



# Ambiente



## Guía de buenas prácticas para equipos y sistemas de refrigeración comercial con refrigerante hidrocarburo R-290



## 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**  
Jairo Orlando Hómez Sánchez (E)

**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  
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, consultor externo  
César Alejandro Isaza Roldán

**Revisión temática**  
MinAmbiente; UTO, PNUD  
Edwin Mauricio Dickson

**GIZ**  
María Carolina Vélez Rincón  
Julián David González Venegas  
Primera edición: abril de 2025  
© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia  
(MinAmbiente)

**Nombre:** Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, autor | Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, autor | César Alejandro Isaza Roldán, autor.

**Título:** Guía de buenas prácticas para equipos y sistemas de refrigeración comercial con refrigerante hidrocarburo R-290.

**Descripción:** Bogotá : Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2025. | 141 páginas : figuras, fotografías, ilustraciones, gráficas y tablas.

Incluye bibliografía.

**Identificadores:** ISBN 978-628-7598-34-8 (digital).

**Materias:** Tesauro Ambiental para Colombia: Acondicionamiento de aire | Hidrocarburos | Impacto ambiental | Normas técnicas de calidad ambiental | Refrigeración comercial | Refrigerante | Seguridad industrial

**Clasificación:** CDD 621.56 -dc21

CO\_BoCDM

© GIZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

**Corrección de estilo:** GIZ, consultor externo  
Óscar Enrique Alfonso

**Edición y cuidado del texto:** Andrés Felipe Tapiero Ríos, Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

**Diseño y diagramación:** Fundación Aica Colectivo

**ISBN (digital):** 978-628-7598-34-8

**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.

WESTON REGISTRO DE INSPECCIÓN DE PRESIÓN

SERIE: \_\_\_\_\_ IDP: 9489

22-12-23

FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
1	2	3	4	5
<u>200</u>				
PSI	PSI	PSI	PSI	PSI
<u>Dago Kuz R. Martinez</u>				
REPORTA	REPORTA	REPORTA	REPORTA	REPORTA

# CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS	12
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>15</b>
<b>2. REFRIGERANTES HIDROCARBUROS (HC) CARACTERÍSTICAS E IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>16</b>
2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES HC POR GRUPO DE SEGURIDAD	16
2.2 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL USO DE REFRIGERANTES HC	18
2.3 REFRIGERANTE PROPANO R-290	18
2.3.1 Propiedades del R-290 como hidrocarburo	19
2.3.2 Características del R-290 como refrigerante	20
2.3.3 Aceites compatibles con R-290	23
2.3.3.1 Aceites minerales (MO) para R-290	25
2.3.3.2 Aceites sintéticos para R-290	25
<b>3. EQUIPOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290</b>	<b>27</b>
3.1 Tipos de equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290	29
3.1.1 Equipos autocontenidos	29
3.1.2 Sistemas distribuidos	32
3.1.2.1 Sistemas distribuidos de expansión directa	32
3.1.2.2 Sistemas distribuidos de condensación indirecta	33
3.1.3 Sistemas unidad condensadora remota	33
3.1.4 Sistemas centralizados	33
3.1.4.1 Sistemas centralizados de expansión directa	33
3.1.4.2 Sistemas centralizados de expansión indirecta	34
3.2 Componentes de los equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290	36
<b>4. NORMAS Y ESTÁNDARES TÉCNICOS RELACIONADOS CON REFRIGERACIÓN COMERCIAL</b>	<b>41</b>
<b>5. REQUISITOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD EN REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290</b>	<b>43</b>
5.1 Cantidad máxima de R-290 por espacio ocupado	45
5.2 Requisitos de diseño, construcción e instalación	52
5.3 Requisitos para el sitio de instalación	53
5.4 Requisitos de operación, mantenimiento y reparación	53
<b>6. CONDICIONES INICIALES PARA EL MANTENIMIENTO EN REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290</b>	<b>55</b>
6.1 Estado previo del lugar de trabajo	55
6.1.1 Precauciones generales	55
6.1.2 Ubicación del equipo o sistema de refrigeración en el sitio de trabajo	56
6.1.3 Ambiente del taller de servicio técnico	56
6.1.4 Situación y condiciones básicas del sitio de trabajo	56
6.2 Inspección inicial de equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290	58
6.3 Lineamientos de seguridad y salud ocupacional (SSO) previas al mantenimiento y manejo seguro de R-290	58
6.3.1 Herramientas, equipos básicos y elementos de protección personal	58
6.4 Identificación de riesgos generales con R-290	66

# CONTENIDO

<b>7. BUENAS PRÁCTICAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290</b>	<b>70</b>
7.1 Mantenimiento preventivo	70
7.1.1 Mantenimiento preventivo para conservar requerimientos de seguridad y ambientales	71
7.1.2 Mantenimiento preventivo para conservar el desempeño óptimo del equipo o sistema de refrigeración	73
7.1.2.1 Mantenimiento preventivo eléctrico	73
7.1.2.2 Mantenimiento preventivo mecánico	73
7.1.2.3 Mantenimiento preventivo de limpieza	76
7.1.2.4 Mantenimiento preventivo para detectar fugas	77
7.1.3 Lista de chequeo del servicio técnico de mantenimiento preventivo	80
7.2 Mantenimiento correctivo	84
7.2.1 Valoración de seguridad	87
7.2.2 Procesos preliminares (PP)	88
7.2.2.1 Proceso (PP1): Pruebas electro-electrónicas	88
7.2.2.2 Proceso (PP2) verificación de la carga	91
7.2.2.3 Proceso (PP3) de remoción de refrigerante R-290	91
7.2.2.4 Proceso (PP4) apertura del sistema	97
7.2.3 Procesos de barrido y limpieza (PBL)	98
7.2.3.1 Proceso (PBL1) cambio de filtro y de aceite	98
7.2.3.2 Proceso (PBL2) barrido con nitrógeno	100
7.2.3.3 Proceso (PBL3) limpieza con filtro de alta eficiencia	103
7.2.3.4 Proceso (Pbl4) prueba de acidez	106
7.2.4 Procesos complementarios (PC)	107
7.2.4.1 Proceso (PC1) cambio de compresor y componentes para equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290	107
7.2.4.2 Proceso (PC2) detección y reparación de fugas	111
7.2.5 Procesos finales (PF)	113
7.2.5.1 Proceso (PF1) prueba de estanqueidad (hermeticidad)	113
7.2.5.2 Proceso (PF2) de vacío	115
7.2.5.3 Proceso (PF3) carga de refrigerante R-290	120
7.2.5.4 Proceso (PF4) puesta en marcha, estabilización	123
7.2.5.4.1 Condiciones para la medición de temperatura durante la estabilización	123
<b>8. PROCEDIMIENTO DE DESINSTALACIÓN/DESMANTELAMIENTO Y GESTIÓN AMBIENTALMENTE ADECUADA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON HIDROCARBUROS</b>	<b>126</b>
<b>9. RECOMENDACIONES PARA EL PROPIETARIO DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON HIDROCARBUROS</b>	<b>128</b>
9.1 Equipos autocontenidos	128
9.2 Unidades remotas, sistemas distribuidos y centralizados	129
<b>10. REFERENCIAS</b>	<b>131</b>
<b>11. ANEXOS</b>	<b>132</b>
Anexo A. Impacto ambiental asociado al uso de los refrigerantes	132
Anexo B. Refrigerantes naturales	135
Anexo C. Organizaciones internacionales y nacionales de normalización y estándares para refrigeración	136
Anexo D. Ficha de datos de seguridad relacionados con R-290	140
Anexo E. Evaluación de riesgos para trabajos de servicio técnico, instalación y mantenimiento	141

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Refrigerantes HC	17
Tabla 2.	Comparación del R-290 con otros HC comunes	19
Tabla 3.	Especificaciones de R-290 de acuerdo con DIN 8960-1998	21
Tabla 4.	Comparación de propiedades del R-290 con otros refrigerantes comunes	22
Tabla 5.	Rangos de aplicación para refrigerantes de HC	23
Tabla 6.	Aceites compatibles con el refrigerante R-290	24
Tabla 7.	Aceites recomendados según el refrigerante	24
Tabla 8.	Ejemplos de nombres comerciales de tipos de gabinetes y equipos de refrigeración comercial	27
Tabla 9.	Propiedades de los principales fluidos secundarios usados en sistemas de refrigeración comercial por expansión indirecta	35
Tabla 10.	Comparación energética relativa de algunos fluidos secundarios usados en sistemas de expansión indirecta	35
Tabla 11.	Alcance de las normas nacionales e internacionales de seguridad para los sistemas de refrigeración comercial	42
Tabla 12.	Obligaciones técnicas generales bajo las normas de seguridad para los sistemas de refrigeración comercial	43
Tabla 13.	Información de seguridad del R-290	45
Tabla 14.	Categorías de ocupación	46
Tabla 15.	Clasificación de la ubicación de los sistemas de refrigeración	47
Tabla 16.	Requerimientos de límite de carga para sistemas de refrigeración basados en toxicidad clase A (R-290)	48
Tabla 17.	Cota superior de la carga máxima de R-290 basada en la inflamabilidad	50
Tabla 18.	Frecuencia de la inspección de fugas en sistemas con R-290	72
Tabla 19.	Ejemplo de lista de chequeo en mantenimiento preventivo para refrigeración comercial	81
Tabla 20.	Nivel de acidez según el tipo de aceite	106
Tabla 21.	Valores comparativos de medición de vacío	119

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de seguridad de los refrigerantes	16
Figura 2.	Diferencia entre el LFL y UFL	17
Figura 3.	Clasificación de los gases refrigerantes	18
Figura 4.	Composición molecular del propano R-290	18
Figura 5.	Límite superior e inferior de inflamabilidad del refrigerante R-290	20
Figura 6.	Capacidad volumétrica del R-290, R-134a, R-404A, R-600a y R-1270, en relación con el R22, respecto a temperatura de evaporación, temperatura de condensación de 45 °C y temperatura de aspiración de 32 °C, sin subenfriamiento	22
Figura 7.	Refrigeración comercial en tiendas y supermercados	27
Figura 8.	Muebles de refrigeración comercial de capacidad baja y alta	27
Figura 9.	Muebles frigoríficos usados en refrigeración comercial tipo abierto (isla) y cerrado (exhibidor-mural)	28
Figura 10.	Sistema de expansión y condensación indirecta	29
Figura 11.	Esquema de sistema autocontenido de expansión directa (congelador horizontal)	29
Figura 12.	Esquema refrigerador exhibidor vertical autocontenido	30
Figura 13.	Esquema refrigerador tipo vitrina mostrador autocontenido	31
Figura 14.	Esquema refrigerador tipo vitrina mostrador autocontenido	31
Figura 15.	Esquema refrigerador tipo isla autocontenido	31
Figura 16.	Esquema mesa refrigerada autocontenida de uso profesional	31
Figura 17.	Sistema de expansión directa uno a uno condensado por aire (cava o cuarto frío)	32
Figura 18.	Cámara frigorífica de paneles de prefabricados tipo sándwich	32
Figura 19.	Unidad evaporadora waterloop condensada por agua	33
Figura 20.	Cámara frigorífica con sistema waterloop uno a uno	33
Figura 21.	Sistema aeroenfriador con grupo hidráulico incorporado	33
Figura 22.	Refrigeradores tipo isla conectados a un sistema centralizado	34
Figura 23.	Equipos de refrigeración comercial centralizado a unidad condensadora (exhibidor mural, isla, vitrina y mostrador)	34
Figura 24.	Sistema centralizado de refrigeración tipo rack	34
Figura 25.	Condensador de aire en sistema centralizado de expansión directa	34
Figura 26.	Sistema centralizado de expansión indirecta	35
Figura 27.	Sistema centralizado con unidad evaporadora waterloop y equipos autocontenidos semi <i>plug-in</i>	36
Figura 28.	Componentes básicos de un refrigerador comercial autocontenido	36
Figura 29.	Ejemplos de sistemas de refrigeración comercial con R-290 por tipo de instalación	44
Figura 30.	Ejemplo de la relación entre la carga de refrigerante, la capacidad de refrigeración y el COP	44
Figura 31.	Ejemplos de sistemas directos	46
Figura 32.	Ejemplo de un sistema indirecto	46
Figura 33.	Categoría general	46
Figura 34.	Categoría supervisada	46
Figura 35.	Categoría autorizada	46
Figura 36.	Ubicación de los sistemas de refrigeración tipo I	47
Figura 37.	Ubicación de los sistemas de refrigeración tipo II	47
Figura 38.	Ubicación de los sistemas de refrigeración tipo III	47
Figura 39.	Ubicación de los sistemas de refrigeración tipo IV	47
Figura 40.	Volumen mínimo requerido para cargas de refrigerante R-290 que superan la cota superior para diferentes alturas del equipo (ho) con acceso (a) cLase I y clase II	53
Figura 41.	Pasos básicos para seguir en la evaluación del riesgo de inflamabilidad	55
Figura 42.	Etiqueta de advertencia para inicio de servicio técnico	56
Figura 43.	Ventilación permanente en el taller de servicio o recinto	57
Figura 44.	Triángulo del fuego	57
Figura 45.	Ejemplo de cálculo y etiquetas de seguridad para advertir la inflamabilidad	57
Figura 46.	Medición de sobrecalentamiento	74
Figura 47.	Válvula de expansión termostática (VT) con tornillo de ajuste	74
Figura 48.	Ajuste de oscilación de temperatura en el evaporador	74

Figura 49. Ajuste de sobrecalentamiento excesivo en el evaporador	74
Figura 50. Medición del subenfriamiento	75
Figura 51. Herramientas y terminales eléctricos	90
Figura 52. Conexión a tierra durante el trabajo para evitar la ESD descarga electrostática	90
Figura 53. Conexión cilindro de nitrógeno a la manguera de servicio del manómetro	102
Figura 54. Acople de la válvula a tubo de servicio	102
Figura 55. Conexión manguera de descarga al manómetro y conexión de manguera de baja a la válvula de tubo de servicio	102
Figura 56. Ubicación de manguera hacia exterior del recinto	102
Figura 57. Filtro de alta eficiencia tipo HH o 'de quema'	103
Figura 58. Corte tubo capilar del filtro	104
Figura 59. Retiro del filtro secador	104
Figura 60. Taponamiento del tubo unión condensador-filtro secador y extremo libre del capilar	104
Figura 61. Instalación del nuevo filtro ubicado entre el capilar y el condensador	104
Figura 62. Retiro de tapones y soldadura entre el capilar y condensador al nuevo filtro con soldadura de plata al 5%	105
Figura 63. Soldadura de plata al 35 % de los tubos de servicio de baja	105
Figura 64. Soldadura al 35 % de los tubos de servicio de alta	105
Figura 65. Motor BLDC	107
Figura 66. Principales elementos de control de un compresor inverter	108
Figura 67. Corte y taponamiento del tubo de baja	109
Figura 68. Corte y taponamiento del tubo de alta	109
Figura 69. Taponamiento de extremos de tubos de alta, baja y de servicio	110
Figura 70. Desmonte del compresor	110
Figura 71. Montaje del compresor	110
Figura 72. Impactos de las fugas de refrigerante (Guía de fugas)	111
Figura 73. Prueba de estanqueidad	113
Figura 74. Conexión del regulador al manómetro	114
Figura 75. Llenado del sistema con nitrógeno OFND	114
Figura 76. Cierre de la llave del manómetro	114
Figura 77. Detección de fugas con solución jabonosa	115
Figura 78. Corrección de fugas	115
Figura 79. Sistema presurizado por 10 min, para verificar presión	115
Figura 80. Variación del vacío con la temperatura ambiente	117
Figura 81. Variación del tiempo de vacío con la presión	117
Figura 82. Alistamiento para el proceso de vacío	117
Figura 83. Conexión de bomba de vacío con manguera de servicio del manómetro y el vacuómetro a la manguera azul	117
Figura 84. Verificación de la bomba de vacío y el conjunto de manómetros	118
Figura 85. Proceso de vacío	118
Figura 86. Cierre de la válvula del manómetro y apagado de bomba de vacío	118
Figura 87. Verificación de hermeticidad del sistema por 3-5 min	118
Figura 88. Alistamiento del kit de carga de R-290	121
Figura 89. Conexión cilindro a línea de servicio del manómetro	122
Figura 90. Apertura del cilindro y realizar precarga aprovechando el vacío	122
Figura 91. Verificación en el manómetro la carga, revisando la cantidad en gramos de refrigerante mostrados en la báscula	122
Figura 92. Completamiento de la carga	122
Figura 93. Conexión del dispositivo a una toma 110 V	123
Figura 94. Carga al 100 %	123
Figura 95. Revisión del llenado dentro de condensador y evaporador por temperatura	123
Figura 96. Procesos involucrados para la disposición de los aceites usados	127

# LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Sistema autocontenido de expansión directa (congelador horizontal)	29
Foto 2. Refrigerador exhibidor vertical autocontenido	30
Foto 3. Refrigerador tipo vitrina mostrador autocontenido	31
Foto 4. Refrigerador vitrina mural abierta autocontenido.	31
Foto 5. Refrigerador tipo isla autocontenido	31
Foto 6. Mesa refrigerada autocontenida de uso profesional	31
Foto 7. Cuarto frío pequeño con sistema monoblock	31
Foto 8. Unidad evaporadora <i>plug in</i> condensada por agua para gabinetes verticales	31
Foto 9. Sistema autocontenido enfriado por agua	32
Foto 10. Unidad condensadora enfriada por aire con compresor hermético y evaporador con ventilador incorporado	33
Foto 11. Compresor recíprocante hermético	37
Foto 12. Compresor rotativo hermético	37
Foto 13. Compresor <i>scroll</i> hermético	37
Foto 14. Compresor recíprocante semihermético	37
Foto 15. Condensador estático	37
Foto 16. Condensador aire unitario	37
Foto 17. Condensador aire centralizado	37
Foto 18. Condensador indirecto de agua tubo entre tubo tipo coil	37
Foto 19. Condensador indirecto con agua de placas	37
Foto 20. Condensador de enfriamiento evaporativo	37
Foto 21. Tubo capilar	37
Foto 22. Válvula de expansión termostática	37
Foto 23. Válvula de expansión electrónica	37
Foto 24. Evaporador estático tipo <i>roll bond</i>	38
Foto 25. Evaporador congelador estático	38
Foto 26. Evaporador semiestático	38
Foto 27. Evaporador tubos y aletas de convección forzada	38
Foto 28. Evaporador con cortina de aire	38
Foto 29. Evaporadores por convección forzada	38
Foto 30. Evaporador sumergible tipo coil	38
Foto 31. Evaporador coraza y tubo	38
Foto 32. Evaporador tubo entre tubo tipo coil	38
Foto 33. Evaporador de placas	38
Foto 34. Termostato	39
Foto 35. Presostato	39
Foto 36. Controlador	39
Foto 37. Depósito de líquido condensado	39
Foto 38. Filtro secador	39
Foto 39. Separador de aceite	39
Foto 40. Indicador de líquido	39
Foto 41. Calefactor de cárter	39
Foto 42. Separador de aire.	39
Foto 43. Ejemplo placa de identificación típica para equipos y sistemas de refrigeración comercial autocontenidos con R-290	52
Foto 44. Juego de manómetros 4 vías	58
Foto 45. Máquina de vacío	58
Foto 46. Vacuómetro electrónico	58
Foto 47. Termómetro "PENTA"	59

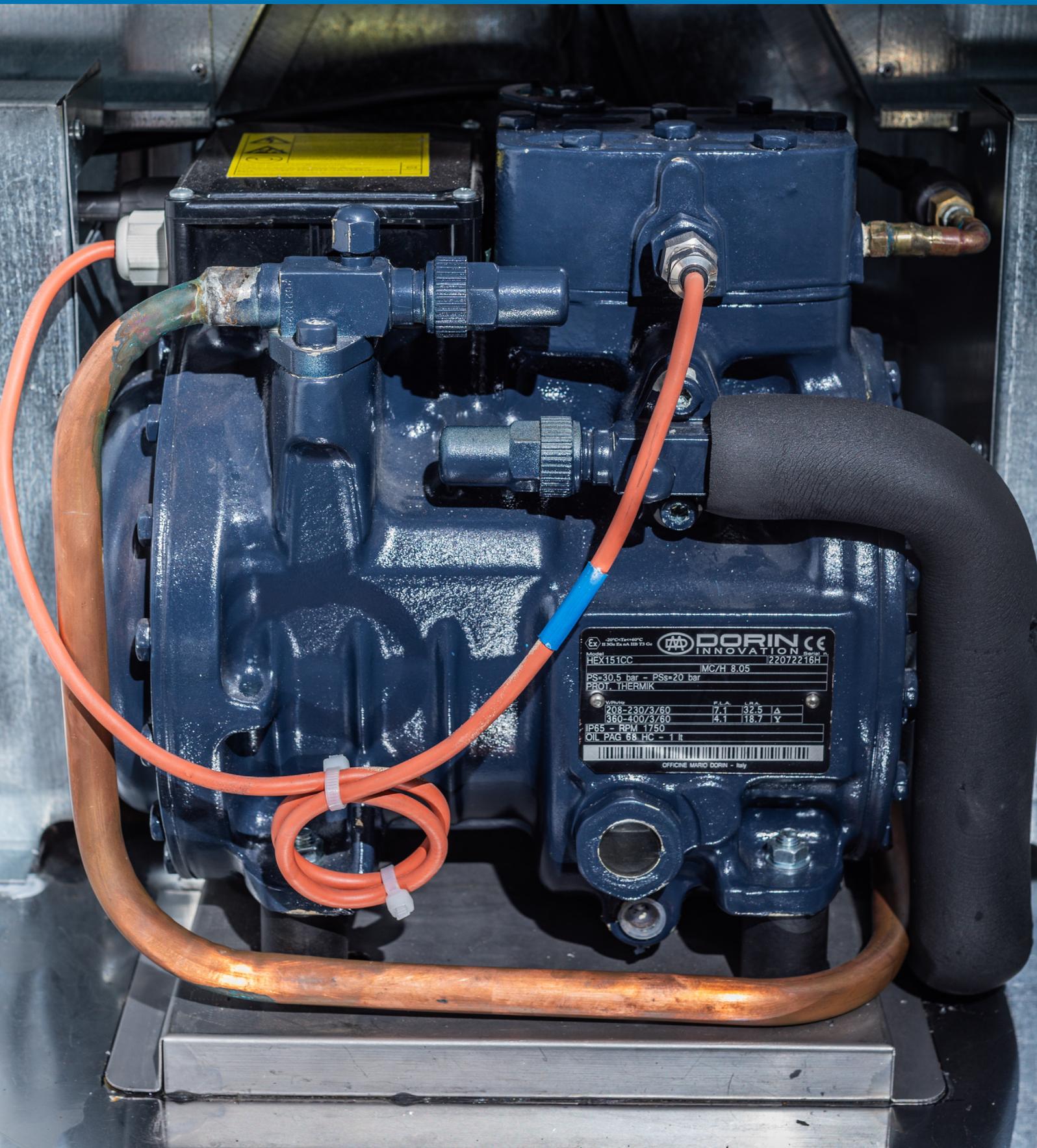
Foto 48. Detector de gases HC	59
Foto 49. Probador presión	59
Foto 50. Corta tubo	59
Foto 51. Rebabador	59
Foto 52. Corta capilar	59
Foto 53. Válvula pinchatubo	59
Foto 54. Válvula ponchatubo	59
Foto 55. Nitrógeno NSLO	59
Foto 56. Conjunto de vacío y carga	60
Foto 57. APP Regla "P vs T" o "PT"	60
Foto 58. Manguera de venteo	60
Foto 59. Adaptador para carga	60
Foto 60. Válvula para carga	60
Foto 61. Tanque refrigerante	60
Foto 62. Control fuga de referencia	60
Foto 63. Ventilador portátil	60
Foto 64. Balanza electrónica	60
Foto 65. Analizador digital de refrigeración	61
Foto 66. Mangueras con válvula	61
Foto 67. Mangueras de mantenimiento	61
Foto 68. Equipo de soldadura	61
Foto 69. Equipo uniones frías	61
Foto 70. Sellador lokprep	61
Foto 71. Acople rápido, 6,35 (1/4")	61
Foto 72. Acople rápido, 5mm, (1/4")	61
Foto 73. Corta tubo	61
Foto 74. Unión lokring simétrica	62
Foto 75. Unión lokring líquido	62
Foto 76. Calibrador "pie de rey"	62
Foto 77. Adaptadores rápidos	62
Foto 78. Espejo telescópico	62
Foto 79. Esponjilla limpieza	62
Foto 80. Chispero o yesquero	62
Foto 81. Grata o cepillo	62
Foto 82. Manorregulador N2	62
Foto 83. Aporte soldadura plata	63
Foto 84. Soldadura fosforada	63
Foto 85. Fundente Flux Silvering	63
Foto 86. Prueba de burbuja	63
Foto 87. Pliego de tela de lija	63
Foto 88. Aerosol térmico	63
Foto 89. Dobl tubo	63
Foto 90. Filtro tres vías hc	63
Foto 91. Regleta metálica	63
Foto 92. Ponchadora terminales	64
Foto 93. Multímetro	64
Foto 94. Gafas para soldadura	64

Foto 95. Guantes trabajo general	64
Foto 96. Gafas de seguridad	64
Foto 97. Guantes de nitrilo	65
Foto 98. Lentes de seguridad	65
Foto 99. Botas de seguridad	65
Foto 100. Guantes de vaqueta	65
Foto 101. Protección auditiva	65
Foto 102. Overol	65
Foto 103. Manilla antiestática	65
Foto 104. Casco de seguridad	65
Foto 105. Guantes de látex	65
Foto 106. Extintor de incendio	66
Foto 107. Ruta de evacuación	66
Foto 108. Punto de encuentro	66
Foto 109. Directorio de emergencias	66
Foto 110. Material inflamable	66
Foto 111. Elementos "EPP"	66
Foto 112. Prohibido el paso	66
Foto 113. No fumar	66
Foto 114. Extintor de incendio / R-290	66
Foto 115. Mantenimiento preventivo para detección de fugas	77
Foto 116. Verificando la temperatura del condensador	89
Foto 117. Medición de temperatura	90
Foto 118. Evaporador escarchado	90
Foto 119. Venteo del refrigerante HC	93
Foto 120. Escenario de recuperación de gases inflamables y configuración ejemplar del lugar de trabajo en la empresa, o del lugar de instalación	93
Foto 121. Cilindro de recuperación DOT	93
Foto 122. Tubo de servicio acoplado a la válvula pinchadora	95
Foto 123. Válvula pinchadora ajustada al tubo de servicio	95
Foto 124. Conexión de manguera de ¼" al manómetro y la manguera de baja (manguera azul) al tubo de servicio	95
Foto 125. Conexión de la manguera hacia el exterior del recinto	95
Foto 126. Evacuación del refrigerante R-290	96
Foto 127. Retiro del filtro	96
Foto 128. Acople de mangueras para el proceso de barrido	96
Foto 129. Manera correcta de abrir el circuito por corte de filtro secador	97
Foto 130. Inertización con nitrógeno	100
Foto 131. Kits de prueba de presión con nitrógeno OFDN.	100
Foto 132. Manómetro intermedio	100
Foto 133. Regulador con manómetros para nitrógeno	101
Foto 134. Ejemplos de kits para prueba de acidez	106
Foto 135. Movimiento del sensor sniffer (TCD)	112
Foto 136. Tecnologías de detección de fugas	113
Foto 137. Detector de fugas ultravioleta	113
Foto 138. Bomba de vacío	116
Foto 139. Zona equivalente del manómetro que trabaja el vacuómetro	116
Foto 140. Proceso con el ponchatubo	124

# LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS

<b>AB</b>	Alquilbenceno
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute)
<b>APP</b>	Aplicación móvil
<b>ASHRAE</b>	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers)
<b>ATEL</b>	Límite de exposición de toxicidad aguda (Acute Toxicity Exposure Limit)
<b>BLDC</b>	Corriente continua sin escobillas (Brush Less Direct Current)
<b>BMUV</b>	Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores
<b>BMWK</b>	Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima
<b>BMZ</b>	Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo
<b>BPR</b>	Buenas prácticas en refrigeración
<b>C3H8</b>	Hidrocarburo propano
<b>CFC</b>	Clorofluorocarbonados
<b>DOT</b>	Departamento de Transporte de los Estados Unidos (Department of Transportation)
<b>EN</b>	Comité Europeo de Normalización
<b>EPP</b>	Elementos de protección personal
<b>ESD</b>	Descarga electrostática
<b>Etanol</b>	Alcohol etílico
<b>FCL</b>	Límite de concentración de inflamabilidad (Flammable Concentration Limit)
<b>GCI III</b>	Green Cooling Initiative III
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo
<b>GWP - PCG</b>	Potencial de calentamiento global (Global Warming Potential)
<b>HC</b>	Hidrocarburos
<b>HCFC</b>	Hidroclofluorocarbonados
<b>HFC</b>	Hidrofluorocarbonados
<b>HPMP II.</b>	Plan de Manejo para la Eliminación del Consumo de HCFC en Colombia, etapa II
<b>IEC</b>	Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission)
<b>IKI</b>	Iniciativa Internacional del Clima
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización (International Organization of Standardization)
<b>LFL</b>	Límite inferior de inflamabilidad
<b>M/AB</b>	Semisintéticos
<b>MEG</b>	Etilenglicol
<b>Metanol</b>	Alcohol metílico
<b>MinAmbiente</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<b>MO</b>	Mineral
<b>MP</b>	Mantenimiento preventivo
<b>MPG</b>	Propilenglicol
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana

<b>ODL</b>	Límite de anoxia (Anoxia Limit)
<b>ODP</b>	Ozone Depletion Potential (Potencial de agotamiento de ozono [PAO], pero se usará ODP para diferenciarla de la sigla de polialfaolefina).
<b>OEL</b>	Límite de exposición ocupacional
<b>OFDN</b>	Nitrógeno seco libre de oxígeno (Oxygen Free Dry Nitrogen)
<b>PAG</b>	Polialquilengicol
<b>PAO</b>	Polialfaolefina
<b>PBL</b>	Procedimientos de barrido y limpieza
<b>PL</b>	Límite práctico de concentración
<b>PM</b>	Protocolo de Montreal
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>POE</b>	Polioléster
<b>PP</b>	Procedimientos preliminares
<b>PSI</b>	Libras-fuerza por pulgada cuadrada (Pounds-force per-Square inch)
<b>PSIG</b>	Libras-fuerza por pulgada cuadrada, manométricas (Pounds-force per- Square inch, Gauge)
<b>PTC</b>	Coefficiente de temperatura positivo (Positive Temperatura Coefficient)
<b>QLAV</b>	Carga límite con ventilación adicional (Load Limit with Additional Ventilation)
<b>QLMV</b>	Carga límite con mínima ventilación (Load Limit with Minimum Ventilation)
<b>RAC</b>	Refrigeración y aire acondicionado
<b>RCL</b>	Límite de concentración de refrigerante
<b>RCL</b>	Límite de concentración del refrigerante (Refrigerant Concentration Limit)
<b>SAE</b>	Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers)
<b>SAO</b>	Sustancias agotadoras de ozono
<b>SSO</b>	Seguridad y Salud Ocupacional
<b>TEAP</b>	Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (Technology and Economic Assesment Panel)
<b>TEAP</b>	Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica del Protocolo de Montreal (Technology and Economic Assessment Panel of Montreal Protocol)
<b>TEV</b>	Válvula de expansión termostática
<b>TLV</b>	Umbral Valor límite (Threshold Limit Value)
<b>TWA</b>	Media ponderada en el tiempo (Time-Weighted Average)
<b>UFL</b>	Límite superior de inflamabilidad (Upper flammability limit)
<b>UTO</b>	Unidad Técnica Ozono, Colombia
<b>UV</b>	Ultravioleta



**DORIN** INNOVATION **CE**  
Modello: **HEX151CC** 122072216H  
MC/H 8.05  
PS=30.5 bar - PSs=20 bar  
PROT. THERMIK

V/Hz	P.L.A.	L.R.A.
208-230/3/60	7.1	32.5 A
360-400/3/60	4.1	18.7 Y

IP65 - RPM 1750  
OIL PAG 68 HC - 1 lt

OFFICINE MARIO DORIN - Italy

# 1. INTRODUCCIÓN

En un mundo marcado por el crecimiento industrial, el aumento de las temperaturas y los desafíos ambientales, **el sector de refrigeración comercial desempeña un papel fundamental**. Sin embargo, este mismo sector también contribuye, significativamente, a la degradación de la capa de ozono y al cambio climático, como consecuencia del uso de sustancias nocivas para el medio ambiente.

El *Protocolo de Montreal* ha sido un instrumento crucial para abordar el problema del agotamiento de la capa de ozono. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos internacionales, la demanda de sistemas de refrigeración y aire acondicionado continúa en aumento, incrementando así los problemas ambientales.

Desde la ratificación de dicho protocolo, en 1992, Colombia se ha comprometido activamente en la eliminación progresiva de las sustancias agotadoras de ozono (SAO), como parte de su política ambiental. Para lograr este objetivo, se estableció la Unidad Técnica Ozono (UTO), bajo la dirección del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), la cual ha implementado estrategias destinadas a reducir el consumo de SAO en el país.

En este contexto, se aprobó la etapa II del Plan de Manejo para la Eliminación del Consumo de HCFC en Colombia (HPMP II), con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Gobierno de Alemania. Como parte de este plan, se suscribió un contrato de cooperación técnica entre el Ministerio de Ambiente y la GIZ, con el objetivo de fortalecer las capacidades nacionales en el sector de refrigeración y aire acondicionado (RAC).

En el escenario actual, donde el aumento de las temperaturas, la urbanización y el crecimiento económico impulsan la demanda de sistemas RAC, también se evidencian grandes desafíos ambientales asociados con las tecnologías del sector. En respuesta a esta situación, el programa Proklima de la GIZ ha implementado diversos proyectos y medidas para cuidar la capa de ozono y el clima en varios países del mundo, por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK), el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores (BMUV) de Alemania, y otros donantes.

En agosto de 2021, comenzó la implementación del proyecto Global Green Cooling Initiative III (GCI III), de la Iniciativa Internacional del Clima (IKI), del BMUV, con el objetivo de aumentar la conciencia y la competencia de actores clave para implementar de manera coherente enfoques de refrigeración verde (*green cooling*).

El establecimiento de este enfoque apoya la reducción al mínimo de las emisiones nocivas, mediante el uso de refrigerantes naturales en equipos de alto rendimiento energético, y la conservación de los recursos. En Colombia, GIZ Proklima y la UTO implementan el proyecto.

Sin embargo, a pesar del creciente interés en las tecnologías de refrigeración verde, aún existen barreras significativas para generalizar su adopción. Entre ellas se encuentran la escasez de programas de capacitación para técnicos de refrigeración, así como la falta de conocimientos y experiencia en la aplicación de refrigerantes naturales, como el hidrocarburo R-290.

El uso de refrigerantes convencionales en el sector de refrigeración comercial, es preciso enfatizarlo, no solo contribuye al agotamiento de la capa de ozono; además, aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incrementando, por lo tanto, el cambio climático. Las repercusiones de este fenómeno en la salud humana son graves.

Por lo anterior, es una necesidad urgente promover prácticas más sostenibles en el sector de refrigeración comercial. La transición hacia el uso de refrigerantes naturales, como el hidrocarburo R-290, se presenta como una solución prometedora para mitigar los impactos ambientales y proteger la salud pública.

Además de reducir las emisiones de GEI y proteger la capa de ozono, el uso de refrigerantes naturales en el sector de refrigeración comercial también contribuye a la seguridad alimentaria y al comercio internacional, al garantizar la integridad de la cadena de frío y la calidad de los productos perecederos.

En este sentido, la *Guía de buenas prácticas para equipos y sistemas de refrigeración comercial con refrigerante hidrocarburo R-290* se presenta como una herramienta indispensable para abordar estos desafíos de manera efectiva y promover la adopción de prácticas más sostenibles en el sector.

El objetivo principal de esta guía es promover la adopción de buenas prácticas en equipos y sistemas que utilizan el refrigerante hidrocarburo R-290 en el sector de refrigeración comercial, con el fin de proteger el medio ambiente, la salud pública y la cadena de frío en el sector comercial. En este documento, los lectores encontrarán una visión general completa de las mejores prácticas, recomendaciones y procedimientos para garantizar un uso seguro y eficiente de esta tecnología en Colombia.

Esta guía se desarrolló en el marco de los proyectos HPMP II y Green Cooling Initiative III para Colombia.

<sup>1</sup> Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ GmbH).

## 2. REFRIGERANTES HIDROCARBUROS (HC) CARACTERÍSTICAS E IMPACTO AMBIENTAL

Un refrigerante es un fluido que se utiliza para la transferencia de calor en un sistema de refrigeración, el cual absorbe el calor a baja temperatura y presión del fluido, y lo rechaza a una temperatura y presión mayor, implicando, generalmente, cambios en la fase del fluido (ASHRAE, 2013).

Los refrigerantes son sustancias empleadas en refrigeración, congelación, criogenia y aire acondicionado. Absorben el calor de un espacio o fluido secundario, como el aire, el agua, la salmuera o el glicol, y lo expulsan a otro espacio o fluido, generalmente, a través de un proceso de cambio de fase. Los refrigerantes deben tener propiedades termodinámicas específicas, para ofrecer el efecto de enfriamiento requerido, ser fáciles de fabricar, asequibles y compatibles con los componentes de los sistemas.

### 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES HC POR GRUPO DE SEGURIDAD

A partir del estándar ANSI/ASHRAE 34 (ASHRAE, 2019), los refrigerantes se clasifican según el peligro que su uso implica. La clasificación de seguridad consta de dos caracteres: la letra mayúscula (A o B) indica la toxicidad, mientras que el número arábigo (1, 2L, 2 o 3) denota la inflamabilidad. La Figura 1 muestra las clasificaciones de toxicidad e inflamabilidad distribuidas en ocho grupos de seguridad (A1, A2L, A2, A3, B1, B2L, B2 y B3) para refrigerantes; los del grupo A1 son los menos peligrosos, y los del grupo B3, los más peligrosos.

Según su toxicidad, los refrigerantes están divididos en dos grupos:

**Clase A:** Este refrigerante tiene un límite de exposición ocupacional (OEL, por sus siglas en inglés) o toxicidad no identificada a concentraciones iguales o superiores a 400 ppm (400 ml/m<sup>3</sup>).

**Clase B:** Este refrigerante tiene un OEL o se tiene evidencia de toxicidad a concentraciones inferiores a 400 ppm (400 ml/m<sup>3</sup>). Se basa en qué tanta toxicidad se ha identificado en

concentraciones menores de 400 ppm, tomando en cuenta los datos utilizados para determinar el valor límite umbral menos el tiempo ponderado promedio (TLV-TWA), donde TLV y TWA se definen así:

**TLV (Threshold Limit Value):** Concentración máxima permisible, expresada en la exposición al gas en el orden de 8 h a 12 h, por día, cinco días a la semana, durante 40 años.

**TWA (Time-Weighted Average):** Concentración ponderada en el tiempo, expresada en horas por día. Los gases refrigerantes están clasificados en dos clases, dependiendo del tiempo máximo permisible en que una persona puede estar expuesta a estos.

Según su inflamabilidad, los refrigerantes están divididos en cuatro grupos:

Clase 1: Sin propagación de llama en aire a 60 °C y 101,3 kPa

Clase 2: Exhibe propagación de llama en aire a 60 °C y 101,3 kPa, límite inferior de inflamabilidad (LFL) superior a 0,1 kg/m<sup>3</sup> (3,5 % en volumen) a 23 °C y 101,3 kPa y calor de combustión inferior a 19.000 kJ/kg.

Clase 2L: Exhibe una velocidad de combustión máxima de no más de 100 mm/s a 23 °C y 101,3 kPa.

Clase 3: Exhibe propagación de llama en el aire a 60 °C y 101,3 kPa y LFL inferior o igual a 0,1 kg/m<sup>3</sup> (3,5 % en volumen) a 23 °C y 101,3 kPa, o calor de combustión superior o igual a 19.000 kJ/kg.

La Figura 2 señala la diferencia entre el límite inferior de inflamabilidad (LFL) y el límite superior de inflamabilidad (UFL), definidas como la concentración mínima y máxima de refrigerante en el aire, capaz de propagar una flama, respectivamente. La llama no debe propagarse por debajo del LFL, donde la mezcla es pobre; ni por encima del UFL, donde la mezcla es muy rica.

Dado que los refrigerantes HC comunes (R-290, R-600a, R-1270) tienen un TLV-TWA de 1.000 ppm o superior (dependiendo de la fuente de información), en la clasificación de toxicidad son **clase A**.

Otra medida para aplicar refrigerantes es el **límite de concentración de refrigerante (RCL) o límite práctico de concentración (PL)**, corresponde al nivel de concentración más alto en un espacio ocupado que no resultará en ningún efecto que impida el escape (es decir, agudo). Además, este límite es la concentración que se usa para cálculos simplificados, con el fin de determinar la cantidad máxima aceptable de refrigerante en un espacio ocupado.

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD DE LOS REFRIGERANTES

		Grupo de seguridad	
Incremento riesgo inflamabilidad ↑	Mayor inflamabilidad	A3	B3
	Inflamable	A2	B2
	Baja inflamabilidad	A2L	B2L
	Sin propagación de llama	A1	B1
		Baja toxicidad	Alta toxicidad
		Incremento riesgo toxicidad →	

Fuente: ASHRAE (2019).

FIGURA 2. DIFERENCIA ENTRE EL LFL Y UFL

100 %Vol.	Concentración aire	0 %Vol.
	LFL	UFL
Mezcla muy pobre: No hay combustión	Mezcla explosiva	Mezcla muy rica: No hay combustión
	Bajo	Alto
0 %Vol.	Concentración combustible	100 %Vol.

Fuente: elaboración propia.

El PL normalmente se expresa en términos de masa por unidad de volumen, y para el refrigerante R-290 es 0,008 kg/m<sup>3</sup> u 8 g/m<sup>3</sup>; se utiliza al momento de definir la clase de toxicidad del refrigerante (A o B) que se emplea en el sistema de refrigeración. El límite de toxicidad es igual a los valores límite de exposición por toxicidad aguda (ATEL) o límite por privación de oxígeno (ODL), o los límites prácticos, cualquiera que sea mayor (NTC 6228-1).

Los refrigerantes HC son compuestos bioquímicos formados únicamente por carbono e hidrógeno. Químicamente, consisten en una estructura de carbono a la que se unen átomos de hidrógeno. En la tabla 1 se presentan los valores del potencial de agotamiento de ozono (ODP) y potencial

de calentamiento global (PCG) para algunos refrigerantes pertenecientes a este grupo, como el etano (R-170), el propano (R-290) y el isobutano (R-600a).

La toxicidad de los refrigerantes HC de la tabla 1 los clasifica en la Clase A, ya que tienen un OEL o toxicidad no identificada a concentraciones iguales o superiores a 400 ppm.

Esta guía ofrece una descripción detallada de las características del refrigerante R-290; además, el anexo B contiene la descripción de otros refrigerantes HC, como el isobutano (R-600a), el etano (R-170), el propileno (R-1270) y algunas mezclas de HC.

TABLA 1. REFRIGERANTES HC

NÚMERO R	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLECULAR	VIDA ATMOSFÉRICA <sup>2</sup>	PAO	PCG <sup>3</sup>	OLE (PPM)	RCL (M <sup>3</sup> /KG)	SEGURIDAD
R-600a	C <sup>4</sup> H <sup>10</sup>	58,1	0,016	0	4	1.000	0,0085	A3
R-600a/R-290	†	51,0	0,016		3,16	1.000	0,0081	A3
R-290	C <sup>3</sup> H <sup>8</sup>	44,1	0,041	0	3,3	1.000	0,0075	A3
R-1270	C <sup>3</sup> H <sup>6</sup>	42,1	0,001	0	1,8	1.000	0,0017	A3
R-290/R-170	‡	46,8	0,015		3,19	500	0,0045	A3
R-170	C <sup>2</sup> H <sup>6</sup>	30,1	0,015	0	3	1.000	0,0087	A3

† Basado en una composición molar de 50 % R-290 y 50 % R-600a (R-436B - CARE 30).

‡ Basado en una composición molar de 94 % R-290 y 6 % R-170 (R-511A - CARE 50).

Fuente: ASHRAE (2013).

<sup>2</sup> Dada en años.

<sup>3</sup> PAO en 100 años.

## 2.2 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL USO DE REFRIGERANTES HC

El aumento de las temperaturas, la urbanización, el cambio de estilos de vida y el crecimiento económico de la clase media han llevado a una creciente demanda de sistemas de refrigeración y aire acondicionado (RAC), los cuales pueden encontrarse casi en todas partes y son esenciales para alcanzar, o mantener, un nivel de vida humano adecuado. La refrigeración incluye aplicaciones que conservan alimentos, bebidas o medicamentos a una cierta temperatura requerida. El aire acondicionado incluye aplicaciones de refrigeración que mantienen las temperaturas en los edificios. Las espumas se utilizan para aislar los espacios refrigerados.

Desde la década de 1980, la comunidad científica mundial demostró el daño que ciertos productos químicos, denominados SAO, utilizados en la RAC, le hacen a la capa de ozono, debido a su alta persistencia en la atmósfera y a la comprobada acción del cloro libre sobre las moléculas de ozono. Gracias a la adopción del Protocolo de Montreal (PM) por más de 196 países, se logró un control eficaz sobre el uso de CFC y HCFC que agotan la capa de ozono.

Aunque los HCFC se habían utilizado inicialmente como sustitutos de los CFC, ambos fueron sustituidos cada vez más por los HFC del PM, predominantemente, como refrigerantes en el sector de RAC. Aunque los HFC no tienen potencial de agotamiento de la capa de ozono<sup>4</sup>, tienen un considerable potencial de calentamiento global (PCG). Sin regular la producción y el consumo de HFC, las emisiones resultantes contribuirían sustancialmente a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI). Conscientes de este hecho, la Enmienda de Kigali al PM, que comprende diferentes líneas de base, fechas de congelación y calendarios de reducción de la producción de HFC para diferentes grupos de países, entró en vigor a principios de 2019.

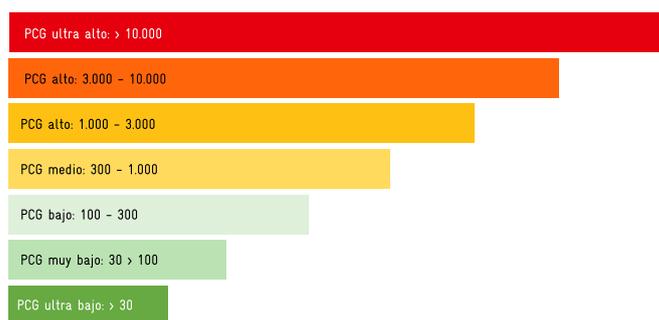
A escala internacional, se vislumbra el uso de refrigerantes definitivos con ultra bajo y muy bajo GWP en las diferentes aplicaciones RAC; es así como los HC (R-290, R-600a, R-1270), el CO<sub>2</sub>, el amoníaco y los HFC insaturados (HFC-1234yf, HFC-1234ze y HFC-1233zd, y mezclas de HFO y HFC, entre otros) podrán emplearse a escala nacional en el mediano plazo, en la medida en que se contrarresten las barreras comerciales, tecnológicas y de formación técnica para manejar estas sustancias refrigerantes con ligera y alta inflamabilidad (MinAmbiente, 2022).

El índice más significativo de medición de impacto ambiental es el potencial de calentamiento global (PCG) que trata de cuantificar el efecto invernadero, en función de dos factores: la vida media en la atmósfera y las propiedades de absorción de energía infrarroja del gas.

Los refrigerantes HC, como R-290 y R-600a, tienen un PCG de 3, ultra bajo, en comparación con la mayoría de los gases refrigerantes halogenados. En la Figura 3 se muestra la clasificación de los gases refrigerantes, de acuerdo con el PCG.

En conclusión, los refrigerantes HC pertenecen al grupo de los refrigerantes naturales que tienen nulo PAO y bajo PCG. Por esta razón, se han convertido en la solución ambiental y técnica aceptable en la actualidad y hacia el futuro inmediato; no solo en la refrigeración comercial, caso que ocupa esta guía, sino también en los campos doméstico, industrial y del transporte. En general, se quedan como la respuesta para el sector RAC.

FIGURA 3. CLASIFICACIÓN DE LOS GASES REFRIGERANTES

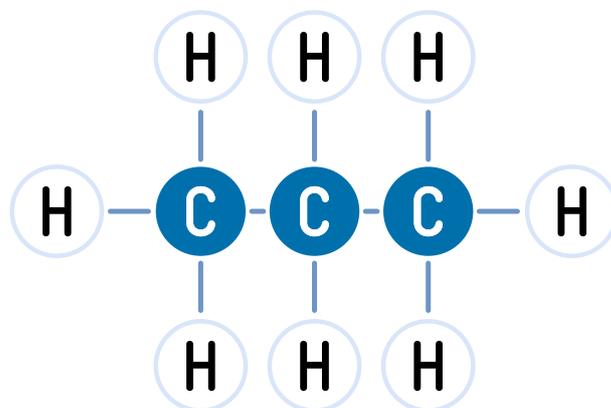


Fuente: elaboración propia a partir del PCG, TEAP.

## 2.3 REFRIGERANTE PROPANO R-290

El hidrocarburo propano es un compuesto orgánico, cuyas moléculas integran 3 átomos de carbono y 8 de hidrógeno: C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>; con un peso molecular de 44 g/mol, como se observa en la Figura 4. Efecto de la descomposición y reacción de la materia orgánica durante largos periodos, es una variedad de HC que se encuentra en las profundidades de la Tierra. El propano puede separarse de otros productos petroquímicos y refinarse para uso comercial. Como gas licuado de petróleo (GLP), el propano puede convertirse en líquido a presiones relativamente bajas.

FIGURA 4. COMPOSICIÓN MOLECULAR DEL PROPANO R-290



Fuente: elaboración propia.

<sup>4</sup> El potencial de destrucción del ozono (PAO o ODP, por sus siglas en inglés) varía según la composición del refrigerante CFC o HCFC. Dicho potencial se calcula a partir del efecto que 1 kg de estos compuestos es la relación del impacto sobre el ozono que posee una sustancia química comparada con el impacto de una masa igual de CFC-11. Así, el PAO del CFC-11 es definido como 1. Otros CFC y HCFC tienen PAO en el intervalo entre 0,01 y 1,0. Los HFC y HC tienen un PAO cero debido a que no contienen cloro.

### 2.3.1 Propiedades del R-290 como hidrocarburo

La tabla 2 muestra las principales características asociadas a las sustancias inflamables más comunes usadas como refrigerantes, las cuales fueron obtenidas mediante ensayos de laboratorios estandarizados, en condiciones específicas. Sin embargo, debe considerarse que la magnitud de dichas características podría cambiar significativamente, al variar condiciones como la humedad relativa, la temperatura del aire y la cantidad de oxígeno donde se genera la mezcla combustible-comburente. A continuación, se detallan algunas características de las sustancias inflamables:

- » Punto de inflamación: es la menor temperatura para que una sustancia produzca suficientes vapores, los cuales, al mezclarse con aire y en contacto con una fuente de ignición, producen combustión.
- » Temperatura de autoignición: es la menor temperatura para que una mezcla combustible-comburente combustione espontáneamente, en ausencia de una fuente de ignición. Dicha temperatura es variable, está en función de la concentración combustible-comburente, presentando un menor valor en el límite superior de inflamabilidad.

- » Mínima energía de ignición: Valor mínimo de energía que puede producir la combustión de una mezcla combustible-comburente. La magnitud de la energía varía; su menor valor se presenta, normalmente, cerca de la concentración estequiométrica.
- » Límite inferior de inflamabilidad (LFL, por sus siglas en inglés: lower flammability limit): Concentración mínima de combustible capaz de propagar una llama en una mezcla homogénea de aire y combustible.
- » Límite superior de inflamabilidad (UFL, por sus siglas en inglés: upper flammability limit): Concentración máxima de combustible capaz de propagar una llama en una mezcla homogénea de aire y combustible.
- » Concentración estequiométrica: Concentración de un combustible en el aire, en la cual se produce la completa oxidación del combustible y total consumo del oxígeno, resultando del proceso dióxido de carbono y agua.
- » Calor de combustión: Energía liberada que resulta de la combustión de una concentración estequiométrica.
- » Temperatura de llama adiabática: Máximo valor de temperatura generada por la combustión de una mezcla combustible-comburente, cercana a la concentración estequiométrica.

TABLA 2. COMPARACIÓN DEL R-290 CON OTROS HC COMUNES

PROPIEDAD	UND	R-290	R-600a	R-1270	R-290/ R-600 <sup>†</sup> †	R-290/ R-170 ‡
Punto de inflamación	°C	-104	-83	-108	-94	-106
Temperatura de autoignición	°C	470	460	455	465	470
Mínima energía de ignición	mJ	0,25	0,25	0,28	0,25	0,25
Límite inferior de inflamabilidad (LFL)	g/m <sup>3</sup>	38,0	43,0	43,0	40,0	38,0
	%	2,10	1,80	2,50	1,95	2,15
Límite superior de inflamabilidad (UFL)	g/m <sup>3</sup>	171,0	202,0	174,0	186,0	172,0
	%	9,50	8,50	10,10	9,00	9,70
Concentración estequiométrica	g/m <sup>3</sup>	72,0	74,0	77,0	73,0	73,0
	%	4,0	3,1	4,4	3,5	4,1
Calor de combustión	kJ/kg	50.500	49.500	49.000	50.000	50.600
Temperatura de llama adiabática	°C	1.970	2.010	2.050	1.990	1.960
Velocidad de combustión laminar	m/s	0,43	0,37	0,48	0,40	0,43

† Deslizamiento a 25 °C de 7,8 K

‡ Deslizamiento a 25 °C de 3,9 K

Fuente: ASHRAE (2013).

