERATIVO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON FUGAS, PERSPECTIVA GLOBAL



Fuente: elaboración propia.

Ambientalmente, las fugas de refrigerante afectan tanto la capa de ozono como el cambio climático; el potencial de calentamiento atmosférico (PCA; GWP en inglés) de los refrigerantes tiene un equivalente de CO₂ en kilogramos emitidos a la atmósfera.

1.1. FUGAS MÁS COMUNES

Si se presume que un sistema RAC tiene una fuga de refrigerante, es importante revisar primero los lugares más comunes que pueden ser diferentes de un sistema a otro; aun cuando deben tenerse en cuenta los puntos más críticos, como las conexiones mecánicas. En el anexo A, se presentan unas

guías para identificar puntos de fuga de refrigerante junto con medidas de monitoreo para optimizar y ajustar el sistema.

Algunos aspectos relevantes en la ocurrencia de fugas en los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire se encuentran en estos puntos y deben ejecutarse, como mínimo, estas acciones:

TABLA 1. FUGAS MÁS COMUNES

PUNTO DE FUGA	CAUSAS	ACCIONES
Uniones abocardadas (acampanadas)	Mala práctica de fabricación de elementos (escariado de tubos y uso de aceite para realizar el abocardado). Torque alto en el ajuste. Torque bajo en el ajuste. Residuos de aceite. Expansión o contracción térmica.	Usar conexiones abocardadas fabricadas industrialmente. Asegurar la hermeticidad y el sellado entre las piezas de cobre.
Juntas y bridas mecánicas	Juntas mal preparadas. Evitar el uso de politetrafluoretileno (PTFE), como el teflón junto con los refrigerantes HFC. Usar un sellador de rosca apropiado. Torque de apriete incorrecto o desigual en las bridas, ajustar de manera uniforme aplicando la regla de "los opuestos" hasta sellar la brida completamente.	No cambiar el empaque de la tapa al reemplazar el filtro piedra. Eliminar completamente los residuos de los empaques viejos en las bridas antes de colocar los nuevos empaques.
Sellos del eje	Desgaste general a lo largo del tiempo. Lubricación incorrecta. Instalación y ajuste incorrecto de sellos nuevos.	Prueba de fuga del sello del eje con el compresor en funcionamiento. Usar un reemplazo adecuado de sellos de eje para la reparación.
Válvulas de cierre y de bola	Prensaestopas dañados o desgastados. Las tapas no se instalan después del servicio de mantenimiento al sistema.	Reemplazar prensaestopas. Verificar la instalación de las tapas.
Válvulas Schrader	El gusanillo no está ajustado. No hay sello o está dañado. La tapa no está ajustada o no existe. La tapa no es la adecuada.	Verificar las condiciones de la válvula y sus accesorios antes de instalarla.
Válvulas de alivio de presión, tapones fusibles, discos de ruptura	Las variaciones de temperatura y presión debilitan la unión entre el tapón y el núcleo de soldadura. Después de la liberación de refrigerante con alta presión, no se aprieta de nuevo.	Reemplazar las válvulas de liberación de presión, si hay fugas, usando un reemplazo adecuado. Realizar siempre la prueba de fuga en la salida de las válvulas de alivio de presión. Usar válvulas de alivio de presión con doble válvula de cambio, cuando sea posible. Evitar el uso de tapones fusibles, cuando sea posible. Realizar siempre prueba de fuga en tapones fusibles y discos de ruptura. Revisar el testigo indicador de fuga en el disco de ruptura.



PUNTO DE FUGA	CAUSAS	ACCIONES
Condensadores	Corrosión. Daños mecánicos. Tratamiento de agua incorrecto o no existe en los condensadores enfriados por agua. Vibración.	Reemplazar o balancear los ventiladores desbalanceados. Revisar el intercambiador de calor (serpentin) para detectar señales de aceite.
Evaporadores	Corrosión. Daños mecánicos. Vibración.	Reemplazar o balancear los ventiladores desbalanceados. Revisar el drenaje del condensado para detectar señales de aceite.
Codos de los evaporadores y condensadores	Corrosión por atmósferas agresivas. Daños mecánicos. Daños causados por la acción térmica.	Chequear si existen señales de aceite. Verificar que se retiran completamente los limpiadores químicos que se emplean.
Válvulas de carga provisional de línea	Las válvulas de derivación se han retirado después de usarlas y no se ha sellado correctamente el lugar de la instalación.	Las válvulas perforadoras son solo para uso temporal.
Interruptores de presión	Vibración. Cuerpo del interruptor mal apoyado o fijado. Falla en la conexión abocardada en el interruptor. Conector de presión que roza.	Usar interruptores de caudal tipo fuelle, cuando sea posible. Usar conectores de presión flexibles, siempre que sea posible. Usar conexiones abocardadas fabricadas industrialmente. Reemplazar las tuberías de cobre donde sea usada como acopladores de presión. Realizar siempre la prueba de fuga dentro de los interruptores.
Válvulas solenoides	No hay sello o está dañado. Residuos de aceite.	Considerar los efectos de la acción hidráulica para válvulas de gran tamaño, por ejemplo, cuando el tamaño seleccionado no es exacto. Verificar que no hay señales de aceite. Asegurarse de que los sellos de repuesto son adecuados y se ajustan al cuerpo de la válvula. Lubricar el sello antes de ajustarlo.
Tubos capilares	El roce producido por una deficiente fijación. Vibración. Corrosión.	Verificar la correcta instalación del dispositivo.
Tubería de la bandeja de condensados	Corrosión.	Sustituir la tubería por una revestida en plástico, cuando sea posible. Chequear si existen señales de aceite.

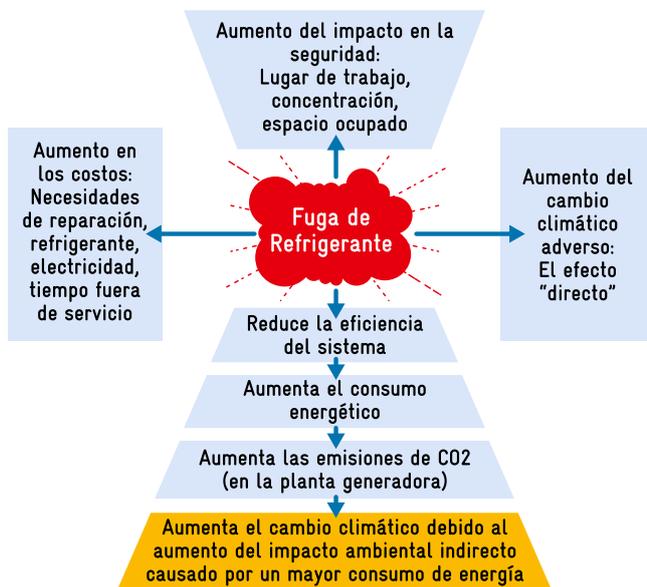
PUNTO DE FUGA	CAUSAS	ACCIONES
Mirilla	Residuos de aceite.	Chequear que el vidrio no esté dañado y que no tenga incrustación. Comprobar que no existen señales de aceite.
Otros aspectos a tener en cuenta	Soldaduras deficientes. Ajuste de tuercas y tornillos insuficiente o excesivo. Válvulas sin tapones. Incompatibilidad de aceites de lubricación con elementos mecánicos. Vibraciones. Dilatación térmica. Corrosión por los productos almacenados. Corrosión galvánica o abrasión entre metales (hierro-cobre). Mal soporte de tuberías. Estrés térmico o mecánico.	—

Fuente: elaboración propia.

1.2. IMPACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LAS FUGAS DE REFRIGERANTES

Las fugas de refrigerante generan, en los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire, impactos relevantes que se ven reflejados en el rendimiento, los costos operativos o el ambiente, como se indica a continuación.

FIGURA 3. CONSECUENCIAS DE UNA FUGA DE REFRIGERANTE



Fuente: elaboración propia con base en Rolf Hühren, HEAT GmbH.

1.2.1. Impactos directos o efectos primarios de las fugas de refrigerante: ambientales, físicos y a la salud

El impacto de las fugas de refrigerante en la salud es un problema importante de acuerdo con las características de los componentes de cada sustancia porque la inhalación puede producir dolor de cabeza, náuseas, visión borrosa, aumento del ritmo cardíaco e, incluso, un edema pulmonar. De igual

manera, la seguridad de los sistemas RAC se altera cuando se presenta una fuga dependiendo del tipo de refrigerante, de la ubicación de la fuga y del sitio en el cual se encuentra instalado el sistema, dado que, si es un espacio confinado y se exceden los límites de exposición, la concentración del refrigerante fugado puede provocar asfixia con grave impacto a la salud.

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS GASES REFRIGERANTES

Las investigaciones científicas de las emisiones no controladas han establecido el nivel de afectación ambiental de las sustancias refrigerantes, determinado por el potencial agotador de ozono (PAO [ODP, en inglés]) y por el PCA, dando como resultado acuerdos mundiales para la protección ambiental, como el Protocolo de Montreal aún vigente y el Protocolo de Kioto actualmente sin efecto aplicativo.

PROTOCOLO DE MONTREAL RELATIVO A LAS SUSTANCIAS AGOTADORAS DE LA CAPA DE OZONO

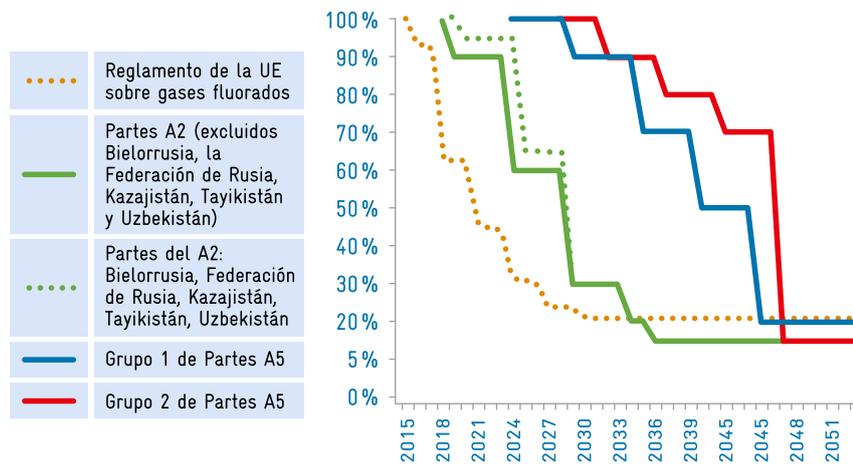
En 1986, se estableció el acuerdo para controlar la producción y el consumo de las SAO promoviendo un cronograma de eliminación de los refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC) como el R11, R12 y R502 hasta 2010.

Posteriormente, se amplió el alcance del protocolo estableciendo un cronograma de eliminación, a partir de 2010, de los refrigerantes hidroc fluorocarbonados (HCFC), como el R22, R123 y R408A hasta 2040, lo que permitió solo un 2,5% de cuota de consumo solo para mantenimiento de los sistemas que lo requieran a partir de 2030.

ENMIENDA DE KIGALI

Con la enmienda de Kigali (Ruanda) en 2016, se realizó otra ampliación del Protocolo de Montreal con el fin de incluir las sustancias refrigerantes hidrofluorocarbonadas (HFC) como el R134a, R410A y R404A.

FIGURA 4. CRONOGRAMA DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE HFC



Fuente: elaboración propia, con base en Protocolo de Montreal (2019).

Los refrigerantes HFC no agotan la capa de ozono, pero sí generan calentamiento atmosférico, lo que contribuye al cambio climático del planeta; por esa razón, están siendo

controlados y han sido reportados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como sustancias que deben ser limitadas o reducidas.

TABLA 2. EQUIVALENCIA EN EMISIONES DE CO₂

REFRIGERANTE	PCA (GWP)	EMISIÓN	EQUIVALENCIA EN EMISIONES DE CO ₂
R134a	1430	1 kg	1430 kg
R404A	3922	1 kg	3922 kg

Fuente: elaboración propia.

Los países desarrollados han avanzado en el programa de eliminación alcanzando, a la fecha (2024), un 40% de reducción en el consumo; los países en desarrollo se encuentran clasificados en dos grupos: A5-1 y A5-2; Colombia pertenece al grupo A5-1 y deberá cumplir la meta de reducción de consumo hasta el 80% en 2045, cuando podrá contar con un 20% de consumo para sostenimiento de equipos operados con estos refrigerantes.

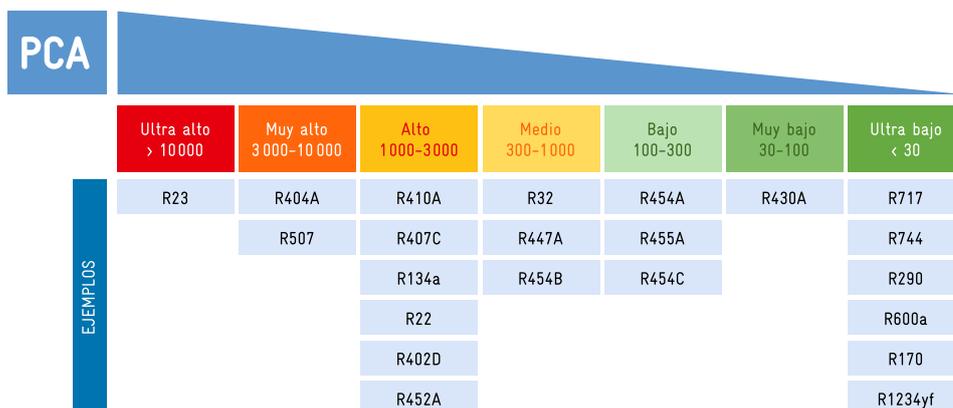
refrigerantes con un PCA menor a 150 en vehículos de pasajeros. El objetivo de controlar y reducir el uso de refrigerantes HCFC y HFC es la protección ambiental al promover la reducción de sustancias propiciadoras del cambio climático junto con el fomento del uso de sustancias con un bajo PCA (menor de 100).

De acuerdo con las directrices establecidas en la Unión Europea, los sistemas de climatización móvil solo pueden utilizar

SUSTANCIAS REFRIGERANTES ALTERNATIVAS

Actualmente, se dispone de sustancias refrigerantes alternativas con bajo PCA como sustitutos de los refrigerantes HCFC y HFC.

FIGURA 5. REFRIGERANTES DE ACUERDO CON EL PCA



Fuente: elaboración propia con base en información técnica de los refrigerantes.

Hidrofluoroolefinas: son compuestos orgánicos no saturados, conocidos como HFC de cuarta generación, que incluyen hidrógeno, flúor y carbono; en este grupo, se encuentran refrigerantes como R1234yf y R1234ze empleados en los sistemas de climatización y refrigeración móvil.

industrial (R717 y R744); teniendo en cuenta sus favorables propiedades termodinámicas que contribuyen a mejorar los rendimientos energéticos y a disminuir la incidencia en el calentamiento atmosférico.

REFRIGERANTES NATURALES

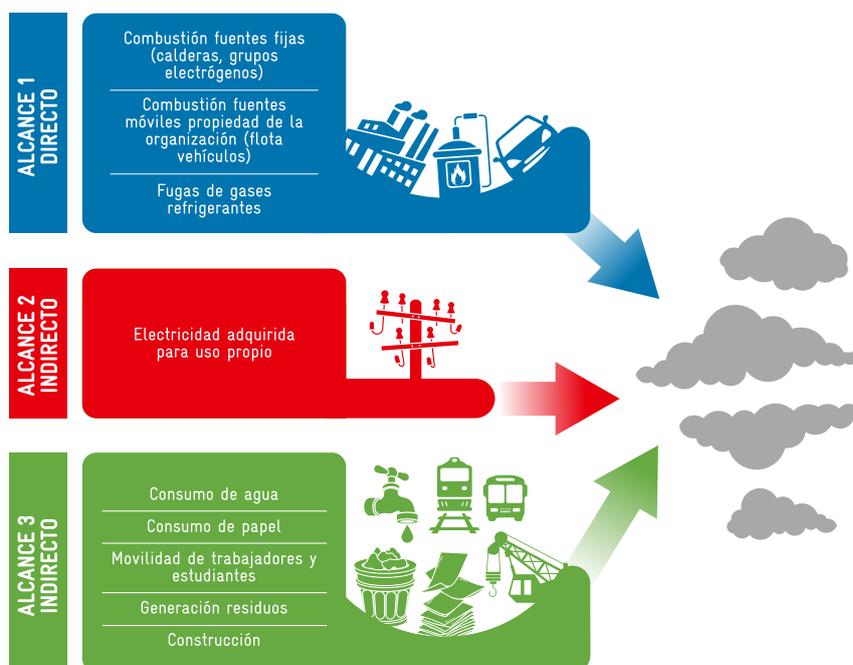
Son sustancias que se generan en la naturaleza a partir de procesos bioquímicos configurando ciclos biológicos, no afectan la capa de ozono y tienen una mínima o nula afectación para el calentamiento atmosférico; dentro de estas sustancias se encuentran el amoníaco R717 (NH₃), dióxido de carbono R744 (CO₂), agua R718 (H₂O) e hidrocarburos HC, y se destacan el etano R170, propano R290, isobutano R600a y propeno R1270. Es preciso resaltar que con los refrigerantes naturales inició la refrigeración en la primera mitad del siglo XIX y que los hidrocarburos constituyen la base de los refrigerantes sintéticos conocidos.

La aplicación de los refrigerantes naturales es muy amplia en el ámbito doméstico (R600a), comercial (R290) e

1.2.2. Impactos indirectos o efectos secundarios de las fugas de refrigerante: eficiencia energética, consumo de energía

El impacto ambiental indirecto de la fuga de refrigerantes indica que una baja carga de refrigerante en un sistema a causa de una fuga reduce su rendimiento (eficiencia), lo que genera un aumento en el consumo de energía, por consiguiente, un aumento de los costos operativos y, una mayor emisión de CO₂, sin contemplar los requerimientos adicionales de servicio de mantenimiento con mayores costos, en el peor de los casos, una parada del sistema si se quema el compresor. Igualmente, la reducción en el rendimiento del sistema puede inducir al deterioro o pérdida de productos, aumento de costos por recargas de refrigerante y solución de fugas y sobrecostos por el tiempo cesante de los productos sin refrigeración.

FIGURA 6. ALCANCE DE EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS



Fuente: elaboración propia con base en información de Toro, Gomera, Aguilar *et al.* (2018).

1.2.3. Influencia de las fugas de refrigerante en el TEWI

El impacto equivalente total del calentamiento (TEWI) es un parámetro que evalúa la contribución total de un refrigerante al calentamiento atmosférico producido durante la vida útil del sistema de refrigeración instalado y se expresa en kg de CO₂.

El cálculo de este factor es obligatorio en el proceso de diseño de una instalación de refrigeración o climatización para cumplir con los requerimientos de las reglamentaciones ambientales para las instalaciones térmicas y consiste de las siguientes partes:

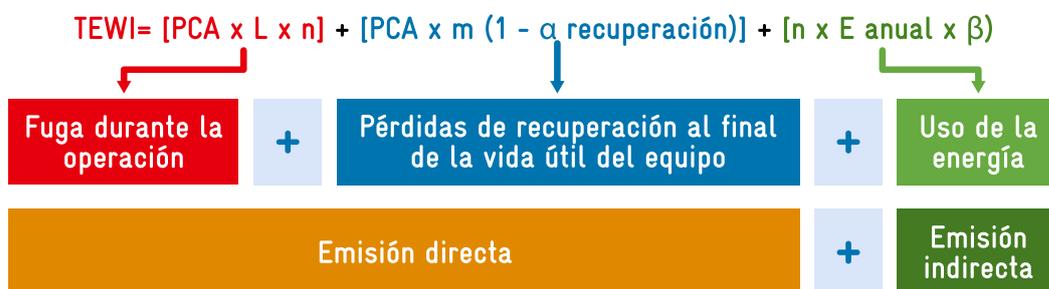
» Impacto directo debido a la emisión de refrigerante durante las fugas y la disposición final.

- » Impacto directo a través del uso como agente espumante para el material de aislamiento.
- » Impacto indirecto debido al consumo de energía (emisiones de CO₂ durante la generación de energía).

Estos impactos se combinan y se expresan como una masa equivalente de CO₂. Los diversos impactos pueden compararse entre sí mediante una emisión equivalente de dióxido de carbono; para esto, se requieren los factores de conversión de kg de CO₂ por kWh generado y el PCA. Igualmente, es necesario estimar la vida útil de un sistema RAC.

El TEWI refleja la intensidad de emisiones de la generación de energía eléctrica en un periodo de un año y sirve para estimar las emisiones indirectas asociadas al consumo de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI). El valor de este factor de emisión para 2022 es de 0,112 t CO₂

eq/MWh, de acuerdo con la cartilla Factores de Emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en Colombia para 2022, de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía de Colombia (MinMinas). La ecuación general del TEWI es:



Fuente: elaboración propia.