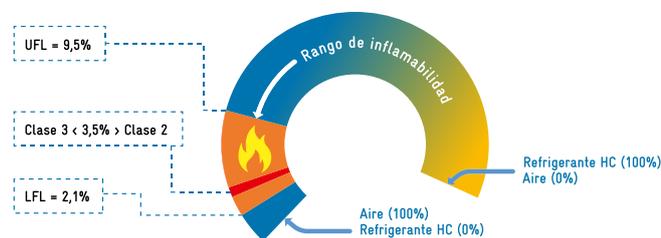
» **Velocidad de combustión laminar:** Se denomina así a la velocidad de expansión del frente de la llama, a medida que la mezcla combustiona. Al igual que otras propiedades, depende de la concentración del combustible-comburente.

Los refrigerantes HC de la tabla 2 pertenecen a la clase 3, de alta inflamabilidad, ya que su LFL es inferior a 3,5 %, según ISO 817 ( $0,1 \text{ kg/m}^3 = 100 \text{ g/m}^3$  en ASHRAE 34), y su calor de combustión es superior o igual a  $19.000 \text{ kJ/kg}$ .

Para que una mezcla combustible-aire sea inflamable, debe cumplir ciertas condiciones relativas a la concentración de sus compuestos. Las concentraciones mínimas y máximas de una mezcla combustible-comburente que determinan su inflamabilidad se conocen como límite inferior y límite superior de inflamabilidad. Es decir, que el rango de inflamabilidad estará situado entre los límites inferior y superior de inflamabilidad, donde la mezcla combustible-comburente es inflamable.

Para que el R-290 exhiba una propagación de llama en condiciones atmosféricas estándar, como se presenta en la Figura 5, debe existir una mezcla combustible-comburente superior al 2,1 % en Vol. ( $38 \text{ g/m}^3$ ) e inferior al 9,5 % en Vol. ( $171 \text{ g/m}^3$ ), correspondiente a su LFL y UFL, respectivamente. Por debajo del LFL, la mezcla será pobre y la llama se ahogará; mientras que por encima del UFL, la mezcla será rica y la llama no se propagará por falta de oxígeno.

FIGURA 5. LÍMITE SUPERIOR E INFERIOR DE INFLAMABILIDAD DEL REFRIGERANTE R-290



Fuente: elaboración propia.

La combustión del R-290 puede producir un calor de combustión de alrededor de  $50.500 \text{ kJ/kg}$ . Por lo tanto, la clasificación de inflamabilidad es clase 3. En general, esto lo convierte en una clasificación de seguridad A3, de acuerdo con las normas pertinentes.

Es muy importante, cuando se trabaja con refrigerantes del tipo HC, que estos sean de alta pureza, ya que cualquier proporción de impurezas, como sulfuros, agua, etc., puede contribuir a la degradación de los aceites lubricantes de la instalación, rotura de compresor, etc. También ocurre, a veces, que si el hidrocarburo no es de alta pureza, pueden ir mezclados otros HC y variar, drásticamente, las propiedades físicas y termodinámicas del original. El propano que se utiliza en aplicaciones de refrigeración no está odorizado para uso comercial. El R-290 no es fácilmente detectable solo por el olor, en caso de fuga.

### 2.3.2 Características del R-290 como refrigerante

El R-290 es un gas inflamable, incoloro, con un ligero olor a altas concentraciones. Se utiliza como materia prima para diversos procesos químicos, como reformación de vapor, clorinación y nitruración. Los HC o sus mezclas utilizadas en refrigeración requieren niveles de pureza altos y prácticas de mezcla que solo puede garantizar el fabricante. Se identifican mediante su denominación en el equipo (compresor o cilindro), donde se comercializa.

Los refrigerantes HC manejados con las medidas de seguridad adecuadas empiezan a tener un uso cada vez mayor, debido a que presentan propiedades termodinámicas adecuadas que, en el caso del R-290, son muy similares a las del R-22, y permiten lograr un alto y mejor nivel de eficiencia energética comparativa.

Algunas de las principales características del refrigerante R-290:

- » Se comercializa en cilindros de 5 kg, 400 g y 150 g.
- » Pertenece al grupo de los refrigerantes HC clasificación A3.
- » Su potencial de agotamiento del ozono (ODP) es cero.
- » Su PCG es insignificante (cerca de 3).
- » No es venenoso y no daña el medio ambiente.
- » Es altamente inflamable cuando se mezcla con aire (entre 2,1 % y 9,5 % en volumen).
- » Su temperatura de autoignición es de  $^{\circ}\text{C}$ .
- » Tiene baja humedad.
- » No es GLP.
- » Nivel de pureza: mín. 99,5 % (máx. 10 ppm de agua).

No tiene olor, a diferencia del GLP, que contiene olor de advertencia: un agente fétido (mercaptano) que puede dañar los compresores herméticos, bloquear los filtros, violar las normas de garantía y, por lo tanto, bajo razones de pureza, no se usa en refrigerantes R-290 propano.

La especificación DIN 8960 de la tabla 3 es general sobre la seguridad de los HC; se adoptó de un catálogo de criterios sobre refrigerantes y adecuó al propano, isobutano, n-butano y otros. Algunos conceptos pueden aceptarse para refrigerantes específicos y combinaciones no puras, tras una evaluación exhaustiva.

El estándar internacional AHRI 700 (2019) también reporta las especificaciones de los refrigerantes de HC y enumera tanto sus impurezas como sus límites; se recomienda verificar la calidad con el proveedor. El GLP o los refrigerantes de grado técnico con una pureza del 95 % no son adecuados para los sistemas de refrigeración. El grado técnico recomendado es 99,5 % de pureza, dado que se requiere un alto grado de precisión al cargar el sistema, debido a la baja cantidad de carga, con niveles mínimos de impurezas críticas, incluida la humedad ( $< 10 \text{ ppm}$ ) y sulfuros (de acuerdo con UN1978, Clase 2.1, la suma de todas las impurezas debe ser  $< 0,5 \%$ , azufre  $< 1 \text{ ppm}$  y agua  $< 5 \text{ ppm}$ ), el denominado refrigerante técnico, de 99,5 %, también conocido como 2,5, que se utiliza ampliamente.

TABLA 3. ESPECIFICACIONES DE R-290 DE ACUERDO CON DIN 8960-1998

ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN	VALOR	UNIDAD
Contenido en refrigerante <sup>5</sup>	≥	99,5	% masa
Impurezas orgánicas <sup>6</sup>	≤	0,5	% masa
1,3-Butadieno <sup>7</sup>	≤	5	ppm por masa
n-hexano	≤	50	ppm por masa
Benceno <sup>8</sup>	≤	1	ppm por sustancia
Azufre <sup>9</sup>	≤	2	ppm por masa
Deslizamiento de temperatura evaporador	≤	0,5	K (desde 5 % a 97 % destil)
Gases no condensables	≤	1,5	% vol. Fase vapor
Agua	≤	25	ppm por masa
Contenido en ácidos	≤	0,02	mg KOH/g neutralización
Residuos de evaporación	≤	50	ppm por masa
Partículas/Sólidos	-	No	Revisión visual

Fuente: Bitzer (2022).

La pureza del refrigerante se considera según su química y estabilidad, según la vida del compresor y del sistema, y desde el lado termodinámico, se considera el comportamiento y el control del sistema de refrigeración. Por el momento, en el mercado hay algunos refrigerantes con la calidad acorde a los estándares oficiales. Las especificaciones de calidad deben revisarse en detalle con las suministradoras.

Gracias a sus propiedades termodinámicas favorables, el propano puede utilizarse como refrigerante energéticamente eficiente y se ha designado refrigerante R-290. La tabla 4 enumera varias propiedades termofísicas de ciertos refrigerantes para comparar su potencial en el logro de una eficiencia alta.

En general, la eficiencia del ciclo está influenciada por propiedades que ayudan a reducir las pérdidas de presión y mejorar la transferencia de calor. Específicamente, estas incluyen:

- » Bajas viscosidades de líquido y vapor
- » Altas conductividades térmicas de líquidos y vapores
- » Baja capacidad volumétrica de evaporación

- » Alto calor específico del líquido
- » Alto calor latente de evaporación

El refrigerante R-290 tiene muy buenas propiedades termodinámicas, en comparación con el R-22, el R-404A y el R-134a. El peso molecular del R-290 es inferior en, aproximadamente, 49 % al del R22, y 56,7 % al del R134a. Un peso molecular más bajo indica un mayor calor latente de evaporación del refrigerante; el calor latente de evaporación del R-290 es 82 % superior al del R-22 en el punto de ebullición normal.

Debido al mayor calor latente de evaporación, una menor masa de refrigerante R-290 es suficiente para la misma capacidad de refrigeración, en comparación con R-22 y R-134A. Al ser un refrigerante inflamable, el requerimiento de carga más bajo es muy ventajoso para el R-290. Con el R-290, también se espera que las temperaturas de descarga del compresor sean más bajas, debido a la mayor capacidad calorífica. Una temperatura más baja del gas de descarga es una propiedad muy importante, especialmente, para los compresores sellados herméticamente.

El R-290 propano tiene una capacidad volumétrica inferior en 50 %, en relación con el R-22; por lo que no

<sup>5</sup> El contenido no está detallado en DIN 8960. Solo las impurezas están clasificadas y limitadas. El principal contenido es el resto hasta 100%.

<sup>6</sup> Según el compresor, se acepta un contenido de 1% de butano en el R-290.

<sup>7</sup> Este es el valor máximo para cada sustancia simple de los HC insaturados.

<sup>8</sup> Este es un valor máximo, según cada compuesto aromático sencillo.

<sup>9</sup> Este es un valor preliminar, será revisado según se vaya experimentando.

TABLA 4. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DEL R-290 CON OTROS REFRIGERANTES COMUNES

PROPIEDAD	UND	R-22	R-134A	R-404A	R-290	R-600A	R-1270
Peso molecular	kg/kmol	86,47	102,03	97,60	44,10	58,12	42,08
Temperatura crítica	°C	96,15	101,06	72,12	96,74	134,67	91,06
Presión crítica	MPa	4,99	4,06	3,73	4,25	3,63	4,56
Punto ebullición normal	°C	-40,81	-26,07	-46,22	-42,11	-11,75	-47,62
Viscosidad líquido (l)	mPa s	0,1272	0,1949	0,1260	0,0971	0,1511	0,0950
Viscosidad vapor (v)	mPa s	0,0140	0,0117	0,0130	0,0083	0,0075	0,0089
Calor específico líquido (l)	kJ/kg K	1,257	1,425	1,542	2,719	2,430	2,669
Conductividad térmica (l)	W/m K	0,085	0,081	0,068	0,094	0,089	0,111
Calor latente evaporación	kJ/kg	182,74	177,79	140,41	335,74	328,92	334,89
Capacidad volumétrica	kJ/m <sup>3</sup>	8082,97	5751,44	9272,27	6922,16	3001,68	8165,04

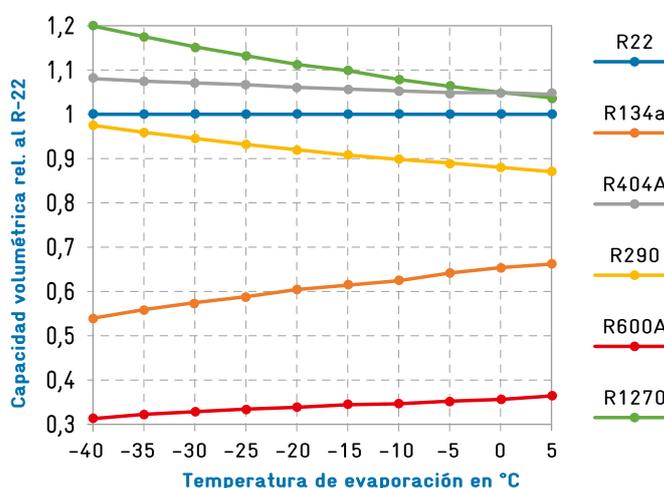
(l) líquido, (v) vapor  
Fuente: CoolProp (2022).

se recomienda intercambiar compresores entre ellos, y es necesario considerar que, siendo un sustituto, el R-290 requiere medidas de seguridad especiales durante su manejo. Si se carga R-290, sin haber cambiado el sistema de refrigeración, la cantidad de carga en gramos será mucho más pequeña. Sin embargo, calculada en centímetros cúbicos, la carga sería aproximadamente la misma que el volumen de líquido en el sistema. Esto da cargas de aproximadamente 40 % de R22 o R404A, en gramos, de acuerdo con la tabla 4, lo cual también corresponde con los valores empíricos. La carga máxima, de acuerdo con las regulaciones de seguridad, es de 150 g para muebles refrigerados y aplicaciones similares, las cuales corresponden aproximadamente a 360 g de R22 o R404A.

El R-290 tiene aproximadamente 90 % de la capacidad volumétrica del R-22 y 150 % del R134a a una temperatura de condensación de 45 °C, como puede verse en la Figura 6. Es necesario, por lo tanto, un compresor con un desplazamiento volumétrico cercano al del R-22, y de 10 %-20 % mayor que para el R-404A. La capacidad volumétrica aproximada es de 2,5 a 3 veces la de R-600a. Por esto, la elección de refrigerantes R-600a y R-290 lleva a diseños de sistemas diferentes, debido a los diferentes flujos volumétricos necesarios para la misma expectativa de refrigeración.

En el compartimiento donde están instalados el ventilador, el condensador y el compresor, se requieren tantos orificios de ventilación como sea posible en la parte inferior. El peso molecular correspondiente del propano R-290 es de 44,2 kg/kmol y el del aire es 29 kg/kmol. Entonces, bajo las mismas

FIGURA 6. CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DEL R-290, R-134A, R-404A, R-600A Y R-1270, EN RELACIÓN CON EL R22, RESPECTO A TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN, TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN DE 45 °C Y TEMPERATURA DE ASPIRACIÓN DE 32 °C, SIN SUBENFRIAMIENTO



Fuente: elaboración propia.

condiciones ambientales, el propano tiene una densidad mayor que el aire. Si se produce una fuga de propano en este espacio, el propano fluirá por la parte inferior de la unidad condensadora hacia el exterior del equipo, debido a la gravedad. Cuando el ventilador del condensador está en funcionamiento, acelerará la velocidad del propano para que fluya hacia el exterior. Deberá existir un suficiente volumen exterior para reducir la concentración de propano y que siempre permanezca en el límite inferior de la explosión. La selección del refrigerante HC generalmente se basa en hacer coincidir las presiones de vapor del refrigerante con

TABLA 5. RANGOS DE APLICACIÓN PARA REFRIGERANTES DE HC

REFRIGERANTE	RANGO DE APLICACIÓN	REEMPLAZO
R-600a (isobutano)	Temperatura alta/media; refrigerador doméstico	R12, R134a
R-600a/R-290	Temperatura alta/media; comercial, doméstico, vehículo	R12, R134a
R-290 (propano)	Temperatura alta/media/baja; comercial, industrial; congeladores, aire acondicionado, bomba calor	R22, R404A, R407C, R507A
R-1270 (propileno)		
R-290/R-170		
R-170 (etano)	Sistemas en cascada de baja temperatura	R13, R23, R503

Fuente: ACRIB (2001).

las condiciones de funcionamiento, pero no siempre es así. Los refrigerantes también deben seleccionarse, de modo que contribuyan a una buena eficiencia del sistema.

Con respecto a las mezclas de refrigerantes HC, estos solo deben seleccionarse cuando el efecto del deslizamiento de temperatura y el cambio de composición no sean un problema. Como orientación general sobre la selección de refrigerantes, la tabla 5 indica los rangos de aplicación y los refrigerantes fluorados equivalentes donde se podrían emplear los HC.

### 2.3.3 Aceites compatibles con R-290

Los aceites lubricantes para refrigeración, en general, y para el R-290, en particular, se obtienen a partir de los aceites de origen mineral o son fabricados sintéticamente según las propiedades requeridas. El compresor, en un sistema de refrigeración mecánico, debe lubricarse para reducir la fricción y evitar el desgaste. El tipo especial de lubricante para sistemas de refrigeración se llama aceite para refrigeración.

Un alto contenido de agua en el circuito de refrigeración con HC puede dar lugar a reacciones químicas entre los aceites de refrigeración PAG y las partes de aluminio del compresor. Por eso, los aceites PAG deben utilizarse en forma ultraseca: debe evitarse la mezcla con aceites minerales. En el mercado hay disponibles sistemas de secado auxiliares al de filtración, para limitar el contenido de agua. El aceite para usar con refrigerantes HC, como el R-290, debe cumplir propiedades especiales que le permitan realizar su función lubricante, sin importar los efectos propios del refrigerante y las amplias variaciones de temperatura y presión. Estas propiedades son:

- » Estabilidad térmica: Con el fin de eliminar el exceso de residuos de carbón en los puntos calientes del compresor (p. ej.: las válvulas o puntos de descarga).
- » Estabilidad química: Debe resistir o evitar la posible reacción química con el refrigerante o con los materiales que habitualmente se usan en los sistemas.
- » Bajo punto de fluidez: Capacidad del aceite de mantenerse fluido a la más baja temperatura del sistema.

- » Viscosidad apropiada: Capacidad de mantener buenas propiedades de lubricación a temperaturas elevadas, y de fluidez a bajas temperaturas, para proporcionar una buena película lubricante todo el tiempo.
- » Bajo contenido parafínico: La separación de la parafina de la mezcla del aceite lubricante puede tapar los orificios de control.

Los refrigerantes CFC y HCFC empleaban aceites minerales (MO) y alquilbencénicos (AB) para la lubricación de los compresores. Esto fue cambiando con la introducción de los refrigerantes sustitutos HFC, los cuales no son miscibles con los aceites tradicionales del tipo mineral, y necesitan usar aceite del tipo sintético POE o PAG para lograr la miscibilidad adecuada y el retorno de aceite.

Los HC son químicamente inactivos; es decir que no hay problemas con los productos de degradación. La compatibilidad directa con los materiales es menos problemática que con los HFC y los aceites POE. Se puede usar aceite mineral, de polioléster y alquilbenceno; pero si la solubilidad del refrigerante en el aceite es alta, debe considerarse la lubricación. Los materiales de sellado y juntas tóricas dependen del tipo de HC.

No son recomendables los lubricantes que contienen silicona o silicatos para trabajar con el refrigerante R-290. En cualquier caso, se recomienda utilizar los lubricantes sugeridos por el fabricante del compresor y seguir sus instrucciones. En la tabla 6 se presentan los aceites compatibles con el refrigerante R-290.

El propano R-290, como en general los refrigerantes del tipo HC, tiene muy buena miscibilidad (compatibilidad) con cualquier tipo de lubricante. Debido a la buena solubilidad que existe entre los aceites minerales y estos refrigerantes, hay sistemas que pueden necesitar aceites de mayor viscosidad para compensar ese exceso.

Los aceites deben contener aditivos para mejorar la protección, frente al desgaste, y la estabilidad, ante el envejecimiento. Según la norma DIN 51503, los tipos de aceites para HC deben ser KC o KE.

Los aceites KC (grupo de la norma DIN 51503) tienen por origen minerales y alquilbencenos (en algunos casos también pueden ser ésteres); los más utilizados son los aceites minerales nafténicos altamente refinados y alquilbencenos especialmente tratados (alquilatos). El contenido de agua de los aceites KC nuevos debe ser < 30 ppm; si el contenido de agua es mayor, hay riesgo de reacciones indeseadas con el refrigerante, lo que puede conducir a la descomposición de la mezcla de aceite y refrigerante.

Los aceites tipo KE (grupo de la norma DIN 51503) son de aceites minerales y alquilbencenos, PAO, POE o PAG. Según el grupo de aceites, el máximo contenido de agua aceptable

en los aceites nuevos no debe exceder las 30 ppm, para aceites minerales y alquilbenceno; las 50 ppm, para PAO; las 100 ppm, para POE; y las 350 ppm para PAG.

Dada la compatibilidad del R-290 con casi todos los tipos de aceites, generalmente, el fabricante del compresor recomienda el de mejor rendimiento, tal como se presenta en la tabla 7. El R-290 tiene una alta solubilidad con el aceite mineral (MO), así como con aceite de polioléster (POE), otros aceites pueden usarse bajo algunas limitaciones. Algunos compresores R-290 utilizan los mismos aceites de polioléster (POE) y polialfaolefina (PAO) que los compresores R-404A y R-134a.

TABLA 6. ACEITES COMPATIBLES CON EL REFRIGERANTE R-290

LUBRICANTE	COMPATIBILIDAD
Mineral (MO)	Compatible con refrigerantes de tipo HC. Presenta excesiva solubilidad en aplicaciones de alta temperatura. Se puede compensar esta situación utilizando aceites minerales de mayor viscosidad.
Alquilbencénicos (AB)	Totalmente compatible.
Semisintéticos (M/AB)	La mezcla de aceite mineral y alquilbencénico es la más apropiada para trabajar con este tipo de refrigerantes.
Polioléster (POE)	Demasiada solubilidad con los HC. Puede requerir usar POE de mayores viscosidades.
Polialquilenglicoles (PAG)	Solubles con HC dependiendo de las condiciones de trabajo.
Polialfaolefinas (PAO)	Soluble con HC, recomendado para aplicaciones a baja temperatura.

Fuente: ACRIB (2001).

TABLA 7. ACEITES RECOMENDADOS SEGÚN EL REFRIGERANTE

REFRIGERANTE	TIPO	Mineral (MO)	Alquilbenceno (AB)	Polioléster (POE)	Polialfaolefina (PAO)	Polialquilenglicol (PAG)
R-1234yf	HFO	X	X	OK	X	OK
R-600a	HC	OK	L	OK	OK	L
R-290	HC	OK	L	OK	OK	L
R-717	IO	OK	L	X	OK	L
R-744	IO	L	L	OK	L	OK

Ok: Buen rendimiento; X: No recomendado; L: Aplicación con algunas limitaciones  
Fuente: Caloryfrio (2022).

**Recomendación práctica:** acerca de compresores y sus aceites, a la pregunta técnica:  
¿Cuál es el mejor refrigerante para la aplicación? La respuesta siempre debe ser: El que el fabricante determinó.  
¿Cuál es el mejor aceite para el compresor? La respuesta siempre debe ser: El recomendado por el fabricante.

### 2.3.3.1 Aceites minerales (MO) para R-290

Los aceites minerales son mezclas de HC obtenidos por el proceso de destilación del petróleo crudo. Los utilizados se obtienen de la combinación de bases:

- » **Parafínica:** Presentan altos contenidos de cera, problemas de solubilidad y alto índice de viscosidad. Los aceites de base parafínica producen más carbón que los de base nafténica.
- » **Nafténica:** Presentan bajos contenidos de cera, bajo punto de ebullición y tienen bajo índice de viscosidad. El carbón procedente de bases nafténicas es flojo y esponjoso, y se arrastra fácilmente con los gases de escape, mientras que el que tiene su origen en bases parafínicas es más duro. Los aceites nafténicos son más volátiles que los parafínicos, para la misma viscosidad, y arden espontáneamente a temperaturas más altas.
- » **Aromática:** Para una misma viscosidad, un aceite parafínico tiene menor densidad que un nafténico y este, a su vez, la tiene más baja que uno aromático. La mayoría de los aceites sintéticos son derivados de bases aromáticas.

Los aceites lubricantes modernos de origen mineral se preparan especialmente para utilizarlos en sistemas de refrigeración, con un alto grado de refinamiento y, en algunos casos, tratados con aditivos para mejorar la estabilidad. Esta mejora en la relación aceite-refrigerante entre los sistemas se debe a un mejor diseño de los equipos de refrigeración, al progreso en el proceso de la refinación del aceite y, sobre todo, al mayor conocimiento de cómo se comportan los aceites en los sistemas de refrigeración. A continuación, se presentan las propiedades deseables para los lubricantes:

- » Miscibilidad aceptable con el refrigerante, con o sin aditivos (idealmente de una sola fase en un rango amplio de temperaturas)
- » Buena estabilidad térmica para la mezcla
- » Compatibilidad con los materiales del sistema
- » Baja toxicidad

- » Disponibilidad comercial a un costo razonable.

Los aceites minerales se mezclan fácilmente con los refrigerantes HC, como el R-290; son un poco menos higroscópicos (absorbedores de humedad) que los sintéticos; no son miscibles (compatibles) con los refrigerantes HFC y sus mezclas. Por ser poco estables ante las variaciones de temperatura, presentan un bajo índice de viscosidad; por lo tanto, no siempre son compatibles con los HC.

### 2.3.3.2 Aceites sintéticos para R-290

Son fluidos fabricados mediante reacciones químicas. Con el desarrollo de refrigerantes nuevos, la industria ha obtenido estos aceites que cumplen características específicas, ya que los aceites minerales pueden ocasionar daños con el refrigerante R-290. Los sintéticos se preparan a la medida para que tengan una estructura molecular controlada, con propiedades predecibles. Existen varios tipos de aceites sintéticos; los mejores resultados en refrigeración con R-290 se han logrado con los del tipo alquilbenceno (AB).

Los aceites sintéticos de polialfaolefina (PAO) térmicamente estable tienen buenas propiedades de fluencia en frío, en sistemas con R-290, en compresores sometidos a gran estrés y bajas temperaturas de evaporación. Deberá contar con buena solubilidad (baja disolución) y buena relación viscosidad-temperatura (VI alto). Generalmente, es adecuado para uso en evaporadores de placas que trabajan a bajas temperaturas y con intercambiadores tubulares de tubos de diámetros estrechos.

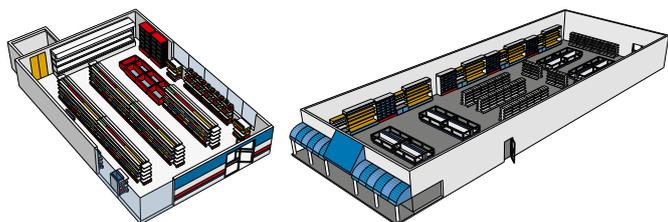
Los aceites de refrigeración sintéticos basados en ésteres de poliol (POE) son estables química y térmicamente (ésteres especiales de mono o dipentaeritritol); tienen buena miscibilidad. Estos aceites son idóneos para aplicaciones con refrigerantes de HC, como el propano R-290, en bombas de calor y expansores (sistemas ORC, recuperación de calor residual). Tienen buenas propiedades de fluencia a bajas temperaturas y una capa lubricante de gran estabilidad a altas temperaturas en aplicaciones con hidrocarburos.



### 3. EQUIPOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290

La refrigeración comercial implica el diseño, la instalación y el mantenimiento de unidades de refrigeración del tipo que se tiene en establecimientos comerciales para su venta al público en general, con lo que también se dedican a almacenamiento, exhibición o manipulación de productos perecederos, de alimentos y bebidas, a diferentes niveles de temperatura dentro de las tiendas, los supermercados o las grandes superficies, como las de la Figura 7.

FIGURA 7. REFRIGERACIÓN COMERCIAL EN TIENDAS Y SUPERMERCADOS

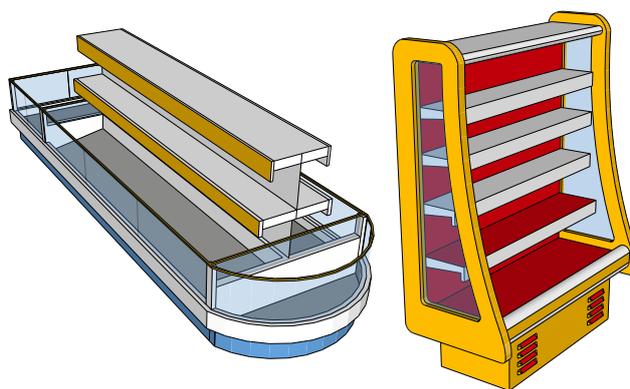


Fuente: elaboración propia.

La capacidad de refrigeración de los equipos puede oscilar entre unos pocos cientos de vatios, como los sistemas autónomos usados en las tiendas, hasta 1,5 MW, como las grandes instalaciones centralizadas de supermercados.

En tiendas de barrio, de conveniencia o en minimercados, los equipos suelen ser de pequeños volúmenes o de poca potencia; mientras que en los supermercados o grandes superficies, se encuentran tanto equipos de bajo como de gran volumen, tales como las cavas de congelación o conservación de alta potencia que, algunas veces, se catalogan como refrigeración industrial (Figura 8).

FIGURA 8. MUEBLES DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL DE CAPACIDAD BAJA Y ALTA



Fuente: elaboración propia.

TABLA 8. EJEMPLOS DE NOMBRES COMERCIALES DE TIPOS DE GABINETES Y EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL

NOMBRE COMERCIAL	TEMPERATURA OPERACIÓN			ORIENTACIÓN*		PUERTA**			AIRE FORZADO	ESTÁTICO
	REFRIGERA (+4/+10 °C)	CONGELA (-20/-18 °C)	R&C (-18/+4 °C)	V	H	A	S	V		
Islas		X			X	X			X	
Mostradores	X	X			X			X	X	
Vitrinas	X	X		X				X	X	
Murales	X	X		X		X		X	X	
Exhibidor	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hielera		X			X		X			X
Botelleros	X			X			X	X	X	
Mesas de trabajo	X	X			X		X		X	
Cavas o cuartos fríos	X	X		X			X		X	

\* V: Vertical, H: Horizontal, \*\* A: Abierta, S: Sólida, V: Ventana  
Fuente: elaboración propia.

Los equipos y sistemas de refrigeración comercial pueden diferenciarse en términos del volumen y la potencia, pero deben considerarse, además, las características de los ciclos de refrigeración (refrigerante, recalentamientos, inyecciones parciales o totales, configuración de los circuitos frigoríficos, etc.) y los propios componentes de las máquinas de refrigeración (compresores, válvulas manométricas, tanques separadores, etc.). En términos del refrigerante, el R-290 es el más propicio para reemplazar los HFC actuales, en la mayoría de los equipos comerciales para conservación de alimentos con muy poco uso en refrigeración industrial, dadas las condiciones que deben cumplirse en carga y medidas de seguridad.

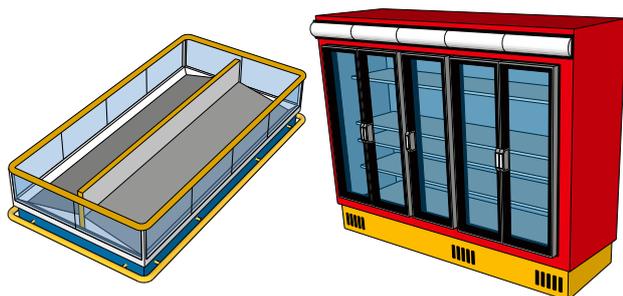
Los equipos y sistemas de refrigeración comercial se clasifican, además, entre los equipos de interacción directa con el público, denominados de autoservicio, y los de uso profesional exclusivos para manipulación por parte del operario de la tienda y sin manipulación por parte del cliente.

Son innumerables las categorías de gabinetes y equipos que tienen como elemento común un sistema de refrigeración, así puede apreciarse en la tabla 8. Su principal objetivo es almacenar y conservar productos de manera adecuada; también buscan que el usuario, o cliente, observe el producto y lo tenga al alcance para seleccionar el de su preferencia.

La elección del sistema de refrigeración y el refrigerante, en equipos como los de la Figura 9, dependen de dos niveles principales de temperatura necesarios para mantener productos frescos, por un lado, y productos congelados, por el otro; además de garantizar la carga térmica por el producto, las infiltraciones o paredes. Cuanto más compacto sea el equipo, mejor será la contención del refrigerante y menor el consumo de energía. En la refrigeración comercial, los muebles frigoríficos tienen interacción directa con los clientes de una tienda o supermercado.

Una característica esencial de estos muebles (Figura 8) es que exponen el producto perecedero, pueden abrirse al aire, con cortina de aire, o cerrarse con puertas correderas y tapas, con temperaturas de +4 °C/+10 °C, para frutas, por ejemplo, hasta -18 °C/-20 °C congelado con helados u otros productos. Cabe aclarar que los equipos abiertos y con cortinas consumen mayor cantidad de energía que los cerrados con puertas. No son recomendables los equipos o sistemas sin puertas.

FIGURA 9. MUEBLES FRIGORÍFICOS USADOS EN REFRIGERACIÓN COMERCIAL TIPO ABIERTO (ISLA) Y CERRADO (EXHIBIDOR-MURAL)



Fuente: elaboración propia.

Los HC tuvieron un uso muy limitado, a pesar de que presentan propiedades termodinámicas adecuadas; el R-290, muy similar al R-22, permite un alto y mejor nivel de eficiencia energética comparativa.

Las instalaciones de refrigeración comercial son muy diversas y pueden ser con equipos autocontenidos que operan con circuitos de refrigeración de expansión directa condensados por aire; son los más comunes en tiendas pequeñas, y sus gabinetes alcanzan un volumen de almacenamiento de hasta 2.000 litros.

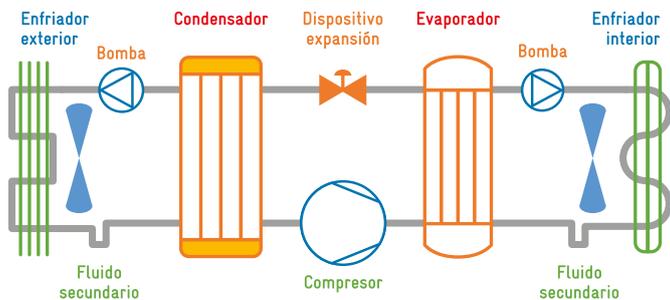
En sistemas de mayor tamaño, generalmente, se usan sistemas de expansión directa con conjunto compresor y condensador remoto (también llamado sistema uno a uno o sistemas centralizados), con arreglos de compresores en paralelo (tipo racks) que pueden ubicarse internamente o con condensador remoto enfriados por aire.

Sin embargo, tanto los equipos de expansión directa con unidad remota como los centralizados condensados por aire son sistemas que pueden tener alta probabilidad de fugas y grandes cargas de refrigerante; por lo que, recientemente, para usar con R-290, se emplean en conjunto con circuitos de agua de condensación centralizada, la cual rechaza el calor a través de un conjunto motoventilador e intercambiador de calor (tipo aeroenfriador); o por sistemas con torre de enfriamiento, los cuales son más usados para refrigeración industrial.

Finalmente, una alternativa muy difundida en refrigeración comercial con R-290 son los sistemas indirectos; que pueden ser de expansión o de condensación indirecta. En los primeros, el gabinete o mueble cuenta con un conjunto motoventilador e intercambiador de calor enfriado por glicol, que proviene de un sistema de refrigeración centralizado, denominado *chiller*, ubicado en el exterior o interior de la tienda, o el supermercado, y que, generalmente, se usan para operar a condiciones de temperatura de conservación (tabla 8). Para los segundos, se usa uno denominado *waterloop* o circuito de agua de enfriamiento que circula entre un intercambiador de calor, o aeroenfriador, y el condensador tipo placas, o coaxial, del circuito primario de refrigeración, integrados a una unidad compacta: la semi *plug in*.

Los sistemas indirectos se dividen en dos circuitos: uno refrigerante primario y uno o dos secundarios; uno en el lado del evaporador (frío) y otro en el del condensador (caliente). Además, también existen fluidos secundarios, intercambiadores de calor, tubos y bombas de circulación para estos circuitos secundarios; tal como se muestra en Figura 10.

FIGURA 10. SISTEMA DE EXPANSIÓN Y CONDENSACIÓN INDIRECTA



Fuente: elaboración propia.

Un fluido secundario transporta calor desde la fuente de calor, o el objeto de enfriamiento, al evaporador. Los sistemas indirectos han reemplazado cada vez más a los sistemas con expansión directa (sistema DX) en las aplicaciones de la refrigeración comercial, donde el fluido secundario transporta el calor desde la sala de refrigeración, o el gabinete, para garantizar la temperatura adecuada de los productos. Los sistemas indirectos también se introducen en aplicaciones de congelación y los sistemas autocontenidos con condensación indirecta se usan cada vez con mayor frecuencia.

Los sistemas indirectos han ganado relevancia, a medida que se han endurecido las normas para minimizar las fugas de refrigerante de las plantas; estrategia enmarcada en las políticas de eliminación gradual de varios tipos de refrigerantes HCFC y la reducción gradual de los HFC. La conciencia general de muchos propietarios de supermercados y tiendas, de cómo los refrigerantes afectan el medio ambiente global, además del costo que representan las instalaciones con CO<sub>2</sub> y los riesgos que implica el uso de R-717 (amoníaco), hacen que los sistemas indirectos con R-290 se conviertan en una opción viable.

A continuación, se destacan las principales características de usar sistemas indirectos con R-290 en refrigeración comercial:

- » Reduce los riesgos asociados a fugas de refrigerantes, aumentando la seguridad para las personas y el medioambiente, y minimizando las pérdidas de producción.
- » Reduce la carga de gas refrigerante respecto a análogos sistemas directos, en un rango de 5 %-40 %.
- » Reduce los plazos de entrega, instalación y puesta en marcha, con respecto a un sistema centralizado de expansión directa.
- » Se podrían incrementar los consumos de energía por bombeo; especialmente, cuando se usan fluidos secundarios que, a baja temperatura, aumentan considerablemente su viscosidad y, por lo tanto, las pérdidas de presión (esto depende del tipo de tecnología que se utilice).
- » Reduce el tamaño de la sala de máquinas.
- » Reduce el ruido en el interior de la tienda o supermercado.

- » Elimina las cargas térmicas por condensación de los sistemas autocontenidos.
- » Debe considerarse un costo de inversión y diseño adicional del circuito del fluido secundario.
- » Revisar el COP del sistema, debido a menor temperatura requerida en el evaporador por usar un fluido secundario que, posiblemente, se compensa con una temperatura menor en el condensador, si este es enfriado por agua más fría que el aire interior del recinto.
- » Son sistemas más flexibles para ampliar la capacidad o instalar nuevos consumidores del circuito secundario.
- » Permite instalar sistemas de control de flujo variable, para adaptarse a las condiciones de operación de la tienda o el supermercado.

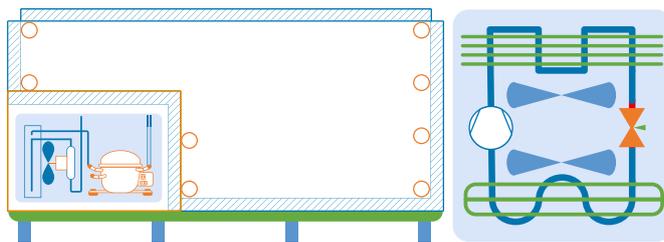
### 3.1 TIPOS DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290

#### 3.1.1 Equipos autocontenidos

Consisten en sistemas que integran todos los componentes de refrigeración. Para sistemas más pequeños, el circuito de refrigeración está totalmente soldado (hermético). Los equipos independientes, incluidos congeladores, máquinas expendedoras y enfriadores de bebidas, se utilizan en muchos países de la región.

Los sistemas autocontenidos, representados en la Figura 11 y la foto 1, son completos, ensamblados y ensayados en la fábrica; se embarcan en una o más secciones y no tienen partes que contengan refrigerante que estén unidas en campo por un elemento diferente de una cúpula o conjunto de válvulas.

FIGURA 11. ESQUEMA DE SISTEMA AUTOCONTENIDO DE EXPANSIÓN DIRECTA (CONGELADOR HORIZONTAL)



Fuente: elaboración propia.

FOTO 1. SISTEMA AUTOCONTENIDO DE EXPANSIÓN DIRECTA (CONGELADOR HORIZONTAL)



Fuente: elaboración propia.

Los equipos de refrigeración domésticos, refrigeradores y congeladores, pueden encontrarse en las tiendas de los supermercados y se utilizan con fines comerciales. Sus componentes principales no difieren mucho de un equipo de refrigeración comercial, destacándose el compresor hermético, condensador de tubos y alambre de convección natural, evaporador de placa tipo *roll bond*, conjunto intercambiador de calor y tubo capilar.

Los equipos autocontenidos son sistemas de refrigeración autónomos, también llamados tipo *Plug In* (conectable en inglés), ya que solo requieren conectarse a la red eléctrica para su puesta en operación.

A continuación, se detallan los diferentes tipos de equipos autocontenidos en refrigeración comercial (nombres comerciales):

Los exhibidores son muebles cerrados desde los cuales se muestra el producto, como los presentados en la foto 2. Pueden ser para bebidas (de 4 °C a 16 °C), helados (desde -15 °C hasta -25 °C), pastelería (de 2 °C a 10 °C), maduración de carne (de 2 °C a 6 °C), etc. Cada fabricante puede tener una temperatura de referencia, siempre acorde con los valores de conservación que las autoridades, las normas y la industria recomienden o necesiten. Como todos los equipos acristalados, la posibilidad de que estos se empañen es el principal de los inconvenientes. Todos ellos deben tener un sistema de calentamiento del marco, para que pueda realizarse la apertura de puertas y el cristal pueda desempañarse.

Los principales equipos de refrigeración comercial autocontenidos en Colombia son las neveras exhibidoras para productos de bebidas gaseosas, como los de la foto 2, los cuales son ofrecidos por las empresas fabricantes a través de un contrato de comodato con el dueño del negocio, exigiendo una exhibición mínima de su producto y no usarlo para la competencia. Generalmente, el propietario del negocio es responsable del pago de consumo de energía eléctrica y el mantenimiento del refrigerador.

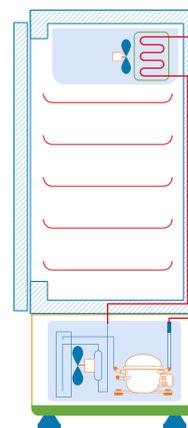
FOTO 2. REFRIGERADOR EXHIBIDOR VERTICAL AUTOCONTENIDO



Fuente: elaboración propia.

Los armarios murales, como el de la Figura 8, no tienen grandes diferencias con los exhibidores de la foto 2, ya que también tienen una estructura vertical y sus características y funcionamiento son similares. Son de mayor tamaño y, por lo general, se ubican en los costados de los muros del supermercado o la tienda.

FIGURA 12. ESQUEMA REFRIGERADOR EXHIBIDOR VERTICAL AUTOCONTENIDO



Fuente: elaboración propia.

Los equipos autocontenidos, tipo *Vending Machine* o máquinas dispensadoras, venden productos en exhibición, previo pago a través de monedas, billetes, tarjetas e, incluso, pago electrónico por celular. En estas, el producto se selecciona mediante un código y la máquina se encarga de extraerlo por medios mecánicos. El sistema de refrigeración es similar al de los refrigeradores exhibidores verticales y, generalmente, opera en temperaturas de conservación.

Las vitrinas de autoservicio se usan en refrigeración comercial y su clasificación muchas veces depende del fabricante o del país de origen; porque todas ellas son vitrinas, unas murales, otras horizontales; unas para autoservicio, otras disponibles solo para los profesionales; unas para productos congelados y otras para refrescos. Cada una de ellas para una temperatura adecuada al caso, pero todas para exposición del producto a la vista del cliente, como se presenta en la tabla 8. Dada la escasa diferencia entre unas y otras, según su uso, pueden clasificarse en:

- » **Mostrador:** Para pollerías, carnicerías, casquerías, charcuterías, etc., en general, no es utilizable directamente por el cliente, como el de la foto 3. No hay que confundir con mostradores de otros productos, como los de las panaderías y de otros productos derivados para los que el frío no es aconsejable porque los seca. Este último tipo de vitrinas se denomina vitrinas neutras; es decir, sin refrigeración.
- » **Mural:** Para lácteos, embutidos, pizzas, etc. Los utiliza el público directamente en supermercados y autoservicios. Suelen ser abiertos y el cierre, durante su uso, suele ser mediante cortinas de aire, como en la foto 4.
- » **Vitrinas tipo mostrador:** Como la de la foto 3, son equipos destinados tanto a la conservación del producto como a exhibirlo a los clientes. En algunos casos, el cliente se sirve el producto deseado, ya que algunas de las vitrinas permiten que el producto se pueda ver, pero es el profesional quien lo sirve; tal como ocurre con las carnes y embutidos al corte, etc.

Algunas son completamente cerradas, pero en otras, el cierre se realiza mediante cortinas de aire que impiden el intercambio térmico con el exterior. Cuando la tienda está cerrada y el cliente no está presente —generalmente en

la noche—, unas cortinas adicionales de material plástico flexible se desenrollan para limitar la entrada de calor, mejorar la función de la cortina de aire de la vitrina y que las ganancias térmicas sean menores. Se utilizan como equipos de conservación tanto para productos frescos como para congelados.

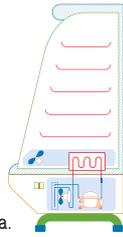
Como el mayor problema de los equipos acristalados es la condensación (al igual que de otros equipos de esta clasificación), tienen un sistema de calentamiento del marco para evitar que el cristal se empañe y pueda bloquearse el movimiento de las tapas debido a la presencia de hielo. Se utiliza para conservar productos congelados.

FOTO 3. REFRIGERADOR TIPO VITRINA MOSTRADOR AUTOCONTENIDO



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 13. ESQUEMA REFRIGERADOR TIPO VITRINA MOSTRADOR AUTOCONTENIDO



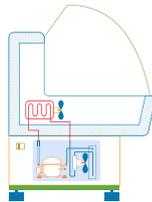
Fuente: elaboración propia.

FOTO 4. REFRIGERADOR VITRINA MURAL ABIERTA AUTOCONTENIDO.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 14. ESQUEMA REFRIGERADOR TIPO VITRINA MOSTRADOR AUTOCONTENIDO



Fuente: elaboración propia.

Los refrigeradores tipo isla, de la foto 5, suelen estar separados de otros equipos o paredes, y se ubican en el centro del supermercado. Son de posición horizontal y suelen tener tapas correderas de cristal curvado.

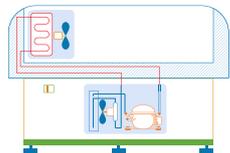
Los equipos profesionales son muebles de refrigeración comercial a los que no tienen acceso los clientes; aunque, en algunos de ellos, el producto pueda ser visible para el cliente. Algunos botelleros refrigeradores horizontales, que

FOTO 5. REFRIGERADOR TIPO ISLA AUTOCONTENIDO



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 15. ESQUEMA REFRIGERADOR TIPO ISLA AUTOCONTENIDO



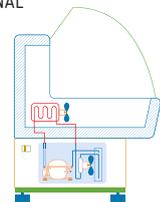
Fuente: elaboración propia.

FOTO 6. MESA REFRIGERADA AUTOCONTENIDA DE USO PROFESIONAL



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 16. ESQUEMA MESA REFRIGERADA AUTOCONTENIDA DE USO PROFESIONAL



Fuente: elaboración propia.

suelen formar parte de mesas y mostradores, como el de la foto 6, para uso de los encargados de atender al cliente, pueden tener carga superior o lateral, cierran mediante compuerta horizontal, metálica, de tipo corredera, y aislada, para evitar la ganancia de calor. Es un equipo que clasifica como autocontenido con un sistema de refrigeración sellado.

Las pequeñas cavas o cuartos fríos para conservación o congelación también forman parte de los equipos profesionales sin acceso a los clientes. Recientemente se han desarrollado sistemas denominados monoblock o monobloque (foto 7); se trata de una unidad autónoma o *plug-in*, de fácil instalación y adaptable para operar con R-290, la cual incluye, en un mismo sistema, la unidad condensadora enfriada por aire y el evaporador; ambos separados por un panel de poliuretano para facilitar la instalación y mejorar la fijación a la pared de la cámara. Estos equipos son de instalación fácil y rápida, pueden ubicarse en las paredes, el techo o la puerta del cuarto frío; son completamente sellados y adecuados para zonas con acceso restringido. Deben cumplir con el límite práctico de carga de refrigerante de 8 g de R-290 por m<sup>3</sup> de volumen de sitio para cada unidad (ver sección 4.1). Si es necesario, para dividir la carga de refrigerante, pueden instalarse varias unidades en el mismo sitio.

FOTO 7. CUARTO FRÍO PEQUEÑO CON SISTEMA MONOBLOCK



Fuente: elaboración propia.

**Sistemas autocontenidos condensados por agua:** En el mercado existen otras tecnologías de equipos autocontenidos condensados por agua que están diseñados, principalmente, para aplicaciones en gabinetes verticales para congelación o conservación (foto 8). Están fabricadas especialmente para usar refrigerante R-290, a fin de evitar posibles fugas de gas y generar más espacio interno en la tienda, así como mayor rapidez en la instalación y el mantenimiento. Son sistemas completos y modulares. En caso de una falla eventual, no dejan de funcionar, ya que las otras unidades paralelas mantienen el equipo frío hasta que se reemplace la pieza.

FOTO 8. UNIDAD EVAPORADORA PLUG IN CONDENSADA POR AGUA PARA GABINETES VERTICALES



Fuente: elaboración propia.

Los sistemas semi *plug-in*, o de condensación indirecta (foto 9), son sistemas con circuito de agua que tienen unidades de refrigeración individuales instaladas en cada gabinete. El rechazo de calor, en el sistema *plug-in*, no se produce en un condensador tradicional enfriado por aire. Este ha sido reemplazado por un condensador enfriado por agua. Posee un sistema centralizado compuesto por un intercambiador de calor aire-agua tipo aerofriador, un ventilador y un circuito de agua que suministra agua fría a cada gabinete, a través de la bomba del sistema hidráulico.

FOTO 9. SISTEMA AUTOCONTENIDO ENFRIADO POR AGUA



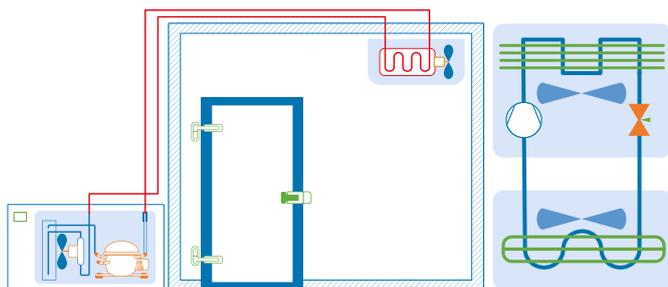
Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2 Sistemas distribuidos

#### 3.1.2.1 Sistemas distribuidos de expansión directa

En el mercado de la refrigeración comercial puede encontrarse un mueble (gabinete o cuarto) de los sistemas autónomos; pero sin grupo incorporado o unidad condensadora. En este caso, pueden tener un evaporador de expansión directa con ventilador y válvula de expansión para operar a temperaturas de  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para conservación de frutas o enfriamiento de bebidas, así como de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para congelado de helados u otros productos; o un grupo de ventilador e intercambiador de calor, para operar con glicol a temperaturas de conservación (Figura 17).

FIGURA 17. SISTEMA DE EXPANSIÓN DIRECTA UNO A UNO CONDENSADO POR AIRE (CAVA O CUARTO FRÍO)

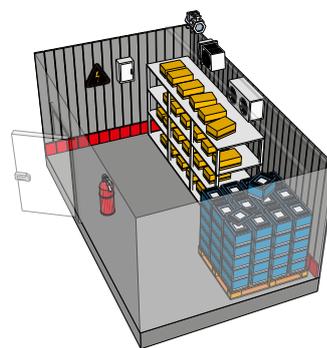


Fuente: elaboración propia.

Las cavas o cuartos fríos son equipos de refrigeración comercial por excelencia y, a nivel profesional, el más extendido por su versatilidad en tamaños, formas y utilización.

El cuarto puede ser de material, en el que van apareciendo las diferentes capas de ladrillo, argamasa, rasilla u otros elementos que proporcionan rigidez a la pared, asociados a otros que son aislantes, densos, para proporcionar un buen aislamiento, pero no tan rígidos como para, por sí solos, elaborar una pared compacta. Este tipo de cámaras se utilizan para generar volúmenes amplios y superficies grandes donde conservar grandes cantidades de producto. Se dirigen a instalaciones industriales, aunque son válidas para volúmenes pequeños, apropiados para profesionales individuales o pequeños negocios en tiendas y supermercados.

FIGURA 18. CÁMARA FRIGORÍFICA DE PANELES DE PREFABRICADOS TIPO SÁNDWICH



Fuente: elaboración propia.

También existen las cámaras prefabricadas (Figura 18), formadas por paneles tipo sándwich constituidos por un material aislante de gran densidad y gran espesor, montados entre dos planchas metálicas que proporcionan rigidez a la estructura. Los paneles están machihembrados entre sí, pudiendo unirse y fijarse unos a otros, por sistemas de anclaje y fijación que, generalmente, están formados por unos ganchos de ensamblaje bloqueados por pernos que, al girar un ángulo determinado, sujetan y fijan los paneles.

En ocasiones, los paneles van encajados sobre perfiles que configuran las aristas y sobre los que se fijan los paneles; en otras ocasiones, son los propios paneles los que se fijan entre sí, sin ninguna necesidad de refuerzo. También son muy versátiles porque, al ir estructurados por paneles iguales, la configuración es múltiple, ya que suelen ser intercambiables y eso permite obtener distintas configuraciones para una misma cámara, tales como insertar la puerta de entrada en el lado más corto o en el más largo, y, sobre este, en el centro o en un lateral, incluso seleccionar el lado de apertura de la puerta.

### 3.1.2 Sistemas distribuidos de condensación indirecta

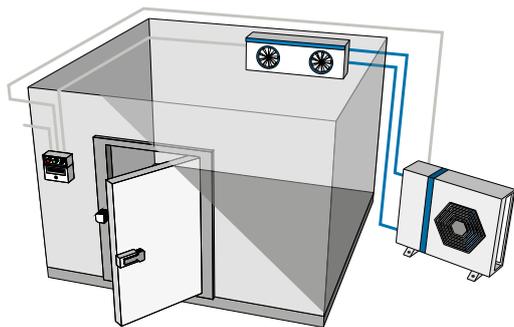
Los sistemas de refrigeración distribuidos más modernos son los conocidos como unidades evaporadoras **waterloop**, similares a los monobloques, dado que integran compresor, evaporador y condensador enfriado por agua, o de condensación indirecta, denominado *semi plug-in*, como el de la Figura 19.

FIGURA 19. UNIDAD EVAPORADORA WATERLOOP CONDENSADA POR AGUA



Fuente: elaboración propia.

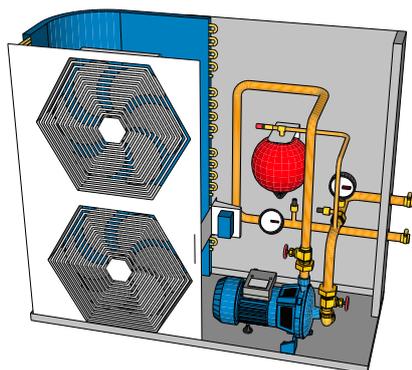
FIGURA 20. CÁMARA FRIGORÍFICA CON SISTEMA WATERLOOP UNO A UNO



Fuente: elaboración propia.

El condensador puede ser de placas o coaxial, enfriado por agua proveniente de un circuito hidráulico remoto ubicado generalmente en el exterior, conjunto denominado aerofriador y conformado por un intercambiador de calor aire-agua, ventilador, bomba de agua y tanque de expansión, como el de la Figura 21.

FIGURA 21. SISTEMA AEROENFRIADOR CON GRUPO HIDRÁULICO INCORPORADO



Fuente: elaboración propia.

Tienen la ventaja de reducir la carga térmica al interior de las zonas de trabajo y aumentar la eficiencia energética, con la opción de recuperar calor del agua; permiten distintas configuraciones, desde una simple cámara frigorífica (como en las figuras 19 y 20) hasta un conjunto de cámaras y otros tipos de equipos a distintas temperaturas.

### 3.1.3 Sistemas unidad condensadora remota

Los equipos de expansión directa con unidad condensadora o condensador remoto también son muy comunes para todos los formatos de tiendas de conveniencia y supermercados pequeños, especialmente para proveer el servicio a tres o cuatro gabinetes (Figura 17).

FOTO 10. UNIDAD CONDENSADORA ENFRIADA POR AIRE CON COMPRESOR HERMÉTICO Y EVAPADOR CON VENTILADOR INCORPORADO



Fuente: elaboración propia.

Son sistemas de refrigeración divididos (*split*) que deben instalarse en el sitio por personal especializado. Tanto la unidad condensadora enfriada por aire para uso interno (como la de la foto 10) o externo y la unidad evaporadora deben tener su propio suministro eléctrico, pero comandado por un mismo sistema de control. Adicionalmente, las unidades remotas tienen un rango de capacidad de 20 kW-50 kW y están integradas a uno o dos gabinetes.

Los sistemas de expansión directa (Figura 16) tienen algunas partes ensambladas y ensayadas en la misma tienda o supermercado. Algunos elementos, como filtros o tanques, y la carga de refrigerante debe hacerse en el sitio; lo que implica contar con equipo especializado de soldadura, bomba de vacío, báscula, etc. (ver el capítulo 6).

### 3.1.4 Sistemas centralizados

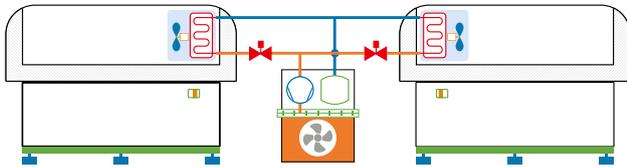
#### 3.1.4.1 Sistemas centralizados de expansión directa

En los supermercados y tiendas de grandes superficies, se ubican los gabinetes, exhibidores y vitrinas en grandes grupos lineales, ocupando, incluso, varios pasillos completos en los que aparece todo tipo de productos, tanto frescos como congelados. Para obtener una mayor eficiencia energética, no están configurados como equipos autónomos, sino formando parte de una instalación compleja y centralizada en la que, desde un conjunto de compresores y condensadores, se alimenta una red de refrigerante con servicio a cada uno de los equipos, que tienen también sus propios evaporadores y controles de funcionamiento y seguridad.

Las islas, por ejemplo, pueden tener un circuito de refrigeración individual autocontenido; pero, si forman parte de un grupo de varias islas en línea (Figura 22), dado el tamaño del sistema, lo más conveniente sería que cada

isla estuviese conectada por un circuito de refrigerante a un sistema centralizado, o unidad condensadora central, teniendo como únicos componentes el evaporador, el ventilador y su propia válvula de expansión.

FIGURA 22. REFRIGERADORES TIPO ISLA CONECTADOS A UN SISTEMA CENTRALIZADO

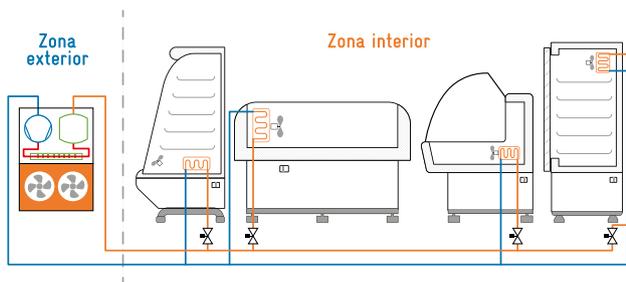


Fuente: elaboración propia.

Estos sistemas, a menudo, tienen cargas de refrigerante muy grandes y circuitos de tuberías largos; en efecto, los sistemas convencionales que usan HFC suelen experimentar tasas de fuga altas. Para el caso de los HC, actualmente, las normas técnicas colombianas restringen su uso, considerando los requerimientos de seguridad que define especialmente la NTC 6228-1.

En los sistemas centralizados de expansión directa, como el que se muestra en la Figura 23, el fluido refrigerante circula desde la sala de máquinas hasta la zona interna del supermercado; allí se evapora en los intercambiadores de calor de los gabinetes refrigerados y las cámaras frigoríficas; y vuelve en fase vapor a los colectores de aspiración de las centrales de compresores.

FIGURA 23. EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CENTRALIZADO A UNIDAD CONDENSADORA (EXHIBIDOR MURAL, ISLA, VITRINA Y MOSTRADOR)



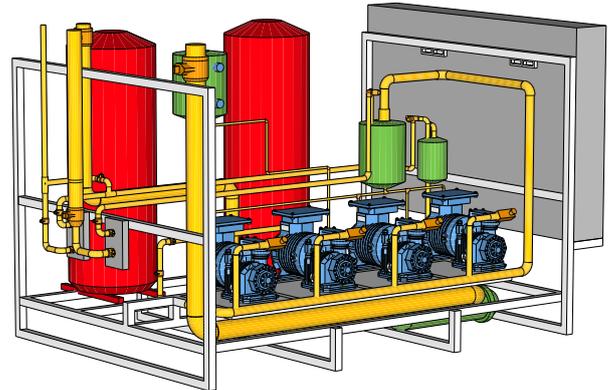
Fuente: elaboración propia.

Las fugas de refrigerante en el sector comercial se deben a la gran cantidad de interconexiones de tuberías (uniones), válvulas de expansión, fallas en el retorno de aceite, corrosión y vibraciones.

Los equipos sin grupo incorporado o sin unidad condensadora tienen la ventaja de liberar ese volumen para permitir mayor capacidad de almacenamiento de producto; además, evitan descargar el calor de condensación al interior de la tienda, lo que implica una reducción en los consumos de energía para climatización del almacén o el supermercado, y mayor eficiencia del ciclo de refrigeración al operar a menores temperaturas exteriores.

En los supermercados y grandes superficies son comunes los sistemas centralizados (sistema rack), como el de la Figura 24, donde un grupo de compresores en paralelo comprime el refrigerante a una misma presión a una unidad condensadora enfriada por aire. El refrigerante a alta presión y en estado líquido se almacena en un tanque receptor para enviarse a las unidades evaporadoras dispuestas en paralelo de las vitrinas, góndolas, exhibidores u otro tipo de mueble remoto que sirve para conservar o congelar los productos.

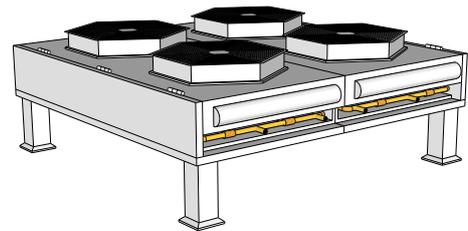
FIGURA 24. SISTEMA CENTRALIZADO DE REFRIGERACIÓN TIPO RACK



Fuente: elaboración propia.

En los sistemas centralizados de expansión directa, la descarga del refrigerante de los compresores puestos en paralelo se concentra en un cabezote, o header, y es conducido a un condensador de aire, como el de la Figura 25, ubicado en la parte exterior del supermercado.

FIGURA 25. CONDENSADOR DE AIRE EN SISTEMA CENTRALIZADO DE EXPANSIÓN DIRECTA



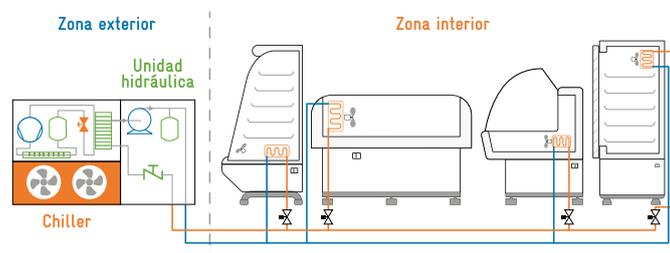
Fuente: elaboración propia.

### 3.1.4.2 Sistemas centralizados de expansión indirecta

En los sistemas de expansión indirecta, el gas refrigerante es confinado en la zona de generación de frío, allí, la potencia de refrigeración se transfiere a un fluido secundario, o intermedio, mediante un intercambiador de calor tipo coraza y tubo, helicoidal o de placas. Impulsado por un sistema de bombeo, el fluido secundario lo transporta a los usuarios finales: aerofriadores, o un conjunto de intercambiador de calor y ventilador convenientemente ubicado en el sistema de distribución de aire del equipo exhibidor, vitrina, mural o cuarto frío.

Los principales elementos de los sistemas de expansión de frío son el equipo generador de frío o enfriador del fluido secundario (también llamado chiller), el intercambiador de calor vapor/líquido y el equipo hidráulico compuesto por bomba y tanque de expansión (Figura 26).

FIGURA 26. SISTEMA CENTRALIZADO DE EXPANSIÓN INDIRECTA



Fuente: elaboración propia.

La expresión fluido secundario se utiliza aquí para fluidos que toman y transportan energía de objetos de enfriamiento o fuentes de calor en el lado frío del evaporador en un sistema de expansión indirecta. El agua es un excelente fluido secundario, siempre que su temperatura sea de más de 0 °C; se necesita un aditivo para reducir el punto de congelación del agua para temperaturas del fluido secundario cercanas o inferiores a 0 °C. Los aditivos básicos más comunes son el etilenglicol (MEG), el propilenglicol (MPG), el alcohol etílico (etanol), el cloruro de calcio, el acetato de potasio y el formiato de potasio; en ciertas aplicaciones, se utilizan glicerol, betaína, carbonato de potasio y cloruro de sodio; las soluciones acuosas de alcohol metílico (metanol) y amoníaco también se utilizan en aplicaciones especiales.

Para seleccionar el fluido secundario, se deben conocer los requisitos previos del fluido de trabajo secundario elegido: compatibilidad de materiales y propiedades termofísicas para que el sistema opere correctamente. En la tabla 9 se comparan los principales fluidos secundarios usados en sistemas de expansión indirecta.

TABLA 9. PROPIEDADES DE LOS PRINCIPALES FLUIDOS SECUNDARIOS USADOS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL POR EXPANSIÓN INDIRECTA

FLUIDO	PUNTO DE CONGELACIÓN (°C)	DENSIDAD (kg/m³)	CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg-K)	VISCOSIDAD DINÁMICA (CST)	DP/M² (PA/M)	CORROSIVO
MEG 30 %	-15,8	1.054,3	3,561	5,87	1.262,5	No
MPG 33 %	-15,3	1.042,3	3,728	14,67	1.412,4	No
CO <sub>2</sub>	-56,6	984,6	258,29	0,11	7,06 x 10 <sup>-5</sup>	Sí
NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O 11 %	-15,0	962,0	4,240	2,81	847,2	Sí
CaCl <sub>2</sub> 18 %	-15,0	1.171,0	3,148	3,85	1.318	Sí

Fuente: Infrico (2022).

Propiedades termofísicas, compatibilidad con los materiales y costos son los criterios para seleccionar el fluido secundario. En este caso, el MEG (*mono ethylene glycol*) al 30 % y el MPG (*mono propylene glycol*) al 33 % resultan interesantes por su bajo efecto corrosivo. Sin embargo, este tipo de fluidos, generalmente, hacen que los sistemas

de bombeo consuman más energía que los sistemas de expansión directa, e incluso más que si solo se usara agua como fluido secundario. En la tabla 10 se hace una comparación energética relativa de algunos de los fluidos secundarios más usados.

TABLA 10. COMPARACIÓN ENERGÉTICA RELATIVA DE ALGUNOS FLUIDOS SECUNDARIOS USADOS EN SISTEMAS DE EXPANSIÓN INDIRECTA

AGUA	MEG 30 %	MPG 330 %	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O 11 %	CaCl <sub>2</sub> 18 %
1	1,65	1,9	-	1,13	1,53

Fuente: Infrico (2022).

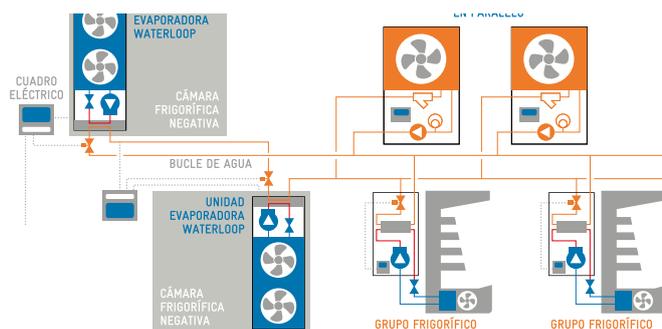
Por sus características termofísicas, el CO<sub>2</sub> es un fluido secundario con casi nulo empleo de energía asociado al trabajo hidráulico para hacerlo circular por cada consumidor. No obstante, la inversión inicial y la elevada capacidad técnica requerida para las instalaciones y operaciones de mantenimiento hacen que su uso no se haya generalizado en Latinoamérica.

El sistema de aerofriadores con bucle de agua permite centralizar un conjunto de cámaras y múltiples equipos de refrigeración comercial usando unidades evaporadoras *waterloop* y unidades semi *plug-in*, que también vienen como unidades herméticas de fábrica integradas en las vitrinas que se clasifican como autocontenidas (Figura 27). Este tipo de instalaciones ha tenido una gran acogida con la reciente aplicación de los reglamentos para el uso de HC, lo que garantiza una tasa de fugas baja en los sistemas.

La instalación se simplifica, ya que las unidades *waterloop* y semi *plug-in* están cargadas de fábrica y solo necesitan suministro eléctrico y de agua para funcionar. Las soluciones de refrigeración con condensación indirecta con bucle de agua eliminan la necesidad de una sala de máquinas; liberan así más área de ventas. El circuito de agua transporta el calor fuera del sistema y lo disipa en un enfriador de aire o intercambiador de calor tipo aerofriador (en inglés, *dry cooler*), que generalmente se coloca en el techo.

Las unidades evaporadoras *waterloop* y los semi *plug-in* integrados a los gabinetes de refrigeración comercial son sistemas compactos, herméticamente sellados, con carga mínima de refrigerante R-290, inferior al límite práctico del volumen refrigerado.

FIGURA 27. SISTEMA CENTRALIZADO CON UNIDAD EVAPORADORA WATERLOOP Y EQUIPOS AUTOCONTENIDOS SEMI PLUG-IN

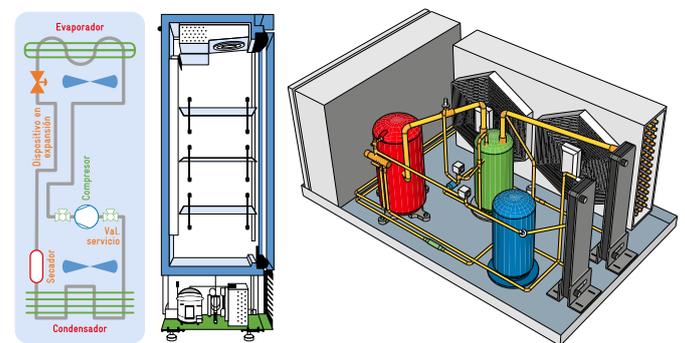


Fuente: elaboración propia.

### 3.2 COMPONENTES DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290

El sistema de refrigeración de los equipos para la conservación de alimentos comerciales opera bajo el principio del ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor, el cual está compuesto por cuatro procesos básicos: compresión, condensación, expansión y evaporación. Cada uno de estos procesos ocurre en el componente correspondiente, como se aprecia en la Figura 28, los cuales pueden variar dependiendo del tamaño, o incluir otros accesorios o dispositivos de automatización y control, si es un equipo autocontenido; un sistema de expansión directa o indirecta, si corresponde a un sistema distribuido o centralizado.

FIGURA 28. COMPONENTES BÁSICOS DE UN REFRIGERADOR COMERCIAL AUTOCONTENIDO



Fuente: elaboración propia.

» **Compresor:** Es el corazón del sistema, hace circular al refrigerante. El compresor succiona el refrigerante sobrecalentado a baja presión y temperatura, y lo comprime aumentando la presión y la temperatura. El refrigerante fluye a alta presión y temperatura hacia la entrada del condensador a través de las líneas de descarga de gas caliente. Hay muchos tipos de compresores que pueden usarse en refrigeración, los cuales pueden clasificarse, según su funcionamiento, en: reciprocantes, rotativos o centrífugos; que pueden acoplarse al motor en tres formas: hermética, semihermética y abierta (ver fotos de la 11 a la 14).

Los compresores más comunes para refrigeración comercial de pequeña potencia, como en los sistemas autocontenidos, son los compresores reciprocantes o alternativos de pistón herméticos y los rotativos tipo *scroll*. Mientras que para aplicaciones de mayor potencia —como los centralizados—, principalmente, se usan los compresores reciprocantes semiherméticos.

» **Condensador:** Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor, a través de la cual pasa el calor del refrigerante caliente al medio condensante. Si se condensa a 50 °C, la presión de trabajo del R-290 es 140 % de R-134a y 73 % de R-404A. Entonces, la tubería del sistema original de R-404A puede cumplir con los requisitos de R-290 en términos de resistencia a la presión. La tubería debe cumplir con los requisitos de presión.

## Compresores usados en sistemas de refrigeración comercial con R-290



Fuente: elaboración propia.

El lado de alta presión del sistema debe soportar 3,5 veces la presión de saturación del R-290 a 70 °C, es decir, 87 bar. Y el extremo de baja presión debe soportar 5 veces la presión de saturación del R-290 a 20 °C, es decir, 36,8 bar. Una tubería de acero galvanizado de 0,71 mm de espesor de pared de Ø6, se puede satisfacer el requisito de resistencia a la presión del condensador. En los sistemas indirectos condensados por agua, el lado del condensador (caliente), en un sistema de refrigeración, el fluido se denomina fluido secundario para el lado del condensador. Este fluido transporta el calor del condensador al recuperador de calor o a enfriadores de líquido que normalmente se colocan al aire libre. En los sistemas de aire acondicionado y bombas de calor se suele utilizar agua (ver fotos de la 15 a la 20).

## Condensadores usados en sistemas de refrigeración comercial con R-290



Fuente: elaboración propia.

» **Dispositivo de expansión:** controla el suministro de líquido refrigerante al evaporador y reduce la presión del refrigerante para que vaporice a la temperatura deseada.

La expansión con tubo capilar es una forma confiable y económica para los refrigeradores comerciales pequeños; pero no detecta el recalentamiento a la salida de un evaporador, por lo que no permite optimizar la inyección de líquido a este último. Una alternativa que ofrece mayor control al sobrecalentamiento es la válvula de expansión termostática (TEV), la cual puede controlar la inyección de líquido al evaporador. Para frigoríficos comerciales con el mismo rendimiento y especificaciones, el caudal del tubo capilar es el mismo que el del sistema R-404A. En cuanto a las características de refrigeración del propano, cuando se produce el sobrecalentamiento adecuado en el gas de retorno, el sistema mejora la eficiencia de refrigeración. Por lo tanto, requiere un intercambiador entre el tubo capilar con la tubería de gas de retorno. Los refrigeradores comerciales que originalmente usan el sistema R-404A pueden usar directamente los componentes principales del sistema de enfriamiento, si cambian el sistema a R-290 (ver fotos de la 21 a la 23).

## Dispositivos de expansión usados en sistemas de refrigeración comercial con R-290



Fuente: elaboración propia.

» **Evaporador:** es un intercambiador de calor que tiene la función de proporcionar una superficie para transferir calor del líquido por enfriar al refrigerante en condiciones de saturación. Mediante la línea de succión, el refrigerante fluye como vapor a baja presión. Es aquí donde el calor del agua es transferido al refrigerante. Es preferible que el evaporador no tenga una porción expuesta fuera de la capa de espuma; de esta manera, incluso si la tubería tiene fugas, la velocidad de evacuación al exterior se reduce considerablemente; mantiene la concentración de propano lejos del límite inferior de explosión. Cuando la temperatura de evaporación es de -25 °C, la presión de trabajo del R-290 es el 190 % la del R-134a, y alrededor del 80 % la de R-404A. El diseño del evaporador debe ser similar al del R-404A. Según investigaciones y verificaciones relevantes, el tubo de acero galvanizado de 0,71 mm de espesor de pared de Ø8 puede cumplir con los requisitos de resistencia a la presión del evaporador. Los evaporadores pueden ser de expansión directa o indirecta (ver fotos de la 24 a la 33).

## Evaporadores de expansión directa usados en sistemas de refrigeración comercial con R-290

<p>FOTO 24. EVAPORADOR ESTÁTICO TIPO ROLL BOND</p> 	<p>FOTO 25. EVAPORADOR CONGELADOR ESTÁTICO</p> 
<p>FOTO 26. EVAPORADOR SEMIESTÁTICO</p> 	<p>FOTO 27. EVAPORADOR TUBOS Y ALETAS DE CONVECCIÓN FORZADA</p> 
<p>FOTO 28. EVAPORADOR CON CORTINA DE AIRE</p> 	<p>FOTO 29. EVAPORADORES POR CONVECCIÓN FORZADA</p> 

Fuente: elaboración propia.

## Evaporadores de expansión indirecta usados en sistemas de refrigeración comercial con R-290

<p>FOTO 30. EVAPORADOR SUMERGIBLE TIPO COIL</p> 	<p>FOTO 31. EVAPORADOR CORAZA Y TUBO</p> 
<p>FOTO 32. EVAPORADOR TUBO ENTRE TUBO TIPO COIL</p> 	<p>FOTO 33. EVAPORADOR DE PLACAS</p> 

Fuente: elaboración propia.

- » **Accesorios y control:** En el circuito de refrigeración, el R-290 no tiene productos químicos activos, por lo tanto, no presenta problemas específicos. Hay muy pocos problemas de compatibilidad con los materiales directos. Aun así, han surgido algunos problemas en plásticos y caucho. Pero estos materiales no suelen existir en sistemas pequeños y completamente cerrados. Para que un enfriador trabaje en forma automática, es necesario que, también, cuente con dispositivos electrónicos para controlar la temperatura, la presión, entre otras variables que permitan la climatización adecuada:
- » **Los termostatos** (foto 34), instalados en esta unidad, actúan para conectar o interrumpir un circuito, en respuesta a un cambio de temperatura. Cierran un

circuito, si la temperatura aumenta; y lo interrumpen, si desciende; activa o desactiva (abre o cierra) una válvula solenoide, permitiendo o impidiendo, de este modo, que el refrigerante fluya hacia el evaporador. En sistemas de pequeño tamaño, con un único evaporador, los termostatos activan o desactivan el compresor directamente.

- » **Presostato de baja presión** (foto 35): Se conecta en la succión del compresor; opera cuando existe baja presión en el sistema. Actúa como control de seguridad, al incrementar la presión a un nivel arriba de lo normal. Este dispositivo es de restablecimiento manual; el disparo de alta presión puede ocasionarse por obstrucciones en el condensador, altas temperaturas en el área de enfriamiento, mal funcionamiento de los abanicos, desajuste en la válvula de expansión u obstrucción en la línea de líquido.
- » **Separador de aceite** (foto 39): En principio, en una instalación de refrigeración, el aceite debe permanecer en el compresor. Fuera del sistema, puede ser más perjudicial que favorable; porque merma la capacidad del evaporador y del condensador. Igualmente, si el nivel del aceite en el cárter toma un valor excesivamente bajo, se produce un riesgo de lubricación insuficiente del compresor. La mejor protección contra estos inconvenientes consiste en instalar un separador de aceite eficaz.
- » **Depósito de líquido condensado** (foto 37): El recipiente compensa los cambios en el nivel de líquido del condensador derivados de las variaciones que sufre la carga. Cuando la válvula de expansión se abre/cierra, el nivel de líquido en el condensador cambia; al no existir 'refrigerante adicional' en el recipiente, puede que no se acumule líquido suficiente antes de la válvula de expansión para que esta funcione correctamente, lo cual podría conducir a la inestabilidad general del sistema. Actúa también como un depósito complementario que asegura la separación del refrigerante líquido del vapor de refrigerante, garantizando así que lo único que abandone el recipiente sea refrigerante líquido puro.
- » **Separador/purgador de aire** (foto 42): Se utiliza para ventilar el aire no disuelto; especialmente, para ventilar cualquier R-290 del circuito de agua (sistema tipo chiller), en caso de una fuga en el evaporador. Por lo general, se emplea un separador de aire para eliminar el aire disuelto y minimizar el potencial de corrosión y cavitación de la bomba. Dado que el separador de aire debe usarse de todos modos, también puede tener el doble propósito de ventilar el R-290 filtrado. Lo ideal es colocarlos en el punto más alto del circuito y aguas abajo del evaporador. El aire es menos soluble en posiciones más altas y debería eliminar cualquier fuga de R-290 antes de que fluya hacia el edificio. R-290 casi no tiene solubilidad en agua y muy baja solubilidad en soluciones de glicol.
- » **Calefactor de cárter** (foto 41): Calienta el aceite del compresor para que, al iniciar la operación, tenga las condiciones correctas de viscosidad; al parar el compresor, el calefactor se energiza y evapora cualquier rastro de refrigerante líquido en el cárter. Al arrancar la unidad, se desconecta automáticamente.

» **Filtro deshidratador (succión):** Se instala en la línea de succión. Su objetivo es absorber cualquier humedad que contenga el refrigerante y detener cualquier partícula extraña que viaje hacia el compresor.

» **Filtro deshidratador (líquido):** Se instala en la línea de líquido. Su objetivo es absorber cualquier humedad que contenga el refrigerante y detener cualquier partícula extraña que viaje hacia el compresor. La solubilidad de la humedad en los HC, como el R-290, es baja. Por lo tanto, es necesario un filtro secado isitos de GB4706.13. Las prácticas muestran que no hay problema con este uso (Foto 38).

» **Indicador de líquido (foto 40):** Permite verificar de manera visual que el sistema tenga su carga completa de refrigerante y que este se mantenga seco.

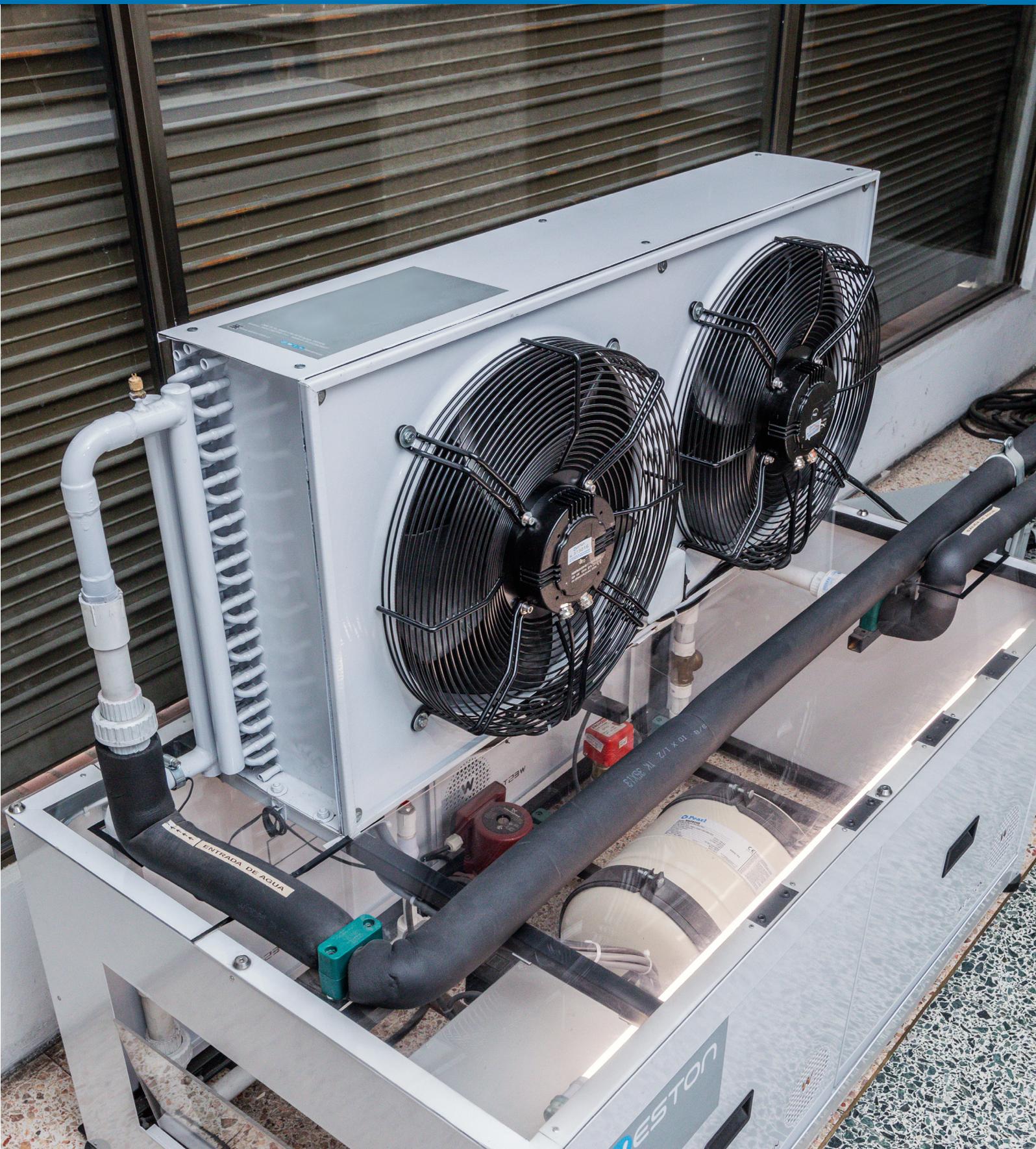
» **Circuito de control (foto 36):** Se encarga de controlar los paros y arranques de los motores del *chiller*, y de las señales de alarma. Las líneas y accesorios de refrigeración conducen el refrigerante de un componente a otro del sistema de refrigeración.

» **Gabinete:** Encierra y protege los componentes de control y es el soporte de los elementos del equipo.

### Accesorios de control usados en sistemas de refrigeración comercial con R-290

<p>FOTO 34. TERMOSTATO</p> 	<p>FOTO 35. PRESOSTATO</p> 	<p>FOTO 36. CONTROLADOR</p> 
<p>FOTO 37. DEPÓSITO DE LÍQUIDO CONDENSADO</p> 	<p>FOTO 38. FILTRO SECADOR</p> 	<p>FOTO 39. SEPARADOR DE ACEITE</p> 
<p>FOTO 40. INDICADOR DE LÍQUIDO</p> 	<p>FOTO 41. CALEFACTOR DE CÁRTER</p> 	<p>FOTO 42. SEPARADOR DE AIRE</p> 

Fuente: elaboración propia.



## 4. NORMAS Y ESTÁNDARES TÉCNICOS RELACIONADOS CON REFRIGERACIÓN COMERCIAL

Los refrigerantes HC presentan propiedades específicas que pueden limitar su adopción incondicional: inflamabilidad, toxicidad y elevadas presiones de trabajo, hacen necesario limitar sus aplicaciones y requerir prácticas o enfoques especiales para su manipulación en condiciones seguras. Teniendo en cuenta que tales características se alejan de las prácticas habituales, las normas pueden contribuir a facilitar la aplicación de estos refrigerantes alternativos en empresas que no necesariamente saben cómo hacerlo.

Las normas son documentos formales desarrollados por expertos para garantizar un determinado estándar de productos y servicios; las internacionales, los países las adaptan a sus situaciones o las incorporan directamente en sus legislaciones internas, tienen la ventaja de ser aprobadas bajo el consenso de los participantes de los comités nacionales, con el fin de lograr un alto grado de calidad y seguridad. Estas normas pueden tomarse como un instrumento para introducir alternativas y tecnologías a las sustancias con alto PCG o altamente inflamables (grupo A3), como el R-290, especialmente, en lo que se refiere a las prácticas de manipulación segura y a la adopción de medidas para minimizar riesgos.

Las normas pueden categorizarse como *verticales* o normas del producto, y *horizontales*, o normas del grupo. En términos generales, las verticales predominan sobre las horizontales, ya que estas se desarrollan para tipos de productos determinados y, por lo tanto, sus requisitos son más precisos para ciertos casos, útiles para diseñadores y fabricantes, como para una línea de producción (ver el anexo C).

En Colombia, el Icontec, creado en 1963, es el organismo nacional de normalización; el cual, a través del Comité 125 de Refrigeración, y con la participación de empresas del sector, gremios, universidades y entidades del Gobierno, ha publicado las siguientes NTC de seguridad de productos relacionados con la refrigeración comercial.

Las **normas horizontales** dan cuerpo a las NTC 6228, aplicables a sistemas de refrigeración y bombas de calor, son una adopción modificada (MOD) del grupo ISO 5149, versión 2014, ya que el trabajo del Comité 125 permitió evaluar e incluir, entre otros, algunos criterios adicionales para calcular la carga máxima de refrigerante (tomados de la EN-378:2018), así como una propuesta nacional de frecuencia de inspección de fugas:

- » NTC 6228-1: 2019. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.  
Parte 1: Definiciones, clasificación y criterio de selección.
- » NTC 6228-2: 2020. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. requisitos de seguridad y medioambientales.  
Parte 2: Diseño, construcción, realización de ensayos, marcado y documentación.

- » NTC 6228-3: 2020. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.  
Parte 3: Sitio de instalación.
- » NTC 6228-4: 2021. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.  
Parte 4: Operación, mantenimiento, reparación y recuperación.

Este conjunto de normas promueve el diseño seguro, la construcción, la disposición final, la instalación y la operación de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado (RAC). Esta norma precisa los requerimientos para la seguridad de las personas y los bienes, proporciona una guía para la protección del medio ambiente y establece los procedimientos para la operación, mantenimiento y reparación de los sistemas de refrigeración, y la recuperación de los refrigerantes.

En la primera parte, especifica los límites de cantidad de carga de refrigerante permitida en sistemas de diferentes locaciones y clases de ocupación. Además, especifica los criterios para las consideraciones de seguridad y medioambientales de diferentes refrigerantes que se utilizan en refrigeración y aires acondicionados.

Las **normas verticales** son idénticas al conjunto de normas ISO 23953: 2003 Vitrinas refrigeradas (actualizada a 2015):

- » NTC 5237-1: 2004. Equipos de refrigeración comercial.  
Parte 1: Términos y definiciones (autocontenidos).
- » NTC 5237-2: 2004. Equipos de refrigeración comercial.  
Parte 2: Clasificación, requisitos y métodos de ensayo (autocontenidos).

Se suma a estas, la norma que define el contenido de la etiqueta de eficiencia energética para equipos autocontenidos alimentados con energía eléctrica, como enfriadores verticales con una o más puertas frontales, con capacidad de 50 L o más; enfriadores horizontales, con capacidad de 110 L o más; congeladores horizontales, con capacidad de 110 L o más; congeladores verticales, con capacidad de 50 L o más; y vitrinas cerradas, con capacidad de 200 L o más. Esta norma no considera equipos y sistemas de refrigeración con condensador remoto:

- » NTC 5310:2021. Eficiencia energética en equipos de refrigeración comercial. Rangos de eficiencia y etiquetado.

Y la norma para definir las características de seguridad de los refrigerantes y clasificarlos de acuerdo con su inflamabilidad y su toxicidad; se adoptó de forma idéntica al ANSI/ASHRAE Standard 34: 2007.

- » NTC 5853: 2011. Designación y clasificación de seguridad de los refrigerantes.

Esta norma no considera los refrigerantes con clasificación de inflamabilidad 2L, dado que los números de los refrigerantes aprobados en esta clasificación, en la última edición del ANSI/ASHRAE Standard 34, fueron asignados a partir de 2010.

En Colombia, se han adoptado las normas ISO e IEC como normas nacionales, con algunas modificaciones relacionadas con los términos y las definiciones, algunos criterios adicionales para el cálculo de la carga máxima de refrigerante (tomados de la EN-378: 2018), así como una propuesta nacional de frecuencia de inspección de fugas.

Aunque las normas de seguridad son aplicables específicamente a los sistemas de refrigeración comercial, rara vez pueden utilizarse de manera aislada. Hay una variedad de normas que abordan los temas de seguridad relacionados con los equipos, componentes y métodos que se pueden aplicar de manera genérica para diferentes fines. De este modo, las normas de seguridad para RAC, con frecuencia, aplican estos tipos de normas para abordar problemas, como dispositivos de seguridad, seguridad contra la inflamabilidad, recipientes a presión, equipos eléctricos y controles, entre otros.

TABLA 11. ALCANCE DE LAS NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE SEGURIDAD PARA LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL

ORIGEN DE LAS NORMAS	VERTICALES (NORMAS DEL PRODUCTO)	HORIZONTALES (NORMAS DEL GRUPO)
Norma internacional	IEC 60335-2-89	ISO 5149-1, -2, -3, -4
Norma regional UE	EN 60335-2-89 UL 471	EN-378-1, -2, -3, -4
Norma EUA	ANSI/ASHRAE Standard 72	ANSI/ASHRAE Standard 15-2019
Norma nacional de Colombia	-	NTC 6228-1, -2, -3, -4

Fuente: elaboración propia.

Esta guía enfatiza las NTC 6228. Sistemas de refrigeración y bombas de calor, requisitos de seguridad y medioambientales, la cual especifica los requerimientos para la seguridad de las personas y los bienes, proporciona una guía para la protección del medio ambiente y establece los procedimientos para la operación, el mantenimiento y la reparación de los sistemas de refrigeración y la recuperación de los refrigerantes.

En Colombia, el Comité 125 "Maquinaria y equipos de refrigeración" del Icontec, con el apoyo de la Unidad Técnica Ozono (UTO) y Acaire, en 2014 inició la tarea de revisar y adaptar la ISO 5149: 2014 como norma técnica nacional en

sus cuatro partes. Esta tarea terminó exitosamente con la aprobación y publicación de la NTC 6228, partes 1, 2, 3 y 4, entre 2019 y 2021; normas que se encuentran a disposición de toda la industria nacional.

Al igual que los estándares internacionales, esta serie de normas técnicas incluye indicaciones respecto al uso y las restricciones de uso de los refrigerantes en los sistemas de refrigeración. Son normas especialmente útiles para el uso seguro de refrigerantes de bajo impacto ambiental que tienen características de inflamabilidad o toxicidad, como los HC y el amoníaco en sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire.

## 5. REQUISITOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD EN REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290

Las normas de seguridad para los equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290 abarcan una amplia variedad de peligros asociados con los sistemas y equipos.

Cabe resaltar que estas normas de seguridad no se enfocan solo en las cargas de refrigerantes, también en muchas otras cuestiones. Los aspectos relacionados con la seguridad

de los refrigerantes representan un porcentaje de estos peligros y de los requisitos de diseño, construcción y manejo asociados. La tabla 12 proporciona un resumen de los temas más importantes que manejan las normas de seguridad para refrigeración comercial, las cuales se ven afectadas por la elección de refrigerante.

TABLA 12. OBLIGACIONES TÉCNICAS GENERALES BAJO LAS NORMAS DE SEGURIDAD PARA LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL

CATEGORÍA	NORMA TÉCNICA NACIONAL
	NTC 6228-1, -2, -3, -4
Alcance	Todos los sistemas comerciales e industriales de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor.
Límites sobre la cantidad de carga de refrigerante	1,5 kg, 2,5 kg, 5 kg, 10 kg, 25 kg de HC y sin límite, dependiendo del tipo de sistema o tamaño de la habitación.
Marcado	Requiere símbolos de inflamabilidad o de advertencia de alta presión, según corresponda.
Resistencia a la presión	Especifica las pruebas de presión para los sistemas y componentes (donde corresponda).
Equipos eléctricos	Se refiere a las normas adecuadas.
Fuentes de ignición	Describe lo que debe considerarse y cómo prevenir una fuente potencial de ignición, incluida la opción de un método de prueba (aplica para todas las normas, excepto la NTC 6228 - ISO 5149).
Información e instrucciones	Los detalles sobre la instalación, el uso, el servicio, el mantenimiento y la eliminación de los equipos para que los usuarios, operarios y técnicos sepan cómo manejar los riesgos de inflamabilidad.
Hermeticidad del sistema - Fabricación	Por lo general, los sistemas se deben fabricar como sistemas sellados o herméticamente sellados, en caso de que se usen refrigerantes inflamables en interiores (p. ej. con o sin un número limitado de conexiones o accesorios mecánicos reutilizables).
Dispositivos limitadores de descarga de presión	La necesidad que tienen los dispositivos adicionales de limitar o aliviar el exceso de presión puede aplicar a los sistemas más pequeños, en caso de que se usen refrigerantes inflamables.
Sistemas secundarios/ indirectos: instalación	Es necesario que los componentes adicionales para circuitos secundarios o indirectos (cuando usan agua o salmuera) ventilen una fuga que se ocasionó desde el evaporador hasta el circuito secundario, si el circuito de refrigerante primario excede cierto tamaño de carga.
Sensores de gas: instalación	Los sensores de gas pueden requerirse para iniciar las medidas de mitigación: ventilación, alarmas, suministros eléctricos de terminación, entre otras. Estas medidas pueden ser aplicables a los sistemas que usan refrigerantes inflamables en los cuartos de máquinas, o incluso pueden aplicarse a los sistemas que están en espacios ocupados (como medidas adicionales de seguridad).
Construcción de cuartos de máquinas o cercamientos ventilados: instalación	Los cuartos de máquinas o cercamientos especiales pueden tener ciertos requisitos, si se usan refrigerantes inflamables: el número y la apertura de puertas, la resistencia de las paredes contra incendios, la hermeticidad y las tasas mínimas del flujo de aire, entre otros.

† Depende del área, el lugar de instalación, la clasificación de ocupación y la ubicación.

Fuente: Colbourne (2018).

La tabla 12 demuestra que varios aspectos en el diseño y la construcción pueden verse afectados por el tipo de refrigerante. Asimismo, dichos requisitos pueden influenciar potencialmente el costo de los sistemas y la conveniencia para los fabricantes e instaladores. Sin embargo, los límites de tamaño de carga del refrigerante son, en última instancia, los requisitos más importantes entre las normas de seguridad, en términos de viabilidad para la aplicación de refrigerantes naturales. Este es, en particular, el caso de los HC.

Los aparatos o sistemas de refrigeración (autocontenidos) que se construyen, de acuerdo con normas verticales de productos (como IEC 60335-2-89), deben cumplir con esta parte de la ISO 5149-2: 2014, Sección 4: Requisitos para componentes y tuberías.

En cuanto al mínimo actual de los HC con las cargas máximas permitidas para R-290, en los estándares verticales (como la IEC 60335-2-89) se concluye que los reglamentos europeos EN 60335-2-89 no establecen barreras adicionales al uso de estos refrigerantes en equipos compactos autónomos; muestra de eso es la disponibilidad en el mercado de sistemas de refrigeración comercial de baja y gran potencia con R-290.

Con base en los límites de tamaño de carga mencionados en la tabla 12 y teniendo en cuenta las necesidades normales de los refrigerantes para alcanzar cierta capacidad de refrigeración en varios niveles de temperatura y cargas térmicas asociadas, la Figura 29 es una aproximación a los rangos de capacidad de los equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290.

FIGURA 29. EJEMPLOS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290 POR TIPO DE INSTALACIÓN



Fuente: elaboración propia.

En refrigeración comercial, actualmente, se dispone de equipos autocontenidos incorporados a los muebles (vitrinas, islas, murales, etc.) o tipo monoblock en capacidades de hasta 5 kW (<1,5 kg); también se dispone de sistemas de condensación indirecta (waterloop) que permiten ofrecer temperaturas para congelación o conservación en muebles con capacidad hasta 10 kW (<2,5 kg), y sistemas de expansión indirecta con fluido secundario para sistemas centralizados hasta 60 kW con cargas de refrigerante R-290 desde 2,5 kg, 5 kg, 10 kg y 25 kg, o en refrigeración de gran tamaño, hasta 80 kW, sin límite de carga, dependiendo de la clasificación, la ocupación o la ubicación.

El grupo de las NTC 6228 tiene como objeto minimizar los posibles riesgos para las personas, los bienes y el medio

ambiente provenientes de los sistemas de refrigeración y los refrigerantes. Los riesgos están asociados, fundamentalmente, a las características químicas y físicas de los refrigerantes, así como a los riesgos comunes presentes en los sistemas de refrigeración por compresión: temperatura alta al momento de la descarga, presencia de refrigerante líquido en el compresor, operación errada o reducción en el esfuerzo mecánico causado por la corrosión, erosión, estrés térmico, estrés de fatiga, golpes de líquido o vibración.

Estableciendo, por lo tanto, dos tipos de limitaciones para las cantidades de carga de refrigerante: (i) la carga máxima, que es el límite global de acuerdo con la aplicación y la ubicación del sistema, y (ii) la carga permitida, en función del tamaño del espacio ocupado y, en algunos casos, de la altura de instalación del equipo.

En general, la serie de las NTC 6228 aplica a sistemas nuevos de refrigeración, extensiones o modificaciones de sistemas ya existentes, y para sistemas usados que estén siendo trasladados y que estén operando en otro lugar, así como para la conversión de un sistema a otro tipo de refrigerante.

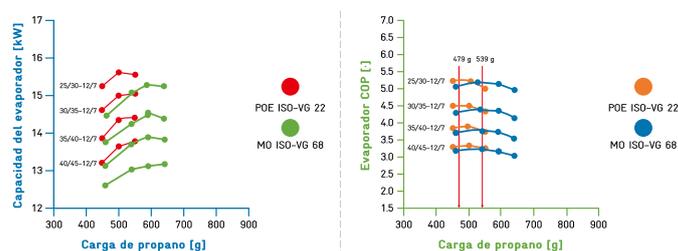
Esta serie de NTC 6228 regula:

- Sistemas de refrigeración, estacionarios o móviles, de todos los tamaños, incluidas las bombas de calor y con excepción de los sistemas de aire acondicionado de los vehículos.
- Sistemas de enfriamiento o calentamiento secundarios.
- Ubicación de los sistemas de refrigeración.
- Piezas sustituidas y componentes agregados luego de la adopción de la norma, en caso de que no posean la funcionalidad y capacidad exactas.

Entre los numerosos tipos de requisitos que se abordan en esta norma, el aspecto más importante para la aplicación del refrigerante R-290 es el límite de tamaño de carga (cantidad) del refrigerante. Esto es fundamental cuando se relaciona con el uso de refrigerantes del grupo A3 o altamente inflamables, como el R-290. Los tamaños de carga de los sistemas con refrigerantes inflamables deben optimizarse para poder mantener los niveles de seguridad aceptables, mientras se asegura una alta eficiencia energética.

La Figura 30 muestra cómo la capacidad de refrigeración y el COP de un refrigerador comercial (chiller de 16 kW) se relacionan con la carga de refrigerante. El diagrama destaca la dependencia del rendimiento del sistema y la carga de refrigerante que se requiere. Una eficiencia óptima requiere un punto específico de carga.

FIGURA 30. EJEMPLO DE LA RELACIÓN ENTRE LA CARGA DE REFRIGERANTE, LA CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN Y EL COP



Fuente: Martínez (2011).

La introducción de tecnologías de eficiencia energética con refrigerantes bajos en GWP requiere una serie de normas técnicas que abarquen, de manera adecuada, la inflamabilidad/tamaño de carga y la eficiencia energética. Téngase en cuenta que algunas secciones o numerales de las normas no son aplicables a los sistemas unitarios con conexiones de alimentación eléctrica que tengan cable de corriente, que hayan sido sellados en fábrica y que estén conformes con lo estipulado en la serie de normas IEC 60335 (Antolinez, 2021).

## 5.1 CANTIDAD MÁXIMA DE R-290 POR ESPACIO OCUPADO

La NTC 6228-1 especifica la clasificación y los criterios de selección aplicables a los sistemas de refrigeración y bombas de calor, considerando, además, la cantidad de refrigerante máximo por espacio ocupado. El anexo A de la norma es sobre la ubicación de los sistemas de refrigeración e incluye los métodos para calcular el límite de carga del refrigerante permitida en diferentes locaciones y clases de ocupación, teniendo en cuenta la inflamabilidad y la toxicidad de los refrigerantes. El anexo A de esta guía incluye información de seguridad y de impacto ambiental de diferentes refrigerantes que se utilizan en sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire, tal como la presentada en la tabla 13 para el refrigerante R-290. A continuación, se definen las principales características de seguridad a considerar:

» **Límite práctico (LP):** Concentración usada para cálculos simplificados, con el fin de determinar la cantidad máxima aceptable de refrigerante en un espacio ocupado. El límite de concentración del refrigerante (RCL, por su sigla en inglés) se determina mediante pruebas de toxicidad o inflamabilidad, pero el límite práctico

se deriva del RCL o del límite de carga establecido históricamente. Esto representa el nivel de concentración más alto en un espacio ocupado que no resultará en ningún efecto que impida el escape (es decir, agudo).

- » **Límite de concentración de refrigerante (RCL):** Concentración máxima de refrigerante en el aire, establecida para reducir el riesgo de toxicidad aguda, asfixia o inflamabilidad. Se calcula como el mínimo entre el límite de exposición de toxicidad aguda (ATEL), el límite de anoxia (ODL) y el límite de concentración de inflamabilidad (FCL).
- » **Límite de exposición para la toxicidad aguda (ATEL):** Máxima concentración de refrigerante recomendada destinada a reducir los riesgos de una peligrosa intoxicación aguda de las personas, en caso de fuga de refrigerante.
- » **Límite de privación de oxígeno (ODL):** Concentración de refrigerante que provoca un desplazamiento del oxígeno del ambiente, ocasionando, por tanto, una insuficiencia para la respiración normal. El valor para considerar es 140.000 ppm (18 % O<sub>2</sub>).
- » **Carga límite con mínima ventilación (QLMV):** Densidad de carga de refrigerante que daría como resultado una concentración igual al RCL en una habitación de construcción no hermética, con un escape de refrigerante moderadamente severo.
- » **Carga límite con ventilación adicional (QLAV):** Densidad de carga de refrigerante que, cuando se supera, crea una situación peligrosa instantánea, si la carga total se fuga en el espacio ocupado, para el R-290, es basado en 50 % LFL.

TABLA 13. INFORMACIÓN DE SEGURIDAD DEL R-290

GRUPO DE SEGURIDAD	DENSIDAD GAS <sup>a</sup>	LFL <sup>b</sup>	LP - RCL	ATEL/ODL	QLMV	QLAV <sup>c</sup>	UNIDADES
A3	1,80	0,038	0,008	0,09	0,0076	0.019	kg/m <sup>3</sup>

(a) a 25 °C, 1 atm, (b) NTC 6228, (c) basado en el 50 % del LFL para refrigerantes 2, 2L y 3.  
Fuente: Icontec (2019).

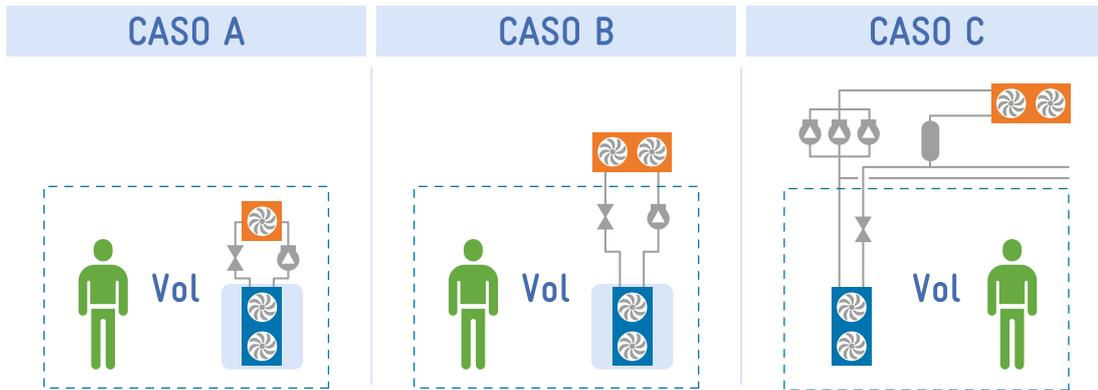
Las normas comunes de seguridad, como la NTC 6228, determinan la manera en que puede aplicarse, así como la cantidad que se puede permitir al usar un refrigerante inflamable, como el R-290, dependiendo de las características del sistema en el que se utiliza y las del entorno local. Existen diferentes disposiciones para los sistemas de refrigeración, donde se tienen en cuenta la ubicación de las partes del sistema y los tipos de ocupación.