Donde.

$\text{PCA} \times \text{L} \times \text{n}$ = Impacto debido a pérdidas por fugas = PCA directo;

$\text{PCA} \times \text{m}(1 - \alpha \text{ recuperación})$ = Impacto por pérdidas producidas en la recuperación = PCA directo.

$\text{n} \times \text{E anual} \times \beta$ = Impacto debido a la energía consumida=PCA indirecto.

PCA es el potencial de calentamiento atmosférico del refrigerante, referido a CO₂.

L es la tasa de fugas por año, expresadas en kilogramos por año.

n es el tiempo de funcionamiento del sistema RAC, en años.

m es la carga del refrigerante, en kilogramos.

α recuperación es el factor de recuperación (reciclaje), de 0 a 1 (e asume que se pierde algo en el proceso de recuperación y reciclaje, es decir 0,75).

E anual es el consumo de energía por año, en kilovatio-hora por año.

β es la emisión de CO₂, en kilogramos por kilovatio-hora de consumo.

Notas:

» Este potencial de calentamiento atmosférico está determinado respecto del CO₂ y se basa en un horizonte de tiempo de integración acordado de 100 años.

» El factor de conversión β expresa la cantidad de CO₂ producido por la generación de 1 kWh.

Cuando puedan emitirse gases de efecto invernadero por causa del aislamiento u otros componentes, se añadirá el potencial del calentamiento atmosférico de tales gases:

$$\text{PCA}_i \times \text{m}_i (1 - \alpha_i)$$

Donde,

PCA_i es el potencial del calentamiento atmosférico del gas contenido en el aislamiento, referido al CO₂.

m_i es la carga de gas existente en aislamiento del sistema, expresada en kilogramos.

α_i es el índice de gas recuperado del aislamiento al final de la vida del sistema, variación de 0 a 1.

1.2.4. Enfoque de precaución

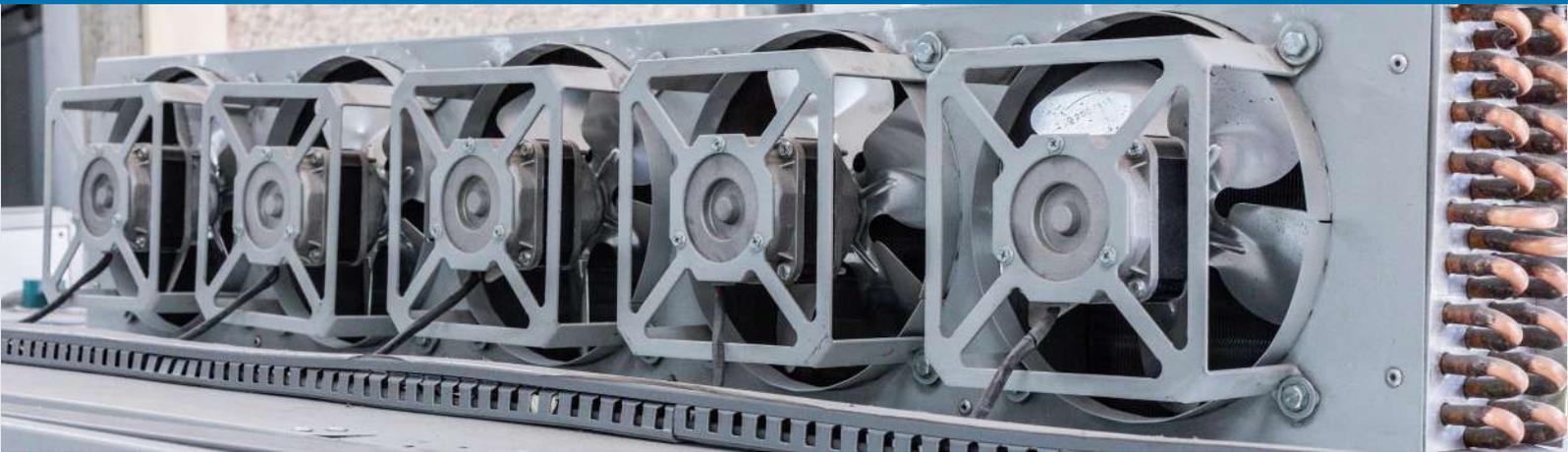
La expresión *enfoque de precaución* hace referencia al principio según el cual debe tenerse cuidado antes de iniciar una actividad que suponga una amenaza para el ambiente o la salud humana; aunque esa amenaza no se conozca del todo o no esté aún probada científicamente. El propósito es anticiparse al suceso y evitar el daño a cambio de tener que reparar algo que pudo haberse evitado.

Este principio se ha reconocido mundialmente y está avalado por el Protocolo de Montreal de 1986 y por la Declaración de Río de 1992: "Cuando haya amenazas de daños graves e irreversibles, la falta de certeza científica total no se debe utilizar como razón para posponer la adopción de medidas eficaces en función de los costos para prevenir la degradación del medioambiente"¹.

Al igual que los refrigerantes CFC, HCFC y HFC, los HFO, que son HFC insaturados, son responsables de introducir un compuesto persistente en el ambiente, el ácido trifluoroacético (TFA), del cual no se conoce una forma de degradación, por lo cual podrá acumularse en el agua, los suelos y las plantas; este compuesto es un fitotóxico cuyos efectos a largo plazo aún se desconocen. En este caso, debe aplicarse el enfoque de precaución e introducir una tecnología más respetuosa con el ambiente.

1. Principio 15 de la Declaración de Río (1992).

2. NORMATIVAS APLICABLES AL SECTOR RAC



En el sector de RAC existen diferentes normas que rigen para países desarrollados y que pueden servir de referencia para los países en vías de desarrollo. En el anexo 4 se presentan algunos reglamentos relevantes.

2.1. NORMA TÉCNICA NACIONAL

Una norma colombiana representativa, relacionada con el manejo de las sustancias refrigerantes es la NTC 6228, la cual se elaboró con énfasis en los refrigerantes inflamables.

TABLA 3. NORMA NTC 6228

NTC 6228		
"Sistemas de refrigeración y bombas de calor-Requisitos de seguridad y medioambientales"	Parte 1: Definiciones, clasificación y criterios de selección	Especifica la clasificación y los criterios de selección aplicables a los sistemas de refrigeración y bombas de calor. Especifica la clasificación de ocupaciones, localización de sistemas de refrigeración, clasificación de refrigerantes de acuerdo con toxicidad e inflamabilidad, determinación de la cantidad de refrigerante por espacio ocupado, minimización de posibles riesgos para personas, bienes y ambiente.
	Parte 2: Diseño, construcción, pruebas, marcado y documentación	Aplica al diseño, construcción e instalación de sistemas de refrigeración incluyendo tubería, componentes, materiales y equipo auxiliar asociado con los sistemas. También aplica a nuevos sistemas, ampliaciones o modificaciones de sistemas existentes. Especifica requisitos para realización de pruebas, puesta en marcha, marcado y documentación.
	Parte 3: Sitio de instalación	Aplica al sitio de instalación, espacio de la planta y servicios. Especifica los requisitos de seguridad que podrían ser necesarios debido al sistema de refrigeración, pero no directamente relacionado con este y sus componentes auxiliares.
	Parte 4: Operación, mantenimiento, reparación y recuperación	Especifica los requisitos de seguridad y ambientales de la operación, el mantenimiento y la reparación de los sistemas de refrigeración; incluye la recuperación, reutilización y disposición de refrigerantes, aceites, fluidos de transferencia de calor y sus partes. Los requisitos están destinados a minimizar el riesgo de lesiones a las personas y daños a la propiedad y al ambiente.

Fuente: Icontec (NTC 6228:2020).

TABLA 4. NTC 6572

NTC 6572	
Parte 1: Definiciones y terminología usadas en normas de refrigeración con amoníaco	Provee un conjunto de definiciones para los términos utilizados en las normas de refrigeración a base de amoníaco, con el fin de dar claridad en la interpretación de las normas a ingenieros, contratistas y autoridades competentes.
Parte 2: Norma para el diseño seguro de sistemas de refrigeración con amoníaco en circuito cerrado	Especifica los requisitos mínimos para el diseño seguro de sistemas de refrigeración por amoníaco en circuito cerrado.

Fuente: Icontec (NTC 6572:2024).

2.2. NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es una federación mundial de organismos de normalización, formada en 1947, que actualmente cuenta con 167 países miembros. Las normas internacionales son preparadas y adoptadas por los comités técnicos de la ISO, sin embargo, no tienen carácter obligatorio; se basan en un mecanismo de consenso dentro de una amplia red de miembros nacionales e interesados. En la práctica, muchos países en desarrollo tienen una participación limitada en el proceso de

normalización y, por consiguiente, no pueden examinar, votar y contribuir a las normas y a sus procesos de elaboración. Aun cuando las ISO no son obligatorias, sí pueden utilizarse como referencia para establecer normas o reglamentos nacionales o regionales.

Las normas europeas (EN) las han desarrollado comités técnicos de los países miembros de la Unión Europea, aunque sus alcances se han extendido a otros países, como en Latinoamérica, dada la afinidad de aspectos tratados.

TABLA 5. NORMAS INTERNACIONALES

ISO 817 "Refrigerantes w-Designación y clasificación de seguridad"	Categoriza los refrigerantes, los clasifica por toxicidad e inflamabilidad y limita su concentración.	
ISO 5149 "Sistema de refrigeración y bombas de calor-Requisitos de seguridad y medioambientales"	Parte 1: Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de selección	Especifica la clasificación y los criterios de selección de los sistemas de refrigeración y bombas de calor, al igual que la clasificación de ocupaciones, localización de sistemas de refrigeración, clasificación de refrigerantes de acuerdo con toxicidad e inflamabilidad, determinación de la cantidad de refrigerante por espacio ocupado, minimización de posibles riesgos para personas, bienes y ambiente.
	Parte 2: Diseño, construcción, pruebas, marcado y documentación	Establece criterios de diseño, construcción e instalación de sistemas de refrigeración incluyendo tubería, componentes, materiales y equipo auxiliar asociado con los sistemas, incluso pruebas, marcado y documentación.
	Parte 3: Lugar de instalación y protección personal	Establece criterios del sitio de instalación, espacio de la planta y servicios, y especifica requisitos de seguridad que podrían ser necesarios debido al sistema de refrigeración, pero no directamente relacionado con este y sus componentes auxiliares.
	Parte 4: Operación, mantenimiento, reparación y recuperación	Establece requisitos de seguridad y ambientales en operación, mantenimiento, recuperación, desactivación y disposición final del sistema RAC, reutilización y disposición final de todos los tipos de refrigerantes, aceite y fluidos de transferencia de calor.

ISO 13585 "Soldadura fuerte- Prueba de calificación de soldadores y operadores de soldadura fuerte"	Especifica requisitos para pruebas de calificación de soldadores y operadores de soldadura fuerte, proporciona condiciones para soldadura fuerte, pruebas, examen, criterios de aceptación y calificación para certificados.	
EN 378 "Sistema de refrigeración y bombas de calor-Requisitos de seguridad y medioambientales"	Parte 1: Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de selección	Especifica la clasificación y criterios de selección de los sistemas de refrigeración y bombas de calor; la clasificación de ocupaciones, localización de sistemas de refrigeración, clasificación de refrigerantes de acuerdo con toxicidad e inflamabilidad, determinación de la cantidad de refrigerante por espacio ocupado, minimización de posibles riesgos para personas, bienes y ambiente.
	Parte 2: Diseño, construcción, pruebas, marcado y documentación	Establece criterios de diseño, construcción e instalación de sistemas de refrigeración; incluye tubería, componentes, materiales y equipo auxiliar asociado con los sistemas, incluso pruebas, marcado y documentación.
	Parte 3: Lugar de instalación y protección personal	Establece requisitos de seguridad y ambientales en operación, mantenimiento, recuperación, desactivación y disposición final del sistema RAC, reutilización y disposición final de todos los tipos de refrigerantes, aceite y fluidos de transferencia de calor.
EN14903 "Sistemas de refrigeración y bombas de calor clasificación de la estanquidad de los componentes y las uniones"	Proporciona procedimientos de clasificación para aprobar el tipo de estanquidad de los componentes, uniones y elementos herméticamente cerrados y precintados que se utilizan en sistemas de refrigeración y bombas de calor. Estos componentes son conexiones, discos de rotura, ensamblajes con bridas o roscas. La estanquidad de las tuberías flexibles fabricadas con materiales no metálicos se trata en la ISO 13971.	

Fuente: elaboración propia con base en ISO y EN.

FIGURA 7. NORMA ISO 817:2014 CATEGORIZACIÓN DE GRUPOS DE SEGURIDAD DE REFRIGERANTES

	No Inflamables		Baja Inflamabilidad		Media Inflamabilidad		Alta Inflamabilidad		Requisitos más exigentes ↓
Baja Toxicidad	A1	R22 R744 R134a R410A R507	A2L	R32 R143a R1234yf R1234ze R1233zd	A2	R152a R142b R405A R411A R439A	A3	R290 R600a R170 R1270 R443A	
Alta Toxicidad	B1	R123 R245a	B2L	R717	B2	R30	B3	R1140	
Requisitos más exigentes →									

Fuente: elaboración propia con base en datos ISO 817:2014.



3. ASEGURAMIENTO DE LA HERMETICIDAD DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DURANTE LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPOS O SISTEMAS RAC

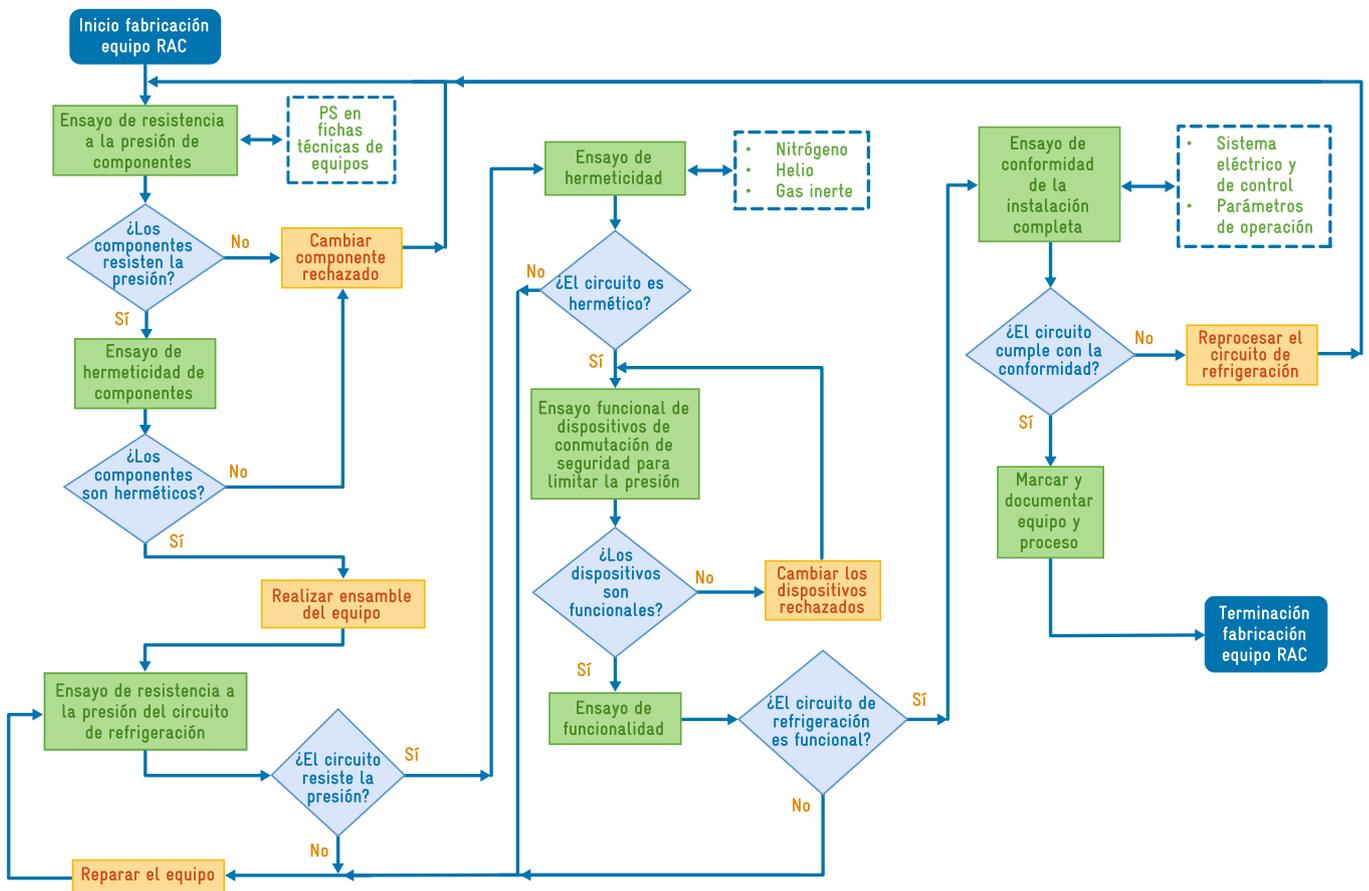
3.1. DURANTE LA FABRICACIÓN

Asegurar la hermeticidad o estanqueidad de los sistemas RAC durante la fabricación tiene máxima relevancia debido a que garantiza la calidad de los equipos, el cumplimiento de las normativas ambientales, la seguridad funcional de los sistemas y la seguridad de los operadores, entre otros aspectos. Para esto, se han establecido procedimientos técnicos a seguir por la empresa fabricante y el personal

técnico capacitado con el fin de asegurar la hermeticidad de los circuitos y eliminar posibles puntos de fuga de refrigerante o lubricante que puedan generar fallas en los sistemas.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo guía para revisar el proceso de fabricación de sistemas RAC, con énfasis en la detección de fugas y la integración del sistema operativo.

FIGURA 8. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE FABRICACIÓN DE SISTEMAS RAC



Fuente: elaboración propia con base en guías y recomendaciones técnicas.

Notas:

- » La prueba de fugas solo se realiza después de la prueba de resistencia a la presión (después de la fabricación, instalación o reparación de los componentes del circuito de refrigeración).
- » Se requieren pruebas estáticas y también pruebas en operación.
- » Si es posible aplicar la presión de prueba igual a la presión máxima permitida.
- » La prueba de fugas principales debe realizarse antes de la prueba de fugas finas.
- » Los componentes a ser probados deben estar limpios.
- » Si se utilizan mezclas de gases para pruebas, el sistema debe llenarse con una mezcla homogénea de estos gases de ensayo. La recuperación y disposición final de estos gases después de la prueba debe ser respetuosa con el medioambiente.
- » Las pruebas preliminares de fugas finas realizadas con dispositivos de detección de fugas deben realizarse a la presión máxima permitida, si es posible. Esto es de especial importancia para las partes del sistema de refrigeración a las que no se puede acceder posteriormente.
- » Debe comprobarse la correcta colocación de los dispositivos de detección de fugas, así como su ensamble, antes de cada procedimiento.
- » Debe evaluarse la correcta sensibilidad del dispositivo de detección de fugas y de los procedimientos.
- » La prueba y la detección de fugas deben ser realizadas solo por personas competentes o calificadas.

- » Se deben tener en cuenta las condiciones específicas de funcionamiento de la instalación, para la prueba y la detección de fugas.

3.1.1. Tecnologías, equipos e instrumentos de aseguramiento de la hermeticidad en la fabricación

Garantizar la hermeticidad de los equipos o sistemas RAC durante el proceso de fabricación es prioritario, por lo que se requieren equipos, herramientas e instrumentos adecuados para realizar las pruebas necesarias; entre estos, se encuentran:

- » Nitrógeno seco (NSLO) en cilindros.
- » Regulador de presión de nitrógeno certificado.
- » Válvulas de corte para las pruebas.
- » Bombas de vacío.
- » Juegos de manómetros y mangueras, certificados.
- » Sensores de refrigerantes: electrónicos, por ultrasonido, infrarrojo (entre otros).
- » Sistema automatizado para control y registro de resultados de pruebas de fugas (de ser posible).
- » Alarmas luminosas y sonoras.
- » Presóstatos.
- » Termóstatos.
- » Amperímetros.
- » Voltímetros.
- » Medidores de flujo.

TABLA 6. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS DE PRESIÓN Y HERMETICIDAD DE LA INSTALACIÓN COMPLETA DEL SISTEMA

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	OBSERVACIONES
Ensayo de resistencia a la presión de componentes	Los componentes deben someterse, individualmente, a ensayo de resistencia a la presión de mínimo 1,43 x PS. Alternativamente, pueden ser probados a 3 x PS.	Los fabricantes de equipos y componentes realizan pruebas propias para garantizar calidad, funcionalidad y seguridad de las partes. Si la temperatura máxima de funcionamiento continuo es superior a 125 °C para cobre o aluminio, o 200 °C para acero, la presión de ensayo se aumenta en relación con la tensión permitida para las temperaturas del ensayo y de funcionamiento máximo continuo basadas en código de tanque de presión conocido.
Ensayo de hermeticidad de componentes	Los componentes deben someterse individualmente a ensayo de hermeticidad.	Debe realizarse empleando un gas inerte, a una presión de por lo menos 1,1 x PS.



ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	OBSERVACIONES
Ensayo de resistencia a la presión del circuito de refrigeración	Se introduce un gas inerte, como el NSLO, a una presión acorde con el tipo de instalación y el rango de presiones de operación.	<p>La prueba de presión permite identificar puntos de fuga en los sistemas que deben ser completamente cerrados o sellados.</p> <p>La presión estática mide la potencia a vencer por los ventiladores para distribuir el aire en los ambientes; un aumento de la presión estática significa mayor consumo de energía y mayor costo operativo, especialmente cuando hay fuga de refrigerante en el sistema.</p> <p>La presión dinámica se da por el movimiento del refrigerante dentro de las tuberías, con parámetros de referencia para determinar funcionamiento de los equipos y la presencia de fugas.</p>
Ensayo de hermeticidad del circuito de refrigeración	El circuito completo de refrigeración debe someterse al ensayo de hermeticidad.	Debe realizarse empleando un gas inerte, a una presión de, por lo menos, 1,1 x PS.
Ensayo funcional de dispositivos de conmutación de seguridad para limitar la presión	<p>Debe usarse, preferiblemente, una válvula que libere el lado de baja presión del sistema hacia una válvula de seguridad que libere hacia la atmósfera.</p> <p>Los dispositivos de liberación de presión deben instalarse cerca a las partes que protegen y deben ser de fácil acceso.</p>	<p>Los dispositivos de conmutación de seguridad para limitar la presión, deben cumplir la IEC 60730-2-6, tal como se indica en la NTC 6228-2.</p> <p>Los dispositivos de liberación de presión deben descargarse para no poner en riesgo la vida e integridad de las personas y las propiedades con el fluido liberado. Los dispositivos electrónicos no deben utilizarse como dispositivos de conmutación de seguridad para limitar la presión a menos que cumplan con los requisitos de la ISO 13849-1.</p> <p>El dispositivo debe ser retirado sin perder una cantidad significativa de refrigerante.</p>
Ensayo de funcionalidad del circuito de refrigeración	El sistema completo de refrigeración debe ser operativo, acorde con las especificaciones técnicas del diseño y la aplicación.	De ser posible, utilizar un simulador para validar la funcionalidad del circuito.
Ensayo de conformidad de la instalación completa durante la fabricación	La tubería y las uniones deben probarse a una presión de mínimo 1,1 x PS. Los circuitos autónomos con carga de refrigerante menor a 5 kg se revisan según: uniones realizadas en fábrica y en la instalación.	Terminado el proceso de fabricación, es necesario revisar en rigor el sistema RAC para garantizar el cumplimiento de normas y reglamentos tanto nacionales como internacionales.

Fuente: elaboración propia con base en información técnica.

TABLA 7. CONSIDERACIONES

ACTIVIDAD	CONSIDERACIONES
Ensayo de hermeticidad para componentes	Para sistemas con refrigerantes naturales, inflamables, como los hidrocarburos o con amoníaco, se requieren sistemas de detección especializados que garanticen la seguridad a nivel de las personas y de los ambientes donde están instalados los sistemas térmicos.
Ensayo de conformidad de la instalación completa durante la fabricación	<p>Dentro de los aspectos a chequear, se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Vibración anormal de los componentes. » Ruidos anormales. » Fugas de aceite. » Fugas de refrigerante. » Sellos y empaques. » Presiones y temperaturas fuera de rango. » Insuficiente capacidad frigorífica. » Válvulas de seguridad. » Sensores y presóstatos. » Cualquier indicador de condiciones de operación del sistema RAC fuera de rangos. » Acabados y presentación de los equipos. » Información técnica documentada. <p>La tubería y las uniones deben probarse a una presión de mínimo 1,1 x PS. Los circuitos autónomos con carga de refrigerante menor a 5 kg se revisan de acuerdo con:</p> <p>Para uniones realizadas en fábrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Las uniones en sistemas sellados deben probarse con un equipo de detección con capacidad de 3 g/año de refrigerante o con una presión de 0,25 x PS, como mínimo. » Las uniones en otros sistemas deben probarse con equipo de detección con una capacidad de 5 g/año de refrigerante o bajo una presión de mínimo 0,25 x PS. <p>Para uniones realizadas en la instalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Las uniones deben probarse con un equipo de detección con una capacidad de 5 g/año de refrigerante o con el equipo en reposo y en operación, o con una presión de mínimo estas condiciones de reposo u operación.

Fuente: elaboración propia con base en información técnica.

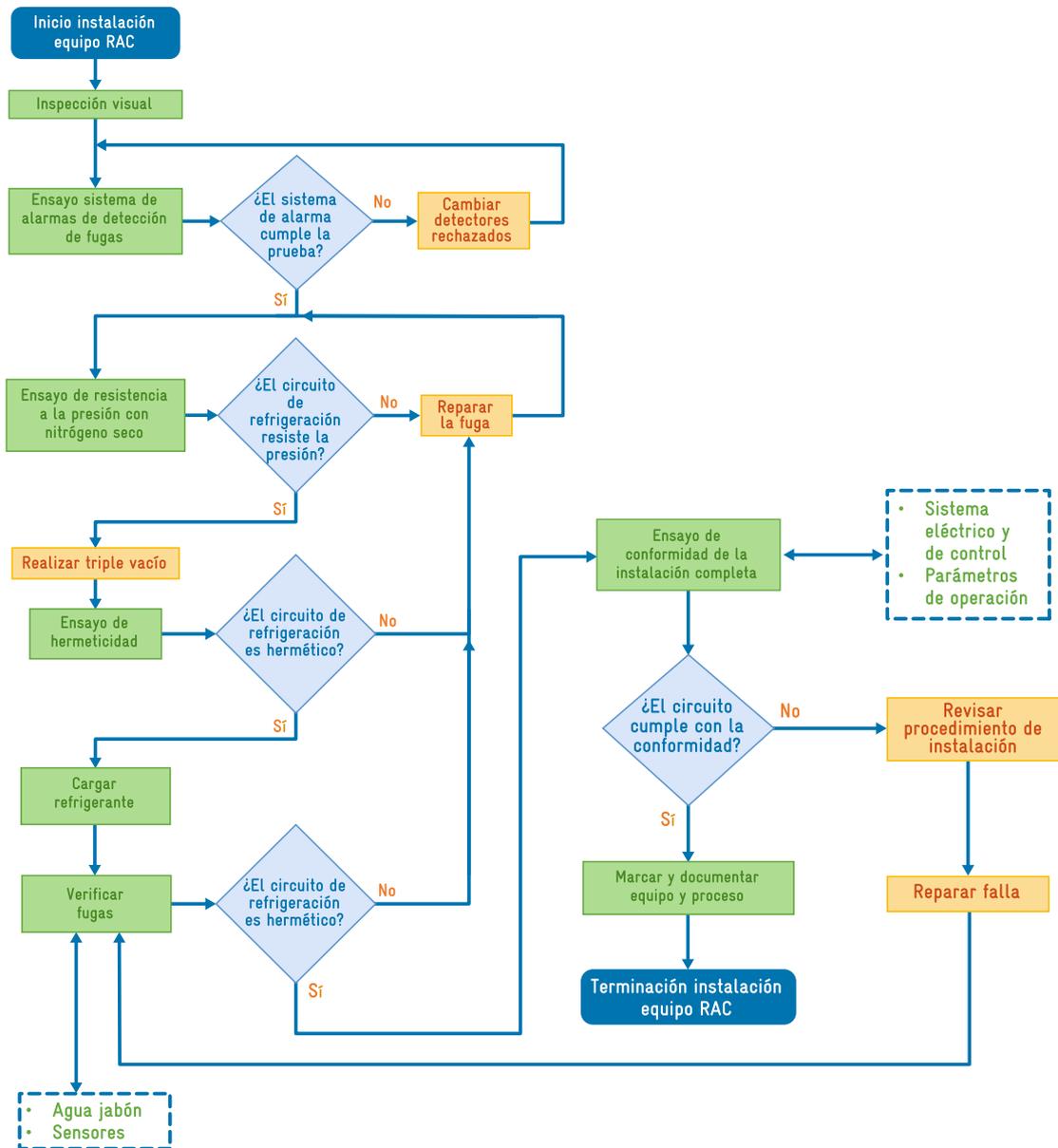
3.2. DURANTE LA INSTALACIÓN

Asegurar la hermeticidad o estanqueidad durante la instalación de un sistema RAC es una tarea clave para eliminar completamente puntos de fuga de refrigerantes y lubricantes, asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales, la seguridad funcional de los circuitos, la seguridad de los operadores, el correcto funcionamiento de los equipos y componentes, así como el mínimo consumo energético necesario; para lo cual, se requiere establecer

listas de chequeo verificadas por el personal técnico de supervisión, con el fin de validar no solo la calidad de la instalación en soldaduras, tendido de tuberías, instalación de componentes, entre otros aspectos, sino la no presencia de puntos de fuga que puedan generar fallas de hermeticidad.

Acto seguido, se presenta un diagrama de flujo guía para el seguimiento y la verificación de la calidad de la instalación de los sistemas RAC.

FIGURA 9. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS RAC



Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Tecnologías e instrumentos de medición de fugas durante la instalación

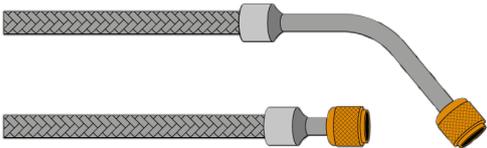
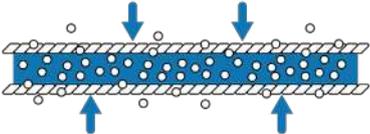
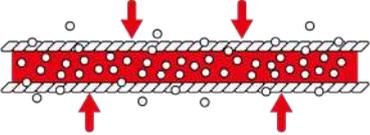
En la instalación de los sistemas RAC puede presentarse el mayor número de fugas, en razón a las diversas actividades que se realizan y los diferentes materiales que se emplean. Entre los equipos necesarios para detectar fugas, se requieren, entre otros, los siguientes:

- » Juegos de manómetros y mangueras, certificados.
- » Sensores de refrigerantes: electrónicos, por ultrasonido, infrarrojo (entre otros).

- » Sistema automatizado para control y registro de resultados de pruebas de fugas (de ser posible).
- » Alarmas luminosas y sonoras.
- » Válvulas de corte para la instalación.
- » Bombas de vacío.
- » Presóstatos.
- » Termóstatos.
- » Amperímetros.
- » Voltímetros.
- » Medidores de flujo.
- » Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno en cilindros.
- » Regulador de presión de nitrógeno certificado.

3.2.2. Procedimientos para asegurar la hermeticidad durante la instalación

TABLA 8. PROCEDIMIENTOS PARA ASEGURAR LA HERMETICIDAD DURANTE LA INSTALACIÓN

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	OBSERVACIONES
<p>Inspección visual (procedimientos preliminares)</p>	<p>Chequear uniones o juntas sometidas a prueba de fugas; deben ser visibles y accesibles, y estar libres de suciedad, óxido, aceite u otros materiales extraños.</p> <p>Desconectar o aislar los componentes que no vayan a ser sometidos a la prueba de presión.</p> <p>Incrementar gradualmente la presión de prueba hasta un 50% y, posteriormente, en proporción de un décimo de la presión hasta alcanzar el 100%.</p> <p>Mantener la presión de prueba en el valor requerido durante al menos 30 minutos; después, debe reducirse hasta la presión de prueba de estanquidad.</p> <p>Verificar la colocación correcta de filtros y accesorios; antes de cada evaporador deben instalarse: válvula de corte, filtro, visor, válvula solenoide y válvula de expansión.</p> <p>Instalar válvula de control de presión de evaporación y válvula de corte a la salida del evaporador.</p> <p>Instalar una válvula de retención y una solenoide en la succión si el sistema debe tener mayor cantidad de refrigerante a la reglamentada.</p> <p>Instalar los accesorios de manera accesible para mantenimiento. Los compresores deberán disponer de un regulador de nivel de aceite.</p>	 <p>Para procedimientos de vacío, se recomienda utilizar tubos de cobre flexible o mangueras metálicas flexibles que son los únicos absolutamente herméticos.</p>  <p>Permeabilidad de las mangueras durante la aspiración de un sistema RAC.</p>  <p>Permeabilidad de las mangueras durante la transferencia de refrigerante.</p> <p>Con mangueras de refrigeración de buena calidad, la cantidad de refrigerante permeado durante la carga o la medición del sistema es insignificante y no puede ser medido con un detector de refrigerante normal.</p>

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	OBSERVACIONES
<p>Ensayo sistemas de alarma de detección de fugas</p>	<p>Para sistemas con amoníaco:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Alarmas de seguridad por temperatura. » Alarmas de seguridad por presión » Sensores ambientales de fugas de amoníaco. » Alarma de accionamiento local en la sala de máquinas, en el recibidor de amoníaco y en ambientes ocupados. <p>Para sistemas con dióxido de carbono:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Alarmas de seguridad por temperatura. » Alarmas de seguridad por presión. » Sensores ambientales de fugas de CO₂. » Alarma de accionamiento local en sala de máquinas. <p>Para sistemas con hidrocarburos:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Alarmas de seguridad por temperatura. » Alarmas de seguridad por presión. » Sensores ambientales de fugas de hidrocarburo. » Alarma de accionamiento local en sala de máquinas y en ambientes. <p>Para sistemas con refrigerantes sintéticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Alarmas de seguridad por temperatura. » Alarmas de seguridad por presión » Sensores ambientales de fugas de refrigerantes sintéticos. » Alarma de accionamiento local en sala de máquinas y en ambientes. 	<p>La prueba de presión permite identificar puntos de fuga. Se requiere entrenamiento del personal que opera los equipos de refrigeración para que comprenda los peligros y sepa cómo evitar accidentes.</p> <p>Las instalaciones con amoníaco deben contar con:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Agua en abundancia. » Indicadores de la dirección del viento. » Válvulas de exceso de flujo y de sobrepresión. » Grifos con mangueras con aspersores de lluvia fina de agua. » Etiquetas de señalización. » Muros o barreras protectoras contra impactos de vehículos en recibidores de amoníaco. » Muro de contención para derrames de amoníaco. » Ventiladores extractores del aire contaminado con amoníaco. » Controladores accionadores de los elementos de protección. » Extintores especificados. <p>Las instalaciones con refrigerantes como CO₂, HC o sintéticos, según corresponda deben contar con:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Sensores ambientales de fugas de CO₂. » Sensores ambientales de fugas de hidrocarburos. » Sensores ambientales de fugas de refrigerantes sintéticos.
<p>Ensayo de resistencia a la presión con Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno (NSLO)</p>	<p>Presurizar el sistema con Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno; cerrar el suministro de nitrógeno, esperar la estabilización interna y monitorear la presión en el tiempo; si la presión descende rápidamente, significa que hay un punto de fuga grande en el sistema; si la presión descende lentamente, significa que hay un punto de fuga pequeño. Si la presión permanece estable, puede asumirse que el sistema no tiene fugas.</p> <p>Aplicar la presión de prueba poco a poco hasta alcanzar 1,1 veces la presión de trabajo permisible del sistema en revisión (1,1 x PT).</p>	<p>La sensibilidad de la detección de fugas está relacionada con el tiempo de prueba, la precisión del vacuómetro, los valores de la presión y el volumen del sistema probado (deben utilizarse manómetros de precisión con alta precisión). La prueba puede ser afectada por factores externos, como la variación de temperatura y las deformaciones mecánicas.</p> <p>La desventaja de este método es que no identifica el lugar donde está la fuga, solo si hay o no una fuga.</p>

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	OBSERVACIONES
Procedimiento de evacuación por etapas (triple vacío).	<p>Realizar vacío al sistema por los lados de alta y baja presión hasta alcanzar el valor de vacío más bajo posible en micrones.</p> <p>Introducir Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno (NSLO) a una presión baja (< 10 psig), sin perder el vacío, y dejarlo por algunos minutos. Luego, iniciar una segunda etapa de vacío evacuando el nitrógeno y continuando con el vacío hasta alcanzar el valor más bajo posible en micrones. Nuevamente, se suspende el vacío y se introduce NSLO por varios minutos; después de este paso, se realiza vacío, por tercera vez, eliminando el nitrógeno y buscando alcanzar los valores establecidos técnicamente, 500 micrones (0,66 mbar) para sistemas con aceite mineral y 250 micrones (0,33 mbar) para sistemas con aceite sintético.</p> <p>Cerrar la válvula y apagar la bomba de vacío; revisar el vacuómetro durante, mínimo, 20 minutos y observar un ligero aumento de la presión hasta el equilibrio interior del sistema.</p> <p>Si se observa un aumento rápido de la presión, significa que el sistema tiene fugas; si el aumento de la presión es más lento hasta por lo menos 1500 micrones, significa que el sistema tiene humedad.</p>	<p>Esta técnica busca eliminar o minimizar en un alto grado la humedad existente dentro de los sistemas RAC. El procedimiento está precedido del barrido, eliminación de aceite, cambio de filtro secador, prueba de acidez del aceite o cambio de este.</p> <p>El resultado esperado es un sistema RAC libre de humedad y contaminantes que entregue un alto rendimiento termodinámico, alta eficiencia energética y bajos costos operativos.</p> <p>La bomba de vacío a emplear se selecciona con base en el caudal o la velocidad de evacuación; para lo cual, debe tenerse en cuenta que $1 \text{ cfm} = 28,32 \text{ l/min} = 1,69 \text{ m}^3/\text{h}$</p> <p>Si se comprueba el aumento de la presión en el vacuómetro, después del proceso de vacío, la presión atmosférica permeará las mangueras a la presión más baja y, en el instrumento, se observará un aumento lento. Las fugas también pueden presentarse en los empaques de las válvulas Schrader, los empaques de los acoples e, incluso, en el de un sistema RAC.</p>
Ensayo de hermeticidad	Se introduce un gas inerte como el NSLO a una presión acorde con el tipo de instalación y el rango de presiones de operación.	Debe realizarse a una presión de por lo menos 1,1 x PS.
Verificar fugas después de cargar el equipo con refrigerante	Detectar fugas después de haber cargado el sistema con refrigerante aplicando alguno de los métodos directos presentados en esta guía.	La carga de refrigerante en un sistema RAC debe realizarse teniendo en cuenta las recomendaciones técnicas.
Ensayo de conformidad de la instalación completa	Revisar por completo el sistema RAC, terminado el proceso de instalación; para garantizar su correcta instalación y el cumplimiento de las normas, reglamentos, especificaciones de operación y requerimientos del cliente.	—

Fuente: elaboración propia con base en información técnica.

TABLA 9. CONSIDERACIONES

ACTIVIDAD	CONSIDERACIONES
<p>Ensayo de resistencia a la presión con NSLO</p>	<p>Desmontar los dispositivos o componentes sensibles antes de realizar pruebas con un gas comprimido como el NSLO, después deben ser instalados nuevamente. Los puertos de conexión de las válvulas de seguridad deben tener una brida ciega durante la prueba de presión, después de la cual las válvulas deben ser reinstaladas.</p> <p>Mantener la prueba de presión por un tiempo no mayor a 20 minutos.</p> <p>Una disminución gradual de la presión indica la presencia de una fuga y no un fallo en un componente o una junta lo que normalmente daría una caída repentina y audible de la presión.</p>
<p>Durante la instalación</p>	<ul style="list-style-type: none"> » Definir un trazado adecuado para el tendido de tuberías con el menor número posible de uniones con accesorios. » Evitar uniones roscadas, preferiblemente realizar uniones soldadas tanto en tuberías como en accesorios (cuando sea posible). » Utilizar NSLO fluyendo como medio interno en las tuberías a soldar para garantizar limpieza y calidad de las soldaduras. » Instalar soportes para la tubería, de acuerdo con las recomendaciones técnicas. » Poner aislantes entre los soportes y las tuberías para evitar corrosión galvánica entre los materiales. » Para los elementos o componentes roscados, utilizar las herramientas adecuadas y aplicar los torques recomendados para garantizar el sello en las uniones y no dañar los elementos mecánicos. » Poner amortiguadores a los componentes que lo requieran para minimizar la vibración de tuberías y elementos que puedan presentar grietas o fugas por fatiga de material. » Instalar materiales aislantes a la tubería antes de realizar la soldadura y evitar cortar los aislamientos para realizar su instalación permitiendo pérdidas térmicas de los sistemas y el ingreso de agua y suciedad que genere corrosión y fugas.
<p>Carga de refrigerante</p>	<ul style="list-style-type: none"> » Siempre cargar el refrigerante en fase líquida. » Utilizar una balanza para cargar la cantidad correcta de refrigerante. » Emplear la tabla presión-temperatura para determinar la presión final que debe tener el refrigerante dentro del sistema, dependiendo de la temperatura de evaporación requerida por la aplicación del sistema. » Utilizar un juego de manómetros calibrado y mangueras en buen estado, sin fugas.
<p>Detección de fugas después de cargar el equipo con refrigerante</p>	<p>En caso de haber cargado algún refrigerante inflamable, preferiblemente no emplear sistemas de detección de fugas que generen chispa o utilicen llama.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Prueba de burbujas (solución de agua jabonosa). » Detección de fugas con luz ultravioleta. » Detección de fugas con ultrasonido. » Detección de fugas con gas infrarrojo.
<p>Conformidad del sistema completo durante la instalación</p>	<ul style="list-style-type: none"> » Vibración anormal de los componentes. » Ruidos anormales. » Fugas de aceite. » Fugas de refrigerante. » Sellos y empaques. » Corrosión. » Presiones y temperaturas fuera de rango. » Insuficiente capacidad frigorífica. » Válvulas de seguridad. » Sensores y presóstatos. » Detectores de fugas ubicados correctamente. » Cualquier indicador de condiciones de operación del sistema RAC fuera de rangos.