**Clasificación de los sistemas.** Las principales disposiciones de los sistemas se dividen en dos grandes clases: directas e indirectas (con respecto al objetivo a ser refrigerado o calentado). Un sistema directo es aquel en el que las partes

que contienen refrigerante se encuentran dentro del espacio a enfriar o calentar (por ejemplo, una cámara frigorífica, una vitrina o una habitación con aire acondicionado), de manera que una fuga de refrigerante podría fluir sin obstáculos dentro de dicho espacio.

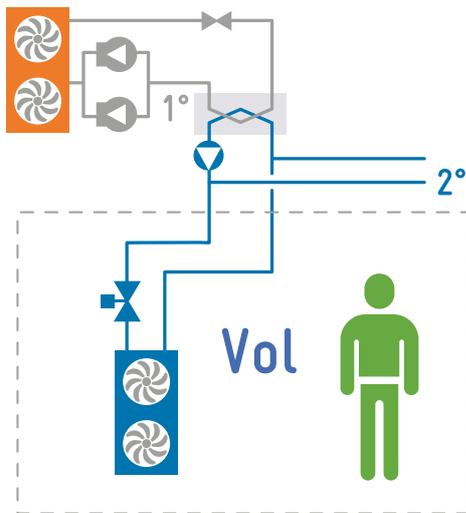
La Figura 31 muestra algunos ejemplos de sistemas directos: a) sistema compacto de expansión directa autocontenido, b) vitrina refrigerada conectada a una unidad de condensación externa, y c) sistema centralizado de expansión directa. En todos los casos, existen tuberías de refrigerante o piezas que contienen refrigerante y que podrían provocar fugas directas de refrigerante hacia el espacio ocupado.

FIGURA 31. EJEMPLOS DE SISTEMAS DIRECTOS



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 32. EJEMPLO DE UN SISTEMA INDIRECTO



Un sistema indirecto, como el de la Figura 32, es el que utiliza un fluido secundario, como agua, salmuera o glicol, para transferir calor entre el espacio que se desea enfriar y el circuito primario de refrigeración; en este caso, si se presenta una fuga de refrigerante, es poco probable que ingrese al espacio refrigerado o calentado, de modo que el riesgo es usualmente menor.

En refrigeración comercial, el caso más común podría ser un almacén refrigerado con fluido secundario. En estos casos, ni las tuberías de refrigerante ni otras partes del circuito se encuentran directamente dentro del espacio ocupado, por lo que es muy poco probable que una eventual fuga de refrigerante llegue hasta ese espacio.

Fuente: elaboración propia.

TABLA 14. CATEGORÍAS DE OCUPACIÓN

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	
(a) General	Espacios públicos (con ocupación general): categoría a, como las tiendas y supermercados, las zonas públicas de un auditorio, hoteles, hospitales, residencias donde no hay control del número de personas; los ocupantes pueden o no conocer las precauciones de seguridad.	FIGURA 33. CATEGORÍA GENERAL 
(b) Supervisada	Espacios privados (con ocupación supervisada): categoría b, como las oficinas, laboratorios, lugares de trabajo general con aforo limitado; algunas personas conocen las precauciones de seguridad.	FIGURA 34. CATEGORÍA SUPERVISADA 
(c) Autorizada	Áreas de acceso restringido (con ocupación autorizada): categoría c, como talleres, almacenes frigoríficos, áreas restringidas de supermercados, centros de producción, industrias específicas; solo tienen acceso personas que conocen las precauciones de seguridad.	FIGURA 35. CATEGORÍA AUTORIZADA 

Fuente: elaboración propia.

**Categorías de ocupaciones:** El término ocupación se refiere al uso previsto del espacio, y tiene en cuenta el grado de conocimiento de los procedimientos de seguridad por parte de los ocupantes. Como tal, la ocupación se clasifica normalmente en cuatro tipos, según los describe la tabla 14.

Los riesgos son mayores en los espacios con ocupación (a) General, donde comúnmente hay un número indeterminado de

personas que en su mayoría desconocen los procedimientos de seguridad, si se presenta una emergencia, por lo que allí los requisitos suelen ser más estrictos. En contraste, en los espacios con acceso restringido (b) y (c), a los que generalmente tiene acceso un pequeño número de personas debidamente entrenadas en los procedimientos de seguridad, los requisitos son menos severos.

TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	
I - Equipo mecánico situado dentro del espacio ocupado	Todas las partes que contengan refrigerante situadas en un espacio ocupado por personas. Refrigerador autocontenido.	<p>FIGURA 36. UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN TIPO I</p> 
II - Compresores en el cuarto de máquinas o al aire libre	Compresores, recipientes y condensadores situados en una sala de máquinas no ocupada por personas o al aire libre. Enfriadores, tuberías y válvulas pueden estar situados en espacios ocupados. Sistema de expansión directa condensador remoto.	<p>FIGURA 37. UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN TIPO II</p> 
III - Cuarto de máquinas o aire libre	Todas las partes que contengan refrigerante situadas en una sala de máquinas no ocupada por personas o al aire libre. El cuarto de máquinas deberá cumplir los requerimientos de la norma NTC 6228-3. Sistema de expansión indirecta, tipo chiller.	<p>FIGURA 38. UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN TIPO III</p> 
IV - Recintos ventilados	Todas las partes que contienen refrigerante y se sitúan dentro de una envolvente ventilada. Los recintos ventilados deben cumplir las NTC 6228-2 y NTC 6228-3; son productos diseñados específicamente para ese caso.	<p>FIGURA 39. UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN TIPO IV</p> 

Fuente: elaboración propia.

### Clasificación de la ubicación de los sistemas de refrigeración

La limitación de carga también depende de la ubicación de las partes que contienen refrigerante; la tabla 15 expone los detalles. Por ejemplo, cierto sistema podría instalarse en un espacio ocupado, una sala de máquinas, una sala cerrada o espacio con ventilación mecánica, al aire libre o en un lugar ventilado.

**Máxima carga de refrigerante admisible en un sistema de refrigeración comercial con R-290.** La fórmula para determinar la carga máxima permitida se especifica en la NTC 6228-1: 2019; el técnico de servicio debe estar capacitado para cumplir lo establecido en el manual de instrucciones que suministra el fabricante del sistema (operación, mantenimiento e instalación), así como las normas nacionales pertinentes.

La NTC 6228-1: 2019 establece un método para estimar la carga máxima de refrigerante admisible en un sistema de refrigeración: por menor valor admisible por la toxicidad del refrigerante, de una parte; por su inflamabilidad, de otra; y en función tanto del volumen del local ocupado más pequeño como de la ubicación del sistema de refrigeración.

En general, el criterio de la toxicidad exige que la concentración de refrigerante en el aire, en el caso de fuga de la carga de la instalación en local más pequeño de ocupación pública, no sobrepase el límite de toxicidad. Además, se establecen unos límites máximos en función de la clase de inflamabilidad del refrigerante y la ubicación del sistema.

Los siguientes cálculos determinan los límites de carga para sistemas que utilizan R-290; específicamente, en sistemas de refrigeración comercial autocontenidos, de expansión directa, el cálculo de la carga máxima de refrigerante se realiza en seis pasos:

Se calcula la carga máxima permitida para ese refrigerante como el mínimo entre la carga máxima permitida por toxicidad (paso 3) y la carga máxima permitida por inflamabilidad (paso 5). En refrigerantes de inflamabilidad 1, solo se calcula la carga máxima permitida por toxicidad.

» Se determina la **categoría de ocupación** del local, según la tabla 14 (literal 5.1 en NTC 6228-1): categorías (a), (b) o (c), y la **clasificación del sistema según su localización** con base en la tabla 15 (literal 5.3 en NTC 6228-1): tipo I, II, III o IV.

» Se determina la categoría de toxicidad del refrigerante R-290, categoría A y su límite de toxicidad como el máximo entre el ATEL/ODL y su límite práctico FCL, según la tabla 13; donde el límite de toxicidad:  $AEL/ODL = 0,09 \text{ kg/m}^3$  es mayor que el límite práctico:  $LP = 0,008 \text{ kg/m}^3$ .

» Se calcula la carga máxima permitida por toxicidad, como el máximo obtenido en la tabla 16.

La carga máxima permitida por toxicidad se establece como el máximo obtenido en la tabla 16 (tabla A.1 de la norma NTC 6228-1). Esta tabla aborda el uso de refrigerantes clasificados por el índice de toxicidad, en este caso, clase A para el R-290; y se establecen los criterios para determinar la carga máxima de refrigerante permitida. Los cálculos de carga se determinan asignando categorías de acceso específicas (a), (b) o (c), clasificaciones de ubicación, tipo I, II, III o IV, y aplicación, que son para pisos superiores, sin salidas de emergencia o subterráneas, recinto ventilado u otras.

TABLA 16. REQUERIMIENTOS DE LÍMITE DE CARGA PARA SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN BASADOS EN TOXICIDAD CLASE A (R-290)

CLASE DE TOXICIDAD	CATEGORÍA DE OCUPACIÓN		CLASIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN			
			I	II	III	IV
R-290 (A)	(a)		0,09 kg/m <sup>3</sup> × volumen del espacio, o véase el literal A.5†		Sin límite de carga	Los requerimientos de carga se evaluarán de acuerdo con la clasificación de la ubicación I, II, o III, dependiendo de la localización del recinto ventilado.
	(b)	Pisos superiores sin salidas de emergencia o subterráneas	0,09 kg/m <sup>3</sup> × volumen del espacio, o véase el literal A.5†	Sin límite de carga		
		Otros	Sin restricción de carga†			
	(c)	Pisos superiores sin salidas de emergencia o subterráneas	0,09 kg/m <sup>3</sup> × volumen del espacio, o véase el literal A.5†			
		Otros	Sin restricción de carga†			

† Para aire exterior, aplicar límite de toxicidad por volumen de local punto.

‡ En NTC 6228-1 literal A.5. Alternativas para la gestión de riesgos de los sistemas de refrigeración en espacios ocupados, son los mismos valores de la tabla 13.

Fuente: tabla A.1. NTC 6228-1.

Para refrigerantes inflamables del grupo A3, como el R-290, hay dos posibles resultados al entrar en la tabla 16. El refrigerante puede no tener restricciones en la carga, o puede que haya que calcular la carga como el producto del límite de toxicidad por el volumen del local.

En locales de acceso (b) o (c) en emplazamientos de clase II no hay restricción de carga para refrigerantes de toxicidad A, como el R-290. Tampoco hay límite de carga en ubicaciones de clase III, cuando todas las partes que contienen refrigerante están situadas en una sala de máquinas no ocupada por personas, o al aire libre.

Para locales de acceso general (a) en ubicaciones de clase I o clase II, la carga máxima por toxicidad se calcula como el producto del límite de toxicidad (para el R-290 0,09 kg/m<sup>3</sup>) por el volumen del local. De la misma forma, en locales de acceso (b) o (c) en emplazamiento de clase I, los refrigerantes de toxicidad A, como el R-290, no tienen restricción, excepto en plantas sótano o pisos superiores sin salidas de emergencia, donde la carga máxima se calcula como el producto del límite de toxicidad (para el R-290 0,09 kg/m<sup>3</sup>) por el volumen del local. Los sistemas en ubicaciones de clase IV se deben evaluar como si fuesen de clase I, II o III, en función de la ubicación de la envolvente ventilada.

#### ECUACIONES Y MÉTODOS PARA DETERMINAR CARGA MÁXIMA Y ÁREA MÍNIMA PERMITIDA POR INFLAMABILIDAD

Equipo o sistemas sin medidas de mitigación de seguridad adicionales a los sistemas RAC	$m_{\text{máx}} = 2,5 \times \text{LFL}^{1,25} \times h_0 \times A^{0,5}$ $A_{\text{mín}} = (m / [2,5 \times \text{LFL}^{1,25} \times h_0])^2$	<b>Consideraciones:</b> Esta fórmula se aplica cuando el sistema o equipo que trabaja con R-290 tiene una carga de refrigerante (cantidad) superior a 0,152 kilogramos.
Medidas de mitigación de seguridad adicionales a los sistemas RAC -Hermeticidad mejorada.	$m_{\text{máx}} = 0,35 \times \text{LFL} \times h_0 \times A$ $A_{\text{mín}} = m / (0,35 \times \text{LFL} \times h_0)$	<b>Consideraciones:</b> Esta fórmula se aplica cuando el circuito que trabaja con R-290 tiene una carga de refrigerante (cantidad) superior a 0,152 kilogramos, y cuando el circuito RAC cuenta con medidas de mitigación de seguridad adicionales relacionadas con mejorar la hermeticidad del sistema.
Medidas de mitigación de seguridad adicionales a los sistemas RAC - Sistemas con flujo de aire integral.	$m_{\text{máx}} = \text{SF} \times \text{LFL} \times 2,2 \times A$ $A_{\text{mín}} = m / (0,35 \times \text{LFL} \times h_0)$ <p>Flujo mínimo de aire de acuerdo con la ecuación:</p> <p>Para los sistemas conectados a los espacios mediante un sistema de ductos de aire, se garantiza el flujo de aire mínimo:</p> $\dot{V}_d = \frac{8,1\sqrt{A_d}}{t_{\text{leak}}} \left( \frac{m}{\text{LFL}} \right)^{3/4} \left( \frac{\text{SF}^{1/4}}{1-\text{SF}} \right)$ $\dot{V}_d = \frac{0,017 m}{\text{LFL}}$	<b>Consideraciones:</b> Esta fórmula se aplica cuando el circuito que trabaja con R-290 tiene una carga de refrigerante (cantidad) superior a 0,152 kilogramos, y cuando el circuito RAC cuenta con medidas de mitigación de seguridad adicionales relacionadas con: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adoptar el diseño de alojamiento de equipos para ayudar a dispersar las fugas, mejor que las asumidas con los diseños de alojamiento convencional.</li> <li>- Garantizar una tasa de flujo de aire suficiente dentro de la habitación, para asegurar que el refrigerante filtrado no se estanque en el suelo y que su concentración permanezca por debajo del límite inferior de inflamabilidad.</li> <li>- Incluir válvulas u otros componentes para limitar la cantidad de refrigerante liberado en caso de una fuga.</li> </ul>

$m_{\text{máx}}$  Es la carga máxima permitida en un espacio; se expresa en kilogramos.

$m$  Es la cantidad de carga de refrigerante en el sistema; se expresa en kilogramos.

$A_{\text{mín}}$  Es el área mínima de espacio requerida; se expresa en metros cuadrados.

$A$  Es el área del espacio; se expresa en metros cuadrados.

LFL Es el límite menor de Inflamabilidad; se expresa en kilogramos por metro cúbico.

$h_0$  Es el factor de altura basado en el método de instalación del aparato. Se puede considerar la siguiente

altura como guía: 0,6 m para la ubicación del piso; 1,0 m para instalación en la ventana; 0,8 m para instalación sobre el muro; 2,2 m para instalación en el techo.

SF Es un factor de seguridad aplicado al LFL, que no debe ser superior a 0,5.

2,2m Es la altura más baja esperada de una habitación.

$V_d$  Es el mínimo flujo de aire asociado al sistema dentro del espacio ocupado (m<sup>3</sup>/s).

$A_d$  Es el área de la abertura a través de la cual se descarga el flujo de aire en la habitación (m<sup>2</sup>).

$t_{\text{leak}}$  Es la tasa de fuga indicada, a 240 (s).

- » Se determina la clase de inflamabilidad del refrigerante R-290, el cual es clase 3; y su límite inferior de inflamabilidad (LFL) correspondiente obtenido según la tabla 13, donde el LFL para el R-290 es:  $LFL_{R-290} = 0,038 \text{ kg/m}^3$ .
- » Se calcula la carga máxima permitida por inflamabilidad a través de las ecuaciones definidas en el literal A.4

en NTC 6228-1, y se consideran como valores máximos los definidos en la tabla 17. En equipos de refrigeración comercial con R-290 herméticamente sellados en fábrica (autocontenidos), que no contengan más de 150 gramos, se aplican los requisitos de la IEC 60335-2-89 (literal A.3, NTC 6228-1).

<p>Determinación de la carga por medio de una prueba.</p>	<p>Para un diseño de carcasa determinado, se pueden simular las fugas, medir la concentración de refrigerante en el suelo que rodea la unidad y determinar la carga aceptable de refrigerante (para una tasa de fuga asumida), de acuerdo con la cantidad que asegure que cierta concentración no se exceda o se exceda por un periodo determinado.</p> <p>Este enfoque puede combinarse con otras medidas de mitigación. Por ejemplo, si el sistema se diseña para la hermeticidad mejorada, puede reducirse la tasa de liberación de la prueba. Por otro lado, si se pretende que el flujo de aire sea continuo, entonces la prueba puede llevarse a cabo con el ventilador de la unidad en funcionamiento.</p>
<p>Sistema con carga limitada de liberación</p>	<p>Los límites de tamaño de carga existentes asumen que la cantidad total cargada del refrigerante se fuga. Lo que no es posible, ya que el refrigerante permanece en la tubería y los componentes a presión atmosférica, y es absorbido en el aceite del compresor, al final de una fuga. Dependiendo del tamaño de sistema, el tipo de aceite, el refrigerante, etc., esta retención pasiva de carga puede igualarse, aproximadamente, al 3 % y 15 % de la carga total.</p> <p>Además, pueden implementarse válvulas de cierre dentro del sistema para limitar, de forma activa, la cantidad de refrigerante que podría liberarse. La arquitectura del sistema, la funcionalidad de control, las condiciones de funcionamiento, la ubicación de la fuga, entre otras, todas ellas influyen, pero puede prevenirse que, aproximadamente, del 30 % al 95 % de la cantidad nominal de carga se libere.</p>

TABLA 17. COTA SUPERIOR DE LA CARGA MÁXIMA DE R-290 BASADA EN LA INFLAMABILIDAD

CLASE DE INFLAMABILIDAD	CATEGORÍA DE OCUPACIÓN		CLASIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN				
			I	II	III	IV	
R-290	(a)	Confort humano y otras aplicaciones	Subterráneo	1,5 kg		5 kg	5 kg
			Sobre la superficie				
	(b)	Confort humano y otras aplicaciones	Subterráneo	1,5 kg		10 kg	
			Sobre la superficie				
	(c)	Confort humano y otras aplicaciones	Subterráneo	1,5 kg		Sin límites	
			Sobre la superficie				

- 1) Se calcula la carga máxima permitida para ese refrigerante como el mínimo entre la carga máxima permitida por toxicidad (paso 3) y la carga máxima permitida por inflamabilidad (paso 5). En refrigerantes de inflamabilidad 1, solo se calcula la carga máxima permitida por toxicidad.

Algunas consideraciones relacionadas con el cálculo de cantidad de refrigerante R-290 máxima por espacio ocupado:

- » Abordar las fuentes potenciales de ignición: actualmente, ninguna de las normas internacionales de seguridad aborda el manejo de fuentes potenciales de ignición de forma consistente con las normas establecidas para la protección contra la ignición de gases inflamables. Esto se refiere específicamente a la serie CEI/EN 60079 de las normas. La ISO 5149 pasa por alto la situación y las EC 6035-2-40 y -89 la abordan de forma parcial, pero sin ser consistentes con las metodologías establecidas. En este contexto, es necesario revisar las tres normas internacionales.
- » La versión actual de la EN 378 incluye un enfoque y una metodología para abordar el manejo de fuentes potenciales de ignición, pero los requisitos están incompletos y requieren mejoras.
- » De acuerdo la NTC 6228-1, no hay distinciones entre las instalaciones de confort humano para climatización y las de otras de aplicaciones, donde pueden incluirse equipos y sistemas de refrigeración comercial. En ubicaciones de clase I y clase II, la NTC 6228-1 establece que la carga máxima ( $m_{m\acute{a}x}$ ) deberá ser menor que una cota superior que depende de la categoría de inflamabilidad del refrigerante, de la categoría de ocupación del local, de la clase de localización y de otras características del local (subterráneo o sobre la superficie). Estas restricciones se recogen en la tabla 17, para el R-290 en ubicaciones de clase I y clase II.
- » Para ubicaciones de clase IV, la carga no puede superar la cota  $m_3$ ; es decir, máximo 5 kg de R-290. Para emplazamientos de clase III que usan refrigerantes de inflamabilidad 3 como el R-290, la carga máxima es de 5 kg para locales de acceso (a), de 10 kg para locales de acceso (b) y sin límite en locales de acceso (c). Estas restricciones se recogen en la tabla 17, para equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290.
- » En ubicaciones de clase III y clase IV, donde todas las partes que contienen refrigerante están situadas en el interior de una sala de máquinas, al aire libre o en el interior de un recinto ventilado, de acuerdo con la NTC 6228-1, la carga de refrigerante solo es función de la capacidad frigorífica del sistema hasta que alcance la cota límite, de acuerdo con la clase de ocupación y localización.
- » Para garantizar una tasa de flujo de aire suficiente dentro de la habitación, para asegurar que el refrigerante filtrado no se estanque en el suelo y que su concentración permanezca por debajo del límite inferior de inflamabilidad, y la inclusión de válvulas u otros componentes para limitar la cantidad de refrigerante liberado en caso de una fuga, pueden aplicarse junto

con algún modo de indicación de fuga: sensores de gas, detección ultrasónica o parámetros del sistema, de modo que puedan activarse bajo demanda.

- » Actualmente, los límites de carga permitidos se basan en el supuesto de que el refrigerante presenta fugas de forma instantánea y a una tasa muy rápida (una fuga 'catastrófica'). Se desarrollarán concentraciones más altas dentro de la habitación, y con el objetivo de evitar que dichas concentraciones alcancen el LFL; se limita, en consecuencia, la masa del refrigerante, ya que una tasa de fuga más elevada le da al refrigerante menos tiempo para diluirse en el aire circundante. Las normas de seguridad actuales no imponen medidas para evitar que dichas fugas ocurran. Por lo tanto, si se implementaran tales medidas de 'hermeticidad mejorada', podría descartarse eficazmente la probabilidad de fugas catastróficas. Por consiguiente, si se prevé una fuga relativamente lenta, entonces, el refrigerante se diluiría de manera más fácil en el aire circundante y una cantidad mayor de refrigerante liberado puede tolerarse, mientras no se produzca una concentración potencialmente inflamable.
- » Los tamaños de carga permitidos se basan en el supuesto de que el aire de la habitación está en reposo; de manera que la única razón por la que una fuga se mezclaría con el aire es a través de la dinámica del refrigerante liberado en sí. Es evidente que siempre hay algo de flujo de aire (benéfico) produciéndose en todos los espacios ocupados; pero, como en ocasiones el flujo de aire es insignificante, se ha ignorado cualquier beneficio posible a las liberaciones de refrigerante.
- » Sin embargo, los sistemas RAC que, por lo general, usan ventiladores para distribuir el aire que han enfriado o calentado fuera del equipo y, usualmente, en todo el espacio en que se instala, si este flujo de aire puede garantizarse cuando se necesite, puede tenerse en cuenta en la disolución de un refrigerante filtrado. La presencia de flujo de aire forzado —sea de manera continua o iniciado por algún medio de detección de fugas— mejora de forma dramática la disolución de una liberación de refrigerante y, por lo tanto, puede tolerarse una cantidad mucho más grande de refrigerante antes de que se produzca una concentración inflamable.
- » Para sistemas con flujo de aire integral, el flujo de aire deberá ser monitoreado, y en caso de que el flujo de aire falle, una alarma audible o visual deberá activarse, y los compresores del sistema de refrigeración, apagarse; y no podrán volver a operar hasta que el flujo de aire se haya restaurado. Si el flujo de aire inicia por un sistema de detección de fugas que utiliza un sensor de gas, el funcionamiento deberá verificarse con las siguientes pruebas:
- » El sistema está instalado según las instrucciones del fabricante.
- » Se simula una fuga de refrigerante a través de un orificio situado en una parte que contiene refrigerante dentro del espacio ocupado, que es menos eficaz para la respuesta del sensor de gas.

- » El refrigerante para el cual está diseñado el sistema se libera desde el orificio a una velocidad no superior a 10 g/min.
- » El flujo de aire de la unidad deberá iniciar un minuto después del comienzo de la liberación de refrigerante.

**Nota importante:** Para el caso de aplicar los requisitos de la IEC 60335-2-89, en equipos de refrigeración comercial con R-290 herméticamente sellados en fábrica (autocontenidos), se requiere la siguiente ecuación:

$$A_{\min} = m / (0,55 \times \text{LFL}).$$

Es decir que, para una carga de 0,5 kg, el  $A_{\min}$  es 24 m<sup>2</sup>. Además, la ecuación anterior ayuda a calcular la cantidad máxima de gas refrigerante R-290 de acuerdo con determinada área.

## 5.2 Requisitos de diseño, construcción e instalación

La NTC 6228-2 regula el diseño, la construcción y la instalación de sistemas de refrigeración, incluidos la tubería, los componentes, los materiales y el equipo auxiliar directamente asociado con dichos sistemas. De igual manera, especifica los requisitos para realización de ensayos, puesta en marcha, marcado y documentación de los sistemas de refrigeración. Excluye los requisitos para circuitos de transferencia de calor secundarios, excepto de dispositivos de seguridad relacionados con los sistemas de refrigeración.

De acuerdo con esta norma, todos los componentes deben someterse a ensayos de resistencia a la presión, hermeticidad y funcionamiento. La norma determina cómo deben realizarse estos ensayos y si es necesario cumplir otras normas de referencia.

El equipo debe cumplir con los requisitos para marcado (numeral 18.1) y de documentación (numeral 18.2). El equipo que esté bajo el alcance y cumpla con la IEC 60335-2-89 se considera que cumple los requisitos de los numerales 18.1 (marcado) y 18.2 (documentación).

Toda instalación térmica y sus componentes principales deben ser identificables mediante el marcado. Esta marca debe estar siempre visible. Para las instalaciones térmicas de refrigeración selladas con carga limitada, no es necesario marcar el condensador ni el evaporador.

Los dispositivos de cierre y los de control principal deben estar claramente etiquetados. Los puntos de acceso para reparación de equipos que funcionen con refrigerantes inflamables deben estar marcados con el símbolo de fuego, de acuerdo con la ISO 7010:2011, W021. Debe ubicarse una placa de identificación claramente legible cerca o sobre la instalación térmica. La placa de identificación, como la de la foto 43, debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

- a) Nombre o identificación del instalador o fabricante.
- b) Modelo, número de serie o número de referencia.
- c) Año de fabricación<sup>10</sup>.
- d) Designación numérica del refrigerante, de acuerdo con la ISO 817 (véase también el anexo A de la NTC 6228-1).
- e) Carga del refrigerante.
- f) Presión máxima permisible, los lados de alta y baja presión.
- g) Al utilizar refrigerantes inflamables, debe mostrarse el símbolo de la llama, de acuerdo con el W021 de la ISO 7010:2.

FOTO 43. EJEMPLO PLACA DE IDENTIFICACIÓN TÍPICA PARA EQUIPOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL AUTOCONTENIDOS CON R-290



MARCA	INFORMACIÓN
A	Tensión
B	Frecuencia
C	Número de fases
D	Código de la lista de materiales
E	Fluido refrigerante
F	Modelo
G	Número de serie
H	Presión máxima permitida
I	Temperaturas

Fuente: elaboración propia.

<sup>10</sup> Nota. El año de fabricación puede formar parte del número de serie, y toda la información puede ser parte de la placa de identificación del equipo y puede encontrarse codificada.

### 5.3 REQUISITOS PARA EL SITIO DE INSTALACIÓN

La sección de la NTC 6228-3 se aplica al sitio de instalación (espacio de la planta y servicios), y contiene los requisitos de seguridad para el sitio que podrían ser necesarios debido al sistema de refrigeración, pero no directamente conectados con este, y sus componentes auxiliares. Esa parte de la norma incluye requisitos para equipos de refrigeración instalados al aire libre, en un cuarto de máquinas, en áreas ocupadas, en áreas desocupadas no designadas como cuarto de máquinas o en áreas ventiladas dentro de un espacio ocupado.

Un aspecto clave incluido en esta parte de la norma es la ventilación requerida tanto para condiciones operativas normales como de emergencia, incluidas la liberación de refrigerante por fugas, para las diferentes ubicaciones de los equipos de refrigeración y los diferentes tipos de refrigerantes, considerando su inflamabilidad y toxicidad. Asimismo, esta parte de la norma incluye los requisitos para instalar sensores que detecten fugas de refrigerante o la privación de oxígeno y alarmas de seguridad.

### 5.4 REQUISITOS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

Los requisitos de seguridad y ambientales relacionados con la operación, el mantenimiento y la reparación de los sistemas de refrigeración se describen en la sección de la NTC 6228-4 que incluye, además, la recuperación, reutilización y disposición de todo tipo de refrigerantes, aceites refrigerantes, fluidos de transferencia de calor, sistemas de refrigeración y cualquiera de sus partes. Requisitos que pretenden minimizar el riesgo de lesiones a las personas y daños a la propiedad y al medio ambiente, y resultan del manejo inadecuado de los refrigerantes o de los contaminantes, y que podrían provocar una avería del sistema y la consiguiente emisión del refrigerante.

Esta parte de la norma incluye requisitos generales para la operación, mantenimiento y reparación de los sistemas de refrigeración, como requisitos para el personal encargado de estas actividades. Asimismo, requisitos para recuperar, reutilizar y disponer de los sistemas de refrigeración, así como de los refrigerantes y los aceites usados en estos sistemas.

Además, los anexos de la NTC 6228-4 contienen directrices específicas para reparar equipos que utilizan refrigerantes inflamables y la frecuencia con la que deberían realizarse las inspecciones de fugas de los refrigerantes. Para calcular el volumen mínimo seguro  $V$ , en  $m^3$ , de un recinto para el servicio técnico de un refrigerador con refrigerante R-290, si la carga de refrigerante es conocida en kilogramos, puede usarse la ecuación 1:

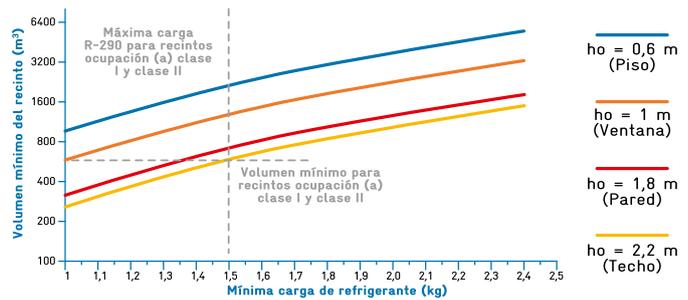
ECUACIÓN 1

$$V = \left( \frac{m_{\text{máx}}}{-2,5 \times LFL^{3/4}} \right)^2 \frac{1}{h_o}$$

La Figura 40 ilustra un ejemplo del volumen mínimo para un recinto de una tienda o supermercado, aplicando los criterios de la NTC 6228-1 para locales sin restricciones de acceso tipo (a), clase I o clase II. Por encima de 1,5 kg, el área necesaria está en función de la carga de refrigerante, empezando en 582  $m^3$ , para una instalación del equipo en techo ( $h_o = 2,2$  m).

El incremento del tamaño de la tienda o supermercado también depende de dónde estén almacenados o instalados los sistemas que contienen R-290; a menor altura, mayor volumen mínimo requerido.

FIGURA 40. VOLUMEN MÍNIMO REQUERIDO PARA CARGAS DE REFRIGERANTE R-290 QUE SUPERAN LA COTA SUPERIOR PARA DIFERENTES ALTURAS DEL EQUIPO ( $h_o$ ) CON ACCESO (A) CLASE I Y CLASE II



Fuente: elaboración propia.

Un sistema de refrigeración comercial con una carga de 1,5 kg de refrigerante R-290, y estimando una altura conocida del recinto de 2,2 m, el área correspondiente será 254,54  $m^2$ , tal como indica la ecuación 2:

ECUACIÓN 2

$$A = \frac{V}{h_o} = \frac{582 \text{ m}^3}{2,2 \text{ m}} = 264,54 \text{ m}^2$$

El área mínima será de: 264,54  $m^2$ , que equivale a lado 16,26 m x lado 16,26 m, del recinto.

Volumen mínimo del recinto = 187,5  $m^3$  para 1.500 g de carga de R-290 y 8  $g/m^3$  límite práctico (LP) de concentración basado en TOXICIDAD.

Volumen mínimo del recinto = 582  $m^3$  para 1.500 g de R-290 de carga en un refrigerador comercial, con acceso (a) clase I y clase II, y 2,58  $g/m^3$  límite de carga basado en INFLAMABILIDAD.



# 6. CONDICIONES INICIALES PARA EL MANTENIMIENTO EN REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290

Todos los refrigerantes inflamables tienen un riesgo inherente de entrar en combustión si se encuentran en concentraciones. La ignición usualmente es provocada por una fuente desprotegida, como una chispa eléctrica, una llama desnuda, una superficie muy caliente o cualquier otra circunstancia en la que se genere suficiente energía. Puede producirse en cualquier lugar donde el refrigerante se haya filtrado o mezclado con el aire en suficiente proporción; es decir, entre el límite inferior y superior de inflamabilidad.

Según sea la estructura del equipo, esto puede ocurrir en espacios refrigerados, electrodomésticos, en otros espacios donde se encuentren tuberías o partes, o al aire libre. Entre las consecuencias iniciales pueden estar el aumento de presión ('sobrepresión'), la radiación térmica y la formación de productos tóxicos de descomposición (por ejemplo, derivados inflamables de HFC).

Dependiendo de las condiciones locales, pueden causarse, además, daños físicos sobre los bienes o personas, incendios secundarios y efectos tóxicos resultantes del contacto con productos de descomposición. En la Figura 41 se indican los pasos básicos a seguir en la evaluación de riesgos de inflamabilidad. Cabe anotar que no basta con evaluar los riesgos, también es necesario definir y ejecutar medidas para mitigarlos, que permitan evitar, o reducir al mínimo, la probabilidad de que ocurran imprevistos junto con sus consecuencias.

FIGURA 41. PASOS BÁSICOS PARA SEGUIR EN LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INFLAMABILIDAD



Fuente: elaboración propia.

## 6.1 ESTADO PREVIO DEL LUGAR DE TRABAJO

En un procedimiento de mantenimiento preventivo o correctivo, deben tenerse en cuenta varios procedimientos que varían los riesgos y la seguridad, de acuerdo con el diagnóstico, e implican diferencias en las tareas que se deben cumplir. De acuerdo con esa variabilidad en el diagnóstico, antes de iniciar el mantenimiento, es necesario y muy importante verificar el lugar de trabajo.

Los equipos de refrigeración doméstica pueden presentar fallas en su funcionamiento, debido a diferentes factores, que pueden ser de origen eléctrico o electrónico, originados por la inadecuada carga de refrigerante al sistema, o por la presencia de los cinco contaminantes del sistema, que son: humedad, gases no condensables, ácidos, aceites y partículas en suspensión, como limaduras metálicas y otros.

La contaminación del equipo por la presencia de humedad o elementos extraños que causan taponamiento, generalmente en el evaporador o en el tubo capilar, por su pequeño diámetro o por la humedad que se congela en su interior. En ambos casos, el flujo de refrigerante cesa provocando una presión alta en el condensador, alta temperatura y, al mismo tiempo, presión de succión de compresión más baja o vacío; esto es aún más crítico por las presiones de trabajo del refrigerante R-290.

### 6.1.1 Precauciones generales

Lograr que el trabajo sea seguro depende, en gran parte, del comportamiento del experto que realiza el mantenimiento y quien tiene la mayor influencia en el riesgo de ignición.

- » La probabilidad de fuga está directamente relacionada con:
  - El tamaño de la nube inflamable.
  - La duración de la nube inflamable.
  - La presencia de fuentes de ignición, chispas o llamas abiertas.
  - Durante el mantenimiento o la reparación, existe:
    - Mayor probabilidad de fuga (apertura del sistema).
    - Escape desde donde hay mayor cantidad de refrigerante (cilindros).
    - Otras fuentes de ignición (equipos de servicio adicionales que producen chispa).

En general, el riesgo de incendio es 10 a 1.000 veces mayor en mantenimiento o en reparación.

Enfocarse en reducir el riesgo durante el mantenimiento es esencial.

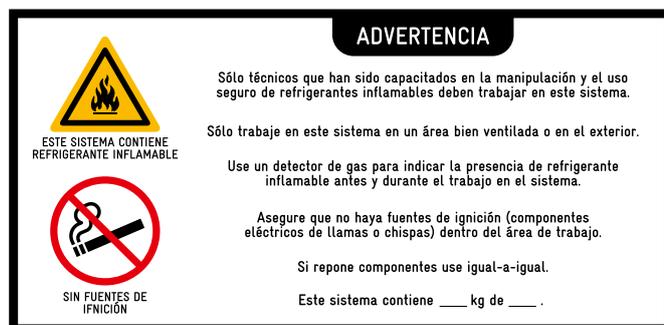
## 6.1.2 Ubicación del equipo o sistema de refrigeración en el sitio de trabajo

- » Nivelar el equipo o sistema de refrigeración en el sitio (si aplica) y verificar que esté bien nivelado.
- » Revisar que el refrigerador esté en un sitio con suficiente espacio circundante, para una fácil disipación del calor del condensador (circulación de aire).
- » Prestar atención a que el condensador esté libre de polvo o suciedad y que ningún elemento obstruya las vías de circulación de aire.
- » Evitar los siguientes lugares para la instalación:
  - » Lugares con fuertes fuentes de calor, gases combustibles o vapores volátiles.
  - » Lugares expuestos a la radiación solar.
  - » Lugares que emitan ondas de alta frecuencia, por ejemplo, equipos de radio, médicos o de soldadura.
- » No realizar trabajos de apertura del sistema o tuberías por medio de soldadura con llama, en los equipos y sistemas de refrigeración comercial que contengan refrigerante R-290.

## 6.1.3 Ambiente del taller de servicio técnico

- » Mantener el sitio de trabajo ordenado y limpio todo el tiempo; antes, durante y al finalizar el mantenimiento.
- » Asegurar, antes de iniciar el mantenimiento, que el contenedor del refrigerante sea acorde a R-290. Para ello, revisar la etiqueta y las condiciones generales del contenedor, verificando que es un refrigerante original y no falsificado.
- » Asegurar, antes de utilizar el refrigerante R-290, que no existen fuentes de ignición, como posibilidad de chispas, llamas abiertas o superficies calientes, que pudieran provocar la inflamación del refrigerante R-290, en caso de una fuga o escape accidental.
- » No utilizar el teléfono móvil mientras se realiza el proceso de manejo del refrigerante R-290.
- » NO FUMAR durante la intervención (Figura 42).

FIGURA 42. ETIQUETA DE ADVERTENCIA PARA INICIO DE SERVICIO TÉCNICO



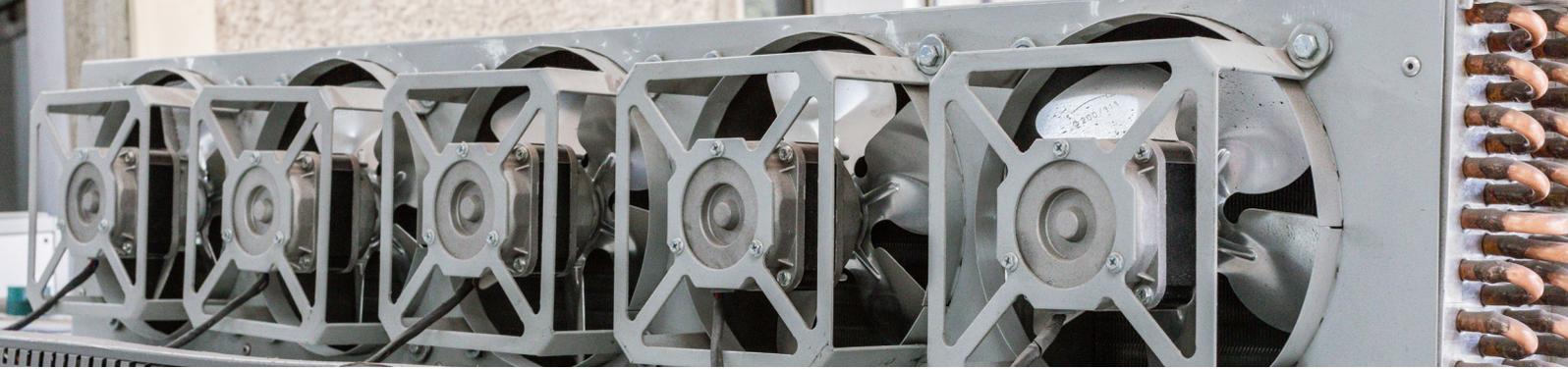
Fuente: elaboración propia.

- » Durante el diagnóstico y la intervención del equipo, asegurar que se garantice la ventilación suficiente y, de ser necesario, instalar un ventilador tipo antichispa (ATEX o para trabajar con HC o refrigerante A3) como apoyo.
- » Utilizar una manguera plástica (1/4" de espesor y 10 m de largo), para retirar el refrigerante del sistema, con el fin de ventear el refrigerante al exterior.
- » Reemplazar los componentes eléctricos defectuosos o que produzcan chispa.
- » No reemplazar los dispositivos sellados o electrónicos de estado sólido por componentes electromecánicos que puedan provocar chispas.
- » No reposicionar los componentes eléctricos.
- » Usar un detector de HC. Seleccionar y usar el tipo de detector de fugas adecuado, para asegurarse de que no hay refrigerante inflamable en el área circundante.
- » No hacer cambios ni pasar por alto estos procedimientos.

## 6.1.4 Situación y condiciones básicas del sitio de trabajo

Antes de comenzar cualquier labor de mantenimiento, debe verificar las siguientes condiciones básicas del sitio de trabajo:

- » Asegurar el área con cinta de tráfico, pancartas y avisos de seguridad, y que todas las herramientas, equipos y materiales necesarios para el mantenimiento estén listos.
- » Revisar que la parte o sección intervenida tenga suficiente espacio circundante para una fácil movilidad y disipación de la eventual concentración de R-290 (circulación de aire) (Figura 43).
- » Prestar atención a que la unidad condensadora esté libre de polvo o suciedad y que ningún elemento obstruya las vías de circulación de aire.
- » Evitar las siguientes condiciones para el trabajo:
  - » Lugares con fuentes de calor excesivas, gases combustibles o vapores volátiles.
  - » Lugares expuestos a la radiación solar directa.
  - » Lugares que emitan ondas de alta frecuencia, por ejemplo, equipos de radio, de soldadura.
- » Nunca deben realizarse trabajos de apertura del sistema o tuberías, por medio de soldadura con llama, en los sectores que contengan refrigerante R-290.
- » Asegurar la ventilación adecuada durante el venteo o carga de refrigerante de hidrocarburo. Por ejemplo, con puertas y ventanas abiertas, o de ser necesario, generar un flujo de aire con un ventilador de apoyo.
- » Garantizar, dentro de los 3 m del área de seguridad:
  - » No hacer soldadura por llama.
  - » No fumar.
  - » No manipular o accionar componentes eléctricos que provoquen chispa.
  - » Evitar superficies cuya temperatura esté en 460 °C o suban de ahí.
  - » Tener a mano (a la vista) un extinguidor de polvo seco (o CO<sup>2</sup>).
  - » Que el combustible (R-290) esté en la concentración correcta (2 a 10 partes en 100 de aire).

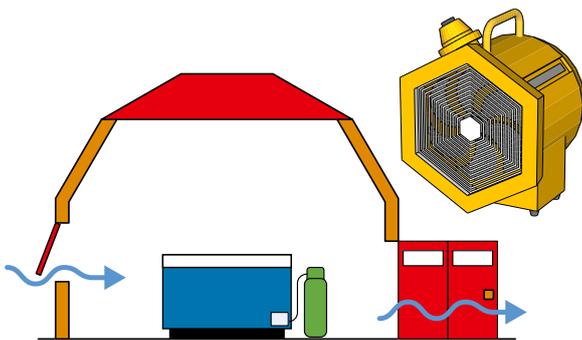


Se necesitan tres elementos de la Figura 44, llamada triángulo del fuego, para que se produzca una combustión:

- » Combustible en la concentración correcta.
- » Suministro de un agente oxidante (generalmente el aire).
- » Una fuente de ignición (energía); chispa, llama abierta o superficie más caliente que 460 °C (SOI, sigla en inglés de Source of Ignition).

Si se controlan estos tres factores, al menos uno (la fuente de ignición), preferiblemente dos, se puede prevenir el incendio.

FIGURA 43. VENTILACIÓN PERMANENTE EN EL TALLER DE SERVICIO O RECINTO

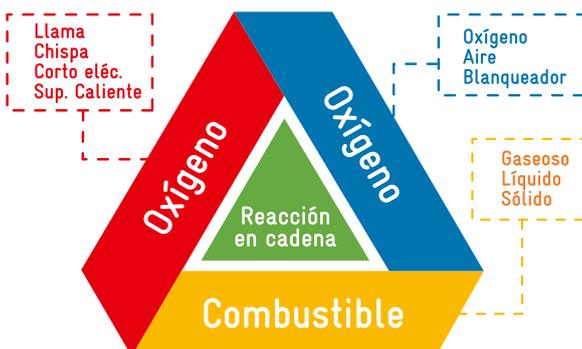


Fuente: elaboración propia.

Para evitar un incendio, deben seguirse tres pautas generales:

- » Que el sistema sea sellado (aislado).
- » Evitar las fuentes de ignición (de energía).
- » Buena ventilación, ventiladores antichispa o certificado para refrigerante A3 o ATEX, de ser necesario.

FIGURA 44. TRIÁNGULO DEL FUEGO



Fuente: elaboración propia.

- Si la concentración está por debajo del límite inferior de inflamabilidad (LII) de 1,8 % por volumen en el aire, no hay suficiente HC para la combustión.
- Si la concentración está por encima del límite superior de inflamabilidad (LSI) de 8,5 %, el oxígeno es insuficiente para la combustión.
- La región crítica para encender el R-290 se encuentra entre ambas condiciones.
- Por razones de seguridad, no debe excederse un límite práctico de 8 g/m<sup>3</sup> de refrigerante de hidrocarburo en un espacio o recinto cerrado de concentración basado en toxicidad.
- Por razones de seguridad, no debe excederse el límite de carga basado en inflamabilidad, de acuerdo con la ecuación:  

$$m_{\text{máx}} = 2,5 \times LFL \cdot 1,25 \times h_0 \times A \cdot 0,5$$
o la ecuación relacionada con el volumen mínimo:

$$V = \left( \frac{m_{\text{máx}}}{-2,5 \times LFL^{3/4}} \right)^2 \frac{1}{h_0}$$

FIGURA 45. EJEMPLO DE CÁLCULO Y ETIQUETAS DE SEGURIDAD PARA ADVERTIR LA INFLAMABILIDAD



Fuente: elaboración propia.

#### Zonas inflamables temporales

Cuando se trabaja en sistemas que usan refrigerantes inflamables, el técnico debe considerar ciertos lugares como «zonas inflamables temporales».

Por lo general, se trata de regiones donde se prevé que se produzca al menos alguna emisión de refrigerante durante los procedimientos normales de trabajo, como la recuperación, la carga, etc.; en especial, en donde se pueden conectar o desconectar mangueras. Se recomienda señalar la zona inflamable temporal (Figura 45).

## 6.2 INSPECCIÓN INICIAL DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290

Los equipos de refrigeración pueden presentar fallas en su funcionamiento. Las causas pueden ser diferentes factores; de origen mecánico, eléctrico o electrónico; también pueden ser originados por la carga inadecuada de refrigerante al sistema o por la presencia de los cinco contaminantes del sistema:

- » Gases no condensables
- » Partículas en suspensión
- » Humedad
- » Aceites contaminados
- » Ácidos

La contaminación del equipo por la presencia de humedad o elementos extraños causa taponamiento, generalmente, en el evaporador o en el mecanismo de expansión, en su aguja por su pequeño diámetro o por la humedad que se congela en su interior. En ambos casos, el flujo de refrigerante cesa, provocando una presión alta en el condensador, alta temperatura y, al mismo tiempo, genera presión de succión más baja o tendencia a vacío.

## 6.3 LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL (SSO) PREVIAS AL MANTENIMIENTO Y MANEJO SEGURO DE R-290

Es muy importante cubrir una amplia gama de temas en la capacitación, acerca del servicio técnico de equipos de refrigeración comercial con refrigerante R-290. Esta guía, en diferentes numerales, aborda todos los temas que se mencionan a continuación y se resumen, para tener en cuenta a lo largo de todo el proceso del servicio técnico. Estos temas globales (ver anexos D y E) son:

- » Seguridad general y manejo seguro del refrigerante
- » Fundamentos de los refrigerantes inflamables y características de los HC
- » Requisitos de las normas de seguridad
- » Área de trabajo y controles
- » Equipos de servicio
- » Cilindros de refrigerante (transporte y almacenamiento)
- » Verificaciones de sistemas y equipos
- » Marcado o etiquetado y señalización de equipos
- » Detectores de gas y detección de fugas
- » Equipos eléctricos y otras fuentes de ignición
- » Manipulación del refrigerante (recuperación, ventilación, evacuación, intrusión en el sistema, carga, desmantelamiento)
- » Capacitación práctica con ejercicios

### 6.3.1 Herramientas, equipos básicos y elementos de protección personal

A) PARA EL SERVICIO TÉCNICO		
<p>FOTO 44. JUEGO DE MANÓMETROS 4 VÍAS</p> 	<p>FOTO 45. MÁQUINA DE VACÍO</p> 	<p>FOTO 46. VACUÓMETRO ELECTRÓNICO</p> 
<p>Manómetros para refrigerantes HC. - Conexiones para manómetros 3 x 1/4" SAE y 1 x 3/8" SAE</p> <p><b>Accesorios incluidos:</b> Dos mangueras flexibles de refrigerante de 1500 mm; conexión recta SAE de 1/4 " x 1/4", mangueras de color rojo y azul, dos mangueras de repuesto. Dos válvulas de acceso, válvula de bloqueo 1/4" SAE. Una manguera de descarga de vapor de 5 metros de largo.</p>	<p>Máquina de vacío con motor certificado para R-290 o ATEX. Capacidad de bombeo 46 L/min con vacío final de 1x10<sup>-2</sup> mbar. Conexión de escape 1/4" NPT-F. Cableado de red de cable duro Longitud mínima: 5 m.</p>	<p>Vacuómetro digital con pantalla LCD y dos conexiones de manguera de refrigerante SAE de 1/4". Escala de micrones, PSI, InHg, mbar, Pascal, Torr y Millitorr.</p> <p><b>Datos técnicos:</b> Rango de vacío de 0 a 12,000 micrones (0 – 1.600 Pascal) Resolución (201–500 micras) 5 micras Precisión: +/-10 %</p>

Fuente: elaboración propia.

## A) PARA EL SERVICIO TÉCNICO

<p>FOTO 47. TERMÓMETRO "PENTA"</p> 	<p>FOTO 48. DETECTOR DE GASES HC</p> 	<p>FOTO 49. PROBADOR PRESIÓN</p> 
<p>Termómetro electrónico de cinco sondas tipo K. Juego completo con cinco (5) sondas tipo K equipadas con cinta de fijación.</p> <p><b>Detalles técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rango de temperatura de -200 °C a 1.370 °C</li> <li>- Resolución 0,1 °C</li> <li>- Precisión +/-0,05 % de la lectura</li> <li>- Dimensiones 133 x 31 x 25 mm</li> <li>- Peso 150 g</li> <li>- Certificación CE</li> </ul>	<p>Sensible a los HC. Con una sonda flexible, señal audible variable y varios LED para indicar fugas. Ajuste automático (puesta a cero) a gas combustible en el área de prueba de fugas.</p> <p><b>Detalles técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La sensibilidad del detector es de 5 ppm (metano, propano, isobutano).</li> <li>- Sonda cromada de 43 cm de largo</li> <li>- Temperatura de funcionamiento: 0 °C a 40 °C</li> </ul> <p>Conforme CE, UL913 y ATEX.</p>	<p>Manómetro con sectores de pruebas de presión, calibre de clase 1.0 con 80 mm de diámetro e indicador de posición y tornillo de calibración. Fijado con manguera flexible y válvula de bola de unos 220 mm de longitud y conexiones SAE de 1/4".</p> <p><b>Datos técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calibre de clase 1.0 con 80 mm de diámetro y marcador de posición, y tornillo de calibración.</li> <li>- Manguera 220 mm de longitud y conexiones SAE/UNF de 1/4"; presión de trabajo a mínimo 52 bar.</li> </ul>
<p>FOTO 50. CORTA TUBO</p> 	<p>FOTO 51. REBABADOR</p> 	<p>FOTO 52. CORTA CAPILAR</p> 
<p>Cortatubos de cobre completo con rueda de repuesto.</p> <p><b>Datos técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El diámetro exterior de los tubos es de aproximadamente 4 mm (1/8"- a 1-1/8").</li> </ul>	<p>Quita rebabas internas y externas para refrigeración doméstica y comercial.</p>	<p>Corta tubo capilar. Corta capilar, corte exacto de tubos capilares de todas las dimensiones, sin alterar el diámetro interno, sin colapsar o estrechar el tubo.</p>
<p>FOTO 53. VÁLVULA PINCHATUBO</p> 	<p>FOTO 54. VÁLVULA PONCHATUBO</p> 	<p>FOTO 55. NITRÓGENO NSLO</p> 
<p>Alicate de perforación para tubos de cobre 1/4"-7/8" (6-22 mm). Ajustable para cobre con función de bloqueo para ajuste preciso. Para aguja y calzos reemplazables.</p> <p><b>Datos técnicos:</b> para tubos de 1/4" (6 mm) hasta 7/8" (22 mm).</p>	<p>Pinza de apriete; amasador de trabajo pesado; deforma y cierra los tubos de cobre.</p> <p><b>Datos técnicos:</b> dimensiones aprox. 250 x 80 x 20 mm, Peso aprox. 0,36 kg.</p>	<p>Nitrógeno comprimido N2. CAS n.º 7727-37-9. Uso industrial. NSLO para pruebas de hermeticidad y barrido del refrigerador.</p>

Fuente: elaboración propia.