ACTIVIDAD	CONSIDERACIONES
Presiones de prueba	<p>Las presiones de trabajo son diferentes entre los lados de alta y baja presión, por lo que se debe iniciar con la presión más baja; la sección de baja presión (BP) en el sistema debe aislarse por medio de válvulas de corte o bridas ciegas, igual que la sección de alta presión (AP) y deben probarse por separado. En sistemas pequeños como los equipos mini <i>split</i> de acondicionamiento de aire, la presión de prueba del lado de alta presión (AP) es la misma que la presión de prueba en el lado de baja presión (BP).</p> <p>Durante la prueba, la presión se aumenta lentamente hasta el valor determinado cuando se inicia la revisión de uniones soldadas, uniones bridadas, uniones abocardadas, conexiones roscadas, prensaestopas, empaques y conexiones eléctricas de los compresores. La máxima presión de prueba a utilizar debe ser la máxima presión permitida PS x 1,1.</p> <p>En caso de no disponer de datos del equipo, la tabla 10 es una guía de presiones que podrían emplearse con diferentes refrigerantes disponibles.</p> <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Siempre que el sistema RAC haya perdido la hermeticidad, se realice una instalación nueva o un mantenimiento correctivo, se recomienda tener en cuenta la Norma ANSI/ASME B31.5 "Refrigeration Piping and Heat Transfer Components" que determina los lineamientos para realizar la prueba de estanqueidad en tuberías y según la cual en un sistema de refrigeración y acondicionamiento de aire, los compresores, evaporadores, condensadores, válvulas, manómetros, elementos de seguridad y elementos de control, que son probados en fábrica, no se prueban en campo, salvo que presenten alguna fuga.
Sustancias para prueba de presión	<p>Cuando se presenta una fuga en un sistema RAC usualmente se pierde la mayor parte de la carga de refrigerante o queda vacío; en el primer caso, es necesario retirar la carga restante de refrigerante utilizando las prácticas recomendadas en las buenas prácticas y posteriormente presurizar el sistema con NSLO. En la tabla 11 se presentan algunas sustancias que pueden utilizarse con seguridad para realizar procesos de presurización y pruebas, sin impacto ambiental para la reparación del equipo.</p> <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> » El oxígeno, incluido el aire comprimido, nunca debe utilizarse, ya que puede explotar al mezclarse con el aceite, causando graves daños al equipo y lesiones o muertes a las personas que se encuentran cerca.

Fuente: elaboración propia con base en información técnica.

TABLA 10. EJEMPLOS DE PRESIONES DE PRUEBA ADECUADAS

REFRIGERANTE	OPERACIÓN BAJA PRESIÓN		PRESIÓN DE PRUEBA BAJA PRESIÓN		OPERACIÓN ALTA PRESIÓN		PRESIÓN DE PRUEBA ALTA PRESIÓN	
	bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi
R22	11,5	166,8	12,7	183,5	20,8	301,6	22,9	331,8
R290	10,3	149,3	11,3	164,2	18,1	262,5	19,9	288,7
R134a	7,2	104,4	7,9	114,8	13,9	201,6	15,3	221,7
R404A	14	203	15,4	223,3	24,8	359,6	27,3	395,6
R410A	18,9	274,1	20,8	301,5	33,3	482,9	36,6	531,1
R507A	12,8	185,6	14,1	204,2	23,4	339,3	25,7	373,2
R32	19,4	281,3	21,3	309,4	34,2	495,9	37,6	545,5
R717	11,4	165,3	12,5	181,8	22,1	320,5	24,3	352,5

Fuente: elaboración propia con base en las fichas técnicas de los refrigerantes.

TABLA 11. CALIDAD DE LAS SUSTANCIAS DE PRUEBA DE PRESIÓN

SUSTANCIA	CALIDAD	PUREZA VOL. (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (PPMV)
NSLO: N ₂	4,0	99,99	≤ 30
Gas trazador N ₂ /H ₂ 95%/5% Mezcla	—	—	≤ 30
Dióxido de carbono (CO ₂)	4,0	99,99	≤ 30

Fuente: elaboración propia con base en fichas técnicas de fabricantes.



4. BUENAS PRÁCTICAS PARA GARANTIZAR SISTEMAS RAC SIN FUGAS DURANTE LA OPERACIÓN

El técnico debe conocer métodos de prueba de fugas para garantizar sistemas RAC sellados, determinar el método apropiado y tener el equipo de prueba adecuado para el trabajo a realizar; sin embargo, hay muchos métodos de detección de fugas al igual que equipos de prueba y ninguno de ellos se adapta a todas las situaciones, especialmente si el refrigerante es inflamable, por lo tanto, es necesario decidir sobre el tipo de método y el equipo requerido para encontrar cada fuga. La prueba de fugas es desafiante para los técnicos de servicio, la reglamentación técnica propende porque tanto propietarios como operadores de sistemas RAC prevengan, detecten y corrijan las fugas en el menor tiempo posible para garantizar la operación de los sistemas, por lo cual no es aceptable completar la carga de refrigerante para mantener los sistemas funcionando, dado el daño

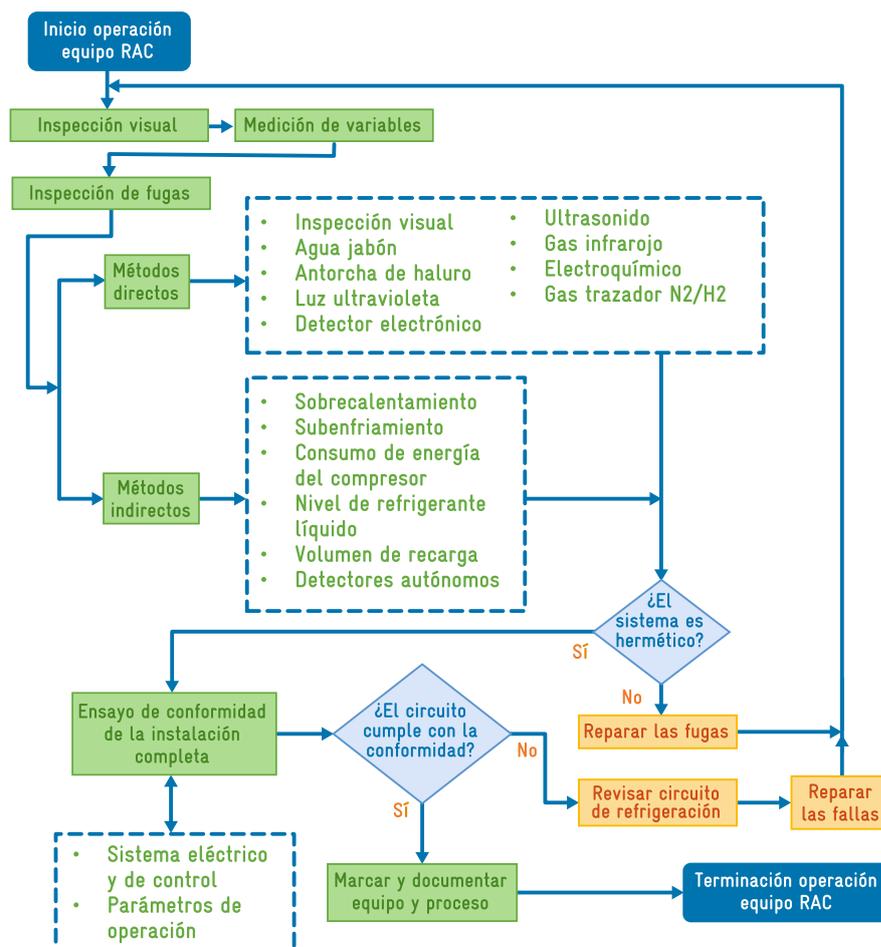
ambiental y los riesgos, especialmente cuando se utilizan refrigerantes inflamables.

Lo más importante es entregar al cliente un sistema RAC seguro y eficiente, sellado herméticamente, que contenga la mínima carga necesaria de refrigerante y que se encuentre configurado y ajustado a las especificaciones y tolerancias de fábrica al igual que a las necesidades de producción del cliente.

» Control de la hermeticidad de los sistemas y equipos RAC durante la operación

Un diagrama de flujo, guía para las actividades de operación, se presenta a continuación:

FIGURA 10. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FUGAS EN OPERACIÓN



Fuente: elaboración propia.

4.1. TECNOLOGÍAS, EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y DETECCIÓN DE FUGAS DURANTE LA OPERACIÓN

4.1.1. Para métodos directos

DETECTOR DE FUGAS CON ANTORCHA DE HALURO

La antorcha de haluro es un detector económico, fiable y rápido, pero solo debe utilizarse con refrigerantes clorados (HCFC entre otros); puede detectar fugas tan pequeñas como 150 g/año.

DETECTOR DE FUGAS CON LUZ ULTRAVIOLETA

En este método se introduce en el sistema de refrigeración un colorante fluorescente que viaja con el lubricante por el circuito. Se requiere un método para introducir la tinta en el sistema de refrigeración sin dejar ingresar humedad.

DETECTOR ELECTRÓNICO DE REFRIGERANTES

Los detectores electrónicos de refrigerantes están basados en la tecnología de infrarrojo o detector de conductividad térmica, (TCD, por sus siglas en inglés) y son generalmente la forma más rápida y confiable de detectar una fuga desconocida. Los dispositivos modernos pueden detectar fugas pequeñas de 3 g/año. En algunos dispositivos, después de localizar el área en la que se encuentra la fuga, el técnico puede disminuir la sensibilidad del instrumento para identificar el punto preciso de la fuga. Los detectores electrónicos deben estar diseñados para detectar varios tipos de refrigerantes, entre ellos, HCFC, HFC y HC, siendo seguros para estos últimos.

Los criterios de rendimiento de los detectores electrónicos de refrigerantes están establecidos por la Norma SAE 1627 de abril de 2011, la cual aplica a los detectores de fugas electrónicos tipo sonda que se utilizan para dar servicio a los compartimentos de los sistemas de acondicionamiento de aire de los vehículos de pasajeros y no incluye ningún aspecto de seguridad relacionado con el diseño o uso. La norma europea DIN EN 14624 de 2012 trata del "Rendimiento de los detectores de fugas portátiles y de los monitores de sala para refrigerantes halogenados".

DETECTOR ELECTRÓNICO ULTRASÓNICO DE FUGAS

El detector de fugas por ultrasonido es un dispositivo especializado utilizado para detectar fugas de vapor o gas de refrigerantes en lugares donde no es fácil verlas, escucharlas u olerlas. La mayor aplicación es en sistemas industriales, aunque también se pueden utilizar con

seguridad con gases tóxicos o combustibles. El detector de fugas por ultrasonido detecta las mínimas vibraciones del vapor refrigerante bajo presión y las convierte en un sonido o una alarma audible que puede ser detectado por el operario de servicio. El detector de fugas ultrasónico utiliza ondas con frecuencia superior a la frecuencia que escuchan los seres humanos.

DETECTOR ELECTRÓNICO DE GAS INFRARROJO

Los detectores infrarrojos de fugas, conocidos como sensores Non-Dispersive infrared (NDIR), tienen una superficie de detección óptica por la que pasa el refrigerante que absorbe la radiación infrarroja (IR). La superficie detecta esa radiación y la convierte en una alarma, de acuerdo con la cantidad de IR absorbida. Esta tecnología es muy precisa, confiable y menos propensa a contaminación. Debe consultarse con el fabricante de los instrumentos antes de utilizarla en sistemas con refrigerantes HC.

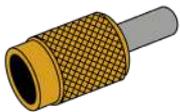
DETECTOR ELECTROQUÍMICO DE REFRIGERANTE

Se utiliza principalmente para detectar el amoníaco-NH₃ (R717) y otros gases tóxicos; es una tecnología muy precisa para garantizar la seguridad de las personas. El procedimiento es muy preciso y selectivo, no presenta posibilidad de sensibilidad cruzada y opera a muy bajas concentraciones del refrigerante a detectar. El sensor está conformado por un electrodo de servicio, un contra-electrodo, un electrodo de referencia y un electrolito. La humedad, la temperatura alta y las altas concentraciones de refrigerante pueden afectar el desempeño del sensor.

FUGA DE REFERENCIA PARA LA CALIBRACIÓN DEL DETECTOR DE REFRIGERANTES

Debe determinarse si el detector de refrigerante utilizado es funcional y se encuentra en el rango de sensibilidad exigido. Las fugas de referencia calibradas (fuga de prueba) están en un rango de hasta 5 g/año (0,18 oz/año) de emisión de refrigerante para fines de prueba, como el dispositivo de fijación y la lata de fuga de referencia fija de la tabla 12, que es de más de 11 g/año (0,39 oz/año) de HFC. Las fugas de referencia están disponibles como "herramienta" acoplable a un contenedor de refrigerante normal que tenga una conexión SAE ¼ o como una lata desechable con orificio de emisión. La única manera de probar el desempeño de un detector es con la prueba de fuga de referencia.

TABLA 12. FUGA DE REFERENCIA

DETALLE	OBSERVACIÓN
	Fuga de referencia fija.
	Lata de fuga de referencia.
	Ejemplo: Un neumático de automóvil lleno de aire a unos 2,7 bar (39 psi), con una fuga de 5 g/año, tarda más de 4 años en bajar la presión en 0,1 bar (1,45 psi).

Fuente: elaboración propia con base en información técnica de fabricantes [Rolf Hühren, HEAT GmbH].

4.1.2. Para métodos indirectos

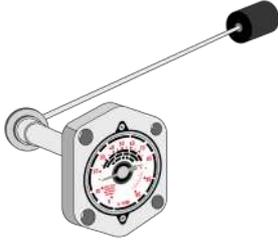
INSTRUMENTOS PARA VOLUMEN DE RECARGA

Para determinar el volumen de recarga de refrigerante en los sistemas RAC no se requieren herramientas o instrumentos especiales, debe disponerse de los reportes

de consumos o recargas en los procedimientos de servicio identificados en cada equipo que haya sido atendido por falta de refrigerante. Adicionalmente, se requiere un *software* o una hoja de cálculo para elaborar el consolidado de los consumos individuales y totales de los equipos de cada usuario.

TABLA 13. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
Medición de presiones	Se conectan manómetros de alta y baja presión al sistema en la entrada y salida del compresor, para tener una medición	 Fuente: elaboración propia	Manómetro múltiple.
Medición de temperaturas	Con una pinza amperimétrica-voltimétrica, se mide el consumo de corriente del compresor en sus cables de entrada de energía o en los correspondientes en el tablero de fuerza y distribución del sistema RAC.	 Fuente: elaboración propia	Termómetro múltiple.
Consumo de energía del compresor	Con una pinza amperimétrica-voltimétrica, se mide el consumo de corriente del compresor en sus cables de entrada de energía o en los correspondientes en el tablero de fuerza y distribución del sistema RAC.	 Fuente: elaboración propia	Volti-amperímetro digital

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
Nivel de refrigerante líquido	Se mide en el sistema de visores de tres puntos del tanque acumulador de los equipos RAC que indica tres alturas del refrigerante al interior del recipiente. El visor puede ser un tubo exterior al tanque o un sistema electrónico con flotador interno con una pantalla led indicadora del nivel de refrigerante en el recipiente.	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	

Fuente: elaboración propia con base en información y recomendaciones técnicas.

4.2. PRUEBAS E INSPECCIONES DE FUGAS

La mayoría de las fugas pueden ser identificadas por inspección visual en el sistema de refrigeración. Para verificarlas, durante la prueba de presión, se puede utilizar agua jabonosa o un detector electrónico de gases. Usar una mezcla de gas trazador (5% de hidrógeno y 95% de nitrógeno) en combinación con un detector electrónico de gas trazador es una tecnología muy sensible y útil para detección de fugas. En los procesos de fabricación se utiliza helio en combinación con detectores de helio.

El procedimiento de prueba en sistemas con amoníaco también aplica presiones de prueba alrededor del 10%, generadas con amoníaco; posteriormente se introduce nitrógeno hasta alcanzar el valor final de la prueba de presión. Las fugas son más fáciles de detectar por el olor característico del amoníaco. Se deben verificar todas las uniones con papel tornasol o fenoltaleína, dado que al detectar una fuga, el papel cambia de color. Después de la prueba de presión, la cantidad utilizada de amoníaco y

nitrógeno se puede conducir con seguridad al agua para su neutralización.

Por seguridad, las pruebas de presión deben efectuarse con los equipos adecuados y se debe realizar una evaluación de riesgos. Algunos requisitos de seguridad son los siguientes:

- » Utilizar el equipo de seguridad que corresponda.
- » Utilizar herramientas y equipos confiables y apropiados.
- » Mantener un ambiente de trabajo seguro.
- » Informar a los operadores, propietarios y demás.
- » Modificar horarios de trabajo y cierre de áreas por obras, si es necesario.
- » Poner señales de advertencia en el área de trabajo.
- » Impedir el acceso de personas no autorizadas a la zona de trabajo.
- » Tener un plan de emergencia en caso de accidentes.

FIGURA 11. MARCAS DE SEGURIDAD EN EL LUGAR DE PRUEBAS DE PRESIÓN



PROHIBIDO EL PASO DE PEATONES



PELIGRO RIESGO DE EXPLOSIÓN



PROHIBIDO EL PASO



RIESGO DE ASFIXIA

Fuente: elaboración propia con base en información y recomendaciones técnicas.

4.2.1. Métodos directos de detección de fugas

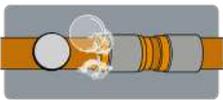
Para garantizar la hermeticidad de un sistema de refrigeración se recomiendan los siguientes métodos directos de detección de fugas y equipos. Cuando se utilicen sensores de detección de fugas, estos deben cumplir con algunas características importantes como las que se presentan en la siguiente tabla.

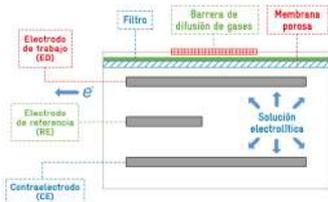
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE UN SENSOR DE REFRIGERANTE

ASPECTO	DEFINICIÓN
Sensibilidad	Nivel de concentración de gas mínimo necesario para reaccionar/detectar.
Selectividad	Capacidad de reaccionar solamente ante la sustancia/gas en consideración y no hacerlo ante otras sustancias.
Precisión	Fiabilidad y consistencia en la medida, relativo a la dispersión de resultados entre varios equipos/sensores para medir la misma concentración real.
Exactitud	Grado de veracidad del sector en reproducir la concentración real a la que se ve expuesto (similitud con la realidad).

Fuente: Proinstalaciones.

TABLA 15. MÉTODOS DIRECTOS DE DETECCIÓN DE FUGAS

ACTIVIDAD	DETALLE	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
Inspección visual	Es el primer paso para detectar fugas.		Verificar parámetros de operación y realizar evaluación básica de la situación incluyendo la ubicación del sistema, para definir el procedimiento a utilizar, en caso de no detectar fácilmente la fuga.
Prueba de burbujas (solución de agua jabonosa)	Es una forma fácil y sensible de detectar fugas en un sistema RAC, pero es inadecuado cuando el sistema se prueba en operación con el refrigerante en baja presión o en vacío.	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	Puede contener anticongelante para aplicación en superficies a baja temperatura.
Detector de fugas con antorcha de haluro	Funciona bajo el principio de que el aire es atraído sobre un elemento de cobre con una llama alimentada por un combustible de hidrocarburo, cuando la llama cambia de color azul a color verde significa que ha detectado un refrigerante.	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	Puede ser peligroso por la llama abierta que produzca gases tóxicos por descomposición del refrigerante; en la Unión Europea está prohibido este sistema.
Detector de fugas con luz ultravioleta	La detección de fugas con este método es más aplicada en los sistemas MAC (móviles).	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	Puede ser más lenta debido al tiempo para la expulsión de la tinta por el punto.

ACTIVIDAD	DETALLE	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
Detector electrónico de refrigerantes	Deben estar diseñados para detectar varios tipos de refrigerantes, HCFC, HFC y HC, siendo seguros para estos últimos.	 Fuente: elaboración propia	Los criterios de rendimiento de los detectores electrónicos de refrigerantes están establecidos por la SAE 1627:2011. La DIN EN 14624: 2012 trata el "Rendimiento de los detectores de fugas portátiles y de los monitores de sala para refrigerantes".
Detector electrónico ultrasónico de fugas	Extrae una muestra de aire para determinar si hay refrigerante presente; si lo detecta, el sistema tiene fugas de refrigerante y debe haber refrigerante donde la sonda del detector de fugas está.	 Fuente: elaboración propia	El refrigerante que se escapa crea una perturbación ultrasónica de unos 40 kHz que no puede escuchar el oído humano y la convierte en frecuencia audible.
Detector electrónico de gas infrarrojo	Sensor con una fuente de luz, un filtro que elimina interferencias, un detector y una cámara en la que se difunde la sustancia buscada después de haberla aspirado.	 Fuente: elaboración propia	Del haz de luz, se filtra el color verde que se analiza midiendo su intensidad. Si hay algún gas, la intensidad del color verde se disminuye de forma.
Detector electroquímico de refrigerante	Los sensores electroquímicos funcionan como baterías. Cuando el refrigerante está presente, se genera una reacción química en el electrodo de servicio que produce una pequeña carga eléctrica proporcional a la concentración de la sustancia, entre los dos electrodos.	 Fuente: elaboración propia	
Prueba de fuga de N2/H2 (detección de fuga por gas trazador)	Utilizar gas trazador es un método muy fiable para encontrar fugas muy pequeñas con una tasa inferior a 1 g/año. Una prueba de 5 bar es adecuada para esta prueba de fuga. Terminada la prueba, puede expulsarse al ambiente en forma.	 Fuente: elaboración propia	La "prueba de fuga fina" utiliza una mezcla de 95% de nitrógeno y 5% de hidrógeno (<i>forming gas</i>) como gas de prueba, junto con un detector electrónico de hidrógeno.

Fuente: elaboración propia con base en los recursos referidos.

TABLA 16. DETECCIÓN DE REFRIGERANTE EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

DETECTOR REFRIGERANTE	SEMICONDUCTOR	ELECTROQUÍMICO	CATALÍTICO	INFRARROJO
Concentración baja de amoníaco: < 100 ppm	N	O	N	N
Concentración media de amoníaco: < 1000 ppm	A	O	N	A
Concentración alta de amoníaco: < 10000 ppm	O	N	O	A
Concentración muy alta de amoníaco: > 10000 ppm	N	N	O	A
Dióxido de carbono	N	N	N	O
Hidrocarburo	A	N	O	A
HCFC y HFC	O	N	N	A

Convenciones: ● No permitido ● Óptimo ● Aceptable

Fuente: elaboración propia con datos tomados de informes técnicos.

Notas:

1. Inspección visual: se busca determinar, entre otros, lo siguiente:

- » Puntos con manchas de aceite.
- » Puntos con corrosión.
- » Uniones con soldadura defectuosa.
- » Elementos roscados con uniones manchadas por aceite o polvo.
- » Diferencias de presión fuera de rango en las líneas de alta y baja.
- » Diferencias de temperatura fuera de rango en evaporación y condensación.
- » Consumo de energía fuera de rango.

2. Prueba de burbujas (solución de agua jabonosa); deben tenerse las siguientes precauciones:

- » Si el sistema no contiene suficiente presión del refrigerante, este se puede recuperar y cargar el sistema con NSLO para aumentar la presión y tener mayor probabilidad y menor tiempo para detectar una fuga.
- » En algunos casos, el nitrógeno que escapa puede escucharse y así indicar el lugar de una fuga.
- » En caso de fugas pequeñas, la aplicación de solución de agua jabonosa durante un tiempo puede dar buen resultado.

3. Detector de fugas con luz ultravioleta. Consideraciones para usar el método de tintas:

- » La tinta es un contaminante del sistema de refrigeración y es muy difícil introducirla sin contaminarlo con humedad, perjudicando la operación y la vida del sistema.
- » El método puede ser inconveniente y la tinta puede terminar en el equipo de prueba (en las mangueras, entre

otros puntos), por lo que requiere algún tipo de limpieza que conlleva mucho tiempo.

- » Después de reparada la fuga, el sistema debe ser limpiado a fondo.
- » La detección de la fuga puede tomar mucho tiempo, incluso días, para que la tinta se filtre del sistema por una fuga muy pequeña.
- » Su uso puede ser limitado porque requiere acceso a todas las partes del sistema de refrigeración.
- » Se debe tener cuidado con este método por la compatibilidad con los componentes del sistema.
- » Es necesario consultar al fabricante del compresor para permitir su uso y, en algunos casos, para no perder su garantía.
- » En sistemas con separador de aceite, se reduce considerablemente la eficacia de este método.

4. Detector electrónico de refrigerantes; consideraciones para su uso:

- » Si el detector no es compatible con el refrigerante contenido en el sistema de refrigeración sometido a la prueba, puede perderse tiempo.
- » Los técnicos deben conocer la capacidad del detector de fugas y lo que no puede detectarse.
- » El monóxido de carbono y el alcohol pueden afectar la sensibilidad del detector electrónico de fugas; debe asegurarse que estas sustancias no están presentes en la detección de fugas.
- » El dispositivo debe ser revisado y calibrado por lo menos una vez al año para asegurar su fiabilidad y exactitud; el proveedor puede orientar sobre este proceso.

- » En muchos casos puede utilizarse una fuente de fuga de referencia para la calibración. Para una óptima detección de fugas debe mantenerse la cabeza del sensor lo más cerca de la tubería o componente del sistema y moverla lentamente a lo largo, con un máximo de 1 cm/s de velocidad.
- » Las conexiones mecánicas (uniones) deben ser "escaneadas", moviendo la cabeza del sensor lentamente alrededor de la conexión.
- » Cuando el detector indique fuga se debe alejar la cabeza del sensor del punto identificado, por unos 5 segundos y volver a comprobar; si el dispositivo indica fuga en el mismo lugar nuevamente se debe repetir el procedimiento por lo menos 3 veces para validar que realmente existe la fuga.
- » Si se trabaja con refrigerantes HC en instalación, servicio o mantenimiento, se puede poner el detector en el piso del área de trabajo para que actúe como alarma de fuga de HC.

No se recomienda el uso de detectores electrónicos de fuga en sistemas que contengan refrigerantes inflamables debido a que los detectores funcionan a temperaturas extremadamente altas y, si el sensor entra en contacto con la sustancia combustible, puede causar una inflamación.

5. Prueba de fuga de N₂/H₂ (detección de fuga por gas trazador); consideraciones:

- » Revisar el dispositivo por lo menos una vez al año para verificar fiabilidad y precisión.
- » Para la detección, mantener la cabeza del sensor lo más cerca posible de los tubos y componentes y moverla lentamente a lo largo, con una velocidad máxima de 0,2 cm/s.
- » Las uniones y conexiones deben "escanearse" lentamente moviendo la cabeza del sensor sobre cada punto.
- » Al detectarse una fuga, debe alejarse la cabeza del sensor por unos cinco segundos y posteriormente volver a pasarla para confirmar la fuga en el mismo punto; repetir el proceso por lo menos tres veces para verificar que realmente existe la fuga.

4.2.2. Métodos indirectos de detección de fuga

La detección indirecta de fuga de refrigerante suele ir acompañada de mediciones sensibles realizadas por técnicos de servicio aplicando buenas prácticas de servicio y mantenimiento en campo. Los parámetros y las condiciones de operación, el aspecto visual, el ruido en un sistema RAC pueden indicar que falta refrigerante, lo que permite decidir la aplicación de otros métodos de detección de fugas.

Se puede presumir una fuga de refrigerante en alguno de los siguientes casos:

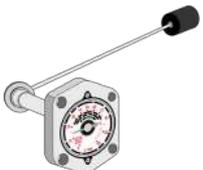
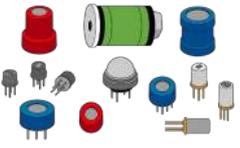
- » Signos de corrosión.
- » Formación de hielo.
- » Vibración.
- » Ruidos anormales.
- » Fugas de aceite y películas de aceite en los componentes.
- » Daño de componentes en posibles puntos de fuga.
- » Daño en interruptores de seguridad, interruptores de presión, medidores y conexiones de sensores.

En general, los parámetros de operación deben coincidir con los valores de diseño esperados. En algunos casos, el sistema de control activa una señal cuando falta refrigerante. Cuando falta refrigerante en un sistema, las lecturas de los parámetros indican:

- » Insuficiente capacidad de enfriamiento.
- » Temperaturas fuera de rango.
- » Presiones fuera de rango.
- » Corriente del compresor alterada.
- » Indicadores de nivel de líquido de refrigerante bajo.
- » Pérdida de refrigerante por las mirillas.
- » Sistema de alerta de refrigerante fijo, activo.
- » Sistema de control electrónico variable.

Si se sospecha que hay fuga de refrigerante, deben realizarse pruebas de estanqueidad y procesos de detección de fugas. Cuando el sistema RAC deba ser reparado, abierto el circuito de refrigeración y sustituidos componentes, deben realizarse los ensayos de resistencia a la presión para las secciones específicas.

TABLA 17. MÉTODOS INDIRECTOS DE DETECCIÓN DE FUGAS

ACTIVIDAD	DETALLE	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
Cálculo de sobrecalentamiento y subenfriamiento	Medición de parámetros de operación del sistema	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	<p>Verificar las presiones de operación en las líneas de alta y baja.</p> <p>Verificar las temperaturas de operación del sistema y la temperatura de la cámara o del ambiente acondicionado. Medir el sobrecalentamiento. Medir el subenfriamiento.</p>
		 <p>Fuente: elaboración propia</p>	
Consumo de energía del compresor	Medición de consumo de energía	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	La ficha técnica de los compresores indica el rango de consumo de energía del equipo.
Nivel de refrigerante líquido	Revisión del nivel de líquido refrigerante	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	Chequear la disminución o el aumento de refrigerante líquido en el sistema.
Volumen de recarga	Control de consumo de refrigerante	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	Medir la cantidad de refrigerante que se recarga en el sistema periódicamente.
Detectores autónomos	Control de fuga de refrigerante	 <p>Fuente: elaboración propia</p>	Detecta una fuga y genera una alerta junto con el bloqueo del sistema y la recolección del refrigerante remanente.

Fuente: elaboración propia con base en los recursos referidos.

Notas:

1. Cálculo de sobrecalentamiento y subenfriamiento

Una caída de presión en el sistema RAC puede significar la presencia de una fuga, al igual que una caída en la temperatura; para confirmar, es necesario realizar las siguientes actividades:

Analizar y comparar los datos encontrados contra los datos iniciales de la puesta en marcha del sistema. Las

diferencias halladas pueden determinar la presencia de fugas en el sistema. Un sobrecalentamiento alto y un subenfriamiento bajo son indicadores de falta o pérdida de refrigerante por fugas. El cambio de temperatura en el sistema puede afectar los materiales generando estrés térmico y propiciando fugas por agrietamiento. Igualmente, los cambios de presión en el sistema generan esfuerzos en los materiales por contracción y expansión de los materiales, lo que propicia la formación de puntos de fuga de refrigerante.

Ver más detalles del cálculo de sobrecalentamiento y subenfriamiento en el anexo E.

2. Consumo de energía del compresor

El aumento de consumo de energía en el compresor puede ser producto de un aumento o disminución de refrigerante en el sistema RAC y puede significar malos procesos operativos o puntos de fuga en las instalaciones. Para evaluar el consumo adecuado de energía por el compresor, es necesario medir los consumos regularmente y compararlos con los datos de placa del equipo.

3. Nivel de refrigerante líquido

La disminución del nivel de refrigerante en el sistema de refrigeración puede indicar la existencia de una fuga, salvo la presencia de una obstrucción en el ciclo y la generación de acumulación de refrigerante en un lugar diferente al tanque receptor de líquido. De la misma forma, si el sistema tiene más refrigerante del necesario, presentará fallos de operación y el compresor tendrá riesgo de daño por la posibilidad de ingreso de líquido que no alcance a vaporizarse.

4. Volumen de recarga

El consumo frecuente de refrigerante para recargar un sistema RAC es un indicador de la presencia de fugas en alguno de los componentes. Es muy importante tener en cuenta que el refrigerante no se gasta dentro de la instalación.

5. Detectores autónomos

Son sensores-emisores independientes que funcionan como detectores autónomos conectados a un controlador; permiten activar elementos de seguridad externos como válvulas, ventiladores, alarmas, entre otros; requieren la instalación

de sensores y sondas que permitan detectar los fluidos necesarios, y deben estar protegidos de agua, corrientes fuertes de aire, elementos que generen interferencia y otros peligros. Este detector inteligente analiza parámetros de funcionamiento de los sistemas RAC de forma continua y mediante un algoritmo detecta las fugas de manera temprana para minimizar las emisiones de refrigerantes al ambiente. Este sistema de detección puede ser complementado con sistemas de monitoreo en tiempo real de los parámetros de operación de las instalaciones para evaluar el comportamiento de los refrigerantes y facilitar los ajustes necesarios para mejorar el rendimiento, aumentar la eficiencia energética y disminuir los costos operativos.

Los detectores autónomos se mejoran usando la tecnología de internet y comunicaciones; para lo cual, pueden emplearse algunas alternativas como las siguientes:

1. Conexión directa de los sensores a internet empleando tecnologías banda corta (NB) o internet de las cosas (IoT).
2. Utilizar el protocolo Modbus RTU y un RS-485 de comunicación en una central de datos para manejar la información, realizar cálculos, generar alarmas y gestionar procedimientos.

Dependiendo de la cantidad de sensores (transmisores) que se instalen en los sistemas RAC, puede tenerse una respuesta exitosa tanto en la detección como en el análisis de las fugas. A continuación, se presenta un ejemplo de la tipología de las fugas encontradas en el análisis de un supermercado.

TABLA 18. TIPOLOGÍA DE FUGAS DE REFRIGERANTE

FRECUENCIA DE OCURRENCIA (%)	CLASE DE FUGA (g/año)	CONTRIBUCIÓN POR CLASE A LA PERDIDA TOTAL (% al año)	PERDIDA POTENCIAL DE MASA mf (kg/año) para N = 100
0	0,5	0,0000	0,00
0	1	0,0000	0,00
57	5	1,12	0,29
7	10	0,28	0,07
14	50	2,80	0,72
11	100	4,19	1,07
4	500	7,05	1,8
4	1000	14,09	3,6
4	5000	70,47	18
0	10000	0,00	0,00
0	50000	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia con base en Proinstalaciones 2018.

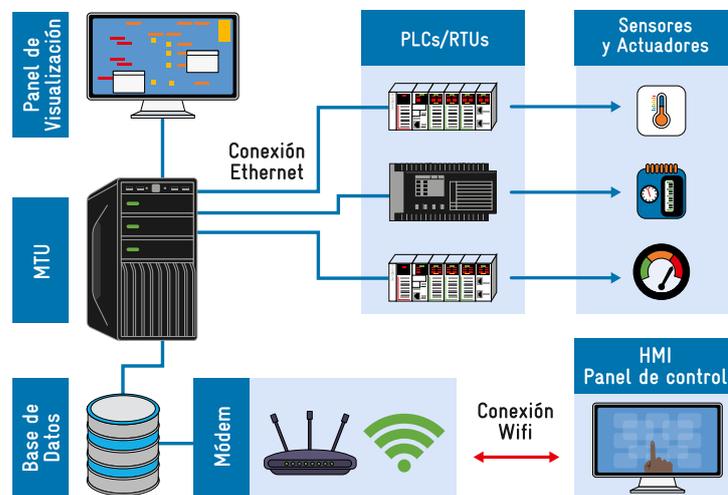
Debe tenerse en cuenta que entre mayor sea el número de sensores de fugas instalados, mayor será la probabilidad de detectar las fugas de manera temprana. Los factores importantes de los sensores son:

- » **Selectividad:** reaccionar únicamente a un refrigerante.
- » **Sensibilidad:** capacidad para detectar bajas concentraciones, por ejemplo 10 ppm.
- » **Precisión:** errores de lectura menores al 20%.
- » **Exactitud:** errores de medida pequeños y controlados.

Para tener un proceso confiable de detección y gestión de fugas de refrigerante, es recomendable realizar las siguientes acciones:

- » **Parametrización de la instalación:** caracterizar cada sensor con el lugar de instalación (volumen de espacio).
- » **Monitorización:** revisar permanentemente la información recogida por los sensores para determinar alarmas.
- » **Detección:** determinar la ocurrencia de fuga, concentración, tiempo.
- » **Gestión:** programar revisión de identificación de la fuga y su reparación (una fuga pequeña de 5 g/h evacuará 480 g de refrigerante en 4 días y una fuga grande de 100 g/h evacuará 10 Kg de refrigerante en 4 días).
- » **Verificación:** validar la reparación de la fuga y la dispersión de los gases en el ambiente.
- » **Auditoría:** realizar el registro de los procesos realizados y comprobar el cumplimiento de los procedimientos y la eliminación de la fuga.

FIGURA 12. SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL



Fuente: elaboración propia con base en Fibosa (2024).

4.3. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FUGAS

TABLA 19. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS

		SENSIBILIDAD	SELECTIVIDAD	PRECISIÓN	EXACTITUD
MÉTODOS DIRECTOS	Inspección visual	Baja	Baja	Baja	Baja
	Prueba de burbujas	Media	Media	Media	Media
	Antorcha de haluro	Media	Media	Alta	Alta
	Luz ultravioleta	Alta	Alta	Alta	Alta
	Ultrasonido	Alta	Alta	Alta	Alta
	Gases infrarrojos	Alta	Alta	Alta	Alta
	Electroquímico	Alta	Alta	Alta	Alta
	N2/H2	Media	Alta	Alta	Alta
		SENSIBILIDAD	SELECTIVIDAD	PRECISIÓN	EXACTITUD
MÉTODOS INDIRECTOS	Presión y temperatura	Media	Alta	Media	Media
	Consumo de energía del compresor	Media	Alta	Media	Media
	Nivel de refrigerante líquido	Media	Alta	Media	Media
	Volumen de recarga	Media	Alta	Media	Media
	Detectores autónomos	Alta	Alta	Alta	Alta

Fuente: elaboración propia.