## A) PARA EL SERVICIO TÉCNICO

FOTO 56. CONJUNTO DE VACÍO Y CARGA



Estación de vacío y carga para refrigerantes HC R-290, incluye:

- Máquina de vacío con motor certificado para R-290 o ATEX. Capacidad 46 L/min, 1x10-2 mbar.
- Manómetros para refrigerantes HC.
- Conexiones para manómetros 3 x 1/4" SAE y 1 x 3/8" SAE.
- Balanza electrónica de carga, capacidad: 5 kg, resolución 1 g
- Todos los equipos con certificación CE.

FOTO 57. APP REGLA "P VS T" O "PT"



Ejecuta cálculos de presión vs. temperatura.  
Aporta información sobre los refrigerantes y familias PCG, PAO.  
Tipos de aceite, familias de refrigerantes.  
Composición de refrigerante.  
Grupos de seguridad.  
Sistema internacional y sistema inglés de unidades.

FOTO 58. MANGUERA DE VENTEO



Manguera de PVC, de 10 m de longitud, para uso en frigoríficos y congeladores.

Manguera con conexión giratoria SAE hembra de 1/4" y diluidor de refrigerante de latón o bronce.

FOTO 59. ADAPTADOR PARA CARGA



Adaptador hembra a macho; 1/4" hembra SAE x 3/8" macho SAE.

Adaptador hembra a macho; 3/8" hembra SAE x 1/4" macho SAE.

FOTO 60. VÁLVULA PARA CARGA



Válvula de extracción para cartuchos de refrigerante de desecho R-290.  
Comprobar que la válvula se ajusta al cartucho de refrigerante R-290.

FOTO 61. TANQUE REFRIGERANTE



(PAO) es cero (PCG) cerca de 3.  
Temperatura de autoignición 460 °C.  
Baja humedad.  
Nivel de pureza, mín. 99,5 % (máx. 10 ppm de agua).

FOTO 62. CONTROL FUGA DE REFERENCIA



Sensibilidad (fuga de referencia) para detectores electrónicos de gas. Para refrigerante propano R-90/R-290; caudal de 5 gramos por año. Conexión de tuerca de ensanchamiento para facilitar su uso con equipos de refrigeración estándar.

**Datos técnicos:**

- Caudal de refrigerante de 5 g/año utilizable para R-290.
- Latón 1/4", tuerca acampanada SAE conforme con EN1426 y SAE J1627.

FOTO 63. VENTILADOR PORTÁTIL



Carcasa, motor y accesorios libres de mantenimiento y certificado para R-290 o ATEX, y con motor conmutado electrónicamente.

**Datos técnicos:**

- Caudal de aire aprox. 700 m<sup>3</sup>/h
- Consumo máximo de potencia 50 Watts
- Nivel sonoro máximo 70 dB(A)
- Cableado de red de cable duro. longitud mínima: 5 m
- Alimentación:** 120 V/1 Ph/60 HZ o 220 V/1 Ph/60 Hz con enchufe NEMA 5-15 tres polos.

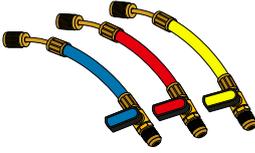
FOTO 64. BALANZA ELECTRÓNICA



Balanza electrónica de carga, capacidad 5 kg, resolución 1 g  
2 soportes de carga para cartucho R-290 y R-90 incluidas las mangueras de carga con válvula de bola.  
Una lata de 1 L de aceite mineral para la bomba de vacío, una lata de aceite de repuesto,  
Maletín de transporte robusto para todos los componentes.  
Todos los equipos con certificación CE.

Fuente: elaboración propia.

## A) PARA EL SERVICIO TÉCNICO

<p>FOTO 65. ANALIZADOR DIGITAL DE REFRIGERACIÓN</p> 	<p>FOTO 66. MANGUERAS CON VÁLVULA</p> 	<p>FOTO 67. MANGUERAS DE MANTENIMIENTO</p> 
<p>Instrumento para 60 refrigerantes, medición de presión, temperatura y cálculo del sobrecalentamiento y subenfriamiento.</p>	<p>Tres mangueras flexibles de refrigerante con válvulas de acceso; válvula de bloqueo 1/4" SAE.</p>	<p>Tres mangueras flexibles de refrigerante de 1.500 mm; conexión recta SAE de 1/4" x 1/4", mangueras de color amarillo, rojo y azul.</p>

Fuente: elaboración propia.

## B) HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA REPARACIÓN, SOLDADURA Y JUNTA FRÍA

<p>FOTO 68. EQUIPO DE SOLDADURA</p> 	<p>FOTO 69. EQUIPO UNIONES FRÍAS</p> 	<p>FOTO 70. SELLADOR LOKPREP</p> 
<p>Unidad de soldadura fuerte de oxígeno/propano. Juego completo con botellas en un marco de metal común. Kit regulador de presión de propano y regulador de presión de oxígeno completo con manómetros, pararrayos, manija con perillas de ajuste y mangueras.</p> <p><b>Datos técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cilindro de propano para un mínimo de 2 kg de contenido de gas.</li> <li>- Cilindro de oxígeno con un volumen mínimo de 5 litros.</li> <li>- Una lanza de 160 L/h boquilla LP.</li> </ul>	<p>Equipo completo de prensado Lokring, Zoomlok o cualquier otro dispositivo o insumo de unión en frío. Paquete de herramientas de prensado y conectores en la caja de equipo completa. Incluye:</p> <p>Herramienta de montaje Tapón de latón Sellador (depende de la marca) Conectores y reductores de aluminio y latón, en T Tubos de carga y secadores Herramienta de montaje y mordazas Inserto NTR Conectores NAV</p>	<p>Sellador anaeróbico para conectores de prensado Debe utilizarse para todos los conjuntos Lokring. Compensa cualquier desnivel en la superficie del tubo. Asegura que cada conexión Lokring esté herméticamente sellada.</p>
<p>FOTO 71. ACOUPLE RÁPIDO, 6,35 (1/4")</p> 	<p>FOTO 72. ACOUPLE RÁPIDO, 5MM (1/4")</p> 	<p>FOTO 73. CORTA TUBO</p> 
<p>Acoplador rápido para tubos de cobre DN 6,35 mm (1/4") y con SAE de 1/4". Con conexión de la manguera de refrigerante. Se fija directamente a los tubos rectos. Tubo sellado en toda la extensión de la tubería. Flujo máximo mientras se hace barrido con NSLO, para pruebas de presión y evacuaciones, así como para la carga. Resistencia al vacío de 0,013 mbar (10 micrones) y presión de hasta 52 bar.</p>	<p>Acoplamiento rápido para tubos de cobre DN 5 mm y con SAE de 1/4". Con conexión de manguera de refrigerante. Se fija directamente a los tubos. Tubo sellado en toda la extensión. Flujo máximo mientras se hace barrido con NSLO, para pruebas de presión y evacuaciones y carga. Resistencia al vacío de 0,013 mbar (10 micrones) y presión de hasta 52 bares.</p>	<p>Para corte preciso de tubos de aluminio, cobre y acero con espesor de pared de 1 mm y diámetro exterior de 4-10 mm. Basta con movimiento de 102° para el corte.</p>

Fuente: elaboración propia.

## B) HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA REPARACIÓN, SOLDADURA Y JUNTA FRÍA

<p>FOTO 74. UNIÓN LOKRING SIMÉTRICA</p> 	<p>FOTO 75. UNIÓN LOKRING LÍQUIDO</p> 	<p>FOTO 76. CALIBRADOR "PIE DE REY"</p> 
<p>Unión tipo lokring de diferentes diámetros (1/4", 5/16"), según refrigerador en servicio técnico.</p>	<p>Unión tipo lokring, de 1/4" x diámetro de capilar usado por el refrigerador en servicio técnico.</p>	<p>Calibrador digital de acero inoxidable para medición digital de las dimensiones interiores, exteriores y de profundidad de tubos y componentes de cobre y acero.</p>
<p>FOTO 77. ADAPTADORES RÁPIDOS</p> 	<p>FOTO 78. ESPEJO TELESCÓPICO</p> 	<p>FOTO 79. ESPONJILLA LIMPIEZA</p> 
<p>Conector de tubo de cobre de proceso rápido de 6 mm/1/4" compuesto por un conector rápido, un acoplamiento rápido hembra y un acoplamiento rápido macho.</p> <p><b>Datos técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para tubos con diámetro de 6 mm y 1/4"</li> <li>- Un conector rápido 1/4" NPT/6mm con juntas de goma</li> <li>- Un acoplamiento rápido hembra 1/4" NPT</li> <li>- Un acoplamiento rápido macho 1/4" NPT</li> <li>- Una pieza de conexión roscada R1/4" K x 1/4" SAE M</li> </ul>	<p>Espejo telescópico, retrovisor para inspección con mango telescópico.</p> <p><b>Datos técnicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (Largo/ancho) aprox. 80 mm x 40 mm</li> <li>- Longitud total de unos 300 mm extensible a unos 450 mm</li> </ul>	<p>Paño de limpieza constituido por fibras sintéticas tipo poliamida, no tejidas, en construcción abierta, con partículas abrasivas distribuidas y unidas al producto por medio de un adhesivo durable y termoendurecido. Para la limpieza de superficies en general, no presenta oxidación o desgaste por uso. Paquete por 24 unidades, cada esponjilla mide 10 cm x 14 cm.</p>
<p>FOTO 80. CHISPERO O YESQUERO</p> 	<p>FOTO 81. GRATA O CEPILLO</p> 	<p>FOTO 82. MANORREGULADOR N2</p> 
<p>Encendedor de piedra, completo con cinco (5) piedras de recambio.</p>	<p>Grata o cepillo de acero para remover suciedad, partículas, pintura, excesos de fundente o soldadura de las superficies.</p>	<p>Manorregulador de nitrógeno; capacidad de presión: hasta 500 PSIG (libras por pulgada cuadrada) en manómetro de salida hacia el sistema de prueba.</p>

Fuente: elaboración propia.

## B) HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA REPARACIÓN, SOLDADURA Y JUNTA FRÍA

<p>FOTO 83. APORTE SOLDADURA PLATA</p> 	<p>FOTO 84. SOLDADURA FOSFORADA</p> 	<p>FOTO 85. FUNDENTE FLUX SILVERING</p> 
<p>Soldadura fuerte de bajo contenido de plata. Funden entre 640 °C y 790 °C y tienen 0 %, 2 %, 5 % y 15 % de plata. En presentaciones de 1/16", varilla redonda; 3/32", 1/8", varillas planas.</p> <p>Soldaduras fuertes de alto contenido de plata. Aleaciones que funden entre 570 °C y 715 °C. Con contenidos de 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 60%, 70% en plata.</p>	<p>Aleación de cobre fosforado para soldar con alta fluidez y bajo punto de fusión para unir tuberías de cobre, bronce y latón, en producción y mantenimiento. De gran uso en talleres de reparación de aires acondicionados y refrigeración.</p> <p><b>Características:</b> Punto de fusión: 700 °C, oxiacetileno. Tipo de flama: neutra, sustituto de aleaciones de plata, resistencia y fluidez; produce uniones fuertes y sin poros; puede unir cobre a cobre sin fundente y cobre a bronce, y latón usando fundente.</p>	<p>Fundentes AG para soldaduras fuertes de plata, que trabajan en un rango entre 560 °C y 870 °C. Se utilizan con soplete, llama, en horno o por resistencia. Se utiliza en uniones con metales ferrosos y aleaciones de cobre, bronce, latón o cobre.</p> <p><b>Presentación:</b> en pasta (húmedo), y en polvo (seco); en frascos de ¼lb, ½lb, 1 lb y 6 lb.</p>
<p>FOTO 86. PRUEBA DE BURBUJA</p> 	<p>FOTO 87. PLIEGO DE TELA DE LIJA</p> 	<p>FOTO 88. AEROSOL TÉRMICO</p> 
<p>Líquido en aerosol para producir burbujas para la prueba de hermeticidad. No produce oxidación.</p>	<p>Tela de lija o tela esmeril para quitar excesos de material sobrante luego de las soldaduras.</p>	<p>Aerosol de enfriamiento en latas de aerosol para el ensayo de termostatos hasta -50 °C.</p>
<p>FOTO 89. DOBLATUBO</p> 	<p>FOTO 90. FILTRO TRES VÍAS HC</p> 	<p>FOTO 91. REGLETA METÁLICA</p> 
<p>En cromo vanadio, acero, radio 180°, calibrado para mostrar ángulo de doblez en cobre, bronce, aluminio, acero inoxidable y otros metales delgados.</p> <p><b>Datos técnicos:</b> 6 mm (1/4").</p>	<p>Filtro secador de cobre para refrigeradores HC, R-290.</p> <p>Doble entrada 1/4" o 6 mm Ø, salida 1,8 mm Ø, Temperatura ambiente mín./máx.: -30/+55 °C Temperatura del refrigerante mín./máx.: -30/+80°C Presión máx. PS: 4,2 MPa (42 bar) Tipo de conexión: soldadura fuerte Certificaciones: UL/CSA</p>	<p>Regleta de acero inoxidable en milímetros y pulgadas</p> <p><b>Datos técnicos:</b> 0,5, 1 y 1,5 mm graduaciones SI. - 1", 1/2", 1/4", 1/8", 1/16", 1/32", 1/64" graduaciones sistema inglés: Rango mínimo de medidas: 300 mm.</p>

Fuente: elaboración propia.

## C) HERRAMIENTAS Y EQUIPOS BÁSICOS PARA TRABAJO ELECTRO ELECTRÓNICO

FOTO 92. PONCHADORA TERMINALES



Juego de pinzas para prensar el surtido de conectores de cable. Caja de plástico macizo; caja con dos insertos de plástico apilables con 6 bandejas cada uno de cable estándar.

**Datos técnicos:**

Alicate de prensado de precisión

Caja de plástico rígida con dos inserciones apilables y seis moldes:

- 25 conectores 6,3 x 0,8 mm<sup>2</sup>: 0,5-1,0/1,5 2,5 mm,
- 25 terminales de anillo con un diámetro de 0,5-1,0 mm, un diámetro de agujero de 4 y 5 mm, un diámetro de 1,5 mm 2,5 mm y un diámetro de agujero de 4 + 5 + 6 mm.
- 25 terminales de anillo con un diámetro de 4-6 mm, diámetro del orificio de 6 + 8 mm, 25 conectores: aislados a tope: 0,5-1,0 / 1,5-2,5 mm
- 20 conectores a tope aislados 4-6 mm.

FOTO 93. MULTÍMETRO



Multímetro de pinza con pantalla LCD, bolsillo de nylon, baterías y juego de cables de prueba.

**Datos técnicos:**

- Máximo de lectura 3999
- Medición ACA hasta 290
- Conductor de 35 mm de diámetro
- Medición de ohmio, diodo, continuidad, capacitancia
- Con función de retención de datos
- Aprobación EN61010-1
- Categoría de sobretensión III 1.000 V

Dispositivo equipado con baterías certificación CE.

Fuente: elaboración propia.

## • EPP – ELEMENTOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

FOTO 94. GAFAS PARA SOLDADURA



Gafas de seguridad para soldar, con banda elástica, color gris degradado, para soldadura oxiacetilénica segura de tubo de cobre.

**Datos técnicos:**

- Rígida 50 mm, doble tapa.

FOTO 95. GANTES TRABAJO GENERAL



Guantes de trabajo cómodos y ajustados para mecánicos; cierre de goma plástica térmica (TPR) con gancho y presilla para unos ajustes seguros; lavables a máquina.

FOTO 96. GAFAS DE SEGURIDAD



Gafas de seguridad para trabajos mecánicos; se adaptan a la mayoría de las lentes graduadas; las patillas ventiladas mantienen fresco al usuario; lentes transparentes para trabajos en interiores o exteriores.

Fuente: elaboración propia.

• EPP – ELEMENTOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

<p>FOTO 97. GUANTES DE NITRILLO</p> 	<p>FOTO 98. LENTES DE SEGURIDAD</p> 	<p>FOTO 99. BOTAS DE SEGURIDAD</p> 
<p>Pares de guantes combinados nylon-poliéster-nitrilo, tipo power flex, norma CE 389. Manejo de refrigerantes y aceites.</p>	<p>Lentes de seguridad antiempañ, antirrayones y antiestática, con 99 % de protección ultravioleta. Lente de color oscuro, ámbar o transparente. Norma ANSI Z87.1,2003 CSA Z94.3</p>	<p>Botas con puntera reforzada de acrílico, dieléctricas.</p>
<p>FOTO 100. GUANTES DE VAQUETA</p> 	<p>FOTO 101. PROTECCIÓN AUDITIVA</p> 	<p>FOTO 102. OVEROL</p> 
<p>Vaqueta flexible con refuerzo en dedos y palma, para trabajo general.</p>	<p>Protección auditiva de inserción, resistente al arco eléctrico. Copa protectora, orejeras.</p>	<p>Traje completo o de dos piezas para trabajo en servicio técnico; mangas largas en brazos y piernas.</p>
<p>FOTO 103. MANILLA ANTIESTÁTICA</p> 	<p>FOTO 104. CASCO DE SEGURIDAD</p> 	<p>FOTO 105. GUANTES DE LÁTEX</p> 
<p>Resistencia: &lt; 10K Ohm (correa para la muñeca) 1 M Ohm ± 10 % (del cable) Longitud del cable de tierra: 1,80 m.</p>	<p>Casco dieléctrico clase E y G, suspensión compuesta de araña, corona y banda antisudor diseñada con seis apoyos para insertarlos en el casquete, y un sistema de amortiguación mediante la cinta. Barbuquejo de 3 apoyos, con mentonera, banda en reata y hebilla de ajuste.</p>	<p>Guantes quirúrgicos sin polvillo Para manejo de alimentos dentro del equipo, en sitio o domicilio del cliente, cuando hay alimentos que retirar o mover dentro del refrigerador.</p>

Fuente: elaboración propia.

## D) ETIQUETAS Y SEÑALIZACIÓN

FOTO 106. EXTINTOR DE INCENDIO 	FOTO 107. RUTA DE EVACUACIÓN 	FOTO 108. PUNTO DE ENCUENTRO 
Símbolo de protección contra incendios.	Símbolo de rescate. Salida de emergencia a la izquierda.	Símbolo de rescate. Punto de encuentro.
FOTO 109. DIRECTORIO DE EMERGENCIAS 	FOTO 110. MATERIAL INFLAMABLE 	FOTO 111. ELEMENTOS "EPP" 
Símbolo de protección contra incendios. Directorio rápido de emergencias.	Símbolo de advertencia. Advertencia contra sustancias inflamables	Símbolo de obligatoriedad. Obligatorio el uso de elementos de protección personal (EPP).
FOTO 112. PROHIBIDO EL PASO 	FOTO 113. NO FUMAR 	FOTO 114. EXTINTOR DE INCENDIO / R-290 
Símbolo de prohibición. No camine a través de.	Símbolo de prohibición. Sin llama abierta, sin fuego o sin fuente de ignición.	Clase de fuego "B", Tipo CO2, para incendios de líquidos o eléctricos. Clase de fuego "A, B y C" tipo polvo seco, para materiales; líquido, gas y fuego eléctrico.

Fuente: elaboración propia.

### 6.4 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS GENERALES CON R-290

La seguridad es relevante cuando se manipula, almacena y transporta cualquier tipo de refrigerante, producto de los peligros asociados a toxicidad, asfixia, inflamabilidad, congelación, explosiones por sobrepresiones en cilindros, etc. Un contacto directo con el refrigerante puro o mezclado con aceite puede causar daños severos a las personas; por ejemplo, debido a:

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

El aumento de presión puede tener un origen externo. Un procedimiento técnico incorrecto, corresponde a la intención de separar dos piezas unidas con una soldadura fuerte, mediante una llama abierta (soplete) con el circuito frigorífico aún presurizado con refrigerante. El aporte de energía produce un incremento significativo de la presión interior, causando inesperadamente la separación de las piezas o la rotura de la tubería intervenida. Este problema también es observado en procedimientos de mantenimiento, donde producto de la baja temperatura exterior o el rápido vaciado de un cilindro refrigerante al momento de cargar el sistema, la presión disminuye, lo que imposibilita o entorpece el proceso, ya que el ingreso de refrigerante al sistema depende de la diferencia de presión entre el refrigerante contenido en el cilindro y el sistema mismo.

Una forma incorrecta de aumentar la presión del cilindro refrigerante es mediante su exposición a una llama abierta, lo cual puede originar la rotura del cilindro o del componente de alivio incorporado, destacando que, en ambos casos, la liberación inesperada de refrigerante a alta presión implica un riesgo elevado.

Incluso, el problema puede ocurrir con presiones normales de sistemas y cilindros, originado por el debilitamiento de material derivado de abolladuras, corrosión u otro daño físico.

- » **Contacto con llama:** Existe la posibilidad de que la mezcla (refrigerante-aceite) o sus componentes en forma independiente produzcan vapores tóxicos altamente irritantes, como resultado de la descomposición originada por el contacto con una llama abierta o superficie con alta temperatura. La descomposición de un refrigerante en presencia de agua produce ácido clorhídrico (refrigerantes que contienen cloro) y ácido fluorhídrico (refrigerantes que contienen flúor). Además, algunos refrigerantes en presencia de oxígeno forman compuestos insaturados, como el fosgeno.
- » **Desplazamiento de oxígeno:** La mayoría de los refrigerantes utilizados en sistemas de refrigeración y aire acondicionado presentan una mayor densidad que el aire; en consecuencia, pueden generar asfixia al desplazarlo en espacios cerrados.
- » **Baja temperatura:** Los refrigerantes de alta presión tienen temperaturas de ebullición inferiores a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 101,3 kPa de presión; por lo cual, al liberarse refrigerante líquido a presión atmosférica, está en condiciones de realizar el cambio de estado líquido a gaseoso. El refrigerante absorberá calor de cualquier cuerpo que entre en contacto, incluidos los órganos humanos (principalmente piel y ojos), congelando las moléculas de agua que los conforman, las cuales, al aumentar su volumen, provocan un daño a nivel celular.
- » **Inhalación:** La inhalación prolongada de altas concentraciones de refrigerante puede causar dolor de cabeza, mareos, pérdida del conocimiento y otros trastornos del sistema nervioso central.
- » **Inflamabilidad:** La propagación de llama por parte de un refrigerante depende de los factores analizados en la clasificación según inflamabilidad. Sin embargo, es importante recordar que el refrigerante está mezclado con aceite en el interior del sistema; por lo cual, una fuga o liberación intencional de la mezcla podría ser inflamable en ciertas condiciones (temperatura, presión, presencia de comburente, etc.), incluso, dependiendo del origen del aceite (mineral o sintético) obteniendo, como resultado, el inicio de un incendio o su intensificación.
- » **Incendio:** Este riesgo se presenta al trabajar con materiales inflamables, como el refrigerante R-290.
- » **Explosión:** Aparece al trabajar con sustancias explosivas, como gasolina, acetileno, etc. Hay sustancias que son inertes por naturaleza; pero que, al mezclarse con otras, originan un producto explosivo. Por ejemplo, el polvo de los cereales en los silos, al mezclarse con el aire.

## » Evaluación de riesgo de última hora

Una situación de emergencia puede generar daños a las personas, instalaciones y al medio ambiente. Para evitar o minimizar dichos daños, en la empresa se debe prever y organizar adecuadamente el modo de actuación ante las emergencias. En el anexo H se presenta una lista de chequeo de la evaluación de riesgos para trabajos de servicio técnico, instalación y mantenimiento.

## » Manejo y almacenamiento de refrigerante R-290

Para el almacenamiento de los refrigerantes se deben seguir las instrucciones del anexo B de la NTC 6228-4:

- » Los contenedores de refrigerante deben almacenarse en un espacio fresco, especialmente dispuesto, lejos del riesgo de incendio, fuera del alcance de la luz directa del sol y lejos de fuentes de calefacción directa.
- » Los contenedores almacenados en exteriores deberían ser resistentes a la intemperie y estar protegidos de la radiación solar.
- » Se debe evitar el daño mecánico del contenedor o de su válvula, mediante el manejo cuidadoso. Incluso si tienen protectores de válvulas, no deben dejarse caer los contenedores. En el área de almacenamiento, los contenedores deben asegurarse de manera efectiva para evitar su caída.
- » La válvula del contenedor debe estar cerrada y cubierta cuando el contenedor no esté en uso. Se deben reemplazar los empaques, según se requiera.
- » El refrigerante puede almacenarse en el cuarto especial de maquinaria en contenedores, siempre y cuando la cantidad no supere los 200 kg, excluyendo los refrigerantes que se encuentren en los componentes que forman parte del sistema.

## » Medidas para el control de incendios con R-290

El riesgo de incendio está presente en todos los lugares y actividades, puesto que en todos ellos es posible tener, en mayor o menor medida, y en un momento dado, los factores desencadenantes del fuego, que son el origen de los incendios. Es muy importante tomar conciencia de la necesidad de prevenir que se produzca el incendio o, en el peor de los casos, minimizar sus consecuencias.

Es fundamental identificar y evaluar las situaciones de riesgo de incendio y tomar las medidas oportunas para su prevención. La prevención supone la adopción de una serie de medidas constructivas, organizativas, de disposición de medios y de actuación personal. Estas medidas preventivas, junto con la detección, la alarma y la extinción, constituyen la protección de incendios que será tanto más eficaz, cuanto mejor sea la coordinación de estas acciones.

El fuego no es más que la manifestación energética de una reacción química conocida con el nombre de combustión. Para que una combustión sea posible, se requiere la presencia simultánea de un material combustible, de un comburente, normalmente el oxígeno del aire, y de unas condiciones de temperatura determinadas.

Para explicar el proceso de combustión, se utiliza el llamado triángulo del fuego (Figura 41). Cada lado del triángulo representa un elemento necesario para que se produzca la combustión; si el triángulo no está completo, el fuego no será posible.

- » Los fuegos producidos por gases HC, como el butano, propano (R-290), acetileno, etc., son clasificados como tipo de fuego C. En los combustibles gaseosos basta con un pequeño foco de ignición para inflamar automáticamente toda la masa de gas, pudiendo producirse detonaciones y explosiones.

Durante un incendio se desprenden gases, vapores y partículas sólidas en suspensión. La mayoría de las víctimas se producen por no encontrar una salida adecuada, como consecuencia de la falta de visibilidad, por el humo; o bien, porque el monóxido de carbono (CO) las ha envenenado o asfixiado. Por ello, hay que intentar, en lo posible, no exponerse a los gases y tratar de respirar al nivel del suelo, andando a gatas, protegiendo la nariz y la boca con una prenda húmeda que haga las veces de filtro. Las lesiones que se producen por falta de oxígeno son:

- » Falta de coordinación muscular
- » Mareos o desvanecimientos
- » Vómitos y parálisis
- » En ambientes que tengan un nivel de oxígeno inferior al 6 %, la exposición a este ambiente durante un tiempo superior a 6 minutos produce la muerte.

Las medidas preventivas engloban todas las acciones para evitar la posibilidad de que aparezca el riesgo de incendio. Pueden llevarse a cabo actuando sobre factores técnicos o humanos. La prevención técnica es el conjunto de acciones tendientes a evitar el inicio del incendio mediante la eliminación de uno o más de los factores que lo determinan: el combustible, el comburente, la fuente de calor (el foco de ignición) y la reacción en cadena.

La prevención humana contra incendios es en la que todos sus integrantes, desde el directivo más importante hasta el último trabajador, sean conscientes de la responsabilidad que sobre ellos recae. Es importante el adiestramiento de los operarios en las técnicas de lucha contra incendios. Se deben realizar prácticas periódicas de extinción de incendios, con el objetivo de familiarizar al personal con el uso de extintores y, al propio tiempo, inculcarle serenidad y disciplina para obrar con acierto y eficacia en todos los casos.

El tiempo es un factor determinante para la intervención en el caso de que se produzca un incendio. Por ello, conviene tener presente cuáles son las etapas que se han de considerar previas a la intervención y reducirlas al mínimo

posible. Las etapas que deben considerarse son: detección, alerta, alarma y actuación.

Los sistemas más usados son los detectores automáticos, que detectan el fuego a través de alguno de los fenómenos que le acompañan: gases, humos, temperaturas o radiación UV, visible o infrarroja, dependiendo de cuál sea la manifestación del fuego considerada.

#### » Marcas/símbolos gráficos de seguridad en el lugar de trabajo, basado en la EN/ISO 7010

El equipo debe cumplir con los requisitos para marcado en el numeral 18.1 y documentación en el numeral 18.2.

El equipo que esté bajo el alcance y cumpla con la norma IEC 60335-2-24, IEC 60335-2-40 o IEC 60335-2-89 se considera que cumple con los requisitos para marcado previstos en el numeral 18.1 y documentación en el numeral 18.2.

Toda instalación de refrigeración y sus componentes principales deben ser identificables mediante el marcado. Esta marca debe estar siempre visible. Para las instalaciones térmicas de refrigeración sellados con carga limitada, el condensador y el evaporador no necesitan marcaje.

Los dispositivos de cierre y los de control principal deben estar claramente etiquetados. Los puntos de acceso para reparación de equipos que funcionen con refrigerantes inflamables deben estar marcados con el símbolo de fuego, según la ISO 7010:2011, W021.

La señalización puede definirse como el conjunto de estímulos que informan al individuo acerca de la mejor conducta que se ha de seguir ante unas circunstancias concretas. Toda señalización efectiva debe cumplir, como mínimo, las siguientes condiciones:

- » Atraer la atención.
- » Dar a conocer el mensaje.
- » Ser clara y de interpretación única.
- » Informar sobre la conducta que se ha de seguir.
- » Existir una posibilidad real de cumplir lo que se indica.

La señalización únicamente marca un riesgo, nunca lo elimina por sí misma. Por ello, debe emplearse siempre como técnica auxiliar que complementa las demás medidas que haya que tomar.

La señalización de seguridad, dependiendo del sentido humano que la detecta, puede ser óptica, acústica, olfativa, gustativa y táctil. Si se clasifica teniendo en cuenta su forma de manifestación, también se incluirá en esa lista la señalización gestual y la comunicación verbal.



# 7. BUENAS PRÁCTICAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON R-290

## 7.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

No hay mejor mantenimiento que el preventivo; cuando no se hace bien, se debe hacer el correctivo (ver unidad 7.2). El establecimiento de un mantenimiento preventivo (MP) específico parte del conocimiento, lo más preciso y exhaustivo posible, de la instalación o instalaciones sobre las que deberá aplicarse. Para conseguir este conocimiento, resulta imprescindible entrar en contacto directo con la instalación, efectuando las visitas necesarias, pero también es muy importante tener acceso a la información técnica sobre la instalación en cuestión; es decir, a los manuales, fichas técnicas y toda la documentación que describa las características del equipo o sistema de refrigeración comercial. Esta información técnica servirá de guía, muy útil, para el técnico que debe desarrollar el establecimiento del MP, tanto para facilitar la localización e identificación de los componentes de cada sistema como para conocer las condiciones de funcionamiento para las que han sido diseñados y seleccionados. La documentación técnica de la instalación es, prácticamente, el único medio para conocer sus particularidades de diseño.

Por otra parte, debe llevarse un registro en la **hoja de vida** del equipo o sistema, y tenerla en cuenta al implementar el MP, como información imprescindible para conseguir la correcta explotación de cualquier instalación, y valiosísima para determinar los criterios idóneos de mantenimiento predictivo y preventivo que deban aplicarse en cada caso; junto con otra información posterior que también debe consignarse en la hoja de vida, tal como los archivos correspondientes a cualquier servicio de mantenimiento prestado con anterioridad, las modificaciones efectuadas sobre las instalaciones después de su puesta en marcha inicial, los informes de estado de la instalación, los históricos de averías, etc.

Se recomienda que el **inventario**, también denominado **ficha técnica**, de componentes de cada instalación se configure del todo a la parte, identificando en recomendaciones de su fabricante, o bien, según los protocolos de mantenimiento que se le apliquen, después los subsistemas que se integran en cada sistema y, finalmente, enumerando los elementos y componentes sujetos a mantenimiento en cada subsistema. Posteriormente, los elementos, con independencia de los sistemas o subsistemas a los que pertenezcan, deberán encuadrarse por familias, siguiendo el criterio de agrupación, complementándolo con la adición de nuevas familias, si es necesario.

La ficha técnica, de forma bastante extendida, deberá confeccionarse con toda la minuciosidad y exhaustividad posibles, compilando la información sobre cada equipo que se necesite cumplir; acto seguido, o paralelamente, una ficha técnica para cada elemento o familia que estén sujetos a mantenimiento.

Las fichas deberán contar con todos los campos necesarios para recoger, como mínimo, los datos relativos a la identificación del equipo en cada sistema y función a la que se destina. Conviene ordenarlos también por familias, datos y características técnicas de cada elemento, datos del fabricante, componentes singulares que lo configuran, frecuencias de revisión que se le asignen, según las recomendaciones de su fabricante, o bien, según los protocolos de mantenimiento que se le apliquen posteriormente, y características de estado en que se encuentra.

Para completar el plan de MP, los técnicos deben definir la dedicación de tiempo requerido para cada trabajo, de forma unitaria, así como la categoría del personal de servicio que deba realizarlo. La organización de los recursos técnicos, humanos y materiales que se dediquen a cada servicio deberá quedar reflejada en el MP, indicando los nombres, niveles profesionales y especialidades de los técnicos necesarios para desarrollar y poner en práctica el plan.

Con el fin de conseguir, en la práctica, los objetivos de eficiencia proyectados, de cara al establecimiento de criterios de **gestión económica** y, sobre todo, **energética**, es indispensable disponer de la información suficiente sobre los procedimientos de actuación y sobre las lógicas de control que se hayan previsto en el proyecto de la instalación, tales como:

- » Optimización de los recursos humanos destinados a los servicios de mantenimiento
- » Adecuación de los costos de explotación
- » Alto nivel de eficacia, basado en una correcta planificación y coordinación de los servicios
- » Agilidad de respuesta
- » Optimización de la eficiencia de las instalaciones mantenidas, lo que redundará en:
  - Incremento de la calidad de las prestaciones de cada instalación o sistema
  - Perfeccionamiento de las condiciones de confort
  - Optimización de los rendimientos y consumos energéticos
  - Conservación de la eficiencia energética de los equipos instalados
- » Periodización de informes
- » Partes de trabajo o informes de intervención
- » Definición de medios técnicos y herramientas necesarias
- » Definición de stock mínimo de repuestos y materiales consumibles
- » Programa de gestión energética
- » Instrucciones de seguridad
- » Instrucciones de manejo y maniobra
- » Programa de funcionamiento

Todas las informaciones, programas y documentos indicados, junto con el plan de MP, integran el *Manual de uso y mantenimiento de la instalación*. El cumplimiento y la aplicación de estas instrucciones y programas resulta vital para el mantenimiento de cualquier instalación durante el transcurso de su vida operativa, y la responsabilidad de su puesta en práctica recae, para la mayoría de las actuaciones, sobre los mantenedores.

Es muy recomendable tener en cuenta los requerimientos de actuación que se establezcan en los programas e instrucciones antes citados, e incluir las intervenciones predictivas, preventivas y correctivas sistemáticas necesarias, siempre que sea posible, en los protocolos de mantenimiento preventivo a implementar sobre los elementos que correspondan, e incluirlas así, directamente, en el MP de la instalación.

De acuerdo con la NTC 6228, cuando la carga del refrigerante sobrepasa los 3 kg (6,6 lb), debe prepararse un libro de registro luego de que el instalador finalice la instalación del sistema. Dicho registro debe actualizarse regularmente, según se especifica en la ISO 5149-4. Como mínimo, debe registrarse la siguiente información:

- a) Los detalles de las labores de mantenimiento y reparación.
- b) Las cantidades y tipo de refrigerante (nuevo, reutilizado, reciclado) que se ha cargado, y las cantidades de

refrigerante que se han transferido del sistema, en cada ocasión (ver también la ISO 5149-4).

- c) Los resultados de cualquier análisis de un refrigerante reutilizado.
- d) El origen del refrigerante reutilizado.
- e) Los cambios y reemplazos de los componentes del sistema.
- f) El resultado de todos los ensayos periódicos de rutina.
- g) Los periodos significativos fuera de uso.

El libro de registro debe mantenerse, ya sea en la sala de máquinas o almacenarse la información en un computador de propiedad de la parte interesada, con una copia impresa en la sala de máquinas, en cuyo caso, la información debe estar disponible para la persona competente que preste un servicio o lleve a cabo un ensayo.

### 7.1.1 Mantenimiento preventivo para conservar requerimientos de seguridad y ambientales

La NTC 6228-4 establece los requisitos propios de la inspección y revisión rutinaria para mantener los requerimientos de seguridad y ambientales durante los servicios de operación, supervisión y mantenimiento de un sistema de refrigeración (anexo C, en la NTC 6228-4). A continuación, se describen las inspecciones y pruebas rutinarias para equipos y sistemas comerciales con R-290.

INSPECCIÓN DURANTE EL SERVICIO	
Visual externa (según el anexo C de la NTC-6228-2)	Se lleva a cabo después de un trabajo que, probablemente, afecte la resistencia. Cuando haya ocurrido un cambio de utilización. Cuando se cambia a otro refrigerante a una presión más alta o después de más de dos años de inactividad. Cabe aclarar que los componentes que no estén conformes se cambian y no se aplican pruebas de presiones más altas de lo adecuado para las presiones del diseño de los componentes.
	Se lleva a cabo después de reparaciones o alteraciones significativas, o extensiones a los sistemas o componentes, solo a partes afectadas.
	Se lleva a cabo después de la reinstalación en otro sitio.
Corrosión (según el anexo C de la NTC 6228-4)	Las válvulas de seguridad, los discos de ruptura y los tapones fusibles se revisan visualmente, según las subsecciones 5.2.5, 5.2.7.2 y 5.2.7.3 de la NTC 6228-2 (ISO 5149-2:2014), y se les realizan pruebas de fugas, de acuerdo con el numeral D.5.
	Se lleva a cabo después de un trabajo que, probablemente, afecte la resistencia. Cuando haya ocurrido un cambio de utilización. Cuando se cambia a otro refrigerante a una presión más alta o después de más de dos años de inactividad. Cabe aclarar que los componentes que no estén conformes se cambian y no se aplican pruebas de presiones más altas de lo adecuado para las presiones del diseño de los componentes.
	La inspección durante el servicio se lleva a cabo después de la reinstalación en otro sitio; no para equipos nuevos.
	Se realizará una prueba contra fugas del sistema, si surge una sospecha seria de fugas <sup>11</sup> . La frecuencia de la inspección de fugas en sistemas con R-290 se realiza como se indica en la tabla 18.

<sup>11</sup> Para fines de este párrafo, "inspección de fugas" significa que el equipo o el sistema es examinado principalmente para detectar fugas, utilizando métodos de medición directa o indirecta, enfocándose en las partes del equipo o el sistema más propensas a las fugas. Mantener registros sobre la cantidad y el tipo de refrigerante instalado, cualquier cantidad agregada y la cantidad recuperada durante el mantenimiento, el servicio y la disposición final.

PRUEBAS DURANTE EL SERVICIO	
Presión para el sistema (según el literal 5.3.2 de la NTC 6228-2)	<p>Se lleva a cabo después de un trabajo que, probablemente, afecte la resistencia. Cuando haya ocurrido un cambio de utilización. Cuando se cambia a otro refrigerante a una presión más alta, o después de más de dos años de inactividad. Cabe aclarar que los componentes que no estén conformes se cambian, y no se aplican pruebas de presiones más altas de lo adecuado para las presiones del diseño de los componentes.</p> <p>La inspección durante el servicio se lleva a cabo después de reparaciones, o alteraciones significativas o extensiones a los sistemas o componentes, únicamente a las partes afectadas.</p>
Fugas de refrigerante (el lado de baja presión de un sistema operativo es llevado a sobrepresión: NTC 6228-2, literal 5.3.3)	<p>Se lleva a cabo después de un trabajo que, probablemente, afecte la resistencia. Cuando haya ocurrido un cambio de utilización. Cuando se cambia a otro refrigerante a una presión más alta, o después de más de dos años de inactividad. Cabe aclarar que los componentes que no estén conformes se cambian, y no se aplican pruebas de presiones más altas de lo adecuado para las presiones del diseño de los componentes.</p> <p>La inspección durante el servicio se lleva a cabo después de reparaciones o alteraciones significativas, o extensiones a los sistemas o componentes, únicamente a las partes afectadas.</p> <p>La inspección durante el servicio se realiza después de la reinstalación en otro sitio.</p> <p>Se realizará una prueba contra fugas del sistema, si surge una sospecha seria de fugas. La frecuencia de la inspección de fugas en sistemas con R-290 se indica en la tabla 18.</p> <p>Las válvulas de seguridad, los discos de ruptura y los tapones fusibles se revisan visualmente, de acuerdo con las subsecciones 5.2.5, 5.2.7.2 y 5.2.7.3 de la NTC 6228-2 (ISO 5149-2:2014) y se les realizan pruebas de fugas según el numeral D. 5.</p>
Dispositivo de seguridad (verificación)	Los dispositivos de seguridad se verifican <i>in situ</i> : los dispositivos de conmutación de seguridad, las señales de emergencia y los sistemas de alarma, una vez al año; y los dispositivos de liberación de presión externos, cada cinco años.

Fuente: elaboración propia basados en la NTC-6228

TABLA 18. FRECUENCIA DE LA INSPECCIÓN DE FUGAS EN SISTEMAS CON R-290

CARGA DE REFRIGERANTE, m (kg)	SIN DETECTOR DE FUGAS O CON UNIONES DE ENSAMBLE	CON DETECTOR DE FUGAS O HERMÉTICOS <sup>12</sup>
	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN EN MESES	
m < 3	No aplica	No aplica
3 < m < 30	12	24
30 < m < 300	6	12
300 < m	4	6

Fuente: elaboración propia.

Los subpartados siguientes son complementarios a la NTC 62338-4 y pueden implementarse tras haber visto los fundamentos teóricos del ciclo de refrigeración, conocer los aparatos de medida que permiten concretar el estado de

las magnitudes físicas de los fluidos en distintos puntos del ciclo y aprender todos los elementos que componen una instalación frigorífica.

<sup>12</sup> Deberían inspeccionarse al menos una vez cada doce meses, para garantizar su adecuado funcionamiento.

## 7.1.2 Mantenimiento preventivo para conservar el desempeño óptimo del equipo o sistema de refrigeración

### 7.1.2.1 Mantenimiento preventivo eléctrico

Existen diferentes parámetros eléctricos que pueden medirse en una instalación en busca de anomalías, tales como tensión, consumo, frecuencia y continuidad de grado de aislamiento. Lo primero que se debe medir, si se sospecha de un fallo eléctrico, es la tensión eléctrica de alimentación (voltios) y el consumo (amperios) de los receptores de la instalación, como motores de compresores, ventiladores, bobinas de electroválvulas, resistencias eléctricas, etc. Son frecuentes los problemas eléctricos derivados de caídas o sobretensiones en la red eléctrica que dañan gravemente los dispositivos electrónicos de la instalación. Por otra parte, por algún motivo, los motores pueden trabajar de manera forzada y consumir corriente eléctrica en exceso, lo que puede llevar al deterioro por calentamiento del aislamiento del bobinado y a un cortocircuito. A continuación, se indican los parámetros eléctricos corrientes y sus aparatos de medida:

**Tensión eléctrica (voltios, V):** Es el voltaje de red con el que se alimentan los receptores eléctricos de la instalación. La tensión habitual de alimentación es de tipo alterna, con valor de 110 V o 220 V en líneas monofásicas, y de 220 V en líneas trifásicas con neutro. Si esta tensión varía en exceso arriba o abajo (el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas [RETIE] marca un límite del 5 %), puede llegar a dañar los equipos eléctricos y electrónicos (sobre todo) de la instalación. En el interior de los cuadros eléctricos también existen zonas de maniobra donde se suele trabajar con tensión continua de 12 V o 24 V. La tensión se mide mediante un voltímetro; instrumento que consta de dos electrodos, los cuales se ponen en contacto entre los puntos de los que se quiere medir la diferencia de potencial o el voltaje.

**Corriente eléctrica (amperios, A):** Los receptores eléctricos consumen corriente eléctrica para su funcionamiento. Si se sospecha de un problema en alguno de los motores o resistencias de la instalación, debe medirse el consumo eléctrico para verificar si es correcto. Si el consumo es elevado, es posible que el receptor eléctrico acabe dañándose por calentamiento excesivo de los conductores. Algunos motivos de exceso de consumo en motores de compresores o ventiladores pueden ser: tensión de alimentación insuficiente, fallo de una fase o sobrecarga de la máquina.

El consumo eléctrico de una instalación se mide mediante un amperímetro o pinza amperimétrica, que consiste en un anillo de material ferromagnético en el que se induce un campo magnético proporcional a la corriente eléctrica del conductor rodeado por el anillo. Este campo magnético inducido se traduce en el aparato en una medida del consumo eléctrico.

**Resistencia eléctrica (ohmios,  $\Omega$ ):** En ocasiones, es necesario comprobar el valor de la resistencia de algún bobinado de motor o las resistencias de los calefactores de desescarche, para ver si las propiedades resistivas han variado debido a un sobrecalentamiento o a un deterioro por humedad, u otros agentes externos.

El aparato empleado para medir la resistencia es el óhmetro u ohmímetro, el cual, mediante dos electrodos, aplica una tensión en los dos extremos de una resistencia y hace circular una corriente, de donde se deduce —por la ley de Ohm— el valor de la resistencia. Estos aparatos también permiten comprobar si existe continuidad eléctrica entre dos puntos, lo cual es útil para ver si existen derivaciones a tierra en las máquinas, o para comprobar si un conductor está partido en algún punto de su recorrido. Existe un aparato, el multímetro, que incorpora todos los aparatos antes mencionados (voltímetro, amperímetro y ohmímetro) y se utiliza habitualmente.

**Grado de aislamiento (megaohmios,  $M\Omega$ ):** En el caso de las máquinas eléctricas, como motores y transformadores, en ocasiones, es necesario comprobar si el aislamiento del bobinado es adecuado para que no existan corrientes de fuga entre fases, entre fase y núcleo, o entre fase y tierra. La resistencia eléctrica de un aislamiento debe ser muy elevada y suele medirse en megaohmios ( $M\Omega$ ), mediante un aparato llamado megaohmímetro o megger, que es similar a un ohmímetro, pero trabaja a mayor escala.

Existen otras variables electromagnéticas que también pueden medirse en una instalación eléctrica, como la frecuencia, la capacidad, la inducción, etc., pero que no son útiles en el día a día de las instalaciones frigoríficas.

### 7.1.2.2 Mantenimiento preventivo mecánico

Al realizar la inspección de MP, pueden aparecer defectos visibles que, por supuesto, deben corregirse antes de avanzar en la inspección. Cuando una instalación funciona correctamente, tiene unos valores de presiones, consumos eléctricos, temperaturas y diferencia de temperaturas, que están dentro de unos valores estimados como normales según el proyecto.

En casos de instalaciones de las que solo se puede acceder a la toma de baja presión (por ejemplo, los refrigeradores domésticos, instalaciones de refrigeración comercial que expanden con tubo capilar o aparatos de aire acondicionado de la serie doméstica), aunque el origen de la avería sea el mismo que en los aparatos industriales, se aconseja seguir los apartados dedicados al seguimiento y diagnóstico de averías de cada tipo de aparato en particular. Los puntos de control son:

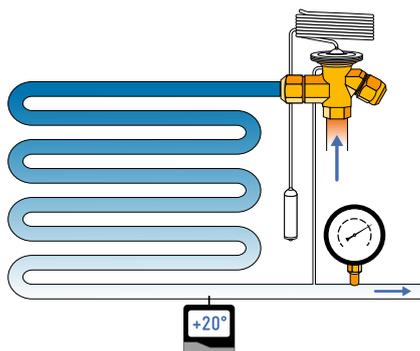
1. Presión de alta y temperatura de condensación
2. Presión de baja y temperatura de evaporación
3. Consumos eléctricos de los diferentes motores
4. Temperatura de sobrecalentamiento a la salida del evaporador
5. Temperatura de sobrecalentamiento en la aspiración del compresor
6. Temperaturas de impulsión y retorno del aire en el evaporador (en caso de aire)
7. Temperatura interior del recinto refrigerado
8. Temperatura de subenfriamiento a la salida del condensador
9. Temperatura de subenfriamiento a la entrada de la expansión
10. Temperaturas de aspiración e impulsión del aire en el condensador (en caso de aire).

Cuando la instalación entra en avería, evidenciando una posible falla y cambiando varios de estos valores, el técnico de servicio tiene que investigar y razonar el motivo o los motivos que han podido alterar estos valores de funcionamiento antes de dar su diagnóstico.

Hay que partir de la base de que ninguno de los cuatro componentes básicos que monta una instalación frigorífica (compresor, condensador, expansión y evaporador) trabaja independientemente, por lo que se tiene que analizar el funcionamiento de cada componente por separado y en conjunto, ya que una avería puede deberse a más de una causa. Cuando la avería se encuentra en el tendido de líneas o en alguno de los otros muchos componentes y accesorios que puede incluir un sistema frigorífico, su mal funcionamiento afecta el normal funcionamiento de los cuatro componentes principales.

**Sobrecalentamiento:** El sobrecalentamiento se mide en el lugar donde está situado el bulbo en la tubería de aspiración, y es la diferencia entre la temperatura existente en el bulbo y la presión de evaporación/temperatura de evaporación, en el mismo lugar. El sobrecalentamiento se mide en grados Kelvin (K) y se emplea como señal reguladora de inyección de líquido a través de la válvula de expansión (Figura 46).

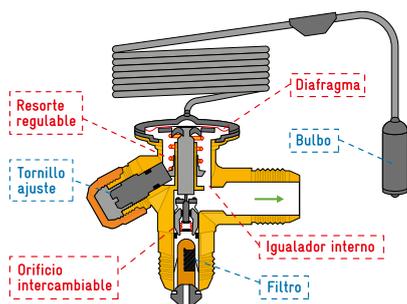
FIGURA 46. MEDICIÓN DE SOBRECALENTAMIENTO



Fuente: elaboración propia.

La válvula de expansión (Figura 47) se suministra con un ajuste de fábrica idóneo para la mayoría de los casos. De ser necesario un ajuste adicional, puede girarse el tornillo de ajuste de la válvula. Al girar el tornillo en sentido horario, se aumenta el recalentamiento de la válvula de expansión; en sentido antihorario, se disminuye. En los tipos 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.

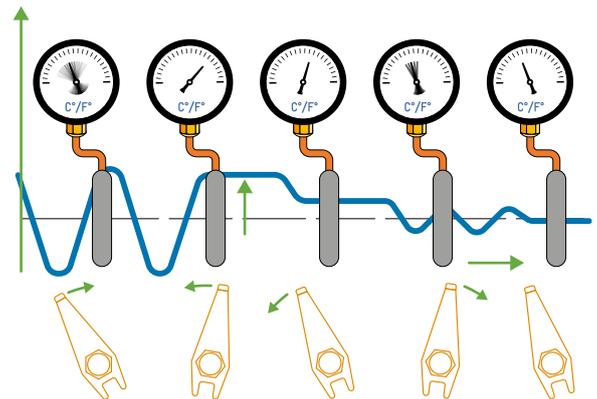
FIGURA 47. VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA (VT) CON TORNILLO DE AJUSTE



Fuente: elaboración propia.

**Funcionamiento inestable del evaporador:** Este puede eliminarse aumentando el recalentamiento, haciendo girar lo suficiente el vástago de regulación de la válvula hacia la derecha (sentido horario) hasta que desaparezca el funcionamiento inestable. Luego, hacer girar el vástago gradualmente hacia la izquierda hasta que vuelva a aparecer la inestabilidad. Desde esta posición, se da una vuelta entera al vástago hacia la derecha (para los tipos T/TE 2, solo es necesario 1/4 de vuelta) (Figura 48). En esta posición, el sistema de refrigeración tiene un funcionamiento estable y el evaporador se utiliza a su rendimiento pleno.

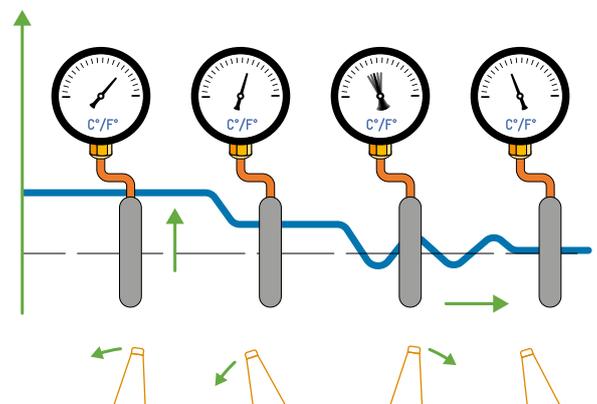
FIGURA 48. AJUSTE DE OSCILACIÓN DE TEMPERATURA EN EL EVAPORADOR<sup>13</sup>



Fuente: elaboración propia.

**Recalentamiento excesivo en el evaporador:** Puede reducirse el recalentamiento haciendo girar gradualmente el tornillo de ajuste hacia la izquierda (en sentido contrario a las agujas del reloj), hasta que el funcionamiento inestable aparezca. Desde esta posición, se da una vuelta entera al vástago hacia la derecha (para las T/TE 2, solo un 1/4 de vuelta) (Figura 49). En esta posición, el evaporador se utiliza a su rendimiento pleno.

FIGURA 49. AJUSTE DE SOBRECALENTAMIENTO EXCESIVO EN EL EVAPORADOR<sup>14</sup>



Fuente: elaboración propia.

<sup>13</sup> Una oscilación de 1 K en el recalentamiento no se considera un funcionamiento inestable.

<sup>14</sup> Un sobrecalentamiento excesivo en el evaporador puede deberse a falta de refrigerante.

**Medición del sobrecalentamiento:** Cuando la válvula cuenta con igualador externo, se determina la temperatura del vapor sobrecalentado a la salida del evaporador, justo en el sitio donde está ubicado el bulbo. Para hacer esto, se necesita, primero, limpiar el área del tubo de succión donde se va a hacer la medición, y fijar el termopar con cinta aislante, suponiendo que la temperatura obtenida en el sistema de refrigeración comercial con R-290 sea de 11 °C (284,15 K).

Enseguida, se determina la presión de succión con un manómetro calibrado. Este manómetro se conecta a una T instalada, previamente, en la línea del igualador externo. Dependiendo de la facilidad de acceso que se tenga, la conexión T puede instalarse en cualquiera de los dos extremos de la línea del igualador. También puede hacerse una desviación utilizando las mangueras del múltiple de servicio.

Suponiendo que la presión leída sea de 304 kPa (44 psig a nivel del mar), de la tabla de presión-temperatura, se determina la temperatura de saturación para el R-290, correspondiente a la presión leída que, en este caso es de -5 °C (268,15 K). El sobrecalentamiento va a ser el valor que resulte de restar la temperatura de saturación (-5 °C | 268,15 K) de la temperatura sensible medida en el primer paso (11 °C | 284,15 K); es decir:

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

Cuando la válvula no cuenta con igualador externo o en instalaciones estrechamente unidas, se determina la temperatura del vapor sobrecalentado a la salida del evaporador, de la misma manera que en el caso anterior (11 °C | 284,15 K). Luego se mide la presión de succión con un manómetro calibrado, directamente en la válvula de servicio de succión del compresor (42 psig). Posteriormente, se estima la pérdida de presión por conexiones y accesorios en la línea de succión. Para este caso, se considera esta caída de presión de 2 psi. Se suma este valor a la presión obtenida en la válvula de servicio del compresor, para obtener la presión de succión a la salida del evaporador, que es la que se necesita:

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

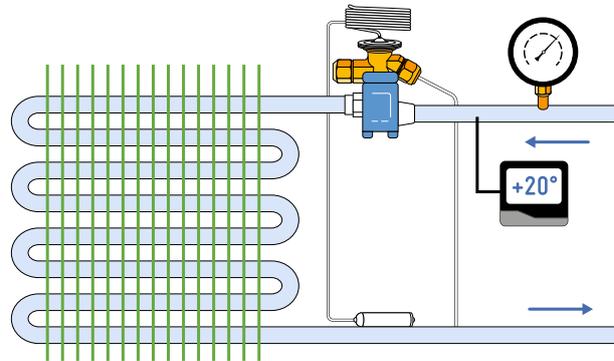
De la tabla de presión-temperatura para R-290, se determina la temperatura de saturación correspondiente a esta presión que, para este ejemplo, es de -5 °C (268,15 K). Nuevamente, el recalentamiento resulta de restar la temperatura de saturación (-5 °C | 268,15 K) a la temperatura sensible medida en el primer paso (11 °C | 284,15 K); es decir: un sobrecalentamiento de 16 K.

Como regla general, el sobrecalentamiento a la salida del evaporador, independientemente del refrigerante que se está utilizando, debe estar aproximadamente dentro de los siguientes valores:

- » Alta temperatura (temperatura de evaporación 0 °C o mayor) entre 6 °C y 7 °C
- » Temperatura media (temperatura de evaporación -18° a 0 °C) entre 3 °C y 6 °C
- » Baja temperatura (temperatura de evaporación abajo de -18 °C) entre 1 °C y 3 °C

**Subenfriamiento (Figura 50):** Se define como la diferencia entre la temperatura del líquido y la presión/temperatura de condensación a la entrada de la válvula de expansión; se mide en Kelvin (K). El subenfriamiento del refrigerante es necesario para evitar burbujas de vapor en el líquido antes de la válvula. Las burbujas de vapor merman la capacidad de la válvula y, por consiguiente, reducen el suministro de líquido al evaporador. Un subenfriamiento de un valor de 4-5 K es suficiente en la mayoría de los casos.

FIGURA 50. MEDICIÓN DEL SUBENFRIAMIENTO



Fuente: elaboración propia.

Antes de asegurar el diagnóstico de una avería que se encuentra en la válvula de expansión, se debe verificar la calidad de líquido a la entrada de dicho componente; de lo contrario, se puede llegar a sospechar que su funcionamiento no es correcto, cuando, en realidad, el problema obedece a que la calidad del líquido existente en la entrada es deficiente; o sea, que no le está llegando refrigerante en estado líquido, sino que en la entrada hay una mezcla pobre de líquido y parte de refrigerante que aún se encuentra en estado gaseoso.

En caso de dudas sobre si la calidad del líquido en la entrada de la válvula es la correcta o no, hay dos alternativas:

- » Realizar una serie de mediciones del subenfriamiento existente en diferentes puntos de la línea de líquido, con respecto a la temperatura de condensación.
- » Montar un visor delante de la válvula y comprobar la calidad del líquido en la entrada.

Las dos comprobaciones son buenas; pero, para un diagnóstico rápido y adecuado, la mejor alternativa es la b), ya que todo técnico puede confeccionarse una serie de acoplamientos a base de accesorios roscados y tubos del diámetro necesario que le permitirán instalar un visor entre el final de la línea de líquido y la válvula de expansión. Instalar un visor en este punto reduce la duda en cuanto a la calidad del líquido que entra en la válvula de expansión, ya que, ante el seguimiento y diagnóstico de averías, disponer de estos dos visores facilita mucho más determinar, con exactitud, el origen de una avería.

Si se parte de la base de que, al funcionar correctamente la instalación, en ninguno de los dos visores se observan burbujas, es posible asegurar que:

- » Si en el visor instalado después del filtro secador aparecen burbujas, el problema no está en el funcionamiento de la válvula de expansión sino en una condensación deficiente, bien sea por una alta o baja presión, o una falta de refrigerante, o bien por una obstrucción parcial en la línea o en alguno de los componentes montados antes del visor.
- » Si el visor instalado después del filtro secador no presenta burbujas de vapor y el que está instalado delante de la válvula de expansión sí, la avería queda centrada en la propia línea de líquido o en la obstrucción parcial al paso de refrigerante de alguno de sus componentes.
- » Si en ningún visor se observa la presencia de burbujas, la avería queda centrada en el propio elemento de expansión (capilar o válvula), o bien en la obstrucción parcial al paso de refrigerante de alguno de los componentes que la integran.

**Medición del subenfriamiento:** Para determinar la temperatura del líquido subenfriado a la salida del condensador, se necesita, primero, limpiar el área del tubo de líquido donde se va a hacer la medición y, luego, fijar el termopar con cinta aislante. A manera de ejemplo, se supone para un sistema de refrigeración comercial con R-290 que la temperatura obtenida es de 35 °C (308,15 K).

Después, se determina la presión de descarga con un manómetro calibrado directamente en la válvula de servicio de la salida del compresor, que, para el ejemplo, puede ser 12, bar (180 psig). Posteriormente, se estima la pérdida de presión por conexiones, accesorios y el serpentín del condensador. Para este caso, se considera esta caída de presión de 4 psi. Se suma este valor a la presión obtenida en la válvula de servicio del compresor, para obtener la presión a la salida del condensador, que es la que se necesita:

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

De la tabla de presión-temperatura, se determina la temperatura de saturación para el R-290, correspondiente a la presión leída que, en este caso es de 40 °C (313,15 K). El subenfriamiento va a ser el valor que resulte de restar la temperatura de saturación 40 °C (313,15 K) de la temperatura sensible medida en el primer paso (35 °C | 308,15 K); es decir:

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

El origen de la avería en condensadores enfriados por aire puede ser:

- » Suciedad en la superficie del condensador.
- » Motor del ventilador funcionando a bajas revoluciones, aspas mal orientadas o rotas, o es demasiado pequeño.
- » Acceso de aire al condensador restringido.
- » Aire de aspiración e impulsión comunicados.
- » Temperatura ambiente donde se ubica la unidad condensadora está muy alta.
- » Dirección contraria del aire en el condensador.

El origen de la avería en condensadores enfriados por agua puede ser por:

- » Temperatura del agua muy alta.
- » Caudal de agua demasiado pequeño.
- » Suciedad en el interior de las tuberías.
- » Bomba de agua defectuosa o que no funciona.

Como puede observarse, algunos problemas se relacionan con operaciones de MP, como la limpieza de las superficies internas o externas del condensador o del evaporador del sistema de refrigeración.

### 7.1.2.3 Mantenimiento preventivo de limpieza

Aun cuando parezca la actividad más sencilla de todo el mantenimiento, esta es una de las más importantes, así como una de las más olvidadas, o, en algunos casos, es el escudo de muchos técnicos: aquí se facilita y garantiza que la aplicación de los procedimientos de mantenimiento resulta en verdad efectiva. Se trata de la limpieza de los serpentines, los componentes y cada elemento instalado en el sistema, con el fin de mantenerlos en óptimas condiciones de funcionamiento.

Para realizar una limpieza efectiva, es imprescindible contar con las herramientas y los químicos diseñados para eliminar completamente la suciedad de los componentes de los intercambiadores de calor. Los químicos limpiadores son recomendados para disolver grasas, polvos e incrustaciones y eliminar bacterias. En el caso específico de los serpentines, no enjuagar completamente un detergente provoca que permanezca en las superficies formando una capa aislante que atrae más suciedad y, además, puede corroer los metales.

Cuando no se utiliza la herramienta adecuada para aplicar con suficiente presión y ángulo de penetración el agua o limpiador, se corre el riesgo de empujar los depósitos hacia el interior del panel, formando una barrera al paso del aire o el agua. El enjuague pleno y con abundante agua es la clave para la larga vida y el ahorro en el consumo energético de una unidad.

Las herramientas sugeridas para una buena limpieza son:

- » Brocha limpia de cerda suave y larga para eliminar la suciedad superficial.
- » Aspiradora seco-húmeda. Para remover partículas de forma profunda, se recomienda usar filtro HEPA o protegerse con cubrebocas.
- » Peine para enderezar aletas de aluminio. Los peines de plástico son para los calibres de aluminio más usados en aire acondicionado, y los metálicos, para los evaporadores de refrigeración que tienen mayor separación entre aletas.
- » Linterna o lámpara para revisar si existe incrustación oculta; es importante para determinar el tipo de suciedad y así elegir el químico adecuado; también para saber si, al final, se logró remover la suciedad totalmente y no ha quedado nada entre las aletas.
- » Herramienta para destapar drenajes. Se ahorrará mucho tiempo y esfuerzo si, antes de aplicar agua y químico, se asegura de que los residuos se dirijan hacia el drenaje de condensados. Se puede usar un adaptador para aspiradora

seco-húmedo o cualquier otro instrumento que permita dejar libres las tuberías de desagüe.

» Bolsas tipo embudo para limpieza sin ensuciar alrededor ni tener que desarmar; dirigen agua y químico hacia una cubeta.

» Herramientas para lavar, enjuagar, recircular y desincrustar:

- Atomizador adaptable a envases de litro para, posteriormente, enjuagarlo con un chorro de manguera o un atomizador.
- Aspersores de baja presión con bomba manual donde se puede aplicar químico o agua, y es posible diluir el químico en ellas.
- Pistolas para conexión a manguera con dosificación de químico líquido o en tabletas.
- Hidrolavadora eléctrica multiusos. Precaución: pueden doblar aletas; no están hechas para resistir químicos fuertes y no todas los dosifican.
- Hidrolavadoras portátiles para serpentines con múltiples varillas y boquillas para aplicar en lugares difíciles dentro de las unidades. Las de batería recargable permiten llevar agua y químico hasta las azoteas; al interior de unidades de transporte y espacios donde cargar con cables, químico y mangueras, no es posible.
- Aspiradoras para limpieza en seco. Cuentan con filtro HEPA y sus cepillos y accesorios están diseñados para unidades ACR.
- Equipos para limpieza y desinfección con vapor. Cuando el uso del agua es limitado y se requiere sanitizar a la vez. Aún no está muy difundido su uso.

» Tipos de químicos usados:

- Limpiadores base ácida. Son los ideales para desincrustar, abrillantar y devolver rápidamente la eficiencia a los serpentines; sin embargo, son altamente tóxicos y corrosivos tanto a la piel como a algunos materiales. Forman mucha espuma, producto de la reacción con el metal; su olor es fuerte. Debe evitarse el contacto con la piel, el ardor tarda en aparecer; implican uso de lentes y guantes de protección en lugares bien ventilados. Suelen diluirse 1:3 a 1:5. El enjuague profundo es crítico.
- Alcalinos no corrosivos y alcalinos corrosivos. Su pH es contrario al ácido y no deben mezclarse nunca. Los limpiadores alcalinos corrosivos contienen hidróxido de sodio o de potasio, junto con detergentes y aditivos; eliminan grasa y otros tipos de suciedad; no desincrustan ni abrillantan tan bien como un ácido, pero son menos peligrosos, ya que el ardor de su contacto se siente inmediatamente y obliga a lavarse. Su PH es mayor de 10 y, por lo regular, se diluyen 1:2 a 1:15. Deben usarse con equipo de protección personal.
- Los limpiadores de serpentines alcalinos y no corrosivos pueden contener una mezcla de surfactantes, desincrustantes y aditivos para que sean tan eficaces como un corrosivo. Muy espumosos y sin aroma. Su dilución es 1:4

a 1:15 y no dañan la protección azul o dorada de las aletas; son los más recomendados para limpiar serpentines microcanal y de espiral.

- Limpiadores desinfectantes. Son base alcalina que, además de remover grasa y suciedad, eliminan bacterias, moho y algas. Pueden contener el biocida, más surfactantes y aditivos, o ser simplemente el sanitizante; forman espuma y son más recomendados en evaporadores y manejadoras de áreas críticas.
- Tabletas. El limpiador se pulveriza y se compacta en forma de tableta, para usarlo con una pistola especial que se conecta a una manguera y dosifica químico y agua arrojándolos a presión. Es una forma práctica de limpiar condensadores y evaporadores grandes; sobre todo, cuando se viaja o no se puede transportar líquido.
- Limpiadores base solvente. Se usan para remover escarcha, hielo, humo de cigarro, grasa y partículas de corrosión. Concentrados, pueden usarse en evaporadores ubicados en congeladores. El beneficio es su secado rápido y mínimo, o sin enjuague. Algunos limpiadores pueden ser inflamables. Son ideales cuando no se cuenta con agua disponible.

La presión adecuada para lavar serpentines debe ser inferior a 400 psi para no doblar las aletas. El ángulo de asperjado no debe ser inferior a 15°, asegurando que el líquido penetre de forma perpendicular a las aletas. El químico se aplica de abajo hacia arriba del serpentín, y el enjuague, de arriba hacia abajo.

Además de los beneficios de eficiencia energética y operativa, la limpieza regular de los serpentines también mejora la vida útil de los componentes del sistema y la calidad del aire, beneficiando los sistemas de refrigeración comercial para la conservación de alimentos.

En los serpentines de enfriamiento es frecuente que exista crecimiento de contaminantes microbiológicos. Los contaminantes, como las bacterias, hongos y moho pueden formar colonias entre las aletas de aluminio dentro de los sistemas de refrigeración. La acumulación de contaminantes también reduce la efectividad de la transferencia de calor y la eficacia del sistema.

#### 7.1.2.4 Mantenimiento preventivo para detectar fugas

FOTO 115. MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA DETECCIÓN DE FUGAS



Fuente: elaboración propia.

Durante cada actividad de mantenimiento preventivo (Foto 115), deben realizarse al menos las siguientes tareas:

- » Revisar todos los dispositivos de seguridad, control y medida, así como los sistemas de alarma, para asegurar su correcto funcionamiento.
- » Realizar pruebas de fugas en las partes relevantes del sistema de refrigeración.
- » Reemplazar el filtro secador solo cuando indique obstrucción parcial o total. La obstrucción parcial se puede identificar por la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del filtro secador.
- » Realizar prueba funcional de los dispositivos de seguridad.
- » Instalar todas las tapas de válvulas y de componentes.
- » Limpiar el sitio y hacer la prueba final de fugas.
- » Informar, registrar información y etiquetar el sistema (si corresponde).

Una vez que se haya identificado y reparado la fuga, deben realizarse actividades de seguimiento que se centren en el sitio de reparación y las partes adyacentes que se han sometido a esfuerzos durante la reparación. La verificación debe realizarse inmediatamente después de la reparación y repetirse después de un mes de reparación para el seguimiento.

Si es necesario retirar la carga de refrigerante durante la reparación de fugas, las operaciones de reparación (soldadura), presurización para detección de fugas, vacío y carga de refrigerante deben realizarse como se presenta en la sección de Procesos finales (sección 7.2.5.1).

Las emisiones de refrigerantes a la atmósfera suelen denominarse fugas, sin distinguir las causas. Sin embargo, los tipos de emisiones son muy diferentes y sus causas deben ser identificadas y controladas. Las fuentes de emisión son:

- » Degradación del sistema: Causada por variaciones de temperatura, presión y vibraciones que pueden conducir a aumentos significativos en las tasas de emisión de refrigerante.
- » Fallas de componentes: Casi siempre por mala construcción o instalación incorrecta.
- » Fugas durante el manejo del fluido refrigerante: Ocurren principalmente en el proceso de carga del sistema y al abrir el sistema sin recolección previa del fluido.
- » Fugas accidentales: Son impredecibles y causadas por incendios, explosiones, sabotaje, robo, etc.
- » Fugas por descarte de equipos: Causadas intencionalmente por la apertura del sistema, donde el fluido es liberado al medio ambiente.

La tasa de fuga tiene su potencial principalmente afectado por el diseño del sistema. Deben considerarse todas las posibilidades que proporcionen un aumento en la vida útil y confiabilidad de los equipos, minimizando la necesidad de servicios de intervención. La selección de materiales adecuados, el uso de técnicas de unión correctas (líneas de unión y componentes), la reducción del uso de conexiones mecánicas y el diseño de un proyecto orientado a un fácil acceso para servicio y mantenimiento son factores críticos

para diseñar un sistema con baja tasa de fuga. Por ejemplo, deben instalarse válvulas de derivación de servicio y, preferiblemente, herméticas para permitir la extracción de componentes reemplazables del sistema de refrigeración. Deben ubicarse de manera que permitan la recolección o el confinamiento del fluido en un cilindro de almacenamiento o tanque de líquido o condensador.

Los sistemas deben estar diseñados para minimizar la carga de fluido y así reducir la cantidad de fluido dispersado, en caso de pérdida accidental. Por lo tanto, para reducir la carga de refrigerante en el sistema, el diseño debe tener en cuenta que los intercambiadores de calor, las tuberías y los componentes deben seleccionarse para reducir la cantidad de refrigerante en el sistema, sin pérdida de capacidad de refrigeración o eficiencia energética.

Las NTC 6228 deben considerarse para los equipos y sistemas que contemplen la reducción de índices de fugas en sistemas de refrigeración comercial.

La instalación adecuada de los sistemas de refrigeración es determinante para el correcto funcionamiento y la contención de fugas durante la vida útil del equipo. Se requieren conexiones de tubería y materiales apropiados. Deben evitarse las conexiones mecánicas.

El correcto desempeño del servicio es fundamental para reducir las emisiones. Debe asegurarse que el sistema no tenga fugas, esté adecuadamente cargado y funcione correctamente. El técnico debe mantener registros de servicio, con un historial de fugas o fallos de funcionamiento.

La **detección de fugas** es un paso extremadamente importante en los procesos de fabricación, instalación y mantenimiento de componentes y sistemas de refrigeración, la cual se describe en la sección 7.2.4.2 Procesos complementarios, de esta guía. La detección de fugas debe realizarse después de ensamblar el sistema en la fábrica o en el campo. Hay tres tipos generales de detección de fugas: global, por monitoreo de rendimiento automatizado (prueba de emisiones indirectas) y local (prueba de emisiones directas).

#### **Localización de fugas en sistemas de refrigeración comercial:**

Un sistema de refrigeración comercial puede contener varios compresores en paralelo, cada uno con un conjunto de componentes interconectados que pueden ser fuentes potenciales de fugas. La siguiente es la lista de los componentes con mayores posibilidades de fugas.

En este tipo de sistema, los componentes que normalmente se encuentran en la sala de máquinas, junto con los compresores, son:

- » Línea de succión.
- » Línea de descarga.
- » Línea de líquido.
- » Manómetros.
- » Válvulas de control.
- » Válvulas de paso.
- » Filtros para fluidos refrigerantes.
- » Miras líquidas.

- » Tanque de líquido.
- » Separador de aceite.
- » Acumulador de succión (separador de líquidos).
- » Válvulas de control de presión
- » El montaje en bastidor con válvulas: incluye la conexión soldada o mecánica, las bridas, los accesorios de tubería con conexión roscada en el tanque de líquido.
- » Sellado de vástagos de válvulas.
- » Líneas de paso de gas, especialmente en líneas de alta presión.
- » Juegos de filtros, juntas deterioradas o bridas flojas.
- » Conexiones de manómetro sujetas a vibraciones de rack.
- » Válvulas de tanques de líquido, que pueden tener fugas a través de juntas deterioradas.
- » Válvulas Schrader, que pueden tener fugas a través de sus núcleos, especialmente si no están cubiertas.
- » Componentes de acero, como acumuladores de succión, cuerpo del filtro de succión, válvulas de succión de acero montadas en la línea de succión e, incluso, receptores montados debajo del colector de succión, debido a la corrosión.

**Fugas en expositores, mostradores y cámaras:** Dependiendo del tamaño del establecimiento comercial, pueden encontrarse más de cien expositores, conteniendo un gran número de puntos de fuga de gas en los evaporadores y las válvulas de expansión. Los serpentines del evaporador están formados por tubos de pequeño diámetro y muchos codos soldados, siendo estos puntos susceptibles de fugas. Las tuberías están sujetas a fatiga mecánica, estrés por calor, reacciones químicas de alimentos ácidos, interferencia durante la limpieza, descongelación e intervención por parte de personal sin experiencia.

En los sistemas más antiguos, las válvulas de expansión con conexiones roscadas son una fuente potencial de fugas. Las uniones están sujetas a juego, especialmente, cerca del evaporador, donde hay escarcha. El uso de accesorios soldados reduce la aparición de fugas. Otras posibles fuentes de fugas en las válvulas incluyen las de retención utilizadas en el descongelamiento por gas caliente y las solenoides.

**Fugas en condensadores enfriados por aire:** Son más comunes en el área de la tubería con aletas, donde los tubos pasan a través del marco con aletas del condensador. Los fabricantes han tratado de eliminar este problema, con nuevas disposiciones para fijar las aletas en la tubería y con el uso de tuberías con mayor resistencia mecánica.

En los condensadores de tipo remoto, un problema que se encuentra es el de las holguras de las hélices del conjunto del motor del ventilador, si el mantenimiento es deficiente. Este espacio puede generar fricción entre la hélice y la tubería del condensador, provocando fugas.

**Fugas en la interconexión del sistema de refrigeración:** La interconexión consiste en unir todos los componentes de la línea de succión, línea de líquido y línea de descarga, conectando el rack de compresores a los evaporadores (expositores, mostradores y cámaras), y condensadores. Las fugas pueden ocurrir en cualquiera de las conexiones soldadas y a lo largo de la tubería. Las tuberías deben

mantenerse lo más aisladas posible, en el momento de la instalación, para evitar la entrada de impurezas y humedad. Además, deben tener soportes de montaje para aguantar la expansión térmica y las vibraciones.

**Causas de fugas:** Las fugas son causadas por el uso y desgaste inevitable de los componentes del sistema de refrigeración, así como por un diseño deficiente o por prácticas inadecuadas de instalación y mantenimiento; por ejemplo:

- » Falta de técnicas de soldadura fuerte adecuadas: Las fugas pueden surgir de una preparación inadecuada o inexistente de tubería, del uso de una aleación de soldadura fuerte incorrecta y de la falta de calentamiento de la unión de manera uniforme y a la temperatura adecuada.
- » Apriete inadecuado de los componentes: Se producen fugas en las conexiones roscadas cuando no se aprieta lo suficiente o cuando reciben un apriete excesivo.
- » Falta de tapones y sellos de válvulas: Para reducir las fugas a través de los vástagos de las válvulas y los núcleos Schrader, todos los vástagos deben tener tapones adecuados. La tapa también debe tener su propio sello o junta tórica para garantizar un sellado adecuado. Si es posible, debe evitarse el uso de válvulas tipo Schrader en la instalación.
- » Material incompatible con aceite o refrigerante: Los sellos expuestos a HCFC se expanden a un ritmo diferente, en comparación con los sellos expuestos a HFC; si se ha actualizado un sistema reemplazando el fluido HCFC por un fluido HFC, si necesita cambiar el tipo de aceite, por ejemplo, de un aceite mineral a un aceite de polioléster (POE), es posible que se deban reemplazar las juntas o los sellos.
- » Vibración: La mayoría de las vibraciones en los sistemas de refrigeración ocurren cerca del compresor y las líneas de descarga, debido a las pulsaciones del gas. Si la vibración en la línea de descarga es alta, puede llegar a romper o a dañar los accesorios al lado.
- » Expansión y contracción térmica: El cambio de temperatura en los sistemas de refrigeración da como resultado la expansión y contracción de las tuberías de refrigeración y de los componentes asociados. Este cambio de temperatura es bastante común en las líneas de succión y gas caliente para descongelación. La instalación de la tubería debe permitir un desplazamiento dimensional mínimo; de lo contrario, las fuerzas de estrés térmico en la tubería pueden hacer que los accesorios se rompan en los puntos de apoyo. La expansión y contracción térmicas constantes pueden, con el tiempo, afectar negativamente la integridad del sellado de las juntas usadas en los componentes del sistema de refrigeración.
- » Corrosión: Los serpentines del evaporador de cobre en contacto con alimentos ácidos pueden deteriorar, con el tiempo, los tubos del evaporador, y desarrollar pequeñas fugas. La corrosión también puede ocurrir en los componentes de la sala de máquinas, con la formación de condensado. Los materiales de limpieza inadecuados o utilizados incorrectamente pueden causar corrosión.
- » Soporte de tuberías: Las tuberías del sistema, con



soportes inadecuados o mal ubicados, provocarán que esta ceda entre apoyos o en curvas, creando tensiones no deseadas y favoreciendo la aparición de fugas en tuberías y accesorios.

El informe de análisis de fugas de refrigerante proporcionará un seguimiento continuo de los puntos de fuga de fluidos para el análisis de causas y puntos críticos a solucionar. Puede generarse un historial proporcionando un mantenimiento preventivo más efectivo.

### 7.1.3 Lista de chequeo del servicio técnico de mantenimiento preventivo

El buen funcionamiento de la instalación responde a una serie de criterios o magnitudes físicas que se mantienen a lo largo del tiempo. Estos criterios se resumen en la siguiente lista y en la tabla 19:

- » Temperatura alcanzada y mantenida en el recinto refrigerado.
- » Temperatura de vaporización dentro del rango de diseño.
- » Temperatura de condensación dentro del rango de diseño.
- » Presión de descarga dentro del rango de diseño.
- » Subenfriamiento normal en el condensador.
- » Recalentamiento normal en el evaporador.
- » Diferencias de temperaturas normales en los intercambiadores.
- » Potencia absorbida por el compresor dentro de los rangos de diseño.
- » Ningún ruido sospechoso ni vibraciones anormales:
  - Se verifica el estado de soportes, anclajes y elementos antivibratorios de sustentación de motores y compresores.
- Se verifican las alineaciones de los elementos mecánicos de transmisión (poleas, correas, etc.).
- » Se comprueban el estado y el funcionamiento de los elementos de control y regulación, y se reajustan para corregir las disfunciones observadas, siguiendo los procedimientos establecidos.
- » La limpieza física y química de los circuitos de los evaporadores, condensadores, drenajes, desagües, torres recuperadoras, circuitos de agua recuperada y elementos regenerables de la instalación se realiza con los procedimientos establecidos, en condiciones de seguridad y con la frecuencia requerida.
- » Se controlan los niveles y fugas del refrigerante y el aceite refrigerante, analizándolos periódicamente.
- » La medición de parámetros para determinar el estado y la eficiencia energética de los equipos se realiza según los procedimientos establecidos y en condiciones de seguridad.
- » Los reglajes, ajustes, engrases e inspecciones de los equipos electromecánicos se realizan atendiendo al programa de mantenimiento preventivo, aplicando los procedimientos establecidos y en condiciones seguras.
- » Se revisan las válvulas de seguridad, comprobando su estado y estanquidad, ajustándose a los requerimientos reglamentarios.
- » Se recogen en el informe correspondiente y con la precisión requerida, los resultados de las inspecciones y operaciones realizadas.

TABLA 19. EJEMPLO DE LISTA DE CHEQUEO EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA REFRIGERACIÓN COMERCIAL

MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
ELEMENTO	COMPROBACIÓN	CAMBIO, AJUSTE, REPARACIÓN QUE SE PROPONE, ETC.
Aceite del compresor	Nivel	Aceite
Aceite del compresor	Acidez	Aceite
Cámara anclajes	Apriete	Ajuste
Cámara paneles	Estado	Cambio o reparación
Cámara puerta	Estado	Ajuste o cambio
Cámara resistencias	Estado	Cambio o ajuste del termostato
Desescarche	Funcionamiento	Cambio o ajuste
Detectores de gases refrigerantes	Funcionamiento	Cambio
Gas refrigerante	Presión de descarga, aspiración del compresor	Carga, si es necesario
	Humedad en el circuito de gas refrigerante	Filtro deshidratador
Nivel acústico	De todo el sistema funcionando	Apriete y sujeción de las piezas
Presostato de alta presión	Funcionamiento, presión y control eléctrico	Cambio o reparación
Presostato de baja presión	Funcionamiento, presión y control eléctrico	Cambio o reparación
Relee térmicos	Verificación de funcionamiento	Ajuste
Sistema de seguridad	Verificación de funcionamiento	Ajuste o cambio
Termostatos	Verificación de funcionamiento	Ajuste o cambio
Tuberías	Estado	Cambio
Válvulas de expansión termostática	Verificación	Limpieza, cambio
Válvulas de seguridad	Se comprueban cada 10 años	Comprobar su calibrado y timbrarlas (personal cualificado)
Válvula solenoide	Verificación	Cambio total o de la solenoide

No. chequeo		Fecha (dd/mm/aa)			
Ubicación		Ubicación			
Marca					
Modelo		Tipo de equipo			
Serie		No. de inventario			
Codificación		Hora			
Item	Descripción	Valor	Sí	No	N/A
Instrucción: cualquier condición anómala o relevante debe ser incluida en las observaciones.					
1	Medir y verificar temperatura de zona (°C)				
2	Medir y verificar temperatura de entrada aire evaporador (°C)				
3	Medir y verificar temperatura de salida aire evaporador (°C)				
4	Medir y verificar los voltajes (V)				
5	Medir y verificar la corriente (A)				
6	Limpiar componentes, tales como: tolvas, caracoles y filtros de aire				
7	Limpiar serpentines en su parte exterior con desincrustante				
8	Limpiar bandeja (charola) condensado de equipos				
9	Limpiar el cableado eléctrico del sistema en su conjunto				
10	Limpiar y balancear los alabes de los ventiladores				
11	Limpiar y engrasar la chumacera				
12	Limpiar finamente las turbinas				
13	Alinear las bandas de los equipos				
14	Revisar y reportar fallas por condiciones eléctricas (voltaje o corriente), o cualquiera que afecte el funcionamiento adecuado del equipo (especificar en observaciones)				
15	Revisar y reportar fallas por condiciones mecánicas (presión, temperatura, ruido, vibración) o cualquiera que afecte el funcionamiento adecuado del equipo (especificar en observaciones)				
16	Revisar y reportar fallas que evidencien fugas de refrigerante o cualquiera que afecte el funcionamiento adecuado del equipo (especificar en observaciones el tipo y la cantidad de refrigerante adicionado)				
17	Revisar y reportar fallas que evidencien derrames de aceite o cualquiera que afecte el funcionamiento adecuado del equipo (especificar en observaciones el tipo y la cantidad de aceite adicionado)				
18	Revisar y reportar las fugas de agua en bandejas y tuberías de drenaje o cualquiera que afecte el funcionamiento adecuado del equipo (especificar en observaciones)				

19	Revisar y reportar el correcto funcionamiento de los sistemas de enfriamiento de agua (motobomba, control de flujo, temperaturas y presiones) (especificar en observaciones)				
20	Revisar y reportar funcionamiento de las válvulas de expansión (especificar en observaciones)				
21	Revisar y reportar el correcto funcionamiento del equipo desde el panel de control o control remoto (si aplica) (especificar en observaciones)				
22	Revisar y reportar si se debe reparar o reemplazar algún elemento o repuesto del equipo (especificar en observaciones)				
23	Corregir las fallas eléctricas o mecánicas (especificar en observaciones)				
24	Corregir las fugas de refrigerante, agua o aceite (especificar en observaciones)				
25	Corregir las fallas en algún elemento o repuesto del equipo (especificar en observaciones)				
26	Posterior al mantenimiento preventivo de cada equipo, efectuar limpieza del área de trabajo				
27	Realizar cualquier otra tarea que sea necesaria para un adecuado mantenimiento preventivo				

**Nota:** El equipo queda en condiciones óptimas de funcionalidad.

### TRAZABILIDAD EQUIPOS DE MEDICIÓN

Instrumento		Certificado de calibración	
Referencia			
No. de serie		Laboratorio certificador	
Fabricante		Fecha de calibración	
Observaciones:			
Elaboró:		Revisó:	
Técnico:		Supervisor:	

## 7.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Esta guía se centra en el servicio técnico de equipos y sistemas de refrigeración comercial con refrigerante R-290, propano, y trata los diversos problemas que pueden encontrarse en la práctica diaria en el sistema de refrigeración y algunas relaciones con el sistema electro-electrónico.

Como primera medida, debe determinarse el tipo de falla a solucionar e identificar el servicio técnico asociado a la falla. Los tres tipos de servicio técnico, dependiendo del tipo de falla que esta guía trata, son:

- » Servicio técnico correctivo por humedad
- » Servicio técnico correctivo por alta humedad
- » Servicio técnico correctivo por quema de compresor

Posteriormente, se determinan los procesos que se van a aplicar durante el servicio técnico escogido. Para el alcance de esta guía, se identifican los siguientes procesos:

- » Valoración de seguridad
- » Procesos preliminares (PP)
- » Procesos de barrido y limpieza (PBL)
- » Procesos complementarios (PC)
- » Procesos finales (PF)

Para cada proceso, se desarrolla el paso a paso correspondiente, así:

VALORACIÓN DE SEGURIDAD	PROCESO PRELIMINAR DE CHEQUEO DE FUGAS
Procesos preliminares (PP)	Proceso PP 1: Pruebas electro-electrónicas
	Proceso PP 2: Verificación de carga
	Proceso PP 3: Descarga o venteo de refrigerante R-290
	Proceso PP 4: Apertura del sistema
Procesos de barrido y limpieza (PBL)	Proceso PP 4: Apertura del sistema
	Proceso PBL 1: Cambio de filtro y de aceite
	Proceso PBL 2: Barrido con nitrógeno
	Proceso PBL 3: Limpieza con filtro de alta eficiencia
Procesos complementarios (PC)	Proceso PBL 4: Prueba de acidez
	Proceso PC 1: Cambio de compresor y componentes para R-290
	Proceso PC 2: Detección y reparación de fugas (soldadura)
Procesos finales (PF)	Proceso PC 2: Detección y reparación de fugas (soldadura)
	Proceso PF 1: Prueba de estanqueidad
	Proceso PF 2: Proceso de vacío
	Proceso PF 3: Carga de refrigerante R-290
	Proceso PF 4: Puesta en marcha, estabilización

MODELO DEL SERVICIO TÉCNICO CORRECTIVO PARA EQUIPOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON REFRIGERANTE R-290

Tipo de servicio técnico		Procesos para el servicio técnico		Página	
a) Por humedad	b) Por alta humedad	c) Por quema de compresor	Valoración de seguridad	Proceso preliminar de chequeo de fugas	
			Procesos preliminares (PP)	PP 1: Pruebas electro-electrónicas	
				PP 2: Verificación de carga	
				PP 3: Descarga o venteo de refrigerante	
				PP 4: Apertura del sistema	
			Procesos de barrido y limpieza (PBL)	PBL 1: Cambio de filtro y de aceite	
				PBL 2: Barrido con nitrógeno	
				PBL 3: Limpieza con filtro de alta eficiencia	
				PBL 4: Prueba de acidez*	
			Procesos complementarios (PC)	PC 1: Cambio de compresor y componentes	
				PC 2: Detección y reparación de fugas	
			Procesos finales (PF)	PF 1: Prueba de estanqueidad	
				PF 2: Proceso de vacío	
				PF 3: Carga de refrigerante R-290	
				PF 4: Puesta en marcha, estabilización	

» Servicio técnico correctivo por humedad

Se entiende por humedad la presencia de vapor de agua, partes de agua, en el interior del sistema. Esta humedad puede deberse a un poro en algún componente del sistema, especialmente, en las tuberías. El problema no reviste gravedad, siempre y cuando sea corregido lo más pronto posible.

» Servicio técnico correctivo por alta humedad

La humedad considerada ya como un problema se puede agravar al convertirse en alta humedad, debido a factores como la existencia de poros en el sistema, en tuberías o componentes que no se corrigen. Si ese poro que se encuentra en la línea de succión y el problema de humedad persiste durante días, semanas y hasta meses, empieza un proceso de degradación generalizado en todo el sistema de refrigeración.

Un problema común en la práctica es el evaporador perforado. En caso de que el refrigerante maneje aceite sintético, higroscópico, se empeora la situación, porque reaccionan el agua con el aceite y demás contaminantes que pudieron haber ingresado o que ya están en el sistema. Se comienza la formación de ácidos que atacan la laca dieléctrica que protege el bobinado del motor, la cual se desvanece hasta producir corto eléctrico, desprendiéndose de allí, lacas, restos de barnices y hollín, como también lodos y gomas, todos productos de la degradación del aceite.

» Servicio técnico correctivo por quema de compresor:

La quema del compresor puede producirse por exceso de calor, alto o bajo voltaje, falta de refrigerante, carga del sistema con refrigerante equivocado o por contaminantes como solventes, anticongelantes, polvo, partículas metálicas, etc. Asimismo, si la falla de alta humedad no es corregida, el proceso finaliza en la quema del compresor. Para realizar el servicio técnico se aplican los mismos pasos que por alta humedad, con variaciones.

SERVICIO TÉCNICO CORRECTIVO POR HUMEDAD

Causas	Efectos	Procesos aplicables	Página
<p>Exposición al aire</p> <p>Condensación de la humedad del aire que ha ingresado</p> <p>Mal ensamble o fabricación, servicio técnico mal ejecutado</p>	<p>Formación de hielo en el tubo capilar y en el evaporador, restringiendo el flujo de refrigerante y, en algunos casos, obstruyéndolo por completo.</p>	Proceso preliminar de chequeo de fugas	
		Procesos preliminares (PP)	
		PP 1: Pruebas electro-electrónicas	
		PP 2: Verificación de carga	
		PP 3: Descarga o venteo de refrigerante	
		PP 4: Apertura del sistema	
		Procesos de barrido y limpieza (PBL)	
		PBL 1: Cambio de filtro y de aceite	
		PBL 2: Barrido con nitrógeno	
		PBL 3: Limpieza con filtro de alta eficiencia*	
	PBL 4: Prueba de acidez*		
	<p>La frecuencia del taponamiento es baja.</p>	Procesos complementarios (PC)	
		PC 1: Cambio de compresor y componentes*	
		PC 2: Detección y reparación de fugas	
		Procesos finales (PF)	
		PF 1: Prueba de estanqueidad	
		PF 2: Proceso de vacío	
		PF 3: Carga de refrigerante R-290	
		PF 4: Puesta en marcha, estabilización	

\*Los procesos marcados con \* y fondo blanco no son requeridos bajo este tipo de falla.

SERVICIO TÉCNICO CORRECTIVO ALTA POR HUMEDAD

Causas	Efectos	Procesos aplicables	Página
<p>Exposición al aire. Poros en el lado de baja, presión es menor.</p> <p>Evaporador perforado.</p> <p>Reacciones químicas internas en el sistema, y descomposición del aislante del motor del compresor, cortos parciales del bobinado.</p> <p>Condensación de la humedad del aire que ha ingresado al equipo.</p>	<p>Formación de hielo en el tubo capilar y en el evaporador, restringiendo el flujo de refrigerante y en algunos casos obstruyéndolo por completo.</p>	Valoración de seguridad	
		Procesos preliminares (PP)	
		PP 1: Pruebas electro-electrónicas	
		PP 2: Verificación de carga	
	<p>La frecuencia del taponamiento es alta.</p>	PP 3: Descarga o venteo de refrigerante	
		PP 4: Apertura del sistema	
		Procesos de barrido y limpieza (PBL)	
		PBL 1: Cambio de filtro y de aceite	
	<p>Descomposición química del refrigerante y del aceite.</p>	PBL 2: Barrido con nitrógeno	
		PBL 3: Limpieza con filtro de alta eficiencia*	
		PBL 4: Prueba de acidez*	
		<p>Hidrólisis del refrigerante formando ácidos y más humedad.</p>	Procesos complementarios (PC)
	PC 1: Cambio de compresor y componentes*		
	PC 2: Detección y reparación de fugas		
	<p>Polimerización del aceite, descomponiéndolo en otros contaminantes adicionales.</p>		Procesos finales (PF)
		PF 1: Prueba de estanqueidad	
PF 2: Proceso de vacío			
PF 3: Carga de refrigerante R-290			
		PF 4: Puesta en marcha, estabilización	

\*Los procesos marcados con \* y fondo blanco no son requeridos bajo este tipo de falla.

### 7.2.1 Valoración de seguridad

Antes de iniciar los procesos preliminares, es necesario realizar el proceso de valoración de seguridad, para identificar y analizar el riesgo asociado con la fuga del gas refrigerante R-290 en el circuito de refrigeración; así, el personal que realiza el mantenimiento puede conocer el resultado más probable y esperado si se presenta la exposición a la situación de riesgo.

La valorización se realiza a través del proceso de detección de fugas, y la probabilidad de que ocurra algún daño se

determina a través del resultado que se obtiene con el procedimiento de detección, el cual es valorado de la siguiente forma:

- » Si se detectan fugas en el circuito, es probable que ocurra algún daño.
- » Si no se tienen en cuenta los requisitos ambientales y de seguridad, y las condiciones iniciales para el mantenimiento, como los procedimientos de BPR definidos en el presente documento.
- » Si no se detectan fugas en el circuito, es improbable que ocurra un daño.

PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
Verificar que no existan fugas en el circuito de refrigeración, antes de iniciar con los procesos preliminares.	Con detectores electrónicos de gas tipo Sniffer para HC, el cual tiene un elemento en la punta de la sonda que crea una emisión eléctrica en presencia del refrigerante. La señal eléctrica se convierte dentro del dispositivo, ya sea en una señal visual o en una señal audible. Este detector electrónico de gas le permite al técnico aproximarse muy cerca a los componentes del circuito de refrigeración.	Al existir una fuga de R-290 en el circuito de refrigeración, y desconocer la existencia de este riesgo por parte del personal encargado del servicio, puede conducir a un accidente laboral durante el mantenimiento del equipo o sistema de refrigeración.

## 7.2.2 Procesos preliminares (PP)

Son pruebas electro-electrónicas y de verificación, como también la carga del equipo y, en general, procedimientos de rutina de todo servicio técnico básico que permiten diagnosticar el equipo. A continuación, se describen estos procesos, cada cual con su respectivo paso a paso.

### 7.2.2.1 Proceso (PP1): Pruebas electro-electrónicas

Para iniciar el diagnóstico del refrigerador, deben realizarse las pruebas electro-electrónicas de rutina. Estas pruebas deben hacerse siempre porque, en la práctica, las fallas relacionadas con elementos eléctricos y electrónicos son las que más se presentan en el servicio técnico, aún más que las fallas mecánicas.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Verificar que la fuente de energía a la que se conecta el refrigerador tenga el voltaje necesario para su funcionamiento. (El fabricante del equipo indica el voltaje y la corriente que se requieren).	Con el multímetro, conectar las terminales a la fuente de energía (toma). Seleccionar la posición del multímetro en "Voltaje, corriente alterna". Verificar y medir fase o línea, neutro y tierra (real).  El neutro y la tierra no pueden dar la misma medición, no pueden ser el mismo conductor ni estar 'puenteados'	El equipo no funcionará si la corriente que requiere no es suministrada. Alto voltaje o bajo voltaje son peligrosos y pueden dañar el compresor.  Si no hay tierra real, no debe conectarse el refrigerador; se debe hacer la anotación y reportar. El multímetro puede dañarse si la perilla se coloca en la posición de corriente continua.
2	Verificar la posición del termostato, siempre de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo o sistema de refrigeración comercial.	Algunos equipos de refrigeración se gradúan automáticamente (tarjeta electrónica), de acuerdo con las condiciones de uso.  Algunos equipos de refrigeración comercial presentan variación en la graduación del termostato, y es necesario verificar en el manual del fabricante.	El equipo no funcionará si la graduación es incorrecta, o si el termostato está en cero (off), o si el sensor o terminal correspondiente de la tarjeta electrónica está mal posicionado, flojo o desconectado.
3	Identificar los bornes del compresor y probar el bobinado del motor.	Con un ohmímetro, medir las resistencias de las bobinas, principal y auxiliar.  La resistencia óhmica puede variar más o menos 8 %, con relación a los manuales (compresor convencional). Si es compresor electrónico, los bornes miden igual o según catálogo de fabricante.	Con un ohmímetro, se verifica si hay interrupción en las bobinas del motor (abiertas). Se coloca una de las puntas de prueba en el borne común y otra en el borne principal o auxiliar. En compresor electrónico mide cualquier par de bornes. Si en cualquiera de los casos, no se encuentra continuidad, se sustituye el compresor.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
4	Probar el protector térmico, sea del tipo conocido como 4TM o tarjeta electrónica.	Protector térmico 4TM: Se verifica si hay oxidación en los terminales. Se verifica, también, si existe paso de corriente entre los terminales. Debe ser NC (normalmente cerrado).  En tarjeta electrónica, la protección está incluida en el circuito de la tarjeta principal y tiene diagnóstico por 'número de falla', según código de fabricante.	En caso de avería o de no haber paso de corriente, debe sustituirse el protector y verificar, además, el relevo de arranque.  Si es tipo PTC, debe estar NA (normalmente abierto).  En caso de avería o de no haber paso de corriente en el protector 4TM, se sustituye el protector.
5	Comprobar el funcionamiento del relevo tipo PTC o los bornes de tarjeta electrónica correspondiente.	Relé electrónico PTC, coeficiente positivo de temperatura: con un ohmímetro, se mide la resistencia óhmica entre sus terminales.  En temperatura ambiente, los valores deben estar próximos a los presentados por el fabricante.	
6	Comprobar el funcionamiento del relevo tipo PTC o los bornes de tarjeta electrónica correspondiente.	Comprobar que los capacitores de marcha y arranque se encuentren en buen estado.	Si el equipo funciona con condensación por convección forzada (con ventilador) y el ventilador no arranca, no habrá condensación y el ciclo térmico se sobrecalentará.

Antes de irrumpir en el ciclo de refrigeración del refrigerador e iniciar la revisión mecánica, es necesario obtener impresiones visibles, táctiles y audibles que puedan conducir directamente a la identificación de las fallas.

La evaluación o el diagnóstico básico del ciclo mecánico del refrigerador consiste en:

- » Verificar temperatura del condensador (Foto 116): Con el compresor operando (el condensador debe estar caliente) con una reducción gradual de la temperatura desde la entrada (descarga del compresor) hasta la salida (filtro secador).
- » Verificar temperatura del compresor: Buscar signos de sobrecalentamiento, como soportes de goma del compresor o bandeja de condensado carbonizadas.
- » Revisar si el nivel de ruido del compresor es normal.

Para el compartimento refrigerado:

- » Revisar el patrón de hielo (escarcha) en el evaporador (poca cantidad) (Foto 118).
- » Revisar si las juntas de la puerta quedan sellando de forma correcta.
- » Revisar si la puerta acciona el interruptor de luz (encendido/apagado).
- » Revisar si el ventilador del evaporador (si lo hay) está ubicado correctamente en el eje del motor y las aspas al derecho.
- » Revisar si el bulbo sensor del termostato está ubicado de forma correcta.
- » Revisar si el tubo capilar del termostato está en su lugar y no está en contacto con el evaporador, no produce ruido o falso contacto.
- » Verificar la graduación correcta del termostato (Foto 117).

FOTO 116. VERIFICANDO LA TEMPERATURA DEL CONDENSADOR



Fuente: elaboración propia.

#### Verificación del funcionamiento del termostato en el refrigerador

Para realizar pruebas funcionales, el refrigerador debe funcionar con la puerta cerrada y el cuerpo del termómetro afuera. La ubicación correcta del termómetro y la sonda de medición del termómetro es en la punta o bulbo sensor del capilar.

### Comprobación de los valores de conmutación del termostato

- » La sonda de temperatura del termómetro debe tener un buen contacto térmico directo con el punto de fijación (punto de detección) del bulbo sensor del capilar del termostato.
- » La zona de detección se encuentra en el extremo del tubo capilar (aproximadamente los últimos 10 cm) y en el bulbo sensor (abultamiento en el extremo del tubo capilar); en estos puntos, se asegura mantener una tolerancia mínima para medir la temperatura de corte o apagado del termostato y del refrigerador. En general, es aconsejable probar el termostato con el valor de calibración más cálido (alto), ajustado o seleccionado.

FOTO 117. MEDICIÓN DE TEMPERATURA



Fuente: elaboración propia.

FOTO 118. EVAPORADOR ESCARCHADO



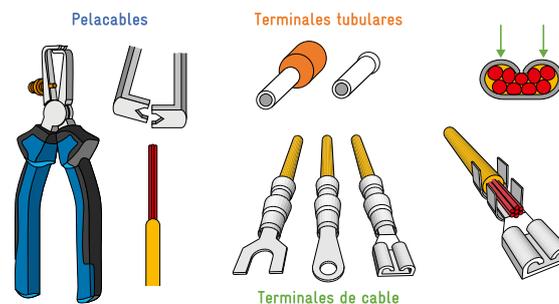
Fuente: elaboración propia.

### Notas importantes

- El bulbo sensor del tubo capilar siempre debe colocarse en la posición más fría del congelador, si es termostato tipo contacto; y si es termostato tipo ambiental, a la salida de la caja de distribución de aire o clapp del refrigerador, en el paso del aire de suministro.
- El capilar principal (excepto el bulbo sensor de detección) no debe estar en contacto con el evaporador.
- El largo restante del tubo capilar debe enrollarse y la bobina debe almacenarse dentro o cerca de la carcasa del termostato.

Nunca doblar el tubo capilar en ningún punto. Hay que asegurar que el evaporador no tenga hielo y muestre un nivel de escarcha adecuado: muy poca.

FIGURA 51. HERRAMIENTAS Y TERMINALES ELÉCTRICOS



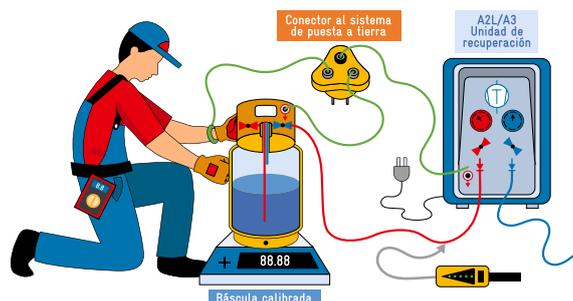
Fuente: elaboración propia.

### Conexiones eléctricas

Deben ser confiables, con protectores y terminales (Figura 51). Para evitar la descarga electrostática (ESD), deben seguirse procedimientos para reducir o eliminar la corriente eléctrica. La conexión a tierra es clave para bloquear la ESD; por lo que se debe verificar que todo, en el entorno de trabajo (Figura 52), se conecte a un sistema de conexión a tierra fiable.

- » Se debe utilizar una correa de tierra entre el puerto de servicio de latón del aparato/sistema en el que se ha trabajado, el cilindro de carga/recuperación de gas inflamable y la unidad de recuperación, si procede.
- » Las correas de tierra deben estar siempre en contacto con la superficie metálica desnuda, para asegurar la continuidad y la ESD.
- » Las pulseras de tierra o la correa de muñeca antiestática que se llevan en la muñeca y se conectan a un conductor de tierra, como una alfombrilla de tierra o una toma de tierra, dirigen de forma segura la electricidad estática a la tierra.
- » Las alfombras antiestáticas o de tierra conectadas a una toma de corriente proporcionan una superficie de conexión a tierra utilizada para absorber la electricidad estática.

FIGURA 52. CONEXIÓN A TIERRA DURANTE EL TRABAJO PARA EVITAR LA ESD DESCARGA ELECTROSTÁTICA



Fuente: elaboración propia.

### 7.2.2.2 Proceso (PP2) verificación de la carga

Luego de verificar que la falla del equipo no es de tipo electro-electrónico, ni mecánico básico, se procede a verificar la carga de refrigerante, por medio de las presiones que registre el manómetro con el equipo en estado de reposo (presión de igualación), así como también las presiones de baja y de alta, y en funcionamiento (recordar que se recomienda usar filtro de 3 vías). Estas presiones dependen del refrigerante R-290 del refrigerador y las temperaturas de trabajo (revisar tabla PT, presión vs. temperatura en la APP correspondiente del teléfono móvil).