TABLA 20. PARÁMETROS PARA LA DETECCIÓN Y REDUCCIÓN DE FUGAS DE REFRIGERANTE

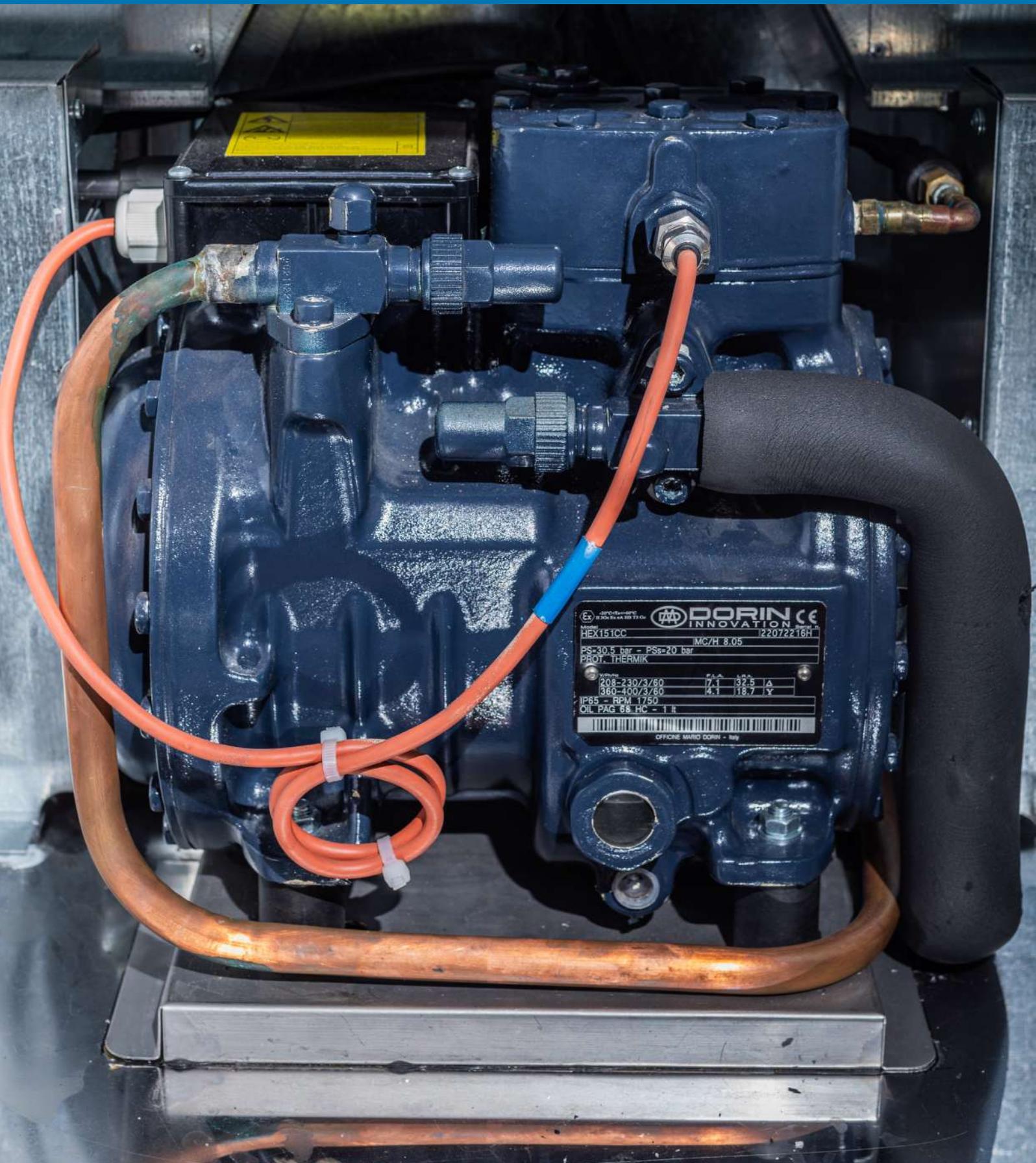
	SEMICONDUCTOR	NDIR
Precisión	Baja	Alta
Exactitud	Moderada	Alta
Selectividad	Muy baja	Muy alta
Prestaciones/Características	Detección	Medición
Recomendación de uso	Seguridad personas	Detección fugas

Fuente: elaboración propia con base en Albets (2018).

TABLA 21. RESUMEN DE PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS DE DETECCIÓN DE FUGAS (PROCESOS Y APLICACIÓN EN CAMPO).

PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS DE DETECCIÓN DE FUGAS	MEDIO DE PRUEBA	EVALUACIÓN CORTA	CLASIFICACIÓN DE LA PRUEBA
Prueba de caída de presión (prueba de nivel de presión)	Nitrógeno.	Detección de fugas importantes. Medición de la tasa de fuga total.	Prueba preliminar
Prueba de aumento de presión (prueba de pérdida de vacío)	Aire.	Detección de fugas importantes. Medición de la tasa de fuga total.	Prueba preliminar
Detección de burbujas (recubrimiento con líquido) = prueba de burbujas de jabón	Nitrógeno, medio de trabajo.	Procedimiento de detección de fugas mayores.	Prueba preliminar
Detección de burbujas (inmersión) = prueba de burbujas bajo el líquido de prueba	Nitrógeno.	Procedimiento de detección de fugas finas o importantes.	Prueba preliminar, prueba final de los elementos del circuito
Detección por medio de dispositivos fijos y portátiles (dispositivos fijos y de campo)	Refrigerante, mezclas de refrigerante-nitrógeno o gas inerte. (5% de hidrógeno, 95% nitrógeno).	Detección de fugas mayores y menores.	Prueba preliminar, prueba final
Comprobación por olfateo (detectores de helio (<i>Sniff check</i>))	Helio, mezcla de helio-nitrógeno.	Detección de fugas menores. Es posible hacer una prueba de fuga fina.	Prueba preliminar, prueba final
Comprobación por olfateo (detectores de helio (<i>Sniff check</i>))	Helio, hidrocarburo halogenado. Hidrocarburos, mezclas, hidrocarburos, dióxido de carbono.	Detección fina de fugas.	Prueba preliminar, prueba final
Detección por medio de aditivos fluorescentes y luz ultravioleta	Se requiere la adición de un aditivo al circuito de refrigeración.	Procedimiento complementario. Solo se detectan las fugas con el aceite que se fuga.	Prueba preliminar
Detección con espectrómetros de infrarrojos	Refrigerante, especialmente también amoníaco.	Posible medición de concentración sensible. Medición posible, tiempos muy largos de reacción y degradación.	Medidas especiales

Fuente: elaboración propia con base en información técnica de Rolf Hühren, HEAT GmbH.



Ex 2010/30/EC
11 309 20 64 100 73 02

DORIN CE
INNOVATION

Model: **HEX151CC** MC/H 8.05 122072216H

PS=30.5 bar - PSp=20 bar
PROT. THERMIK

Q _{nom}	P ₁	P ₂
208-230/3/60	7.1	32.5
360-400/3/60	4.1	18.7

IP65 - RPM 1750
OIL PAG 68 HC - 1 l

OFFICINE MARIO DORIN - Italy

5. CORRECCIÓN DE FUGAS

El mantenimiento preventivo y planificado debe incluir la detección directa e indirecta de fugas para evitar fallos en el sistema RAC por fugas que pueden ser identificadas antes de que se produzca la emisión del refrigerante. Esto permite proteger el ambiente y disminuir costos y consumo de energía.

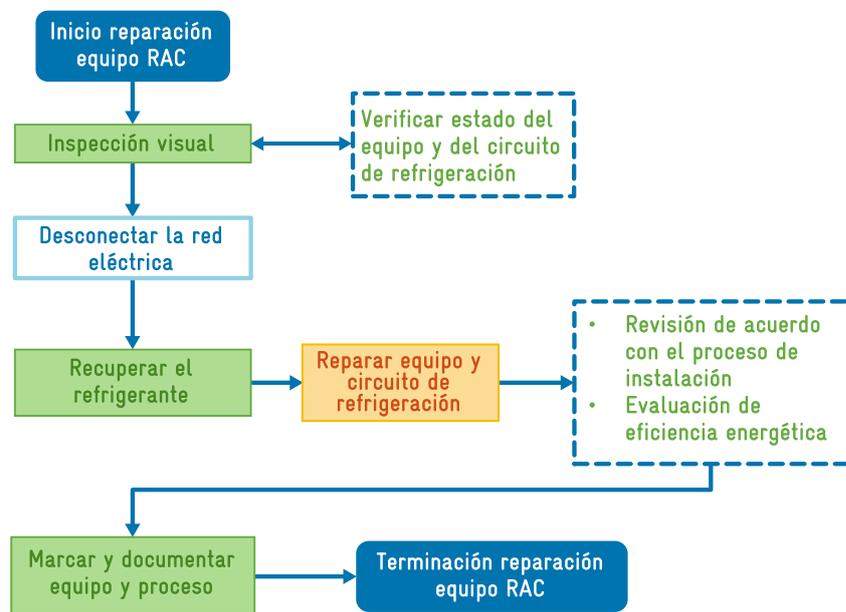
Durante el mantenimiento correctivo, es cuando hay más riesgo de evacuar refrigerante al ambiente. La aplicación de las buenas prácticas es una exigencia para minimizar la ocurrencia de fugas y mejorar los resultados operativos de los sistemas RAC.

Corregir adecuadamente las fugas en los sistemas RAC, una vez han sido detectadas y definidas, es de suma importancia para garantizar la hermeticidad a largo plazo. El procedimiento de corrección de fugas debe ser estricto y acorde con su tamaño y con el lugar donde haya sido encontrada. Algunos aspectos a tener en cuenta son:

» Alistar el equipo y su entorno para efectuar la reparación.

- » Seleccionar los materiales, herramientas y equipos necesarios para la actividad de acuerdo con los materiales del sistema.
- » Demarcar el lugar y el equipo con la información de seguridad necesaria.
- » Identificar con exactitud el punto de la fuga.
- » Recuperar el refrigerante en el sistema.
- » Analizar y determinar la causa de la fuga.
- » Identificar y determinar las acciones a llevar a cabo para la no ocurrencia de la fuga a futuro.
- » Si la fuga es en elementos roscados, asegurarse de preparar correctamente las uniones y ajustarlas de acuerdo con los torques recomendados técnicamente.

FIGURA 13. DIAGRAMA DE FLUJO DE REPARACIÓN POR FUGAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



Fuente: elaboración propia.

5.1. TECNOLOGÍAS, EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE CONTROL DE LA HERMETICIDAD DURANTE LA REPARACIÓN

Controlar la hermeticidad de los equipos o sistemas RAC durante el proceso de reparación es muy importante, además de contar con equipos, herramientas e instrumentos adecuados para realizar las pruebas necesarias, las cuales son equivalentes a las que se realizan en el proceso de instalación; dentro de estos se encuentran:

- » Máquina recuperadora de refrigerante.
- » Cilindros de almacenamiento de refrigerante recuperado.
- » Bombas de vacío.
- » Vacuómetro digital.

- » Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno en cilindros.
- » Regulador de presión de nitrógeno certificado.
- » Válvulas de corte para las pruebas.
- » Juegos de manómetros certificados.
- » Sensores de refrigerantes: electrónicos, por ultrasonido, infrarrojo (entre otros).
- » Sistema automatizado para control y registro de resultados de pruebas de fugas (de ser posible).
- » Presóstatos.
- » Termóstatos.
- » Amperímetros.
- » Voltímetros.

5.2. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LA HERMETICIDAD

TABLA 22. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS EN LA INSTALACIÓN COMPLETA DEL EQUIPO O SISTEMAS

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	OBSERVACIONES
Inspección visual	<p>Verificar el estado general del sistema incluyendo los componentes, uniones, entre otros. Chequear juntas libres de suciedad, óxido, aceite u otros elementos extraños.</p> <p>Verificar el mantenimiento realizado y los parámetros de operación, si es posible.</p>	<p>Se recomienda revisar la hoja de vida de los sistemas de refrigeración y climatización para validar el comportamiento del sistema, como aporte a la solución de las fallas detectadas.</p> <p>Ver información complementaria en el procedimiento de instalación de esta guía.</p>
Desconexión red eléctrica	Antes de iniciar una intervención al sistema, debe realizarse la desconexión eléctrica de sistema como medida de seguridad.	Por norma, nunca debe intervenir un equipo que se encuentre conectado a la red eléctrica.
Recuperación del refrigerante	Antes de realizar alguna acción correctiva en los sistemas de refrigeración, debe retirarse el refrigerante para eliminar la posibilidad de fuga y daño al operario y al ambiente.	La recuperación de refrigerante debe realizarse siguiendo los procedimientos indicados en el <i>Manual de buenas prácticas en refrigeración</i> .
Reparación del equipo y el circuito de refrigeración	Con base en los reportes de falla documentados, deberán corregirse las fugas y demás daños presentados en los sistemas.	Los procedimientos correctivos deberán ser acordes con las recomendaciones de los fabricantes y las normativas técnicas disponibles, tanto nacionales como internacionales.
Prueba de presión con Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno (NSLO)	Aplicar la presión de prueba poco a poco hasta alcanzar 1,1 veces la presión de trabajo permisible del sistema en revisión (1,1 x PT). Presurizar el sistema con NSLO, esperar estabilización interna, monitorear la presión en el tiempo; si desciende rápidamente hay un punto de fuga grande en el sistema, si desciende lentamente hay un punto de fuga pequeño. Si la presión permanece estable, se puede asumir que el sistema no tiene fugas.	<p>La detección de fugas se relaciona con el tiempo de la prueba, los valores de la presión y el volumen del sistema probado (deben utilizarse manómetros con alta precisión). La prueba puede ser afectada por factores externos como la variación de temperatura y las deformaciones mecánicas.</p> <p>Ver información complementaria en el procedimiento de instalación de esta guía.</p>

ACTIVIDAD	CÓMO SE HACE	OBSERVACIONES
Triple vacío	<p>Realizar vacío al sistema por los lados de alta y baja presión hasta alcanzar el valor de vacío más bajo posible en micrones.</p> <p>Introducir Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno a una presión baja (<10 psig) sin perder el vacío y dejarlo por algunos minutos. Seguidamente, iniciar una segunda etapa de vacío evacuando el nitrógeno y continuando con el vacío hasta alcanzar el valor más bajo posible en micrones. Se suspende el vacío y se introduce NSLO por varios minutos; después de este paso, se procede a realizar vacío por tercera vez eliminando el nitrógeno y buscando alcanzar los valores establecidos técnicamente: 500 micrones (0,66 mbar) para sistemas con aceite mineral y 250 micrones (0,33 mbar) para sistemas con aceite sintético.</p> <p>Se cierra la válvula y se apaga la bomba de vacío; se revisa el vacuómetro durante mínimo 20 minutos y se observa un ligero aumento de la presión hasta el equilibrio interior del sistema. Si se observa un aumento rápido de la presión, significa que el sistema tiene fugas; si el aumento de la presión es más lento hasta por lo menos 1500 micrones, significa que el sistema tiene humedad.</p>	<p>Esta técnica busca eliminar o minimizar en un alto grado la humedad existente dentro de los sistemas RAC. El procedimiento está precedido del barrido, la eliminación de aceite, el cambio de filtro secador, la prueba de acidez del aceite o su cambio.</p> <p>El resultado esperado es un sistema RAC libre de humedad y contaminantes que entregue un alto rendimiento termodinámico, alta eficiencia energética y bajos costos operativos.</p> <p>La bomba de vacío a emplear se selecciona con base en el caudal o la velocidad de evacuación; para lo cual, debe tenerse en cuenta que</p> <p>1 cfm = 28,32 l/min = 1,69 m3/h</p> <p>Si se comprueba el aumento de la presión en el vacuómetro, después del proceso de vacío, la presión atmosférica permeará las mangueras a la presión más baja y, en el instrumento, se observará un aumento lento. Las fugas también pueden presentarse en los empaques de las válvulas Schrader, los empaques de los acoples e incluso en de un sistema RAC.</p> <p>Ver información complementaria en el procedimiento de instalación de esta guía.</p>
Prueba de hermeticidad	Se introduce un gas inerte, como el Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno, a una presión acorde con el tipo de instalación y el rango de presiones de operación.	Debe realizarse a una presión de al menos 1,1 x PS. Ver información complementaria en procedimientos de fabricación e instalación de esta guía.
Verificación de fugas	Detectar fugas después de haber cargado el sistema con refrigerante aplicando alguno de los métodos directos presentados en esta guía.	Ver información complementaria en procedimientos de fabricación e instalación de esta guía.
Prueba de conformidad	Revisar por completo el sistema RAC, terminado el proceso de reparación, para garantizar su correcta operación y que se cumplan normas, reglamentos, especificaciones técnicas y requerimientos del cliente.	Ver información complementaria en procedimientos de fabricación e instalación de esta guía.

TABLA 23. CONSIDERACIONES

ACTIVIDAD	COMENTARIO
Limpieza del equipo o sistema de refrigeración	<p>La limpieza de los sistemas RAC puede garantizar su correcto funcionamiento; elimina suciedad, lodo, escarcha y residuos que se adhieren a las superficies de los materiales y que pueden generar oxidación y puntos de fuga; internamente, elimina residuos de lodos generados por acidez del aceite combinado con la humedad. En los sistemas chiller debe cuidarse la calidad y la limpieza del agua para evitar la formación de bacterias, óxido, corrosión y puntos de fuga de refrigerante.</p> <p>El proceso es más exigente cuando se ha quemado un compresor, en estos casos es necesario eliminar completamente los residuos de aceite y refrigerante de dentro del sistema y seguir las recomendaciones del <i>Manual de buenas prácticas de refrigeración</i> antes de utilizar nuevamente el sistema RAC.</p>
Alistamiento para pruebas de fuga	<p>Conocimiento, habilidades y destrezas para identificar los parámetros de operación de los sistemas RAC son condiciones para identificar fallas operativas y posibles fugas. Algunos aspectos a tener en cuenta son:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Identificar el ciclo de refrigeración y los componentes básicos. » Identificar las características técnicas de los sistemas. » Conocer la información técnica de manuales y catálogos, el tiempo medio entre fallas, promedio de fallas, daños críticos y daños esporádicos, de acuerdo con las características de los sistemas. » Identificar los riesgos técnicos y ambientales, de acuerdo con el sistema instalado. » Aplicar los buenos procedimientos de refrigeración de acuerdo con manuales, guías y recomendaciones técnicas. » Seleccionar los instrumentos de medición, de acuerdo con el procedimiento de detección de fugas especificado. » Aplicar normas técnicas establecidas. » Preparar los sistemas de marcado de los puntos de fuga que se encuentren. » Seleccionar las herramientas e insumos a utilizar de acuerdo con el procedimiento de detección de fugas seleccionado y la fuga encontrada.
Recuperación del refrigerante durante el mantenimiento o la retirada del servicio	<p>El retiro de un refrigerante (SAO/HFC) de un equipo debe realizarlo personal cualificado, con cuidado para minimizar cualquier emisión. La recuperación se realiza siempre que se necesite intervenir el circuito de refrigeración o deshacerse de un equipo de refrigeración o acondicionamiento de aire. Se debe retirar todo el refrigerante hasta el nivel de vacío para maximizar la cantidad de refrigerante recuperado y minimizar las fugas o emisiones.</p> <p>El procedimiento debe realizarse de acuerdo con las indicaciones del <i>Manual de buenas prácticas en refrigeración</i>.</p>
Tiempo de respuesta y BPR	<p>El tiempo de respuesta, en caso de atención de fugas en los sistemas RAC, debe ser el mínimo posible; especialmente, cuando se trabaja con refrigerantes de riesgo como los hidrocarburos, amoníaco o el dióxido de carbono; en todos los casos, debe contarse con sistemas de alarma para activar los procesos de contención y solución de las fugas. Para estos tres refrigerantes, al igual que los refrigerantes sintéticos, es necesario conocer los protocolos establecidos para el manejo de fugas. Debe tenerse en cuenta que solo el personal capacitado y certificado en el manejo de fugas (que pueden convertirse en emergencias por malos procedimientos) puede acceder a los ambientes y trabajar en la contención de las evacuaciones de estas sustancias.</p> <p>Ver los sistemas de alarma de detección de fugas, en esta guía.</p> <p>Los procedimientos deben realizarse siguiendo las buenas prácticas, propendiendo por sistemas eficientes térmica y energéticamente.</p>

ACTIVIDAD	COMENTARIO
Controles de seguimiento y verificación	La revisión y control de los sistemas RAC debe ser frecuente, de acuerdo con las condiciones de operación, estableciendo los registros en las hojas de vida de los equipos, de las actividades desarrolladas y el estado en el cual se encuentran operando junto con las instalaciones completas.
Control operativo	El control operativo de los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire involucra el seguimiento a los parámetros clave, presiones, temperaturas y consumo de energía, con los cuales es posible determinar si el sistema opera correctamente. Se miden el sobrecalentamiento y el subenfriamiento junto con el consumo de energía del sistema en operación.
Ahorro energético y rendimiento de los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire.	"La mejora de la eficiencia energética impulsará más del 40% de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía en los próximos 20 años, según la AIE".

6. REFERENCIAS

- Albets, X. (Diciembre de 2018). **Sistema conectado de detección prematura de fugas de gas refrigerante para mantenimiento preventivo**. Proinstalaciones. <https://n9.cl/iis97u>
- Albets, X. (2018). Manual para la detección y reducción de fugas de gas refrigerante. <https://n9.cl/1a5i3>
- Berling S. A. (s.f.). Inficon. <https://n9.cl/wgrof>
- Bostock, D. (2013). Refrigerant Loss, System Efficiency and Reliability – A Global Perspective. Institute Of Refrigeration (IOR), GEA Refrigeration UK Ltd. <https://n9.cl/ylwrk>
- Climalife y Matelex. (Julio de 2015). Detección de fugas en instalaciones frigoríficas, un gran reto del siglo XXI. <https://n9.cl/fptvs>
- CSTGroup.cl (s.f.). Reparación Equipos Ultrasonido SDT. <https://n9.cl/mgmsj>
- Colbourne, D. *Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants: A handbook for engineers, technicians, trainers and policy-makers - For a climate-friendly cooling*. (2.ª ed.) Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH: Proklima. <https://n9.cl/6nx0y>
- Colbourne, D. y Suen, K. (2003a). Equipment design and installation features to disperse refrigerant releases in rooms. Part I: Experiments and analysis. *International Journal of Refrigeration*, 26(6), 667-673. <https://n9.cl/hefx7>
- Colbourne, D. y Suen, K. (2003b). Equipment design and installation features to disperse refrigerant releases in rooms. Part II: Determination of procedures. *International Journal of Refrigeration*, 26(6), 674-680. <https://n9.cl/meu6o>
- Deutsche Gesellschaft für 4 Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2022). *Guía de buenas prácticas. Control de fugas en equipos de refrigeración y acondicionamiento de aire*. Por encargo del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores (BMUV) División KI II 7 Financiación Climática Internacional, Iniciativa Internacional del Clima 11055 Berlín, Alemania.
- DhilReefer. (Marzo de 2017). Refrigeration tools and equipment UV leak detector. <https://n9.cl/rhcgY>
- EPA. (2011). GreenChill Best Practices Guideline Commercial Refrigeration Leak Prevention & Repairs. <https://n9.cl/oo5uq>
- Full Gauge Controls. (2023). Penta. <https://n9.cl/f6fgt8>
- Hernández, L. (Abril de 2020). Buena praxis en instalaciones de refrigeración: Procedimientos durante la instalación y mantenimiento. Técnico, refrigeración. <https://n9.cl/248dcs>
- Henbincool. (Diciembre de 2023). Hfc refrigerantes de uso común. <https://n9.cl/i69q8>
- Inficon. (s.f.). AST300ppm. <https://n9.cl/n0m3p>
- Instrutek. (2016). Juego manómetros refrigeración Cmanifold R134a R22 R404 R12. <https://n9.cl/a4zvw>
- IPCC (2022). **Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio Climático 2022**. ONU: <https://n9.cl/qs7g1>
- Mayekawa – MYCOM (2020). **Procedimiento para prueba de sistemas de sensores y alarmas. Requerimientos para ejecución de pruebas de sistemas de sensores y alarmas según lineamientos de IIAR, Mayekawa.**
- Multifrío, C. A. (s.f.). Voltiamperímetro digital, marca Conti, Modelo ZT-QB3. <https://n9.cl/fjkix>
- Pecomark. (s.f.). Control de nivel de líquido refrigerante o aceite HENRY S-9424 24v. <https://n9.cl/2likgs>
- Puce Srl (s.f.). Cercafughe lokator RLD5 3394302. <https://n9.cl/2xma5c>
- Rochester Sensors. (Junio de 2015). Serie LN6284. Medidor de combustible diésel magnético a nivel de líquido. <https://n9.cl/1nkywu>
- VULKAN. (2014). Detector de fugas LOKTRACER TLD.500. <https://n9.cl/3y8y6>

7. ANEXOS

ANEXO A. INFORME DE ANÁLISIS DE FUGA DE REFRIGERANTE

INFORMACIÓN GENERAL					
N.º		Fecha		Ciudad	
Técnico					

USUARIO			
Empresa			
Contacto			
Cargo		Celular	

EQUIPO					
Marca		Modelo		Capacidad	
Tipo				Refrigerante	
Compresor		Modelo		Aceite	
Condensador		Modelo		Capacidad	
Evaporador		Modelo		Capacidad	

FUENTE ENERGÉTICA									
Electricidad		Térmica		Gas		Fotovoltaica		Otra	
Observaciones									

LOCALIZACIÓN FUGA										
Válvula expansión		Mirilla		Sellos		Soldadura		Separador		Soporte
Acumulador vapor		Filtro de aceite				Filtro deshidratador				Válvulas
Acumulador líquido		Otra ubicación								
Observaciones										

CAUSA DE LA FUGA

Soldadura débil		Golpe		Ajuste		Corrosión		Vibración		Sello	
Soporte inadecuado		Hielo		Otra							
Observaciones											

OBSERVACIONES GENERALES

Firma del personal técnico _____

ANEXO B. EJEMPLO FORMULARIO DE "REGISTRO PROCESO DE REFRIGERANTES"

INFORMACIÓN GENERAL					
N°.		Fecha		Ciudad	
Técnico					

USUARIO			
Empresa			
Contacto			
Cargo		Celular	

EQUIPO					
Marca		Modelo		Capacidad	
Tipo				Refrigerante	
Compresor		Modelo		Aceite	
Condensador		Modelo		Capacidad	
Evaporador		Modelo		Capacidad	

CARGA DE REFRIGERANTE						
Tipo refrigerante		Cantidad añadida		Kg	Motivo	
Regenerado		Reciclado		Nuevo	Certificado	
Observaciones						

RECARGA DE REFRIGERANTE						
Tipo refrigerante		Cantidad añadida		Kg	Motivo	
Regenerado		Reciclado		Nuevo	Certificado	
Observaciones						

RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTE

Tipo refrigerante		Cantidad añadida		Kg	Motivo	
Regenerado		Reciclado		Nuevo	Certificado	
Observaciones						

DISPOSICIÓN DE REFRIGERANTE

Tipo refrigerante		Cantidad añadida		Kg	Motivo	
Regenerado		Reciclado		Nuevo	Certificado	
Observaciones						

ENTIDAD GESTORA

Nombre		Celular	
Contacto		Cargo	

CONDICIONES

Reciclaje		Regeneración		Disposición final		otra	
Observaciones							

OBSERVACIONES GENERALES

Firma del personal técnico _____

ANEXO C. LISTA DE REFRIGERANTES

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA / NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
CFC	R-11	CFC-11 / CCl3F	52	1	4750	A1
CFC	R-113	CFC-113 / CCl2FCClF2	93	0,82	6130	A1
CFC	R-114	CFC 114 / CClF2CClF2	189	0,53	10000	A1
CFC	R-115	CFC-115 / CClF2CF3	540	0,45	7370	A1
CFC	R-12	CFC-12 / CCl2F2	102	0,75	10900	A1
CFC	R-13	CFC-13 / CClF3	640	0,3	16,200	A1
CFC	R-400	R-12/114 (50.0/50.0)	146	0,64	10,965	A1
CFC	R-500	R-12/152a (73,8/26,2)	76	0,55	9,268	A1
CFC	R-502	R-22/115 (48.8/51.2)	282	0,25	5,872	A1
CFC	R-503	R-23/13 (40.1/59.9)	475	0.18	15,558	A1

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
HCFC	R-123	HCFC-123 / CHCl2CF3	1,3	0,02	77	B1
HCFC	R-124	HCFC-124 / CHClFCF3	5,9	0,022	609	A1
HCFC	R-142b	HCFC-142b / CH3CClF2	18	0,057	2310	A2
HCFC	R-22	HCFC-22 / CHClF2	11,9	0,38	1810	A1

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
HFC puro	R-125	HFC-125 / CHF2CF3	30	0	3,740	A1
HFC puro	R-134a	HFC-134a / CH2FCF3	14	0	1,530	A1
HFC puro	R-143a	HFC143a / CH3CF3	51	0	5,810	A2L
HFC puro	R-152a	HFC-152 / CH3CHF2	1.6	0	164	A2
HFC puro	R-161	HFC-161 / CH3CH2F - fluoruro de etilo	0,219	0	4,84	
HFC puro	R-227ea	HFC-227ea / CF3CHF2CF3	36	0	3,600	A1

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
HFC puro	R-23	HFC-23 / CHF ₃ - fluoroformo	228	0	14,600	A1
HFC puro	R-236ea	HFC-236ea / CHF ₂ CHFClF ₃	11,4	0	1,500	
HFC puro	R-236fa	HFC-236fa / CF ₃ CH ₂ CF ₃	213	0	8690	A1
HFC puro	R-245fa	HFC-245fa / CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7,9	0	962	B1
HFC puro	R-32	HFC-32 / CH ₂ F ₂ - fluoruro de metileno	5,4	0	771	A2L
u-HFC	R-1233zd	Trans-1-cloro-3,3,3- trifluoroprop-1-ene	0,116	0	3,88	A1
u-HFC	R-1234yf	2,3,3,3-tetrafluoroprop- -1-ene	0,033	0	0,501	A2L
u-HFC	R-1234ze	Trans-1,3,3,3- tetrafluoroprop-1-ene	0,052	0	1,37	A2L

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
Mezclas de HCFC	R-401A	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0)	8,5	0,033	1,263	A1
Mezclas de HCFC	R-401B	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0)	9,1	0,029	1,381	A1
Mezclas de HCFC	R-401C	R-22/152a/124 (33.0/15.0/52.0)	7,2	0,024	982	A1
Mezclas de HCFC	R-402A	R-125/290/22 (60.0/2.0/38.0)	22,5	0,014	2,989	A1
Mezclas de HCFC	R-402B	R-125/290/22 (38.0/2.0/60.0)	18,5	0,023	2,597	A1
Mezclas de HCFC	R-403A	R-290/22/218 (5.0/75.0/20.0)	529	0,029	3,328	A1
Mezclas de HCFC	R-403B	R-290/22/218 (5.0/56.0/39.0)	1021	0,021	4,721	A1
Mezclas de HCFC	R-405A	R-22/152a/142b/C318 (45.0/7.0/5.5/42.5)	1366	0,02	5,355	A1
Mezclas de HCFC	R-406A	R-22/600a/142b (55.0/4.0/41.0)	13,93	0,044	2,021	A2
Mezclas de HCFC	R-408A	R-125/143a/22 (7.0/46.0/47.0)	31,15	0,018	3,856	A1

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
Mezclas de HCFC	R-409A	R-22/124/142b (60,0/25,0/15,0)	11,3	0,037	1,670	A1
Mezclas de HCFC	R-409B	R-22/124/142b (65,0/25,0/10,0)	11	0,036	1,653	A1
Mezclas de HCFC	R-411A	R-1270/22/152a (1,5/87,5/11,0)	10,6	0,033	1,733	A2
Mezclas de HCFC	R-411B	R-1270/22/152a (3,0/94,0/3,0)	11,23	0,036	1,847	A2
Mezclas de HCFC	R-412A	R-22/218/142b (70,0/5,0/25,0)	143	0,041	2,411	A2
Mezclas de HCFC	R-414A	R-22/124/600a/142b (51,0/28,5/4,0/16,5)	10,7	0,035	1,549	A1
Mezclas de HCFC	R-414B	R-22/124/600a/142b (50,0/39,0/1,5/9,5)	9,96	0,033	1,431	A1
Mezclas de HCFC	R-415A	R-22/152a (82,0/18,0)	10	0,031	1,636	A2
Mezclas de HCFC	R-415B	R-22/152a (25,0/75,0)	4	0,01	613	A2
Mezclas de HCFC	R-416A	R-134a/124/600 (59,0/39,5/1,5)	10,6	0,008	1,138	A1
Mezclas de HCFC	R-418A	R-290/22/152a (1,5/96,0/2,5)	11,5	0,036	1,886	A2
Mezclas de HCFC	R-420A	R-134a/142b (88,0/12,0)	1,5	0,007	1,622	A1
Mezclas de HCFC	R-509A	R-22/218 (44,0/56,0)	1,461	0,016	6,065	A1

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
Mezcla de HFC	R-404A	R-125/143a/134a (44,0/52,0/4,0)	40,3	0	4,728	A1
Mezcla de HFC	R-407A	R-32/125/134a (20,0/40,0/40,0)	18,7	0	2,262	A1
Mezcla de HFC	R-407B	R-32/125/134a (10,0/70,0/20,0)	24,3	0	3001	A1
Mezcla de HFC	R-407C	R-32/125/134a (23,0/25,0/52,0)	16	0	1,908	A1
Mezcla de HFC	R-407D	R-32/125/134a (15,0/15,0/70,0)	15,1	0	1,748	A1

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
Mezcla de HFC	R-407E	R-32/125/134a (25.0/15.0/60.0)	14,3	0	1,672	A1
Mezcla de HFC	R-410A	R-32/125 (50.0/50.0)	17,7	0	2,256	A1
Mezcla de HFC	R-413A	R-218/134a/600a (9.0/88.0/3.0)	246,3	0	2,183	A2
Mezcla de HFC	R-417A	R-125/134a/600 (46,6/50,0/3,4)	21	0	2,508	A1
Mezcla de HFC	R-419A	R-125/134a/E170 (77,0/19,0/4,0)	*	0	3,711	A2
Mezcla de HFC	R-421A	R-125/134a (58,0/42,0)	23,3	0	2,812	A1
Mezcla de HFC	R-421B	R-125/134a (85.0/15.0)	27,6	0	3,409	A1
Mezcla de HFC	R-422A	R-125/134a/600a (85.1/11.5/3.4)	27,1	0	3,359	A1
Mezcla de HCFC	R-422B	R-125/134a/600a (55.0/42.0/3.0)	22,4	0	2,700	A1
Mezcla de HFC	R-422C	R-125/134a/600a (82,0/15,0/3,0)	26,7	0	3,296	A1
Mezcla de HFC	R-422D	R-125/134a/600a (65.1/31.5/3.4)	24	0	2,917	A1
Mezcla de HFC	R-423A	R-134a/227ea (52,5/47,5)	3,4	0	4,375	A1
Mezcla de HFC	R-424A	R-125/134a/600a/600 /601a (50,5/47,0/0,9/	21,7	0	2,608	A1
Mezcla de HFC	R-425A	R-32/134a/227ea (18.5/69.5/12.0)	17,3	0	2,108	A1
Mezcla de HFC	R-426A	R-125/134a/600/601a (5.1/93.0/1.3/0.6)	14,6	0	1,613	A1
Mezcla de HFC	R-427A	R-32/125/143a/134a (15.0/25.0/10.0/50.0)	20,4	0	2,397	A1
Mezcla de HFC	R-428A	R-125/143a/290/600a (77,5/20,0/0,6/1,9)	33,5	0	4,060	A1
Mezcla de HFC	R-429A	R-E170/152a/600a (60,0/10,0/30,0)		0	17	A3
Mezcla de HFC	R-430A	R-152a/600a (76.0/ 24.0)	1,2	0	125	A3
Mezcla de HFC	R-431A	R-290/152a (71,0/ 29,0)	0,5	0	46.6	A3

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
Mezcla de HFC	R-434A	R-125/143a/134a/ 600a (63.2/18.0/16.0/ 2.8)	30,4	0	3,654	A1
Mezcla de HFC	R-435A	R- E170/152a (80.0/ 20.0)	1,6	0	33,6	A3
Mezcla de HFC	R-437A	R-125/134a/600/601 (19.5/78.5/1.4/0.6)	16,8	0	1,930	A1
Mezcla de HFC	R-507A	R-125/143a (50.0/50.0)	40,5	0	4,775	A1
Mezcla de HFC	R-508A	R-23/116 (39.0/61.0)	88,9	0	13,258	A1
Mezcla de HFC	R-508B	R-23/116 (46.0/54.0)	104,9	0	13,412	a1

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
HC	R-1150	CH ₂ =CH ₂ - etileno	0,004	0	<<1	A3
HC	R-1270	CH ₃ CH=CH ₂ - propileno	0,001	0	<<1	A3
HC	R-170	CH ₃ CH ₃ - etano	0,159	0	0,437	A3
HC	R-290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ - propano	0,036	0	0,02	A3
HC	R-600	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ - butano	0,019	0	0,006	A3
HC	R-600a	CH(CH ₃) ₂ -CH ₃ - isobutano	0,019	0	<<1	A3
HC	R-601	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ - pentano	0,01	0	<<1	A3
HC	R-601a	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ -CH ₃ - isopentano	0,01	0	<<1	A3

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA / NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
Mezcla de HC	R-432A	R-1270/E170 (80,0/20,0)	0,001	0	<<1	A3
Mezcla de HC	R-433A	R-1270/290 (30,0/70,0)	0,025	0	<<1	A3
Mezcla de HC	R-436A	R-290/600a (56,0/44,0)	0,001	0	<<1	A3
Mezcla de HC	R-436B	R-290/600a (52,0/48,0)	0,001	0	<<1	A3
Mezcla de HC	R-510A	R-E170/600a (88,0/12,0)	0,001	0	<<1	A3

CLASIFICACIÓN	NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA/ NOMBRE COMÚN	ATMOS VIDA	ODP	GWP 100 AÑOS	GRUPO DE SEGURIDAD
Natural	R-702	H ₂ - hidrógeno normal		0		A3
Natural	R-704	He - helio		0		A1
Natural	R-717	NH ₃ - amoníaco	0,01	0	<<1	B2L
Natural	R-718	H ₂ O - agua		0		
Natural	R-729	Aire N ₂ /O ₂ /Ar (78,082/20,945/,934 Vol %)		0	-	A1
Natural	R-744	CO ₂ - dióxido de carbono		0	1	A1
Natural	R-764	SO ₂ - dióxido de azufre		0	300	B1

Notas

- * Información no disponible
- Listado de refrigerantes basado en el sexto reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas y en la Evaluación Científica de la Eliminación del Ozono de la Organización Meteorológica Mundial.¹⁻²

¹ Smith, C., *et al.* (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity Supplementary Material. En V. Masson-Delmotte *et al.*, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

² World Meteorological Organization. (WMO). (2022). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022. GAW Report No. 278.

ANEXO D. EQUIPO PARA USO DE NITRÓGENO SECO, LIBRE DE OXÍGENO

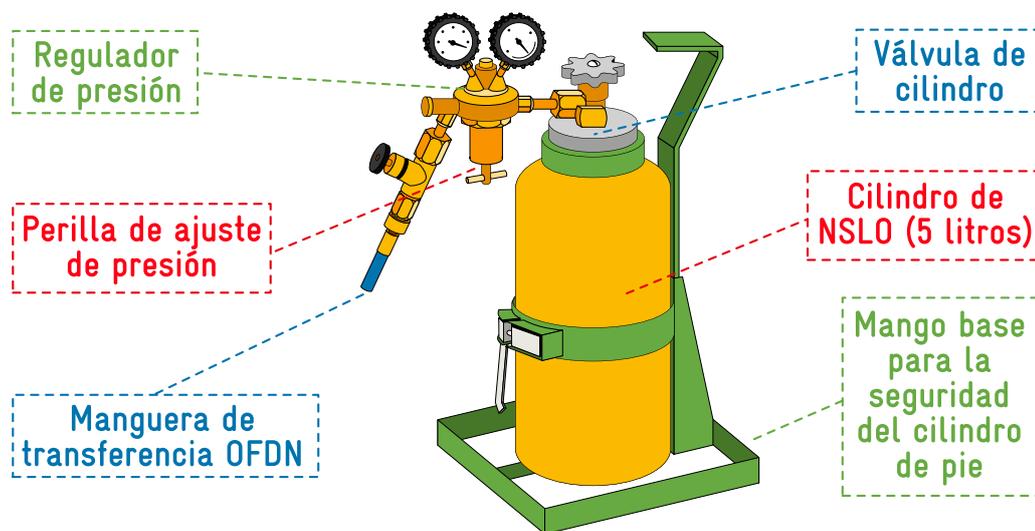
El nitrógeno es un gas incoloro, insaboro e inodoro que compone el 78,08% del aire atmosférico que respiramos; no es inflamable ni aportante a la combustión y sin impacto ambiental cuando se libera a la atmósfera.

Para los procedimientos de fabricación, instalación y mantenimiento de sistemas RAC, solo debe emplearse Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno junto con un regulador de presión confiable y apropiado, para reducir la presión con seguridad a los niveles requeridos; igualmente, debe utilizarse una manguera de transferencia diseñada y certificada para tal fin. Las mangueras de refrigeración pueden tener, en la mayoría de los casos, la especificación requerida para ser utilizadas con nitrógeno seco presurizado.

El nitrógeno seco en refrigeración puede utilizarse para las siguientes operaciones:

- » Prueba de fuga en combinación con una solución de agua jabonosa débil (prueba de burbujas).
- » Prueba de presión de los sistemas RAC (prueba de esfuerzo).
- » Prueba de fuga en combinación con hidrógeno (95% de nitrógeno y 5% de hidrógeno) empleando detectores de hidrógeno.
- » Limpieza del circuito de refrigeración para eliminar contaminantes, liberar componentes bloqueados y eliminar obstrucciones de capilares.
- » Purga de aire de las tuberías antes de calentarla y durante la soldadura fuerte para evitar la formación de óxidos de cobre en la superficie interior de las tuberías.
- » Purga de refrigerantes en tuberías y componentes durante la soldadura fuerte para evitar la formación de productos tóxicos y ácidos nocivos.
- » Como "gas protector" cargado en un sistema o en los componentes de ensambles para evitar la entrada de aire y humedad.
- » Como sustancia limpiadora de las superficies de los intercambiadores de calor del polvo y la suciedad (por ejemplo el condensador).

FIGURA 14. EJEMPLO DE DISPOSICIÓN DE CILINDROS DE NITRÓGENO SECO LIBRE DE OXÍGENO



Fuente: elaboración propia.

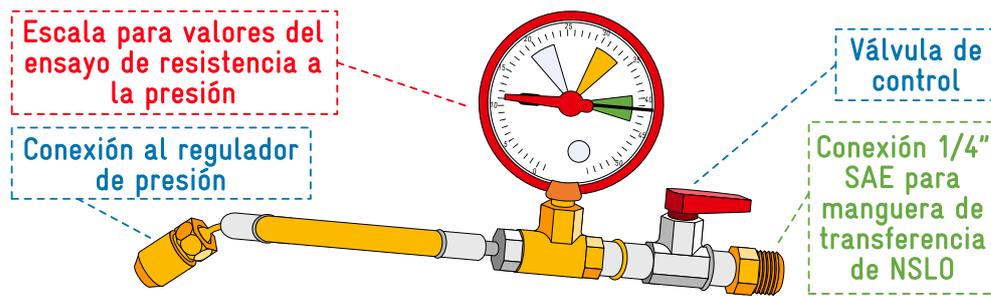
El nitrógeno seco puede absorber una gran parte de la humedad en un circuito de refrigeración en los procesos de instalación y puesta en marcha.