**Nota.** Se recomienda usar filtro secador de 3 vías, en todo sistema o equipo de R-290, para poder medir la presión de alta, en el tubo apéndice, con el manómetro de alta presión. Este deberá subir hasta lograr la presión que indique la tabla P/T del refrigerante. En el R-290, corresponde a la temperatura de condensación del lugar y es aproximadamente igual a:

$$T \text{ condensación (}^\circ\text{C)} = \text{Temperatura ambiente} + 15 \text{ }^\circ\text{C (constante experimental)}$$

Por ejemplo, para una temperatura ambiente de 20 °C, en un equipo que trabaja con R- 290, la condensación debe ser cercana a los 35 °C (20 °C + 15 °C = 35 °C) y le corresponde una presión de trabajo de 11,2 bar (g) (162 psig), según la tabla P/T para el refrigerante R-290. Luego de verificar que el problema del equipo es causado por la carga del refrigerante, se procede a realizar el venteo del refrigerante R-290.

### 7.2.2.3 Proceso (PP3) de remoción de refrigerante R-290

Es un proceso nuevo para refrigerantes inflamables, como el R-290, que ayuda para no destruir la capa de ozono y evitar el calentamiento global. Este procedimiento se diferencia de los refrigerantes anteriores, pues el R-290, por tener un PAO = 0 y un PCG = 3, es amigable con el ambiente y puede ventearse a la atmósfera de manera controlada.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Verificación de presión de estabilización.	Observar que tanto el manómetro de alta como el de baja presenten presiones iguales estando el equipo apagado. Monitorear que la presión de estabilización exista y se mantenga constante.	Evidenciar que en todo el sistema exista la misma presión, de igualación.  Se indica la existencia de fugas en el sistema, si dichas presiones están en cero, por debajo de la indicada o disminuida.
2	Conexión de juego de manómetros a las líneas de alta y de baja.	Conectar la manguera azul del manómetro a la succión del refrigerador, línea de baja. Conectar la manguera roja del manómetro a la línea de descarga del refrigerador, línea de alta (tubo apéndice del filtro de 3 vías, si lo tiene) (se recomienda usar filtro de 3 vías).	Comparar la lectura de cada manómetro en la escala de psi, según la tabla P/T para R-290, leída en la APP del teléfono móvil.
3	Verificación de presiones y temperaturas correspondientes de trabajo.	Con el sistema funcionando, medir presión y temperatura en línea de baja, comparando la relación con la tabla P/T. Baja: 1,4 bar (g) (20 psig) (Te = -20 °C)  Con el sistema funcionando, medir presión y temperatura en línea de alta, comparando la relación con la tabla P/T. Alta 11 a 16 bar (g) (162-233 psig) (Tc = 35 °C a 50 °C)	Garantizar que la presión de evaporación corresponda a la aplicación deseada, equipo en congelación (-20 °C y su valor en psig).  Garantizar que la presión de condensación sea la correspondiente a las condiciones del ambiente donde trabaja el refrigerador. Ambiente más 15 °C (Tc = T ambiente + 15 °C).

Cuando el compresor inicie su funcionamiento, el manómetro de baja presión (azul) debe empezar a bajar hasta indicar la presión de trabajo, de acuerdo con la tabla P/T del refrigerante R-290, leída en la APP del teléfono. La presión de trabajo debe corresponder, en un equipo o sistema de refrigeración comercial, a una temperatura de congelación de -23 °C, según fabricante y aplicación LBP, 1,43 bar (g) de baja.

Para tener en cuenta: Durante el servicio técnico no es necesario el barrido con NSLO, si no se tiene humedad o es muy poca o baja. Sin embargo, si la contaminación es alta (los micrones de vacío logrados están muy por encima de 1.000 micrones), sí es recomendado. Para realizarlo, debe hacerse obligatoriamente y por seguridad el venteo del refrigerante R-290, previo a la apertura e intervención del sistema, y de los procesos de soldadura y demás.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Identificación de línea de succión y línea de descarga.	La línea de succión se encuentra entre el tubo capilar y el compresor. La línea de descarga se encuentra entre el compresor y el condensador.	Para garantizar que, al momento de ventear el refrigerante, se ejecute por la línea correspondiente.
2	Conexión del juego de manómetros al sistema y a la manguera plástica de venteo (1/4" diámetro).	Todas las válvulas del juego de manómetros, tanto la de baja (azul) como la de servicio (amarilla), deben estar cerradas.  Conectar la manguera azul a la línea de succión, y el otro extremo al puerto del manómetro del mismo color.  Conectar la manguera amarilla a la línea de servicio del árbol de manómetros, y el otro extremo a la manguera plástica de venteo (1/4" diámetro).  Puede realizarse este procedimiento, adicionalmente, por la línea de descarga, en caso de que el filtro secador tenga tubo apéndice.	Para prevenir que se escape refrigerante al sitio de trabajo sin control.  La identificación por colores de las líneas de baja (azul), alta (roja) y servicio (amarilla) se hace por seguridad, con el fin de evitar confusión al manipular los elementos que intervienen en el proceso y evitar accidentes.
3	Conexión de la manguera plástica de venteo.  Manguera plástica transparente de 1/4" de diámetro y, por lo menos, 10 metros de largo, con válvula de servicio o schrader en uno de sus extremos.	Entre las herramientas, debe incluirse una manguera plástica de 1/4" de diámetro para el venteo.  Las válvulas del juego de manómetros deben estar cerradas.  Conectar la válvula Schrader de la manguera al puerto de servicio del juego de manómetros. Posicionar el extremo libre de la manguera a la parte alta de una ventana o abertura al exterior del recinto.  Abrir controladamente la válvula de baja (azul) del juego de manómetros y dejar salir lentamente el refrigerante hacia el exterior del recinto.  Después de unos minutos del venteo del refrigerante, verificar, con el detector de gases, que ya no hay presencia de refrigerante para poder continuar.	Para prevenir que se escape refrigerante al área de trabajo. Para controlar las condiciones de seguridad del espacio de trabajo sin sobrepasar el LFL del refrigerante. Para controlar que en el espacio no se sobrepase la máxima capacidad de refrigerante por volumen, LFL (8 gramos por cada metro cúbico), y así evitar accidentes por inflamación de este.

**Opciones de venteo:** De acuerdo con las condiciones físicas del lugar en donde se realiza el servicio técnico y de las herramientas y equipos disponibles, hay tres opciones de proceso de venteo. La más recomendable es la que ofrezca mayor seguridad; si se tiene recuperadora antichispa (certificada para R-290 o ATEX): la tercera opción. Si se cuenta con manguera y zona despejada exterior, sería la primera opción. Y la segunda incluye trasladar el refrigerador a zona de aire libre o al taller de servicio de la empresa.

**a) Primera opción.** Venteo de R-290 con manguera:

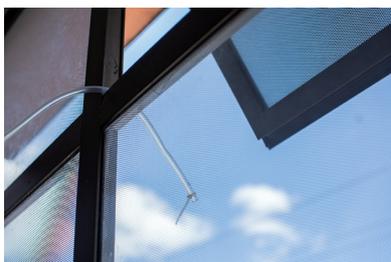
- » Conectar la pinza pinchadora al tubo de proceso y al filtro secador.
- » Conectar la línea de ventilación a la pinza pinchadora.
- » Verificar que el sello esté en buenas condiciones.
- » Ajustar la pinza y adaptarla al tubo.
- » Verificar que el otro extremo de la línea de ventilación esté hacia afuera y alta.
- » Perforar el tubo de proceso o el filtro secador.
- » Ventear el refrigerante R-290.

**Nota.** La pinchadora se utiliza si es completamente necesario; de lo contrario, se utiliza la válvula de servicio del circuito de refrigeración.

**b) Segunda opción.** Venteo directo de R-290:

- » Trabajar al aire libre o en el taller de servicio de la compañía.
- » Mantener el refrigerador fuera del recinto donde el HC se disperse de manera segura. Cortar el tubo de proceso o el filtro secador.
- » Ventear el refrigerante R-290 (Foto 119).

FOTO 119. VENTEO DEL REFRIGERANTE HC



Fuente: elaboración propia.

**c) Tercera opción.** Recuperación de refrigerante R-290, mediante recuperadora certificada para R-290 o ATEX.

Los procedimientos de recuperación convencionales utilizados para cualquier refrigerante son igualmente aplicables (con algunos ajustes) cuando se trata de refrigerantes HC. Debe prestarse especial atención a los siguientes aspectos:

- » La máquina de recuperación utilizada debe ser adecuada para el uso con refrigerantes inflamables. Debe cumplir con normas ATEX o ser antichispa o a prueba de ellas, o cumplir con las normas para refrigerante A3.
- » No debe tener ninguna fuente potencial de ignición (los requisitos son los mismos que los de un sistema de refrigeración).

- » Las mangueras deben estar completas con acoplamientos de desconexión sin fugas y en buenas condiciones.
- » Antes de utilizar la máquina de recuperación, comprobar que funciona, que ha sido mantenida correctamente y que todos los componentes eléctricos asociados están sellados para evitar la ignición, en caso de que se produzca una liberación de refrigerante. En caso de duda, consultar al fabricante.
- » El cilindro recuperador debe ser adecuado para el refrigerante utilizado (específicamente, en términos de presión nominal y compatibilidad de las juntas de las válvulas) (Foto 121).
- » Hay que asegurarse de que todos los cilindros que se vayan a utilizar estén etiquetados para ese refrigerante. Los cilindros deberán estar completos de válvula de alivio de presión y de válvulas de cierre, y deben estar en buenas condiciones de funcionamiento.
- » Cuando se conecten las mangueras entre el sistema de refrigeración, los manómetros, la máquina de recuperación y el cilindro de recuperación, debe verificarse que las conexiones sean seguras y que no haya fuentes potenciales de ignición cerca (consultar la foto 120: Escenario de recuperación de gases inflamables y configuración ejemplar del lugar de trabajo en la empresa, o del lugar de instalación).
- » Purgar las mangueras, el colector y la máquina de recuperación antes de la recuperación, para evitar la entrada de aire. Minimizar la emisión de refrigerante.
- » Al momento de recuperar el R-290, deben tomarse todas las precauciones posibles, para no mezclar gases inflamables y oxígeno/aire dentro de los cilindros.
- » Verificar que siempre esté en funcionamiento el ventilador en el sitio de trabajo. El ventilador también debe ser de tipo certificado para R-290 (refrigerante A3) o ATEX, para evitar fuentes potenciales de ignición.

FOTO 120. ESCENARIO DE RECUPERACIÓN DE GASES INFLAMABLES Y CONFIGURACIÓN EJEMPLAR DEL LUGAR DE TRABAJO EN LA EMPRESA, O DEL LUGAR DE INSTALACIÓN



Fuente: elaboración propia.

FOTO 121. CILINDRO DE RECUPERACIÓN DOT



- Capacidad de agua 11,9 kg 2(6,2 lb)
- Diseño/construcción según DOT04BA450
- Presión mínima de prueba = 450 psig
- Conexión de válvula de cilindro para mangueras de refrigerante - 1/4" SAE.
- Válvula de doble puerto para la eliminación de líquidos y gases
- Tubo de inmersión
- Válvula de seguridad.

Fuente: elaboración propia.

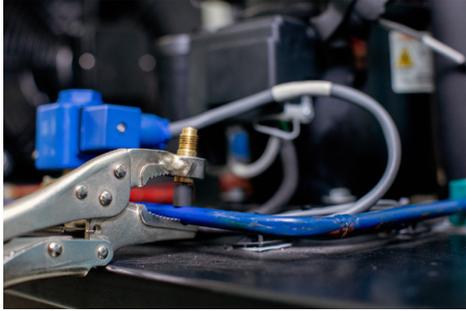
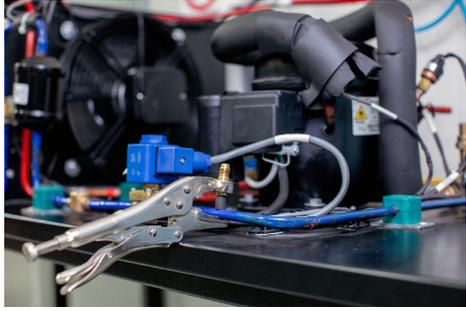


**Notas.**

- » Debe evitarse el contenido de oxígeno enriquecido en el entorno de trabajo circundante (por ejemplo: no recuperar cerca del equipo de soldadura fuerte).
  - » La energía mínima de ignición puede reducirse considerablemente a niveles elevados de oxígeno o a temperaturas elevadas. Los límites de inflamabilidad se amplían a temperaturas y presiones elevadas.
- Esto significa que el límite inferior de inflamabilidad puede desplazarse hacia abajo, y el límite superior de inflamabilidad, hacia concentraciones más altas.
- » La máquina recuperadora especial para R-290 tipo ATEX puede seguir recuperando refrigerante aún después de apagada debido a la diferencia de presiones. Entonces, la manguera acumula algo de refrigerante que se debe recoger con el método de purga, que se describe más adelante.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Apertura de válvulas y encendido de la máquina recuperadora certificada para R-290, tipo ATEX o para refrigerante A3.	La línea de succión se encuentra entre el tubo capilar y el compresor. La línea de descarga se encuentra entre el compresor y el condensador.	Para garantizar que al momento de ventear el refrigerante, se ejecute por la línea correspondiente.
2	Funcionamiento de la máquina recuperadora de R-290.	Apenas la máquina recuperadora se apague, se debe oprimir el botón de alto vacío por unos segundos.	Para garantizar la extracción total del refrigerante.
3	Desmontaje de elementos empleados en el proceso.	Para iniciar el desmontaje de los elementos, primero deben purgarse las mangueras (extraer residuos de refrigerante R-290) con ayuda del botón de alto vacío y siguiendo el orden que corresponde. Retirar, con precaución, la manguera que conecta la salida de la máquina de recuperación.	Para minimizar el escape de refrigerante R-290 a la atmósfera, por seguridad.  Evitar accidentes graves por quemadura, por ser refrigerante inflamable.

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
1	<p>Pinchar el tubo de servicio, acoplando la válvula pinchadora.</p> <p><b>Nota.</b> La pinchadora se utilizará si es completamente necesario; de lo contrario, utilizar la válvula de servicio del circuito de refrigeración.</p>	<p>FOTO 122. TUBO DE SERVICIO, ACOPLANDO LA VÁLVULA PINCHADORA</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>
2	<p>Verificar que la válvula pinchadora ajuste bien al tubo de servicio.</p> <p><b>Nota.</b> La pinchadora se utilizará si es completamente necesario; de lo contrario, utilizar la válvula de servicio del circuito de refrigeración.</p>	<p>FOTO 123. VÁLVULA PINCHADORA AJUSTADA AL TUBO DE SERVICIO</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>
3	<p>Conectar la manguera plástica transparente de ¼" de diámetro, con su extremo roscado al puerto de servicio (puerto de la manguera amarilla) en el manómetro y la manguera de baja (manguera azul) al tubo de servicio.</p>	<p>FOTO 124. CONEXIÓN DE MANGUERA DE ¼" AL MANÓMETRO Y LA MANGUERA DE BAJA (MANGUERA AZUL) AL TUBO DE SERVICIO</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>
4	<p>Conectar el otro extremo de la manguera plástica hacia el exterior del recinto.</p>	<p>FOTO 125. CONEXIÓN DE LA MANGUERA HACIA EL EXTERIOR DEL RECINTO</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
5	Abrir las llaves del manómetro para proceder con la evacuación del refrigerante R-290.	<p data-bbox="938 297 1374 322">FOTO 126. EVACUACIÓN DEL REFRIGERANTE R-290</p>  <p data-bbox="1038 667 1273 692">Fuente: elaboración propia.</p>
6	Retirar el filtro cortando la tubería con el cortatubo y taponar el extremo del tubo.	<p data-bbox="1027 730 1286 754">FOTO 127. RETIRO DEL FILTRO</p>  <p data-bbox="1038 1099 1273 1124">Fuente: elaboración propia.</p>
7	Acoplar las mangueras para el proceso de barrido.	<p data-bbox="865 1164 1449 1189">FOTO 128. ACOUPLE DE MANGUERAS PARA EL PROCESO DE BARRIDO</p>  <p data-bbox="1038 1534 1273 1559">Fuente: elaboración propia.</p>

### 7.2.2.4 Proceso (PP4) apertura del sistema

La apertura del sistema se hace al retirar el filtro secador (nunca con llama). Siempre que se abra el sistema el filtro secador, debe cambiarse. Al mismo tiempo, se aísla o se retira el compresor, si es necesario por quema de este y, también, se hace el barrido en los casos necesarios ya definidos:

- » Los sistemas con carga nunca deben abrirse utilizando una fuente de llama abierta. Los compresores de instalaciones o equipos cargados con refrigerante (R-290) deben purgarse para extraer del aceite los residuos de refrigerante.
- » Hay que asegurarse de que los acoplamientos en las conexiones del manorregulador de nitrógeno con la válvula de la botella coincidan.

- » La válvula de la botella de nitrógeno siempre debe abrirse lentamente. La salida de esta, colocarse en sentido contrario a la posición del operario, nunca en dirección a otras personas; no debe emplearse ninguna otra herramienta diferente a las que el proveedor facilite o aconseje.
- » La limpieza interna (barrido) de la unidad sellada no puede hacerse con refrigerante R-290, debe efectuarse a través de la circulación de NSLO (nitrógeno seco libre de oxígeno).
- » Por ningún motivo se utilizan fuentes calóricas, como sopletes o equipos de soldadura, para retirar las uniones del artefacto; deben seguirse las recomendaciones de manipulación dadas por el fabricante. Se recomienda, de ser necesario, cortar la tubería con un cortatubo.

FOTO 129. MANERA CORRECTA DE ABRIR EL CIRCUITO POR CORTE DE FILTRO SECADOR



Fuente: elaboración propia.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Retiro de filtro secador y apertura del sistema.	Ubicar el filtro secador. Con un cortatubo (NUNCA CON SOPLETE) desconectar el filtro de la tubería que lo une con el condensador.  Cortar o punzonar con un cortacapilar antes de desconectar del tubo capilar que lo une con el evaporador.	Para abrir el circuito y asegurar el espacio de trabajo adecuado. Estas herramientas son las adecuadas y recomendadas para llevar a cabo el corte de tuberías en sistemas de refrigeración. Para evitar la explosión e inflamación del refrigerante R-290 contenido en el filtro secador (taponamiento) y así evitar quemaduras graves.
2	Retiro del compresor (solo en caso de quema del compresor).	Ubicar el compresor. Desconectar el circuito electro-electrónico. Desconectar las líneas de baja y alta, cortándolas con cortatubos. Instalar tapones en las tuberías abiertas del compresor.	Para preparar el espacio de trabajo adecuado. Para permitir el retiro del compresor y no afectar el circuito con la manipulación de este. Se debe cortar la tubería con cortatubo para garantizar que no se propaguen o generen más contaminantes de los que ya existen o se distribuya la humedad y ácidos en todo el sistema, NO emplear el equipo de oxiacetileno o Mapp para cortar. Evitar el mínimo contacto del aceite con la atmósfera, previniendo la contaminación del ambiente y hacer la disposición final del mismo.

### 7.2.3 Procesos de barrido y limpieza (PBL)

Son los procesos que permiten ejecutar la remoción de todo tipo de contaminantes y la humedad. Los contaminantes en un sistema son:

- » Partículas en suspensión
- » Gases no condensables
- » Humedad
- » Aceite contaminado
- » Ácidos y lodos

**Purga previa del sistema con NSLO:**

- » Verificar que del refrigerador ya se haya retirado el R-290.

- » Conectar el cilindro de nitrógeno seco con el regulador de presión a la pinza perforadora o pinchadora y al sistema de refrigeración a través de la manguera.
- » Cortar el filtro secador con un cortafrío para retirar los restos de R-290. **NUNCA retirar con llama o desoldar, porque se pueden producir quemaduras graves.**
- » Lavar el sistema con nitrógeno seco, grado 4.0 (99,99 %)  $\leq 30$  ppm (mg/kg) de agua y mantener la inertización del circuito refrigerante.

**Nota.** La pinchadora se utilizará si es completamente necesario, de lo contrario, utilizar la válvula de servicio del circuito de refrigeración.

Los dos procesos, barrido y limpieza, no se deben confundir, pues el objetivo de cada uno es diferente y, además, no es necesario hacerlos en todos los casos o combinarlos.

El barrido no elimina la humedad, solo las partículas en suspensión y gases no condensables, nunca retira ni la humedad ni los ácidos o aceites.

La limpieza, en cambio, es para retirar humedad, ácidos, aceites, lodos y otros residuos.

**SE DEBE HACER CORTE, NUNCA UTILIZAR LLAMA**

#### 7.2.3.1 Proceso (PBL1) cambio de filtro y de aceite

El aceite para refrigeración es necesario para la operación adecuada del compresor en un sistema de refrigeración y para lubricar las partes móviles del compresor.

El aceite se utiliza para las siguientes funciones:

- » Remover el calor de los cojinetes y transferirlo al exterior del compresor.
- » Formar un sello más efectivo cuando están cerradas las válvulas de succión y descarga.
- » Amortiguar el ruido generado por las partes móviles dentro del compresor.

Ningún aceite para refrigeración debe contener humedad que pueda afectar al sistema. Un aceite debe ser tan seco, como sea posible. La cantidad de humedad que contiene un aceite se expresa en partes por millón (ppm). Un aceite para refrigeración cuando sale de la fábrica normalmente tiene como máximo 30 ppm de agua, sin embargo, por ser higroscópicos, es decir que tienen la habilidad de absorber la humedad del aire, la cantidad de humedad puede incrementarse durante el envasado, traslado y almacenamiento. Por esta razón, se deben tomar todo tipo de precauciones para no dejar el aceite expuesto al ambiente.

Recordemos que los aceites sintéticos a base de polioléster (POE), por ejemplo, son aproximadamente 10 veces más higroscópicos que los aceites minerales o de alquilbenceno (AB).

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Extraer el aceite usado del compresor.	Girar el compresor hasta extraer todo el aceite existente.	Garantizar la completa extracción del aceite usado.
2	Cargar el compresor con el aceite nuevo en la cantidad recomendada por el fabricante del compresor.	El fabricante del aceite indica el modo de llenar el compresor.  Puede ser por llenado con pipeta, con bomba o con la misma succión del compresor.  El fabricante del compresor indica la cantidad de aceite que se debe agregar.	El exceso de lubricación aumenta la fricción, representada por la viscosidad dinámica, aumento de temperatura y disminución de la viscosidad, más allá de la especificación mínima.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
3	<p>Montar el nuevo filtro. Filtro de referencia indicada por el fabricante del refrigerador. Filtro de alta eficiencia o tipo HH, o "de quemado", en caso de quema del compresor.</p>	<p>Posicionar el nuevo filtro secador, retirando sus tapones de goma solo en el momento de la soldadura.</p> <p>El filtro quedará en la tubería de líquido.</p> <p>Filtro de alta eficiencia o tipo HH, o "de quemado", en caso de quema del compresor. Este filtro se retirará luego de 24 horas de trabajo y se instalará, entonces, el filtro convencional recomendado por el fabricante.</p>	<p>Cerrar el circuito con soldadura oxiacetilénica, Mapp o en frío tipo Lockring.</p>
4	<p>En caso de quema de compresor. Retirar el compresor del sistema.</p>	<p>Desconectar los dispositivos electro-electrónicos de arranque y protección, 4TM, PTC o bornes a tarjeta electrónica.</p> <p>Remover todo el óxido y la pintura con una lija en las zonas de las tuberías en donde se realizará la soldadura, para facilitar la unión posterior.</p> <p>Cortar las tuberías con la finalidad de separar el compresor del sistema, y luego soltar las trabas que amarran la base del compresor a la base (tornillos, arandelas, pasadores y demás). Nunca calentar la tubería para desmontar el compresor.</p>	<p>Al colocar tapones en los tubos del compresor, se impide la entrada de aire al interior de este, y con ello se evita la contaminación por humedad del aceite nuevo.</p>
5	<p>En caso de quema de compresor. Montar el compresor en el equipo.</p>	<p>Después de cargar el compresor con la cantidad de aceite indicada, colocar tapones de caucho en los tubos de conexión del compresor.</p> <p>Asegurar el compresor al equipo con tornillos, arandelas, pasadores y demás.</p> <p>No olvidar que algunos compresores traen eliminadores de ruido de caucho, que lo aíslan eléctricamente y que amortiguan las vibraciones. Estos deben quedar nivelados y con el apriete correcto.</p> <p>Conectar los dispositivos electro-electrónicos de arranque y protectores, 4TM, PTC o bornes a tarjeta electrónica.</p>	<p>Al colocar tapones en los tubos del compresor, se impide la entrada de aire al interior de este, y con ello se evita la contaminación por humedad del aceite nuevo.</p>

### 7.2.3.2 Proceso (PBL2) barrido con nitrógeno

El barrido debe realizarse cuando se sospecha la presencia de elementos extraños dentro del sistema que pueden reducir la eficiencia del ciclo de refrigeración. Estos elementos extraños son partículas en suspensión y gases no condensables, como partículas sólidas, polvo, limaduras o residuos de soldadura que pueden estar presentes en el sistema como consecuencia de la instalación de tuberías de segunda mano o por su incorrecta manipulación.

El barrido solo debe hacerse con NSLO, un gas natural que no contribuye a la contaminación ambiental si se expulsa a la atmósfera. El nitrógeno es insípido, inodoro e incoloro, no es inflamable y no favorece la combustión. En condiciones normales, el  $N_2$  es inerte; es decir, no reacciona con otras sustancias. Puede utilizarse para evitar reacciones como la combustión.

#### Procesos de barrido y hermeticidad con NSLO

**Ensayo de estanqueidad**, prueba de estanqueidad: Se hace en combinación con una solución débil de agua jabonosa (prueba de burbujas).

- » Prueba de presión (prueba de resistencia) del sistema del refrigerador.
- » En concentraciones mixtas con hidrógeno (95 % de nitrógeno y 5 % de hidrógeno), como procedimiento de prueba de gas de formación de fugas, combinado con detectores de fugas de hidrógeno.

**Barrido con el NSLO:** Puede barrer una gran parte del contenido de humedad de agua restante dentro de un circuito de refrigeración del refrigerador.

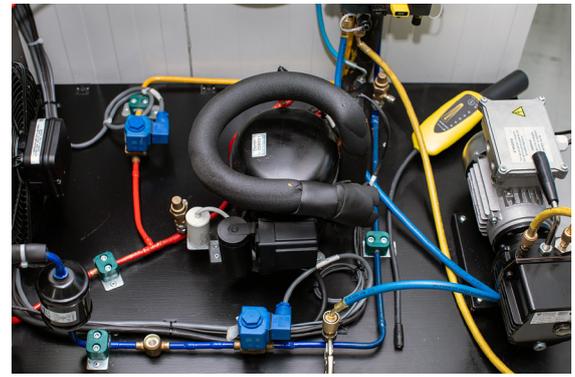
- » Presuriza el circuito de refrigeración con nitrógeno NSLO, para eliminar partículas en suspensión, en componentes y en capilares obstruidos.
- » Protege como 'gas protector', si se carga en un sistema o en componentes de montaje, para evitar la introducción de aire y humedad.
- » Barre las superficies de los intercambiadores de calor (condensador) de polvo y suciedad.

**Inertización con el nitrógeno:** Puede prevenir atmósferas inflamables y evitar reacciones químicas desfavorables durante el trabajo en caliente.

- » Purga el aire de las tuberías antes de calentarlas y durante la soldadura fuerte (para evitar la formación de óxidos de cobre en la superficie interior de las tuberías).
- » Purga las tuberías y componentes del sistema de refrigeración antes de la soldadura fuerte, para eliminar el contenido de gases inflamables y evitar situaciones peligrosas.
- » Purga las tuberías y componentes del sistema de refrigeración durante la soldadura fuerte, para evitar generar productos extremadamente tóxicos, ácidos y nocivos.

Los cilindros comprimidos necesitan un regulador de presión fiable y adecuado para reducir, de forma segura, la presión del gas a un nivel controlado. El gas NSLO solo debe transferirse al circuito de refrigerante mediante mangueras de transferencia diseñadas y certificadas para este fin.

FOTO 130. INERTIZACIÓN CON NITRÓGENO



Fuente: elaboración propia.

En la mayoría de los casos, las mangueras de transferencia de refrigerante pueden tener esta clasificación. Deben comprobarse las mangueras de refrigerante y el regulador de presión para un uso fiable con gas NSLO comprimido.

FOTO 131. KITS DE PRUEBA DE PRESIÓN CON NITRÓGENO NSLO



Fuente: elaboración propia.

Actualmente, están disponibles kits de prueba de presión con NSLO (Foto 131) específicos para monitorear sistemas de refrigeración. El manómetro intermedio Foto 132 instalado entre el sistema y el regulador de presión NSLO indicará el valor de prueba de presión correcto, de acuerdo con el refrigerante utilizado. Por lo general, un rendimiento máximo (presión de trabajo) de 40-60 bar es suficiente para cubrir los refrigerantes HC y sus requisitos de prueba de presión. El personal técnico de servicio debe controlar la presión absoluta dentro del sistema RAC, para no sobrepresurizar el sistema y causar daños o una situación peligrosa.

FOTO 132. MANÓMETRO INTERMEDIO



Fuente: elaboración propia.

Para realizar el barrido:

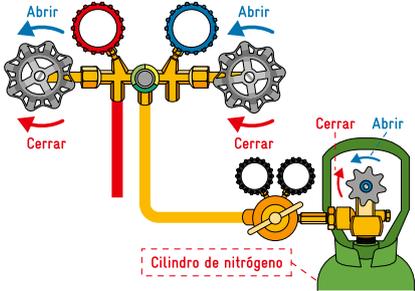
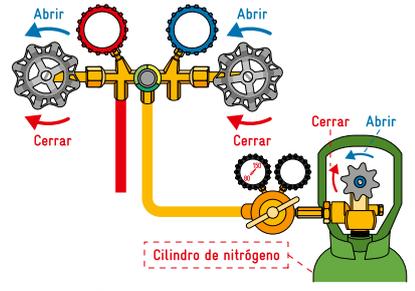
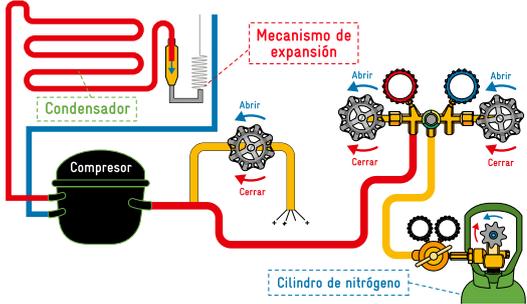
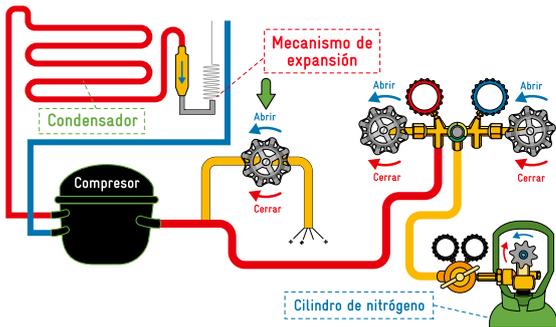
	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Verificación de las presiones de carga del cilindro y de trabajo del manorregulador del nitrógeno.	Ajustar el conjunto manorregulador (que consiste en manómetro de presión del cilindro, manómetro de presión de trabajo y regulador de presión), a una presión de trabajo de 80-120 psig.	Para garantizar la presión de trabajo adecuada y no afectar tuberías y sus juntas por presión de trabajo inadecuada.
2	Conexión del cilindro de nitrógeno al juego de manómetros.	Conectar la salida del regulador del cilindro de nitrógeno a la línea de servicio del juego de manómetros con la manguera amarilla. Conectar la salida del manómetro de alta a la manguera roja.	Debido a que se van a trabajar presiones cercanas a los 120 psig, es adecuado trabajar con el manómetro de alta.
3	Barrido por la línea de baja.	<p>Conectar el manómetro de alta a la salida del evaporador con la manguera roja.</p> <p>Abrir lentamente la válvula del cilindro de nitrógeno y luego la válvula del manómetro de alta.</p> <p>Obstaculizar el flujo del nitrógeno intermitentemente, adecuando una manguera con una válvula en el tubo capilar, variando las presiones del manómetro en 80-120 psig.</p> <p>Asegurar que el nitrógeno que está saliendo no presente contaminantes.</p> <p>Cerrar válvulas del manómetro de alta y del cilindro de nitrógeno.</p>	<p>Lograr el barrido del tubo capilar y el evaporador, garantizando la recomendación de hacer el barrido contrario al flujo del refrigerante.</p> <p>Evitar daño de los componentes del regulador y el manómetro por cambios abruptos de presión.</p> <p>Aumentar presión para expulsar contaminantes, controlando el aumento de la presión.</p> <p>Para asegurar que el barrido haya sido satisfactorio.</p>
4	Barrido por la línea de alta.	<p>Conectar el manómetro de alta a la salida del condensador con la manguera roja.</p> <p>Abrir lentamente la válvula del cilindro de nitrógeno.</p> <p>Retener el flujo del nitrógeno manualmente en la entrada del condensador, variando las presiones del manómetro a 120 psig.</p> <p>Verificar que el nitrógeno que sale no presente contaminantes.</p>	Lograr el barrido del condensador, garantizando la recomendación de hacer el barrido contrario al flujo del refrigerante.
5	Barrido por cambio de compresor.	<p>El barrido, igualmente, se recomienda siempre que haya quema en el compresor, como complemento a la limpieza. Además, es importante para encontrar las fugas en el sistema (poros, perforaciones, etc.) y corregirlas.</p> <p>Recordar que el nitrógeno debe ser calidad NSLO: nitrógeno seco libre de oxígeno y calidad 99,99 %.</p>	

FOTO 133. REGULADOR CON MANÓMETROS PARA NITRÓGENO



Fuente: elaboración propia.

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
1	Conectar el nitrógeno a la manguera de servicio del manómetro (manguera amarilla).	<p data-bbox="817 353 1382 412">FIGURA 53. CONEXIÓN CILINDRO DE NITRÓGENO A LA MANGUERA DE SERVICIO DEL MANÓMETRO</p>  <p data-bbox="1038 770 1273 795">Fuente: elaboración propia.</p>
2	Acoplar la válvula al tubo de servicio.	<p data-bbox="817 835 1326 862">FIGURA 54. ACOPLA DE LA VÁLVULA AL TUBO DE SERVICIO</p>  <p data-bbox="1038 1178 1273 1202">Fuente: elaboración propia.</p>
3	Conectar la manguera de descarga (manguera amarilla) al manómetro, y la manguera de baja (manguera azul) a la válvula del tubo de servicio.	<p data-bbox="817 1238 1497 1296">FIGURA 55. CONEXIÓN MANGUERA DE DESCARGA AL MANÓMETRO Y CONEXIÓN DE MANGUERA DE BAJA A LA VÁLVULA DEL TUBO DE SERVICIO</p>  <p data-bbox="1038 1635 1273 1659">Fuente: elaboración propia.</p>
4	Ubicar el otro extremo de la manguera hacia el exterior del recinto.	<p data-bbox="817 1695 1417 1722">FIGURA 56. UBICACIÓN DE MANGUERA HACIA EXTERIOR DEL RECINTO</p>  <p data-bbox="1038 2083 1273 2107">Fuente: elaboración propia</p>

### 7.2.3.3 Proceso (PBL3) limpieza con filtro de alta eficiencia

El proceso de limpieza se ha debatido desde hace varios años, y es uno de los principales procesos en donde se cometen errores y se contamina el ambiente usando sustancias prohibidas, por su daño al sistema (como R-11, thinner, solventes, métodos de *flushing* con solventes, aire comprimido y alcoholes). Todo esto se hace en la refrigeración doméstica y en refrigeradores, olvidando que el método adecuado se ha realizado siempre en la refrigeración comercial e industrial, mediante los filtros de alta eficiencia, de piedra (Figura 57). Son filtros de fabricación y características especiales que se conocen también por el personal técnico como 'filtros de quema', y son para casos extremos de humedad y limpieza.

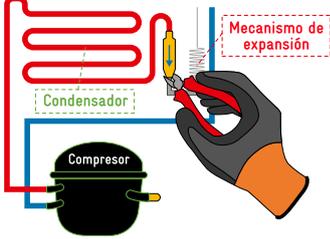
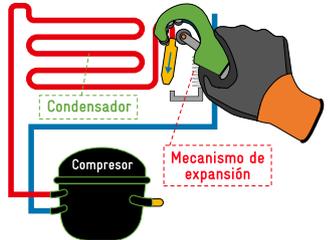
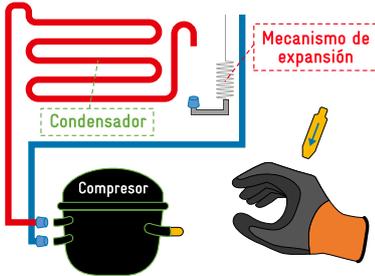
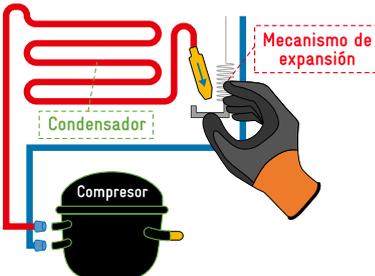
FIGURA 57. FILTRO DE ALTA EFICIENCIA TIPO HH O 'DE QUEMA'



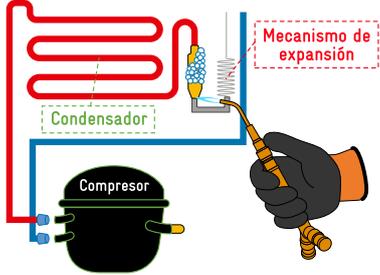
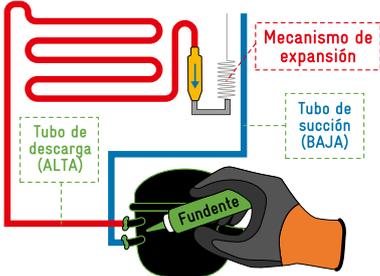
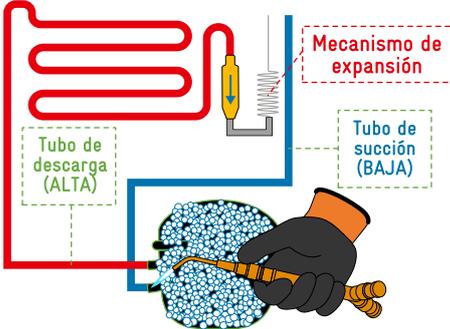
Fuente: elaboración propia.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Preparar las tuberías para la conexión del filtro de alta eficiencia.  No se debe usar filtro tipo rosca, solo tipo soldar.	Preparar los dos tramos de tubería, del capilar y del tubo que va hacia el evaporador en la línea de líquido, y alistarlos con el eliminador de rebaba o rebabador adecuado. Introducir el filtro de alta eficiencia en cada uno de los extremos de los tubos ya alistados.	Cada tramo de tubo debe acoplar con cada extremo del filtro secador.  Verificar el sentido correcto de conexión del filtro de alta eficiencia al sistema, por medio de una flecha indicadora del filtro.
2	Soldar ambos extremos de los tubos que comunican con el filtro.	Es necesario que el proceso de soldadura sea lo más rápido posible, para evitar la exposición prolongada del filtro al calor excesivo. Es aconsejable cubrir el filtro con un trapo húmedo durante la soldadura. Mientras se hace la soldadura, se debe hacer paso de nitrógeno.	Para evitar las impurezas dentro de las tuberías.

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
1	Cortar el tubo capilar del filtro.	<p data-bbox="817 376 1209 405">FIGURA 58. CORTE TUBO CAPILAR DEL FILTRO</p>  <p data-bbox="1038 680 1273 710">Fuente: elaboración propia.</p>
2	Retirar el filtro secador.	<p data-bbox="817 741 1174 770">FIGURA 59. RETIRO DEL FILTRO SECADOR</p>  <p data-bbox="1038 1084 1273 1113">Fuente: elaboración propia.</p>
3	Taponar el tubo de unión condensador-filtro secador y también el extremo libre del capilar.	<p data-bbox="817 1151 1497 1205">FIGURA 60. TAPONAMIENTO DEL TUBO UNIÓN CONDENSADOR-FILTRO SECADOR Y EXTREMO LIBRE DEL CAPILAR</p>  <p data-bbox="1038 1570 1273 1599">Fuente: elaboración propia.</p>
4	Instalar el filtro nuevo, ubicando el filtro entre capilar y condensador.	<p data-bbox="817 1630 1422 1684">FIGURA 61. INSTALACIÓN DEL NUEVO FILTRO ENTRE EL CAPILAR Y EL CONDENSADOR</p>  <p data-bbox="1038 2002 1273 2031">Fuente: elaboración propia.</p>

## RESUMEN PROCESO DE VENDEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
5	Retirar los tapones y soldar tanto el capilar como el condensador al nuevo filtro, con soldadura de plata al 5 %.	<p data-bbox="742 477 1358 533">FIGURA 62. RETIRO DE TAPONES Y SOLDADURA ENTRE EL CAPILAR Y EL CONDENSADOR AL NUEVO FILTRO, CON SOLDADURA DE PLATA AL 5%</p>  <p data-bbox="963 869 1198 898">Fuente: elaboración propia.</p>
6	Con ayuda del fundente, realizar la soldadura al 35 % de plata en los tubos de servicio de baja.	<p data-bbox="742 929 1110 985">FIGURA 63. SOLDADURA DE PLATA AL 35% DE LOS TUBOS DE SERVICIO DE BAJA</p>  <p data-bbox="963 1330 1198 1359">Fuente: elaboración propia.</p>
7	Con ayuda del fundente, realizar la soldadura al 35 % de plata en los tubos de servicio de alta.	<p data-bbox="742 1391 1062 1447">FIGURA 64. SOLDADURA AL 35% DE LOS TUBOS DE SERVICIO DE ALTA</p>  <p data-bbox="963 1814 1198 1843">Fuente: elaboración propia.</p>

### 7.2.3.4 Proceso (Pbl4) prueba de acidez

La prueba de acidez se realiza para determinar si el contenido de ácido del aceite se encuentra entre los límites de operación segura para el compresor. La prueba se basa en la reacción química de soluciones con la muestra de aceite tomada.

Un sistema de refrigeración del cual se sospeche que tenga una condición de aceite ácido, requiere una prueba de acidez para determinar si el contenido de ácido del aceite está entre los límites aceptables, antes de que ocurra un daño extensivo y una quema de motor hermético.

Los kits para prueba de acidez (foto 134) son herramientas de servicio directas y simples que eliminan las adivinanzas en el trabajo de servicio. Las pruebas pueden realizarse tanto en las instalaciones como en el taller de servicio.

Luego de mezclar las soluciones y añadir el refrigerante, el color debe evaluarse inmediatamente. Si se deja la solución por una hora o más, puede dar un resultado falso. La tabla 20 muestra los puntos de cambio de color con aceite mineral, alquilbenceno y POE.

Las soluciones en los kits son estables, pero sensibles a la luz y al calor. El kit debe mantenerse en su caja, en un lugar seco y fresco. Siempre se deben seguir las recomendaciones del fabricante del equipo. El kit ofrece otra alternativa en la medición de contenido de ácido en aceites POE, indicando la cantidad relativa de ácido en el aceite.

La tabla 20 muestra, como referencia, los puntos de cambio de color de un kit comercial para prueba de acidez con aceite mineral, alquilbenceno y POE.

TABLA 20. NIVEL DE ACIDEZ SEGÚN EL TIPO DE ACEITE

TIPO DE ACEITE	NIVEL DE ACIDEZ SATISFACTORIO		NIVEL DE ACIDEZ MARGINAL		INSATISFACTORIO	
	COLOR DE SOLUCIÓN	NÚMERO DE ÁCIDO	COLOR DE SOLUCIÓN	NÚMERO DE ÁCIDO	COLOR DE SOLUCIÓN	NÚMERO DE ÁCIDO
Mineral o alquilbenceno	Morado o rojo	< 0,05	-	-	Naranja o amarillo	> 0,05
POE	Morado o rojo	< 0,17	Naranja	0,17 a 0,23	Amarillo	> 0,23

FOTO 134. EJEMPLOS DE KITS PARA PRUEBA DE ACIDEZ



Los kits no deben usarse en sistemas que contengan un aditivo para detección de fugas en el aceite. Los aditivos pueden interferir con los puntos de cambio de los kits para prueba de acidez.

Fuente: Nu-Calgon, ETK Parker, ALCO Emerson.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Tomar muestra de aceite del compresor. Solo se necesita una pequeña cantidad.	Con el compresor retirado del sistema, tomar una muestra a través del tubo apéndice (tubo de servicio).  La cantidad necesaria está definida en las instrucciones del kit de prueba.	Para ejecutar prueba de acidez.
2	Llenar el recipiente con la muestra de aceite hasta la marca.	Verter el aceite retirado del compresor en el frasco correspondiente hasta el nivel que el empaque, o las instrucciones indiquen.	Seguir las indicaciones del fabricante de la prueba.
3	Llenar el recipiente del reactivo hasta la marca.	Verter en el envase del reactivo suministrado el kit de prueba.	Seguir las indicaciones del fabricante de la prueba.
4	Agitar el recipiente con los componentes ya mezclados	Tapar el frasco del reactivo con los componentes mezclados dentro de él.	Mezclar los componentes y agitar.
5	Observar el color final que presenta la mezcla de aceite y reactivo (acidez).	Si el color de la mezcla es igual al color del reactivo, generalmente violeta, el aceite no contiene acidez.  Si el color de la mezcla es diferente al del reactivo, generalmente tono verde, el sistema tiene algo de acidez, aunque podría trabajar un tiempo más. Si el tono es amarillo, el aceite contiene acidez.	Validar el proceso de verificación del aceite.  Es importante seguir las instrucciones del fabricante, en cuanto al proceso y el significado de los colores.

## 7.2.4 Procesos complementarios (PC)

Los procedimientos complementarios son los que se realizan luego de quitar del equipo la contaminación y alta humedad, o, en los demás casos, después del arreglo convencional o fases previas del servicio técnico. Estos procedimientos aseguran, mediante las buenas prácticas de refrigeración, que el mantenimiento sea exitoso y que en el futuro no habrá mal funcionamiento, pérdida de eficiencia, consumo exagerado de energía, paradas del equipo, molestia y falta de credibilidad del usuario. A continuación, se describen estos procesos.

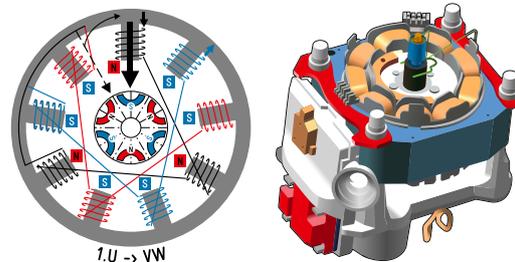
### 7.2.4.1 Proceso (PC1) cambio de compresor y componentes para equipos y sistemas de refrigeración comercial con R-290

Cuando hay quema del compresor, debe tenerse en cuenta qué tipo de máquina trabaja el refrigerador; si es compresor tradicional eléctrico, tipo 'jaula de ardilla', o es un compresor electrónico de nueva generación.

En los equipos y sistemas de refrigeración comercial actuales, se encuentran compresores electrónicos modernos. Estos compresores para R-290 tienen la capacidad de variar la velocidad mediante un control de frecuencia para los motores de corriente alterna o inverter, o un control de voltaje para los motores de corriente directa o BLDC (Figura 65).

- » Estructura: es similar al reciprocante (externamente).
- » Motor es de 3 fases (U, V, W) cada U-V, U-W, V-W tiene la misma resistencia del motor.
- » La dirección U, V, W es sentido antihorario.

FIGURA 65. MOTOR BLDC



Fuente: elaboración propia.

**Motor BLDC:** Brush Less Direct Current o BLDC Motor, significa motor de corriente directa sin escobillas. Es el motor de corriente continua que hoy se usa ampliamente debido a su eficiencia, mejores características de velocidad frente al par, mayor rango de velocidad y funcionamiento silencioso.

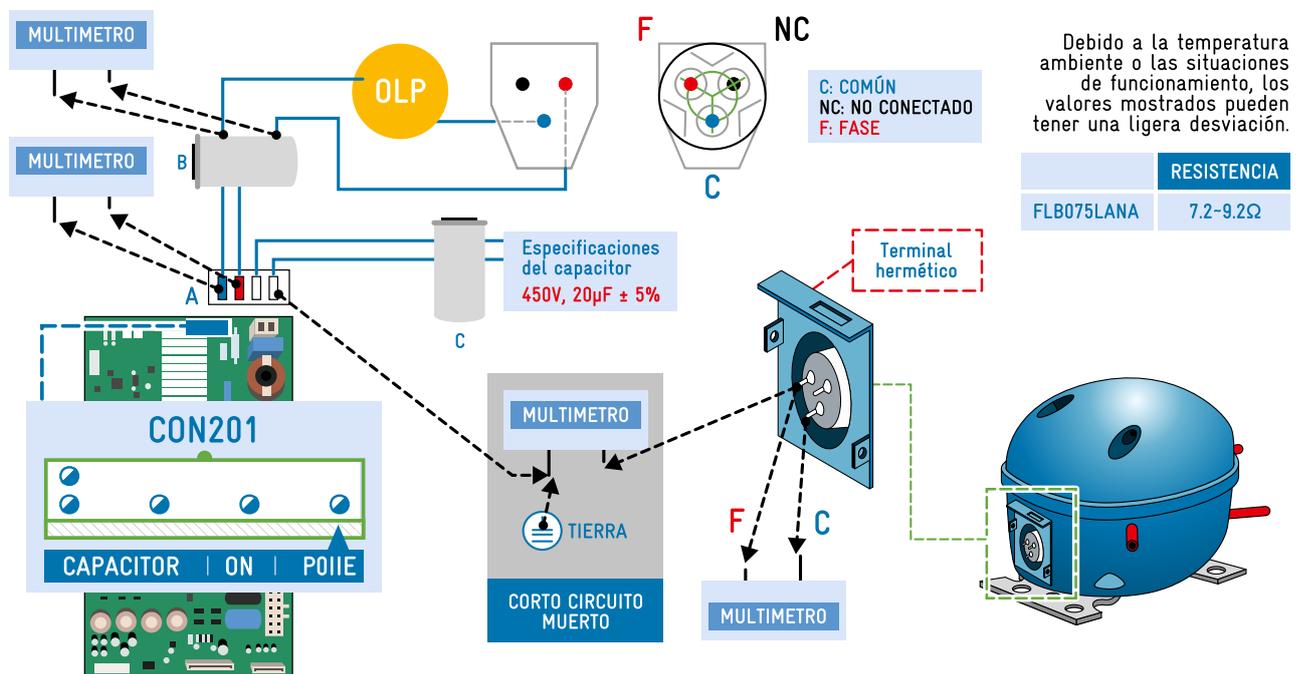
**Sistema inverter.** Se llama *inverter* a un dispositivo electrónico que es capaz de regular el voltaje, la corriente y frecuencia de alimentación del refrigerador. Es decir que un inverter es un circuito electrónico de conversión de la energía eléctrica de alimentación. Aplicado al refrigerador, el dispositivo electrónico inverter modifica la corriente eléctrica que alimenta al compresor.

Modificando la frecuencia, intensidad o voltaje de la corriente de alimentación del compresor, puede conseguirse también variar las revoluciones de funcionamiento del mismo, y, por ende, el caudal de refrigerante que circula por el circuito; así, se consigue que el compresor gire a distintas velocidades en función de las necesidades de carga térmica de cada momento, permitiendo al sistema adaptarse más eficazmente y de forma más rápida a la demanda de cada instante, reduciendo el consumo de energía eléctrica y proporcionando mayor eficiencia al reducir las pérdidas.

El motor tiene tres fases, y la conmutación se realiza electrónicamente. Para hacer funcionar el motor, es necesario un inversor trifásico. La detección de la posición del rotor es muy importante para generar secuencias de conmutación adecuadas para el inversor trifásico. Para hacerlo, se proporcionan tres sensores con el motor BLDC para tres fases del motor. Este sistema de accionamiento también puede cambiar la velocidad del motor.

El microcontrolador detecta las señales de *hall* del motor y la señal PWM que se genera a partir de un circuito electrónico. El pulso generado por el microcontrolador se envía al circuito que controla el inversor trifásico. El microcontrolador es muy útil debido a sus diversas características, como mayor velocidad, tamaño pequeño de *chip*, bajo costo y, lo que es más importante, fácil resolución de problemas. Entonces, en este diseño, el microcontrolador se usa para generar la conmutación requerida para el inversor trifásico (Figura 66).

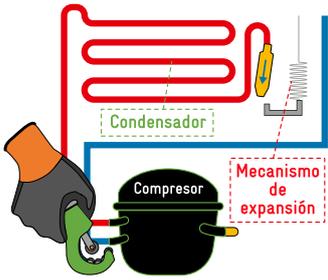
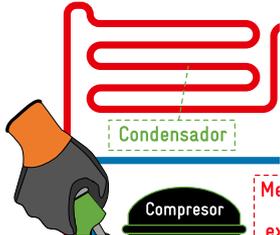
FIGURA 66. PRINCIPALES ELEMENTOS DE CONTROL DE UN COMPRESOR INVERTER



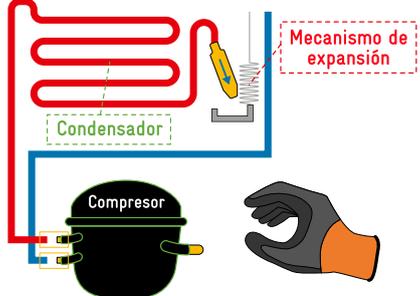
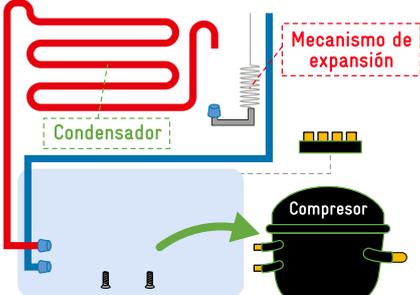
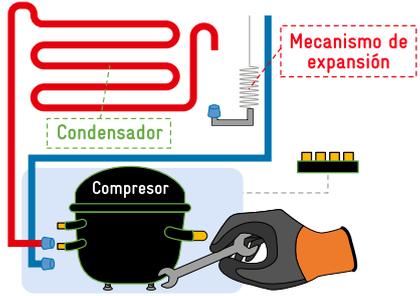
Fuente: elaboración propia.