El uso de un regulador de presión conectado al cilindro de Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno es muy importante, por seguridad. El regulador tiene un dispositivo limitador de presión. La regulación del dispositivo depende del tipo de refrigerante que se utilice, en general, para los refrigerantes HCFC, HFC y HC, una presión de 40 bar es suficiente. No

debe sobrepresionarse el sistema de refrigeración para no causar daños o generar situaciones peligrosas.

Actualmente, se dispone de kits de prueba de presión de Nitrógeno Seco Libre de Oxígeno para el monitoreo de los sistemas RAC que contienen un manómetro intermedio entre el sistema y el regulador de presión de nitrógeno seco que indica el valor de presión de prueba correcto de acuerdo con el refrigerante utilizado.

FIGURA 15. CONJUNTO DE MEDIDORES DE CONTROL DE LA PRESIÓN INTERMEDIA

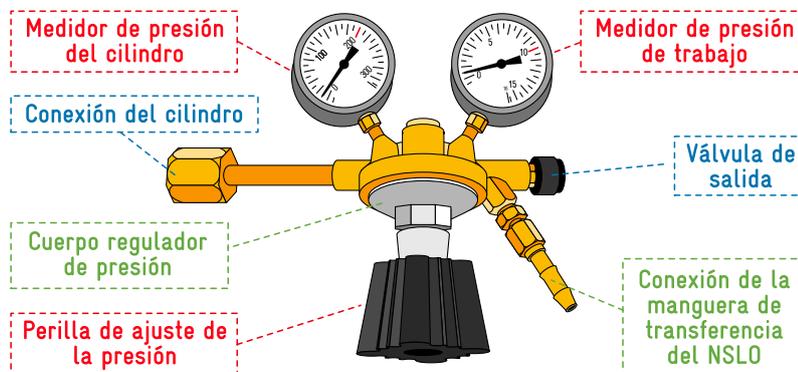


Fuente: elaboración propia con base en Rolf Hühren, HEAT GmbH.

Los reguladores de presión están diseñados para controlar la presión y están provistos de unos manómetros indicadores. No miden ni controlan el flujo del Nitrógeno

Seco Libre de Oxígeno, a menos que tengan dispositivos para esto; como una válvula de medición o un medidor de flujo.

FIGURA 16. EJEMPLO DE REGULADOR DE PRESIÓN NITRÓGENO SECO LIBRE DE OXÍGENO



Fuente: elaboración propia con base en Rolf Hühren, HEAT GmbH.

El nitrógeno que se emplea en refrigeración y acondicionamiento de aire para actividades de mantenimiento

se suministra en cilindros de alta presión, como se indica en la tabla siguiente.

TABLA 24. CILINDRO COMÚNMENTE USADO PARA EL NITRÓGENO SECO LIBRE DE OXÍGENO Y EL GAS TRAZADOR

CONTENIDO DE LOS CILINDROS (LITROS)	PRESIÓN DE LLENADO (BAR)	CONTENIDO DE GAS (m ³)	PESO BRUTO APROX. DEL CILINDRO (kg)
5	200	1	9,8
10	200	1911	15,7
20	200	3822	37,0
50	200	9556	77,7

Fuente: Rolf Hühren, HEAT GmbH.

Nota: los procedimientos de prueba de presión se ejecutan a altas presiones. Las presiones son lo suficientemente altas

como para causar lesiones graves o la muerte. El nitrógeno es asfixiante y causa asfixia en altas concentraciones.

ANEXO E. CÁLCULO DE SOBRECALENTAMIENTO Y SUBENFRIAMIENTO

Sobrecalentamiento

El sobrecalentamiento se mide en el sitio donde se ubica el bulbo de la válvula de expansión en la tubería de succión y se mide como la diferencia entre la temperatura existente en el bulbo y la presión de evaporación/temperatura en el mismo punto. El sobrecalentamiento se mide en Kelvin (K) y es un indicador de la correcta inyección de líquido a la válvula de expansión.

Normalmente, la válvula de expansión está ajustada de fábrica para la mayoría de aplicaciones. De ser necesario, la válvula puede ajustarse girando el tornillo en sentido derecho para aumentar el sobrecalentamiento y en sentido izquierdo para disminuirlo. Para válvulas tipo T/TE 2, una vuelta del tornillo resulta en un cambio en el sobrecalentamiento de aproximadamente 4 K, a una temperatura de evaporación de 0 °C.

Medición del sobrecalentamiento

Para válvulas de expansión con igualador externo, se mide la temperatura del refrigerante a la salida del evaporador en el sitio donde está ubicado el bulbo sensor; previamente, debe limpiarse la superficie del tubo de succión en la que se va a poner y fijar el sensor con cinta aislante. La temperatura en un sistema de refrigeración comercial con R-290 podrá ser de 11 °C (284,15 K), aproximadamente.

Posteriormente, se determina la presión de succión con un manómetro calibrado, conectado a una T previamente instalada en cualquiera de los dos extremos de la línea del igualador; si la presión registrada es de 304 kPa (44 psig a nivel del mar), en la tabla de presión-temperatura se determina la temperatura de saturación para el R-290, correspondiente a dicha presión; en este caso, será de -5 °C (268,15 K). El sobrecalentamiento será la diferencia entre la temperatura de saturación (-5 °C | 268,15 K) y la temperatura medida en el primer paso (11 °C | 284,15 K); es decir:

$$\text{Sobrecalentamiento} = 284,15 \text{ °C} - 268,15 \text{ °C} = 16 \text{ °C o } 16 \text{ K}$$

Si la válvula de expansión no cuenta con igualador, se determina la temperatura del refrigerante a la salida del evaporador como en el paso anterior (11 °C | 284,15 K). Después, se mide la presión de succión con un manómetro calibrado directamente en la válvula de succión del compresor (42 psig), se estima la pérdida de presión por conexiones y accesorios en la línea de succión, que para el caso se asume de 2 psi. Para determinar la presión de succión a la salida del evaporador, se suma este valor a la presión obtenida en la válvula de servicio del compresor obteniendo:

$$\text{Presión de succión} = 42 \text{ psig} + 2,0 \text{ psi} = 44 \text{ psig}$$

En la tabla de presión-temperatura para R-290 se determina la temperatura de saturación correspondiente a esta presión, que para el ejemplo será de -5 °C (268,15K). El

sobrecalentamiento será la diferencia entre la temperatura de saturación (-5 °C | 268,15 K) y la temperatura medida en el primer paso (11 °C | 284,15 K); es decir:

$$\text{Sobrecalentamiento} = 284,15 \text{ °C} - 268,15 \text{ °C} = 16 \text{ °C o } 16 \text{ K}$$

Independientemente del refrigerante utilizado, el sobrecalentamiento deberá estar, de acuerdo con la aplicación, en rangos de temperatura aproximados a los siguientes:

- » Alta temperatura (temperatura de evaporación > 8 °C) entre 8 K y 10 K.
- » Media temperatura (temperatura de evaporación -18 °C a 8 °C) entre 4 K y 8 K.
- » Baja temperatura (temperatura de evaporación < -18 °C) entre 1 K y 4 K.

Subenfriamiento

El subenfriamiento se especifica como la diferencia entre la temperatura del refrigerante líquido saliendo del condensador y la presión/temperatura a la entrada de la válvula de expansión. El subenfriamiento se mide en Kelvin (K) y es un indicador de la correcta carga de refrigerante en el sistema; además, permite evitar burbujas de vapor en el líquido refrigerante antes de la válvula de expansión, dado que disminuyen la capacidad de la válvula y reducen el suministro de líquido al evaporador. Un subenfriamiento entre 4 K y 5 K es satisfactorio para la mayoría de las aplicaciones.

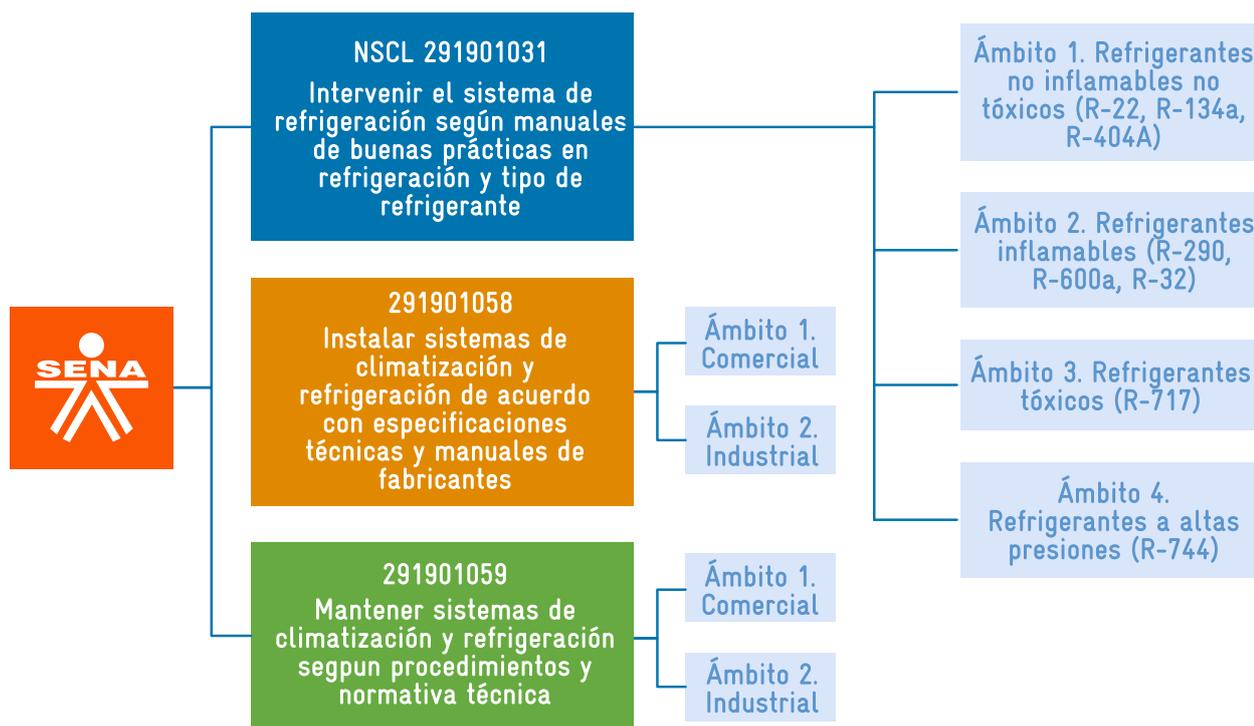
Medición del subenfriamiento

Para determinar el subenfriamiento debe limpiarse la superficie del tubo de líquido en la que se va a colocar y fijar el sensor con cinta aislante. Si para un sistema de refrigeración con R-290 se asume que la temperatura obtenida es de 35 °C (308,15 K), posteriormente, se determina la presión de descarga con un manómetro calibrado, directamente en la válvula de servicio a la salida del compresor que, para el ejemplo, puede ser 12,4 bar (180 psig). Se estima la pérdida de presión por conexiones, accesorios y el serpentín del condensador, la cual puede ser de 4 psi. Para determinar la presión a la salida del condensador, se suma este valor a la presión obtenida en la válvula de servicio del compresor, obteniendo que

$$\text{Presión de condensación} = 180 \text{ psig} + 4,0 \text{ psi} = 184 \text{ psig}$$

En la tabla de presión-temperatura, se determina la temperatura de saturación para el R-290 correspondiente a la presión registrada. El subenfriamiento será la diferencia entre la temperatura de saturación 40 °C (313,15 K) y la temperatura medida en el primer paso (35 °C | 308,15 K); es decir:

$$\text{Subenfriamiento} = 40 \text{ °C} - 35 \text{ °C} = 5 \text{ °C o } 5 \text{ K}$$



Fuente: elaboración propia.

Competencia técnica para la detección de fugas/pruebas de detección de fugas

Las pruebas de detección de fugas en los sistemas de refrigeración solo pueden ser realizadas por personal capacitado en tecnologías de refrigeración y acondicionamiento de aire y calificado en competencias técnicas del sector como ingenieros o técnicos, quienes requieren conocimientos especializados en áreas fundamentales y procedimientos de ensayo, si procede, como las siguientes:

- » Detección y prueba de fugas en relación con la hermeticidad de los sistemas de refrigeración.
- » Normas y reglamentos relativos a la hermeticidad, la detección y pruebas de fugas en los sistemas de refrigeración.
- » Requisitos de hermeticidad (tasas de fugas permitidas).
- » Unidades de tasa de fuga, flujo a través de las fugas, conversión de la tasa de fuga en función del material y la presión.
- » Principios de la prueba de fugas.
- » Prueba de fugas con base en la presión y procedimiento de detección de fugas.
- » Procedimiento de pérdida de vacío.
- » Evaluación de las pruebas de fuga y los procedimientos de detección de fugas, incluidas las sensibilidades de detección.

- » Influencia de los líquidos en la hermeticidad.
- » Rendimiento de la detección de fugas/prueba de fugas. hojas de inspección, registro de consumo de refrigerante.
- » Evaluación de los dispositivos de detección de fugas, principios funcionales.
- » Dispositivos electrónicos de detección de fugas de halógenos (equipos fijos), propiedades, manejo, posicionamiento correcto, fugas de calibración.
- » Dispositivos de detección de fugas en montaje, propiedades de los dispositivos actualmente en el mercado, necesidad de prueba de los dispositivos de detección de fugas.
- » Detección de fugas/prueba de fugas con amoníaco e hidrocarburos.
- » Detección de fugas/pruebas de fugas con detectores de gas helio y detectores selectivos de gas con base en un espectrómetro de masa.
- » Detección de fugas/pruebas de fugas con detectores infrarrojos.
- » Procedimiento especial: detección de aceite o aditivos con luz ultravioleta.

ANEXO G. REQUISITOS Y PROCEDIMIENTOS A CUMPLIR POR LAS EMPRESAS DE SERVICIOS EN REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

REQUISITOS Y PROCEDIMIENTOS DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD							
Requisitos y procedimientos durante la instalación				Requisitos y procedimientos durante el mantenimiento			Otros
Ensayo de alarmas	Seguimiento al proceso de instalación	Ensayo de conformidad de la instalación	Gestión documental	Medición de variables Mantenimiento preventivo	Control de fugas	Mantenimiento correctivo	

REQUISITOS DE LA EMPRESA		
Recursos humanos, materiales, herramientas e instrumentos.	Autorizaciones, certificados, marcado de equipos y componentes y documentación de procedimientos.	Protección de datos, responsabilidad social, control de riesgos laborales, cumplimiento de normas y reglamentos, otros. RETSIT, Resolución 2254 CAI, otros.

Nota: información basada en los procedimientos técnicos de detección de fugas y buenas prácticas en refrigeración.

ANEXO H. TABLA DE PERIODICIDAD DE CONTROL DE FUGAS DEL SISTEMA COMO LO INDICA LA NTC6228 PARTE 4

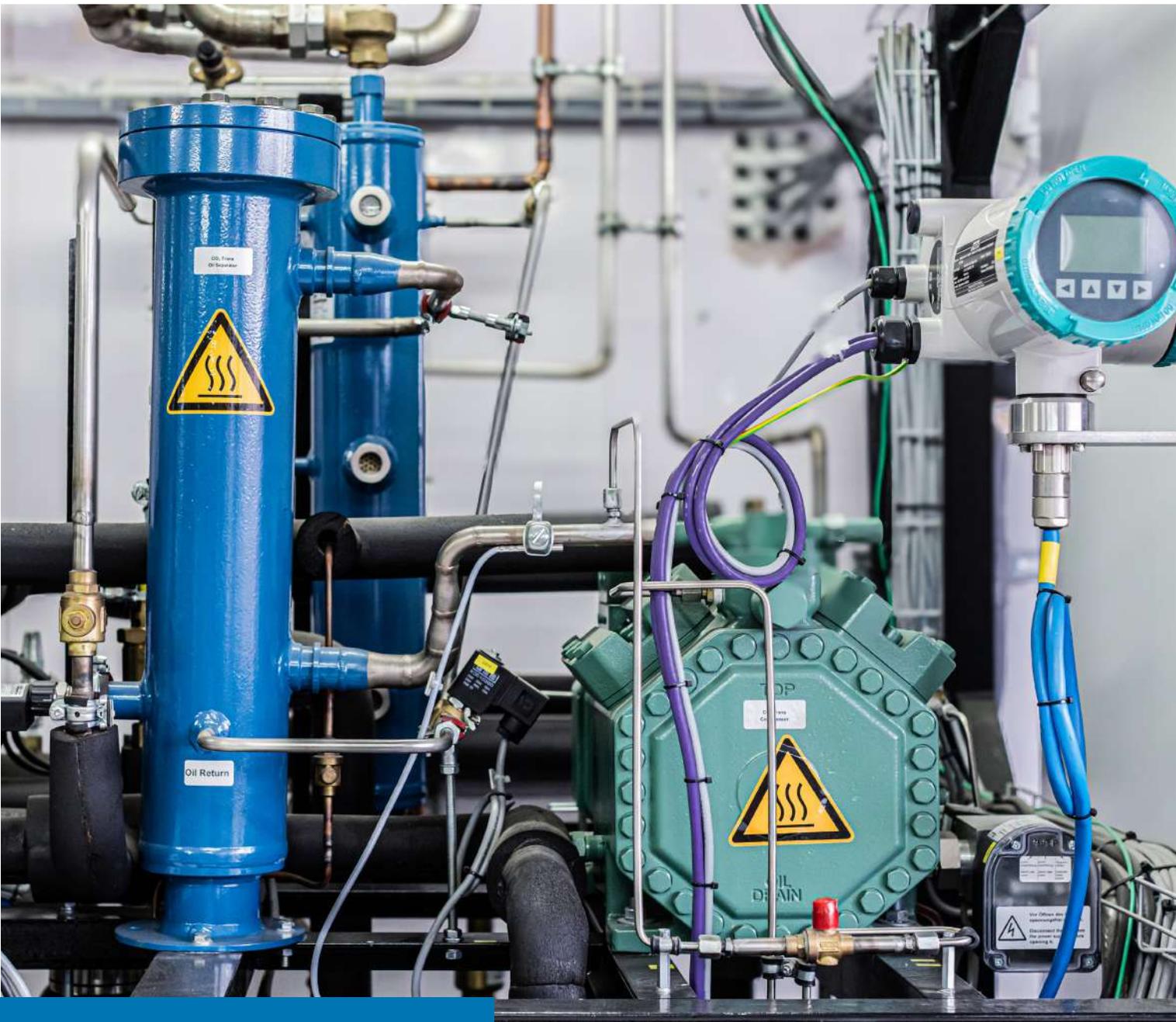
TABLA 25. INSPECCIÓN DURANTE EL SERVICIO

SECCIÓN	INSPECCIÓN		PRUEBA		
	VISUAL EXTERNA	CORROSIÓN	PRUEBA DE PRESIÓN PARA EL SISTEMA	DETECCIÓN DE FUGAS DE REFRIGERANTE (A)	DISPOSITIVO DE SEGURIDAD
	NTC 6228-2 Anexo A	Anexo E			Verificación
D.2	X	X	X	X	
D.3	X		X	X	
D.4	X	X (b)		X	
D.5		X		X	
D.6					X
D.7	X			X	
(a) El lado de baja presión de un sistema operativo es llevado a sobrepresión (b) No para equipos nuevos					

D.2 La inspección durante el servicio se lleva a cabo después de un trabajo que probablemente afecte la resistencia o cuando haya ocurrido un cambio de utilización o cuando se cambia a otro refrigerante a una presión más alta o después de más de dos años de inactividad. Los componentes que no estén conformes se cambian. No se

aplican pruebas de presiones más altas de lo adecuado para las presiones del diseño de los componentes.

D.3 La inspección durante el servicio se lleva a cabo después de reparaciones o alteraciones significativas o extensiones a los sistemas o componentes.



Publicado por
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
GmbH

Programa Proklima
Domicilios de la Sociedad
Bonn y Eschborn, Alemania

Dag-Hammarskjöld Weg 1-5
65760 Eschborn, Alemania
T +49 61 96 79 - 1022
F +49 61 96 79 - 80 1022

E proklima@giz.de
www.giz.de/proklima

Unidad Técnica Ozono
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Carrera 13 # 37-38 Bogotá D.C. Colombia
T +57 1 3323400 ext. 2401, 1241
www.minambiente.gov.co