**Propósito:** Lograr circuitos de refrigerante sellados, evitando conexiones desarmables. Tener en cuenta para los equipos y sistemas de refrigeración comercial las tecnologías de conexiones permanentes, que reducen el riesgo de fugas y aumentan la confiabilidad del sistema.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Instalación de compresor nuevo	<p>Verificar el método de fijación del compresor, guías, tornillos, trabas u otros para asegurarlo de manera adecuada, según fabricante.</p> <p>Verificar que la posición de los tubos de succión y descarga correspondan con el resto del sistema.</p> <p>Preparar los tubos de succión y descarga, quitar rebabas, poner extremo a 90° y quitar óxido.</p> <p>Retirar tapones protectores del compresor solo en el momento de efectuar la soldadura.</p> <p>Con el equipo de soldadura Mapp, oxiacetilénica o de unión en frío Lokring, unir el compresor entre la salida del tubo de descarga y el tubo de succión.</p> <p>Al momento de soldar con llama, emplear fundente sin excesos, protegiendo con un trapo húmedo el compresor.</p>	<p>Para iniciar proceso de soldadura. Porque el fundente asegura la fusión de las tuberías a soldar (cobre con hierro cobrizado).</p> <p>El trapo húmedo evita que el aceite del compresor reaccione químicamente por el calor generado de la llama empleada en el momento de soldar, y garantiza la protección del compresor y el correcto trabajo posterior del mismo.</p> <p>En los sistemas modernos domésticos, a raíz de la aplicación de refrigerantes HC, se está utilizando y popularizando la unión en frío Lockring, en vez de la soldadura Mapp y oxiacetilénica.</p>
2	Instalación de componentes electroelectrónicos del nuevo compresor	<p>Verificar si la instalación corresponde a compresor convencional con protector térmico 4TM y relevo PTC.</p> <p>Verificar si es con compresor inverter electrónico con terminales o puertos a tarjeta electrónica.</p>	<p>Verificar la conexión del circuito electroelectrónico. Después de soldar, facilita la protección de los elementos durante el proceso y evita el daño de estos.</p>

GIZ				GUÍA SERVICIO TÉCNICO REFRIGERACIÓN COMERCIAL R-290			
RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290							
NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN					
1	Cortar el tubo de baja y taponar el extremo del tubo.	<p>FIGURA 67. CORTE Y TAPONAMIENTO DEL TUBO DE BAJA</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>					
2	Cortar el tubo de alta y taponar el extremo del tubo.	<p>FIGURA 68. CORTE Y TAPONAMIENTO DEL TUBO DE ALTA</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>					

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
3	Siempre deben taponarse los extremos de los tubos de alta y baja, además del de servicio.	<p data-bbox="675 405 1394 427">FIGURA 69. TAPONAMIENTO DE EXTREMOS DE TUBOS DE ALTA, BAJA Y DE SERVICIO</p>  <p data-bbox="970 768 1198 790">Fuente: elaboración propia.</p>
4	Desmontar el compresor.	<p data-bbox="675 831 1023 853">FIGURA 70. DESMONTE DEL COMPRESOR</p>  <p data-bbox="970 1193 1198 1216">Fuente: elaboración propia.</p>
5	Montar el compresor nuevo.	<p data-bbox="675 1263 1011 1285">FIGURA 71. MONTAJE DEL COMPRESOR</p>  <p data-bbox="970 1626 1198 1648">Fuente: elaboración propia.</p>

### 7.2.4.2 Proceso (PC2) detección y reparación de fugas

Este proceso consiste principalmente en la detección de la fuga, ya sea por métodos básicos, como la prueba de burbuja (complemento del proceso), o por el método recomendado de utilización de detectores de fuga apropiados para el refrigerante R-290.

#### Recomendaciones y requisitos

Antes de hacer las pruebas, debe entenderse que:

- » La detección de refrigerante (R-290) no es la detección de fugas:
  - Detección de fuga = detección de R-290 + persona.
- » Los detectores de gas ayudan a detectar fugas, pero «no lo hacen todo».
- » En la reparación de fugas, la **seguridad** es un principio básico.
- » En un equipo RAC, una fuga significa menor desempeño (5 % de fuga, 10 % más de consumo de energía) para RAC. En casos de **refrigeración doméstica**, es aún más determinante el menor desempeño (debido a las bajas cargas).
- » Para detectar fugas deben usarse dispositivos confiables modernos detectores de gas. Los TCD (detectores de gas tipo Sniffer) son sensibles a rangos de fuga tan pequeños como 3 g por año.

- » Para comprobar el desempeño del detector de gas, previamente, debe hacerse una prueba con un dispositivo o sustancia de referencia de fuga (5 gramos/año).

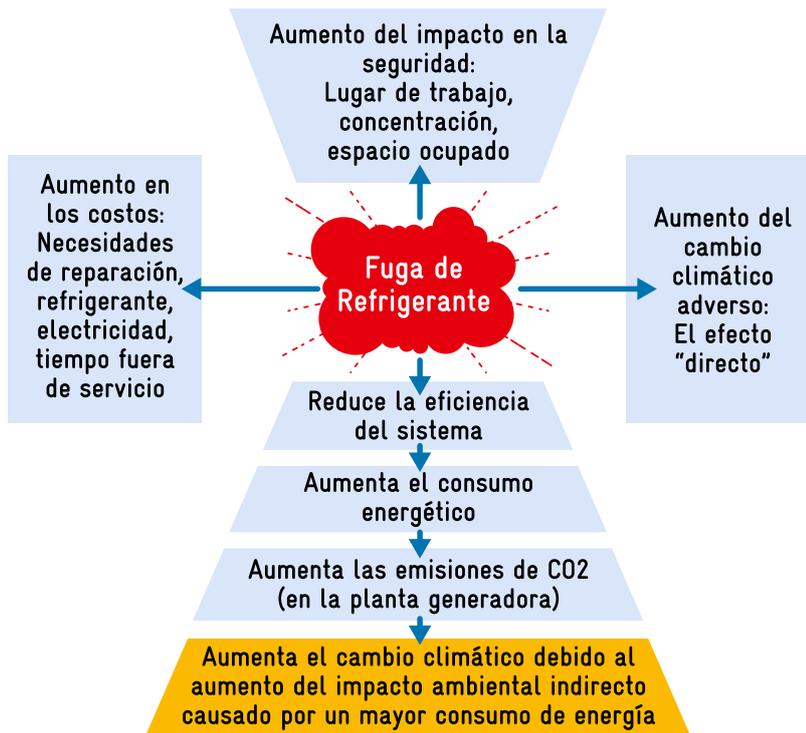
#### Métodos de prueba para fugas indirectas de refrigerantes

- » **Detección global:** Estos métodos indican si hay una fuga, pero no indican la ubicación. Son útiles al final del montaje o cuando se abre el sistema para repararlo o modernizarlo. Estos son aplicables a los sistemas que no tienen refrigerante. Muchas de estas pruebas usan gas indicador, generalmente nitrógeno, 5 % de hidrógeno o helio. No se considera una buena práctica utilizar refrigerante como gas indicador.

#### Procedimiento para detección global:

- Presurizar el sistema con un gas inerte y aislarlo. Habrá fugas si hay una caída de presión dentro de un periodo específico.
- Evacuar el sistema y medir el nivel de vacío durante un periodo específico. El aumento de presión indica que hay una fuga.
- Colocar el sistema en una cámara y cargarlo con un gas indicador; luego, evacuar la cámara y controlar con un espectrómetro de masas o un analizador de gases residuales.
- Comprobar el nivel de refrigerante en el depósito de líquido.

FIGURA 72. IMPACTOS DE LAS FUGAS DE REFRIGERANTE (GUÍA DE FUGAS)



Fuente: elaboración propia.

#### Sistemas automatizados de seguimiento de fugas

Los parámetros de monitoreo, como temperaturas y presiones, ayudan a identificar cualquier cambio en el equipo. También proporcionan datos sobre la escasez de carga de refrigerante. Pueden utilizarse, además, para la monitorización de sensores fijos para detectar fugas en puntos estratégicos de la instalación.

#### Métodos de prueba para emisiones directas de refrigerantes:

- » **Detección local:** Estos métodos localizan con precisión cualquier fuga y se usan comúnmente durante el mantenimiento. La sensibilidad generalmente se expresa en ppm (partículas por millón) o tasas de flujo másico (g/a gramos por año).

- Los controles visuales con trazas de aceite en tuberías, componentes y conexiones solo son posibles en fugas grandes, superiores a 85 g/año.
- La detección de burbujas de jabón es simple y económica, donde un paciente y un técnico capacitado pueden identificar fugas con una sensibilidad máxima de 50 g/año.
- Los detectores electrónicos pueden detectar fugas de 3-50 g/año, dependiendo de su sensibilidad. Deben utilizarse con el debido entrenamiento y cuidado, para no presentar lecturas falsas.
- Los detectores ultrasónicos registran el ruido generado por el flujo de fluido refrigerante que sale del punto de fuga, tienen menor sensibilidad en comparación con los detectores electrónicos, ya que la detección puede verse perturbada por la circulación del aire.
- Los espectrómetros de masas de HC y de detección de helio con sondas de escape de extracción detectan fugas de menos de 1,5 g/año.

#### Prueba de fugas usando un detector de gas electrónico

Al utilizar el detector de gases refrigerantes, el técnico debe contener la emisión de refrigerante. Después de cargar el fluido refrigerante, se recomienda repetir la prueba de fugas con un detector de gas electrónico. Este método de detección de fugas tiene los siguientes pasos:

- Verificar la calibración del instrumento (fuga de referencia).
- Utilizar el detector de gases halogenados en los puntos a comprobar, como conexiones, bridas y codos.
- Después de identificar la fuga, recoger el refrigerante, reparar la fuga y realizar la prueba con nitrógeno o con hidrógeno.

#### Detectores electrónicos de gas TCD (Sniffer)

- » Se recomiendan los detectores de gas electrónicos (Sniffer, foto 135) basados en la tecnología de detección de conductividad térmica (TCD, por sus siglas en inglés).
- » El detector tiene un elemento en la punta de la sonda que crea una emisión eléctrica en presencia del refrigerante. La señal eléctrica se convierte, dentro del dispositivo, ya sea a una señal visual o bien a una señal audible.
- » El detector electrónico de gas le permite al técnico aproximarse mucho a la fuga.

#### Paso a paso para usar detector electrónico de gas R-290

- » Se deben utilizar detectores electrónicos de fugas diseñados para detectar R-290. También existen algunos detectores para múltiples tipos de refrigerantes, como HFC, HFCF o HC.
- » La regulación europea DIN EN 14624: 2012 describe el "desempeño de detectores de fuga portátiles y monitores de cuartos para refrigerantes halogenados". Los criterios de desempeño de detectores electrónicos de fuga de refrigerante se encuentran en la norma SAE 1627. Estas normas deben ser bien conocidas por el personal técnico de servicio.
- » Se debe verificar que el dispositivo sea compatible con el refrigerante R-290 que se encuentra en el refrigerador al cual se le aplicará la prueba de fugas.

- » El personal técnico debe conocer la capacidad de su detector de fugas y también saber qué no puede detectar.
- » Después de encontrar el área donde se detectó la fuga, generalmente, debe disminuirse la sensibilidad de algunos tipos de detectores para indicar el área de la fuga.
- » Luego, el área de la fuga se cubre con solución jabonosa para verificar el punto exacto de la misma.
- » Verificar que ni el monóxido de carbono ni el alcohol estén presentes en el momento de la detección de fugas, ya que pueden afectar la sensibilidad de algunos detectores electrónicos de gas.
- » Revisar el dispositivo por lo menos una vez al año para asegurar confiabilidad y precisión. Usar una fuente de fuga de referencia para calibrarlo. En la mayoría de los casos es posible conseguir estas fuentes.
- » Utilizar el detector revisando, con un movimiento a velocidad baja de aproximadamente 0,2 cm/s.

#### Calibración de detectores de gas

Es muy importante saber si el detector de gas utilizado está funcionando en el rango de sensibilidad adecuado. Las fugas de referencia calibradas (fuga de prueba) se encuentran en un rango de emisión de refrigerante de hasta 5 g/año. La foto 136 muestra el dispositivo conector a un cilindro que contiene un refrigerante conocido para obtener una fuga de referencia de 5 g/año. La válvula del cilindro debe estar completamente limpia, libre de impurezas sólidas, aceite y humedad, para evitar daños al dispositivo. El detector de gas debe calibrarse cada vez que se utilice o cuando se apague.

#### Ultravioleta

En este método, al sistema de refrigeración se añade una sustancia fluorescente que circula disuelta en el aceite. En caso de fuga, la sustancia se deposita en la superficie externa del equipo y, con el uso de una lámpara ultravioleta, la fuga se vuelve visible. El fabricante debe informar sobre la compatibilidad de la sustancia fluorescente con el aceite

FOTO 135. MOVIMIENTO DEL SENSOR SNIFFER (TCD)



Fuente: elaboración propia.

**Advertencia:** la mayoría de los detectores electrónicos de gas no son recomendables para usarlos en atmósferas que contengan vapores o refrigerantes inflamables o explosivos. Es posible que el sensor opere a una temperatura extremadamente alta. Si dicho sensor llega a estar en contacto con un gas combustible, ocurrirá una ignición.

y el tipo de aplicación. Después de identificar y reparar la fuga, debe limpiarse el sitio para eliminar toda sustancia fluorescente.

#### Verificación visual con potencial de corrosión

Este procedimiento es clave para localizar los componentes del sistema con los puntos de corrosión y determinar el grado de corrosión para subsanarlos lo antes posible, evitando así la aparición de futuras fugas. Los componentes como la carcasa del compresor, los tanques y otros con estructura ferrosa deben pintarse siempre que sea necesario para evitar la formación de óxido y corrosión. Si el grado de corrosión es alto, el componente debe reemplazarse.

FOTO 136. TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN DE FUGAS



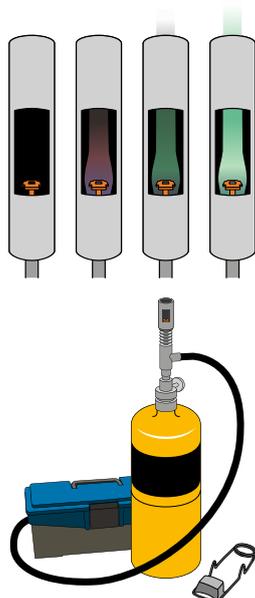
Fuente: elaboración propia.

El método de verificación de fuga por burbuja (agua jabonosa) detecta fugas de 50 - 200 g/año; lo ideal es detectar fugas de 5 g/año.

### 7.2.5 Procesos finales (PF)

Son los procesos en que se debe consolidar todo el servicio técnico, superadas las fases de diagnóstico o preliminares, las de barrido, limpieza y reparación.

FOTO 137. DETECTOR DE FUGAS ULTRAVIOLETA



Fuente: elaboración propia.

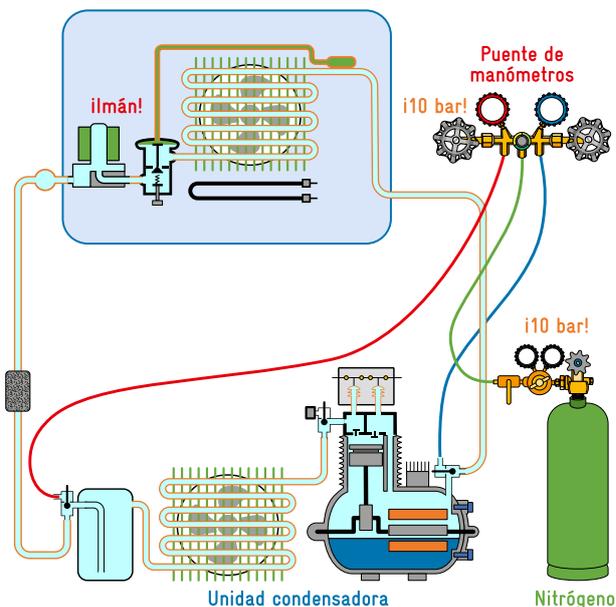
### 7.2.5.1 Proceso (PF1) prueba de estanqueidad (hermeticidad)

Este proceso permite asegurar todo el trabajo anterior, pues consiste en probar que el circuito está hermético (es decir, sin ninguna probable fuga) y continuar así hacia la fase final del servicio técnico, con la tranquilidad de que las fases anteriores fueron superadas (Figura 73).

#### Paso a paso para la prueba

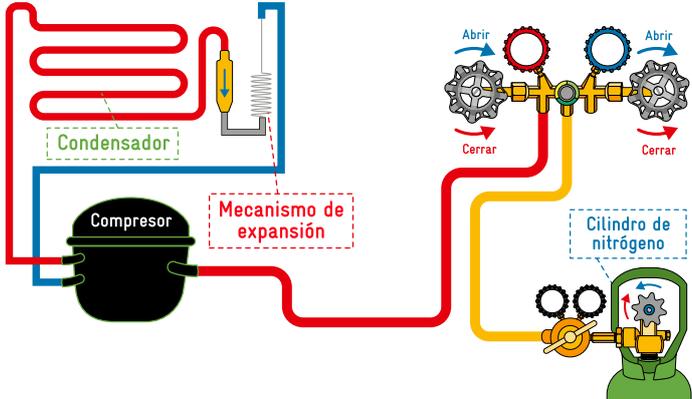
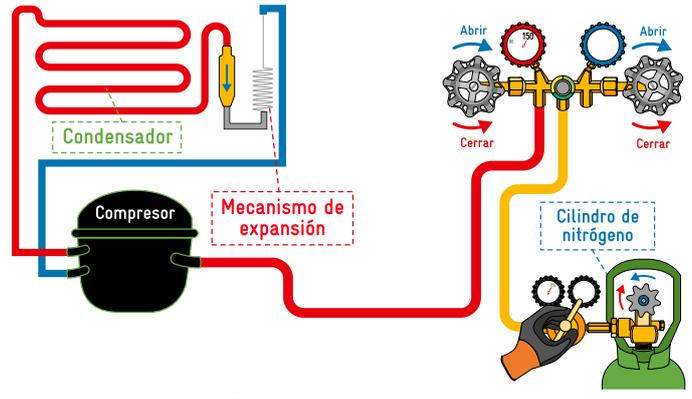
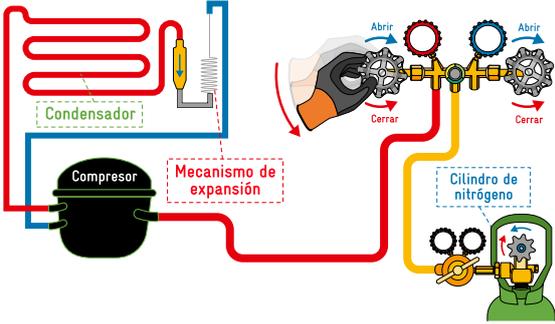
- » Usar nitrógeno seco libre de oxígeno (NSLO), grado 4,0 (99,99 %)  $\leq$  30 ppm (mg/kg) de agua.
- » Usar el regulador correcto en el cilindro de nitrógeno.
- » La presión de prueba de resistencia máxima para equipos y sistemas de refrigeración comercial es de 10 bar (145 psig).
- » La salida máxima recomendada del regulador es de 40 bar (580 psi).
- » Utilizar, de preferencia, acopladores rápidos para la conexión del circuito refrigerante.
- » Aumentar la presión con lentitud y paso a paso de 1 bar cada vez.
- » Comprobar si hay fugas con una solución jabonosa (método de la burbuja) o un aerosol de detección de fugas (espuma).
- » Ventear el nitrógeno con cuidado.
- » Abrir la válvula del manorregulador hasta que el manómetro indique la presión de condensación más el 10 %, para el caso de R-290, por ejemplo, para temperatura ambiente de 20 °C sería  $20 + 15 = 35$  y, según la tabla P/T, son 52,71 psig. Más el 10 %, serían 58-60 psig; con lo cual, el sistema queda presurizado y listo para prueba.
- » Frotar con una esponja las juntas de conexión del sistema con una solución jabonosa. El nitrógeno que se escape formará burbujas, si hay fugas.

FIGURA 73. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD

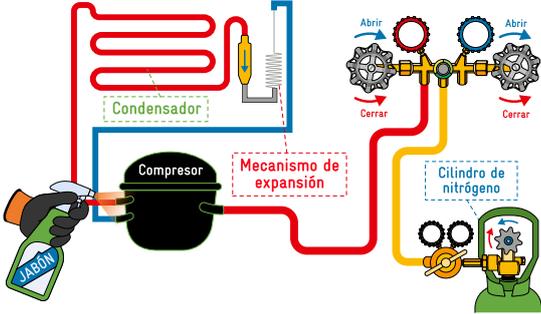
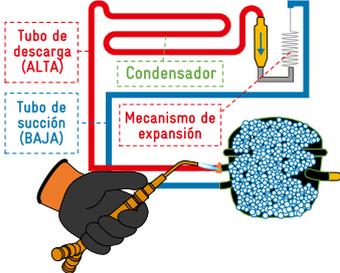
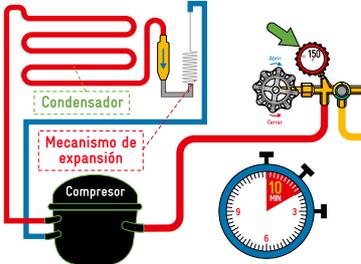


Fuente: elaboración propia.

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
1	Conectar el manómetro de alta a la válvula de servicio.	<p data-bbox="675 297 1158 320">FIGURA 74. CONEXIÓN DEL REGULADOR AL MANÓMETRO</p>  <p data-bbox="967 757 1201 779">Fuente: elaboración propia.</p>
2	Conectar el regulador del nitrógeno al manómetro.	<p data-bbox="675 824 1174 846">FIGURA 75. LLENADO DEL SISTEMA CON NITRÓGENO OFND</p>  <p data-bbox="967 1274 1201 1296">Fuente: elaboración propia.</p>
3	Abrir la llave del manómetro para presurizar el producto.	<p data-bbox="675 1335 1114 1357">FIGURA 76. CIERRE DE LA LLAVE DEL MANÓMETRO</p>  <p data-bbox="967 1742 1201 1765">Fuente: elaboración propia.</p>
4	Llenar el sistema con OFND a una presión de condensación más 20 %.	
5	Cerrar la llave del manómetro.	

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
6	Buscar fugas con solución jabonosa en las uniones del sistema refrigerante.	<p data-bbox="598 297 1120 322">FIGURA 77. DETECCIÓN DE FUGAS CON SOLUCIÓN JABONOSA</p>  <p data-bbox="890 674 1120 698">Fuente: elaboración propia.</p>
7	¿Existe fuga?	
8	Corregir la fuga y volver a presurizar el sistema.	<p data-bbox="598 741 903 766">FIGURA 78. CORRECCIÓN DE FUGAS</p>  <p data-bbox="890 1077 1120 1102">Fuente: elaboración propia.</p>
9	Dejar presurizado el sistema alrededor de 10 minutos para verificar su presión.	<p data-bbox="598 1144 1241 1169">FIGURA 79. SISTEMA PRESURIZADO POR 10 MIN, PARA VERIFICAR PRESIÓN</p>  <p data-bbox="890 1471 1120 1496">Fuente: elaboración propia.</p>

## 7.2.5.2 Proceso (PF2) de vacío

El vacío (alto vacío) es el único procedimiento que asegura la completa extracción de humedad y de gases no condensables del sistema. También permite indicar si existen fugas. Antes de cargar el refrigerante, el refrigerador debe evacuarse o someterse a vacío, para retirar:

- » Gases no condensables, aire, nitrógeno o refrigerantes residuales.
- » Humedad, vapor de agua.

## Herramientas necesarias para el proceso de vacío

**Equipo 1. Bomba de vacío:** Para usar una bomba genérica de forma segura que no es certificada para R-290, ATEX o para refrigerante A3:

- » Evacuar o purgar con cuidado las mangueras antes de cargar.
- » Usar mangueras cortas de 3/8".
- » Usar un acoplador rápido para el proceso de vacío.
- » Mantener la bomba encendida. Conectar el enchufe a la toma de corriente fuera del área de seguridad (al menos a 3 m del área de trabajo de HC) para evitar chispas (SOI).
- » Encender y apagar la bomba en la toma de corriente remota.
- » Evacuar desde dos sitios, si es posible (baja presión y de alta presión). Utilizando el filtro secador de 3 tubos, o tubo apéndice.
- » Evacuar hasta llegar al menos a 500 micrones.
- » Verificar el vacío con un medidor electrónico de micrones (vacuómetro).
- » Comprobar si el vacío se mantiene al menos durante 3 minutos.

- » Mantener la bomba de vacío en buen funcionamiento de trabajo.
- » Revisar con regularidad el nivel del aceite y revisar si está contaminado.
- » Cuando el aceite esté lechoso o contaminado, se aconseja reemplazarlo.
- » Operar la válvula estabilizadora de gas de la bomba (gas ballast), cuando se ponga en marcha el procedimiento de evacuación o vacío profundo.

FOTO 138. BOMBA DE VACÍO



Fuente: elaboración propia.

## Equipo 2. Vacuómetro para medición del vacío

- » El vacío debe medirse con un vacuómetro electrónico.
- » Solo los medidores electrónicos de micrones pueden confirmar y determinar con precisión un vacío en un circuito refrigerante sin fugas ni GNC, que significa gases no condensables.
- » Un medidor analógico múltiple solo indica que se está produciendo un vacío hasta (-1 bar) (-30 pulgadas Hg).
- » En la foto 139, se marca el rango de 25.000 micras. Este ejemplo muestra que es imposible identificar un vacío suficiente de 500 micras con estos manómetros.

FOTO 139. ZONA EQUIVALENTE DEL MANÓMETRO QUE TRABAJA EL VACUÓMETRO



Fuente: elaboración propia.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Conexión de bomba de vacío al tubo apéndice de alta (o línea de baja, si no hay apéndice) del filtro secador.	Conectar la bomba de vacío a la línea de servicio del juego de manómetros con la manguera amarilla. Luego, conectar la línea de manómetro de baja al tubo apéndice con la manguera azul.	Se debe emplear este manómetro de baja debido a que, en su escala, se puede evidenciar el vacío (aproximación visual).
2	Ejecución del vacío.	Energizar la bomba de vacío desde fuera de 3 metros del área de trabajo.  Abrir la válvula del manómetro de baja. Dejar en funcionamiento la bomba de vacío por el tiempo que sea necesario para obtener una medición de vacío adecuada, de 250 a 500 micrones.	Para iniciar el proceso de vacío. Para permitir extracción de humedad y gases no condensables del sistema. No es recomendable dejar en funcionamiento más tiempo la bomba de vacío, porque puede extraer el aceite del compresor.
3	Validación de vacío adecuado.	Cerrar válvula del manómetro de baja. Monitorear el manómetro de baja durante 3 minutos, verificando que no se suba la medición de micrones.  Desconectar la manguera amarilla de la bomba de vacío, dejando la presión del refrigerador en vacío. Comprobar si no hay alto vacío con un ligero aumento en la medida de micrones. Si el sistema posee todavía humedad, se comprueba con un aumento considerable: más de 1.000 micrones.	Para empezar a monitorear la presión de vacío.  Evidenciar que la presión se mantiene, validando si el sistema todavía contiene humedad o gases no condensables.  Para dejar listo el refrigerador para la carga de refrigerante.  Presiones recomendadas en un refrigerador con R-290: - Aceptable: 500 micrones - Recomendado: 250 micrones - Equipo usado con mucha intervención, debe sostenerse por debajo de 1.000 micrones, al menos durante 3 minutos, y debe programarse un servicio técnico más completo.

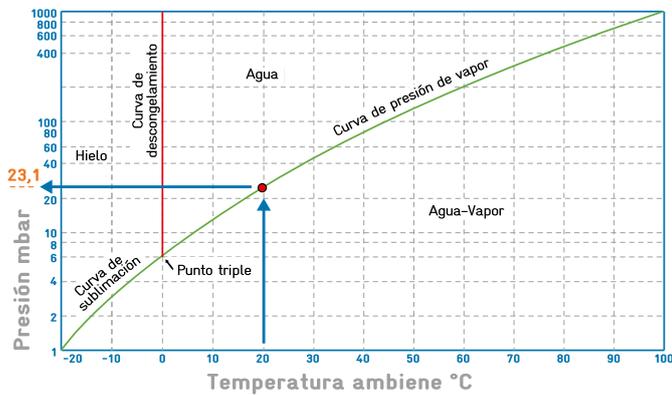
### Variación del vacío con la temperatura ambiente

El vacío varía de acuerdo con la temperatura ambiente del lugar en donde se está realizando el proceso. En la Figura 80 se puede ver el efecto y lo podemos comprobar con un ejemplo:

»Temperatura en el lugar de 20 °C.

»Presión en milibares: de 23,1 mbares = 17.326 micrones = 0,682 psig.

FIGURA 80. VARIACIÓN DEL VACÍO CON LA TEMPERATURA AMBIENTE

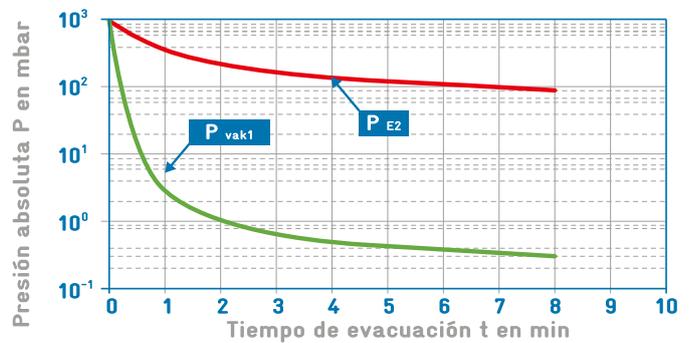


Fuente: elaboración propia.

### Variación del tiempo de vacío con la presión absoluta

El tiempo de vacío varía de acuerdo con la presión absoluta del lugar en donde se está realizando el proceso. En la Figura 81 se observa el efecto y puede comprobarse con dos ejemplos en las curvas relacionadas.

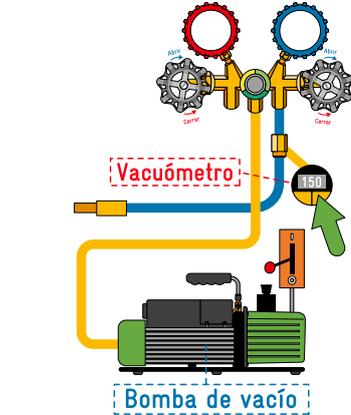
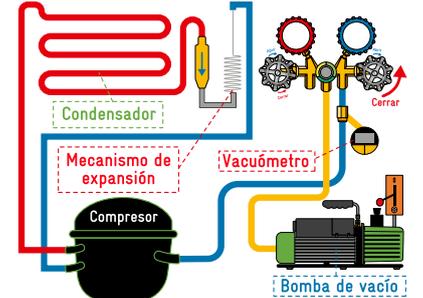
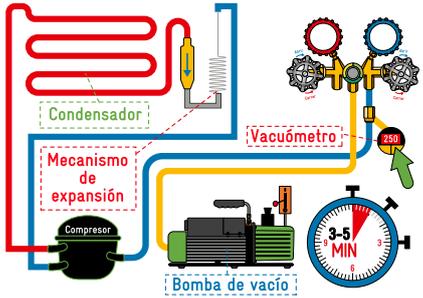
FIGURA 81. VARIACIÓN DEL TIEMPO DE VACÍO CON LA PRESIÓN ABSOLUTA



Fuente: elaboración propia.

GIZ			GUÍA SERVICIO TÉCNICO REFRIGERACIÓN COMERCIAL R-290		
RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290					
NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN			
1	Alistar para proceso de vacío.	<p>FIGURA 82. ALISTAMIENTO PARA EL PROCESO DE VACÍO</p> <p>Fuente: elaboración propia.</p>			
2	Conectar la bomba de vacío a la manguera de servicio (manguera amarilla) del manómetro y el vacuómetro a la manguera azul.	<p>FIGURA 83. CONEXIÓN DE BOMBA DE VACÍO CON MANGUERA DE SERVICIO DEL MANÓMETRO Y EL VACUÓMETRO A LA MANGUERA AZUL</p> <p>Fuente: elaboración propia.</p>			

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN
3	Por medio de válvulas Schrader en el extremo, se verifica la bomba de vacío y el conjunto de manómetros y mangueras, hasta lograr 150 micrones.	<p data-bbox="675 297 1409 322">FIGURA 84. VERIFICACIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO Y EL CONJUNTO DE MANÓMETROS</p>  <p data-bbox="970 779 1201 804">Fuente: elaboración propia.</p>
4	Ejecutar el vacío.	<p data-bbox="675 837 946 862">FIGURA 85. PROCESO DE VACÍO</p>  <p data-bbox="970 1205 1201 1229">Fuente: elaboración propia.</p>
5	Dejar en proceso de vacío hasta llegar a un rango de 250-500 micrones.	<p data-bbox="675 1263 1409 1288">FIGURA 86. CIERRE DE LA VÁLVULA DEL MANÓMETRO Y APAGADO DE BOMBA DE VACÍO</p>  <p data-bbox="970 1630 1201 1655">Fuente: elaboración propia.</p>
7	Realizar una espera entre 3-5 minutos. Así, se verifica que no haya humedad y exista hermeticidad en el sistema.	<p data-bbox="675 1688 1281 1713">FIGURA 87. VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD DEL SISTEMA POR 3-5 MIN</p>  <p data-bbox="970 2056 1201 2080">Fuente: elaboración propia.</p>

La verdadera medición del alto vacío solo se logra mediante el uso de un vacuómetro y la obtención en su escala de 250-500 micrones y 1.000 (máximo admitido), según lo demuestra la tabla 21.

TABLA 21. VALORES COMPARATIVOS DE MEDICIÓN DE VACÍO

EVAPORACIÓN H <sub>2</sub> O °F	EVAPORACIÓN H <sub>2</sub> O °C	MBAR	MICRONES	PSI	TORR	PULGADAS DE MERCURIO (HG)	% VACÍO
212	100,0	1013,070	759.968,00	14,69800	759,968	0,00	0
205	96,1	713,150	535.000,00	10,34690	535,000	8,86	29,59
194	90,0	700,530	525.526,00	10,16200	525,530	9,23	30,63
176	80,0	473,340	355.092,00	6,86600	365,100	15,94	53,13
158	70,00	311,500	233.680,00	4,51900	233,680	20,72	69,15
140	60,0	199,090	149.352,00	2,88000	149,350	24,04	80,29
122	50,0	123,240	92.456,00	1,78800	92,460	26,28	87,8
104	40,0	73,470	55.118,00	1,06600	55,120	27,75	92,72
86	30,0	42,320	31.750,00	0,61400	31,750	28,67	95,81
80	26,7	33,860	25.400,00	0,49100	25,400	28,92	96,65
76	24,4	30,470	22.860,00	0,44200	22,860	29,02	96,98
72	22,2	27,090	20.320,00	0,39300	20,320	29,09	97,32
69	20,6	23,700	17.780,00	0,34400	17,780	29,12	97,65
64	17,8	20,550	15.420,00	0,29500	15,420	29,31	97,96
59	15,0	16,930	12.700,00	0,24600	12,700	29,42	98,32
53	11,7	13,540	10.160,00	0,19600	10,160	29,55	98,65
45	7,2	10,150	7.620,00	0,14700	7,620	29,62	98,99
32	0,0	6,090	4.572,00	0,08800	4,570	29,82	99,4
21	-6,1	3,390	2.540,00	0,04900	2,540	29,84	99,66
6	-14,4	1,690	1.170,00	0,02450	1,270	29,86	99,83
1.4	-17,0	1,330	1.000,00	0,01934	1,000	29,88	99,87
-4	-20,0	0,990	750,00	0,01450	0,750	29,89	99,9
-9,4	-23,0	0,670	500,00	0,00967	0,500	29,90	99,93
-24	-31,1	0,340	254,00	0,00490	0,254	29,905	99,97
-35	-37,2	0,170	127,00	0,00245	0,127	29,910	99,98
-40	-40,0	0,133	100,00	0,00193	0,100	29,916	99,986
-60	-51,1	0,034	25,40	0,00049	0,025	29,917	99,996
-70	-56,7	0,017	12,70	0,00024	0,013	29,918	99,998
-90	-67,8	0,003	2,50	0,00005	0,002	29,919	99,999
		0,000	0,00	0,00000	0,000	29,920	100

**Nota.** Nunca debe intentarse realizar el vacío con el compresor del mismo equipo de refrigeración o acondicionador de aire (auto vacío), pues solo se logra medio vacío y la humedad nunca se desaloja del equipo. Se debe utilizar la máquina de vacío y lograr sosteniendo vacío:

- 250 micrones, cuando el equipo usa aceite polioléster.
- 500 micrones, cuando el equipo usa aceite mineral.
- 1.000 micrones, máxima medición admitida (en sostenimiento de vacío).

### 7.2.5.3 Proceso (PF3) carga de refrigerante R-290

Se debe hacer la carga del refrigerante R-290, teniendo en cuenta todas las indicaciones del paso a paso que se expone en las siguientes páginas.

#### Recomendaciones para la carga del refrigerante R-290

- » Considerar el desempeño del sistema y el consumo referenciado (datos del fabricante).
- » Asegurar la ventilación cruzada, el valor práctico de 8 gr/m<sup>3</sup>.
- » Asegurar el área, zona temporal inflamable, 3 metros, usar señales de seguridad.
- » Usar juego de manómetros con mangueras cortas.
- » Balanza de carga para medir el peso del refrigerante; para equipos y sistemas de refrigeración comercial, se recomienda medir el peso con una balanza que tenga resolución de un gramo.
- » Cargar lentamente, en pequeñas cantidades, el refrigerante R-290, agregando la cantidad exacta, según la placa de datos del fabricante del refrigerador.

#### Conexiones para la carga (en puertos del juego de manómetros)

##### Puerto 1.

Tubo de servicio o carga del compresor: baja presión.

##### Puerto 2.

Máquina de vacío, entrada (fijo en la máquina de vacío): vacío.

##### Puerto 3.

Vacuómetro.

##### Puerto 4.

Tubo de servicio o apéndice, del filtro secador: alta presión.

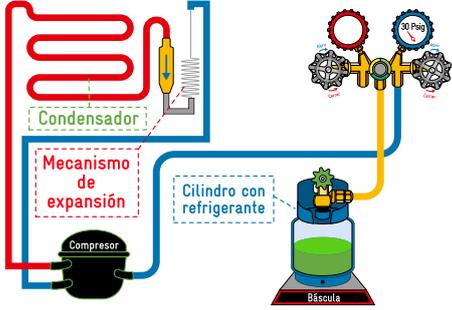
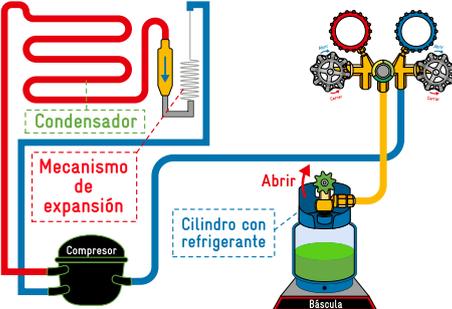
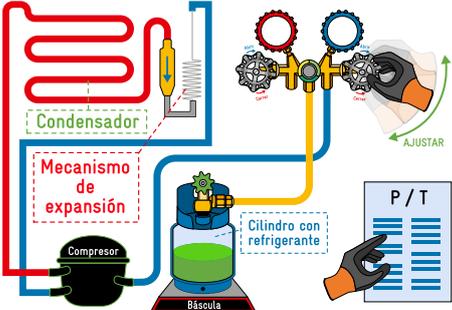
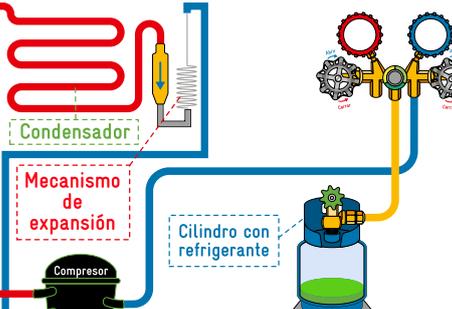
##### Paso a paso recomendado

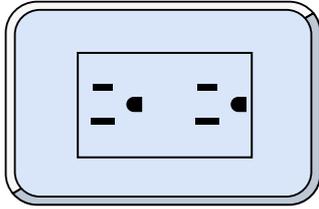
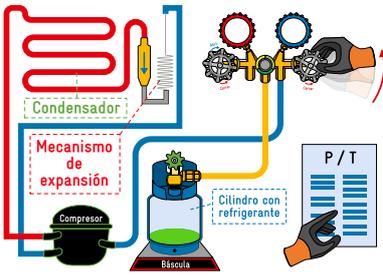
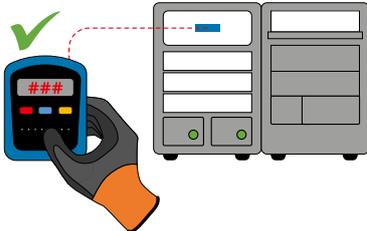
- » Abrir todas las válvulas del juego de manómetros.
- » Prender la máquina de vacío.
- » Lograr vacío de 500 micrones.
- » Cerrar la válvula del puerto 3, vacuómetro.
- » Cerrar la válvula del puerto 1, compresor.
- » Cerrar la válvula del puerto 4, filtro secador.
- » Retirar el vacuómetro.
- » Conectar la manguera del puerto 3 a la botella de refrigerante.
- » Abrir la válvula del puerto 3, máquina de vacío, para purgar la manguera.
- » Cerrar la válvula del puerto 2, máquina de vacío.
- » Apagar la máquina de vacío.
- » Tarar (ajustar a cero), la báscula.
- » Abrir la válvula del puerto 1, compresor.
- » Abrir la válvula del puerto 3, tanque, e ingresar la precarga o carga.
- » Esperar a que se carguen los gramos de refrigerante, según placa.
- » Prender el refrigerador, si igualan las presiones o no, para completar la carga.
- » Cerrar la válvula del puerto 3, 2 o 3 gramos antes de completar carga.
- » Verificar que la carga quede exacta (aceptado 1 g +/-).
- » Cerrar la válvula de la botella de refrigerante.
- » Abrir la válvula 4, de alta, para barrer la manguera (hacer by pass).
- » Cerrar la válvula 4, de alta.
- » Cerrar la válvula 1, del compresor.
- » Retirar los acoples rápidos, de alta y de baja.
- » Luego proceder a ponchar ambas tuberías:
  - Primero, la de baja con el refrigerador prendido.
  - Luego, la de alta con el refrigerador apagado.

	PASO PRINCIPAL (¿QUÉ?)	PUNTO IMPORTANTE (¿CÓMO?)	RAZÓN (¿POR QUÉ?)
1	Inicio de la carga: precarga (refrigerador apagado)	<p>Conectar el cilindro de refrigerante R-290 a la línea de servicio, puerto de carga, con la manguera amarilla, luego de finalizar la operación de vacío.</p> <p>Abrir la válvula del cilindro de refrigerante y luego la válvula del manómetro de baja.</p> <p>Regular el paso de refrigerante con la válvula del manómetro de baja hasta máximo 30 psig.</p> <p>Verificar, en todo momento, el visor de la báscula para verificar que no se excedan los gramos de R-290 determinados por el fabricante.</p>	<p>Para aprovechar la diferencia de presión debida al vacío.</p> <p>Para permitir el flujo del refrigerante ingresando al refrigerador.</p> <p>Garantizar la precarga de refrigerante para que el compresor no sufra golpes de refrigerante en las válvulas.</p>
2	Continuación de la carga (refrigerador funcionando)	<p>Graduar el termostato en máximo, abrir las puertas del refrigerador y energizar el sistema de refrigeración ya precargado.</p> <p>Regular nuevamente el paso de refrigerante con la válvula del manómetro, teniendo en cuenta el tipo de refrigerante R-290 y aplicación de congelación del refrigerador (- 20 °C), usar tablas P/T.</p> <p><b>Nota.</b> Se recomienda que la carga se haga por peso, con báscula; ahora todo refrigerador trae, en la placa, el peso establecido por el fabricante.</p>	<p>Para que el sistema empiece a trabajar.</p> <p>Para empezar a regular la carga precisa en el sistema.</p>
3	Estabilización	<p>Con una pinza amperimétrica, validar el amperaje del compresor.</p> <p>Validar presiones y temperaturas de trabajo del sistema (usar tablas P/T) para el refrigerante R-290.</p> <p>Tener como guía el cuadro de temperaturas de la página siguiente.</p>	<p>Para validar que los valores de los parámetros obtenidos coincidan con los recomendados por el fabricante.</p> <p>Garantizar que el sistema trabaje en las condiciones deseadas de acuerdo con su aplicación.</p>

GIZ			GUÍA SERVICIO TÉCNICO REFRIGERACIÓN COMERCIAL R-290		
RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290					
NO.	ACTIVIDAD	IMAGEN			
1	Alistar el kit de carga de R-290 y verificar el estado de los manómetros, las mangueras, la balanza, el cilindro de R-290, la pinza amperométrica, etc.	<p>FIGURA 88. ALISTAMIENTO DEL KIT DE CARGA DE R-290</p> <p>Fuente: elaboración propia.</p>			

## RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290

No.	ACTIVIDAD	IMAGEN
2	Conectar el cilindro a la línea de servicio del manómetro (con manguera amarilla).	<p data-bbox="675 300 1299 322">FIGURA 89. CONEXIÓN CILINDRO A LÍNEA DE SERVICIO DEL MANÓMETRO</p>  <p data-bbox="967 667 1201 689">Fuente: elaboración propia.</p>
3	Abrir la válvula del cilindro de refrigerante para hacer la precarga aprovechando el vacío.	<p data-bbox="675 730 1430 752">FIGURA 90. APERTURA DEL CILINDRO Y REALIZAR PRECARGA APROVECHANDO EL VACÍO</p>  <p data-bbox="967 1097 1201 1120">Fuente: elaboración propia.</p>
4	Verificar en el manómetro la carga, revisando la cantidad de refrigerante en gramos mostrada en el visor de la báscula.	<p data-bbox="675 1167 1425 1223">FIGURA 91. VERIFICACIÓN EN EL MANÓMETRO LA CARGA, REVISANDO LA CANTIDAD EN GRAMOS DE REFRIGERANTE MOSTRADOS EN LA BÁSCULA</p>  <p data-bbox="967 1570 1201 1592">Fuente: elaboración propia.</p>
5	Abrir las llaves del manómetro, controlando el flujo de refrigerante hasta completar la carga; cerrar la llave de carga y la válvula de servicio unos 2 o 3 gramos antes de completar el peso por fabricante.	<p data-bbox="675 1637 1054 1659">FIGURA 92. COMPLETAMIENTO DE LA CARGA</p>  <p data-bbox="967 2029 1201 2051">Fuente: elaboración propia.</p>

GIZ	GUÍA SERVICIO TÉCNICO REFRIGERACIÓN COMERCIAL R-290	
RESUMEN PROCESO DE VENTEO DE REFRIGERANTE R-290		
No.	ACTIVIDAD	IMAGEN
6	Conectar el dispositivo a una toma de 110 V, según norma IP 54.	<p>FIGURA 93. CONEXIÓN DEL DISPOSITIVO A UNA TOMA 110 V</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>
7	Verificar, en la balanza, el ingreso de la cantidad correcta de refrigerante para obtener el 100 % de la carga necesaria. Gramos de placa de fabricante.	<p>FIGURA 94. CARGA AL 100 %</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>
8	Revisión por medio de temperaturas del llenado correcto del refrigerante dentro de condensador y evaporador.	<p>FIGURA 95. REVISIÓN DEL LLENADO DENTRO DE CONDENSADOR Y EVAPADOR POR TEMPERATURA</p>  <p>Fuente: elaboración propia.</p>

#### 7.2.5.4 Proceso (PF4) puesta en marcha, estabilización

Este proceso permite verificar que se han ejecutado todas las actividades regulares de mantenimiento del circuito de refrigerante del refrigerador, aplicando las buenas prácticas de mantenimiento, (BPR), que se han mencionado en todos los procesos.

##### 7.2.5.4.1 Condiciones para la medición de temperatura durante la estabilización

- » Después de la carga, el refrigerador debe funcionar, mínimo, durante 30 minutos continuos.
- » La temperatura de los puntos A y H deben tomarse a 10 cm de la carcasa del compresor, para que la temperatura de este no afecte las mediciones tomadas en dichos puntos.

#### Tabla de valores obtenidos durante la estabilización

Se sugiere adoptar tablas similares a las mostradas a continuación, para verificar e informar los valores de los parámetros obtenidos durante la puesta en operación y estabilización del refrigerador, después de realizar el servicio técnico.

Estos valores tabulados serán también evidencia fundamental y parte del informe o entrega del refrigerador, tanto al supervisor o jefe de servicio como al cliente, de ser necesario ante reclamación.

##### Paso a paso para el sellado del sistema

- » Verificar y entrenar la presión de sellado (ponchado) del ponchatubo (hombresolo modificado) para lograr el ajuste necesario y perfecto, y asegurar que no haya fuga.
- » Sellado (ponchar) el(los) tubo(s) de proceso con el ponchatubo. Apretar dos veces, como se muestra en la foto 140. Una vez a 90° y otra a 45°.

- » Sellar el lado de baja presión, primero, en condiciones operativas del sistema (presión más baja en el tubo de proceso).
- » Sellar después el lado de alta presión, con el refrigerador en estado apagado (presión más baja en el tubo de proceso).
- » Soldar el orificio en el extremo de los tubos de proceso y sellar con material de relleno de soldadura.
- » Esperar hasta que la soldadura se enfríe y sea lo suficientemente fuerte como para quitar el ponchatubo.
- » Retirar el ponchatubo.
- » Soldar las secciones ponchadas de los tubos para mantener la resistencia de los tubos de proceso, y que no se fracturen posteriormente.
- » Limpiar todos los puntos de soldadura usando un cepillo de alambre, grata de acero, y eliminar los residuos de fundente restantes.

FOTO 140. PROCESO CON EL PONCHATUBO



Fuente: elaboración propia.

Con la carga aplicada, al refrigerador en la cantidad correcta de refrigerante y según dato del fabricante, se verifica, como parte final del servicio técnico, que queden ejecutadas correctamente todas las prácticas previas y, finalmente, verificar:

Aplicación (según presión de succión)		Temperatura aproximada de trabajo (°C / °F)
Congelación	LBP (baja)	-23 a -18 / -9,4 a -0,4
Mantenimiento en congelación (debajo de 0 °C)	CBP (comercial) MBP (media)	-7 / 19,4
Enfriamiento (encima de 0 °C)	MHBP (media, alta)	7 / 44,6
Acondicionamiento de aire	HBP (alta)	1 a 3 / 44,6

Aplicación	°C	Refrigerantes temperatura de evaporación R-290 (psig)
Congelación	-23	35,86 (-20 °C)
Mantenimiento en congelación (debajo de 0 °C)	-18	50,71 (-10 °C)

**Nota.** Las temperaturas que aparecen en el cuadro corresponden a la temperatura de evaporación del sistema, según normas técnicas.

Con el refrigerante HC, R-290,

EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL REFRIGERADOR TRABAJA EN PRESIÓN POSITIVA.



## 8. PROCEDIMIENTO DE DESINSTALACIÓN/DESMANTELAMIENTO Y GESTIÓN AMBIENTALMENTE ADECUADA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON HIDROCARBUROS

Equipos y sistemas de RC utilizados en los diferentes tipos de tiendas del país alcanzan el final de su vida útil, es decir, se vuelven obsoletos, por diversas razones: se encuentran en mal estado, son inhábiles para la función que se pretende o ha habido avances tecnológicos que han puesto en el mercado equipos con mejores prestaciones o mejor rendimiento. La desinstalación o el retiro de estos equipos y sistemas de RC pueden generar impactos directos de importancia ambiental, si su disposición no se realiza de una forma adecuada. A continuación, se describen las medidas y alternativas para reducir el impacto ambiental directo, y mejorar la gestión ambientalmente adecuada de los equipos y sistemas de RC.

Los equipos autocontenidos obsoletos o considerados residuos por el generador (tienda del país) se deben disponer de manera ambientalmente adecuada. Para lo anterior, el generador (tienda del país) solicita el servicio de disposición a una empresa con licencia para la gestión ambiental de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, la cual se encargará de ejecutar las actividades de desmantelamiento del equipo autocontenido de refrigeración comercial. El gestor será el responsable de retirar o remover (recuperar) tanto el gas refrigerante como el aceite, en cualquier condición de calidad del sistema de refrigeración, y almacenarlos en recipientes recargables externos adecuados para estas sustancias residuales. Se resalta que el gestor estará a cargo de la gestión ambientalmente racional del gas refrigerante residual que se genera a raíz de la desinstalación de los sistemas de refrigeración; para lo cual, utilizará los centros de acopio y regeneración de la Red R&R&R, ya sea para valorizar los refrigerantes residuales aptos para aprovechar o para gestionar los refrigerantes residuales no aprovechables (destrucción).

Cuando un sistema de refrigeración tipo unidad condensadora (unidades remotas y sistemas distribuidos) o sistema centralizado es obsoleto, y es considerado un residuo o desecho por parte del generador (tienda del país), se necesita disponer, de manera ambientalmente adecuada, el sistema de refrigeración. Para lo anterior, el generador (tienda del país) solicita el servicio de disposición a una empresa con licencia para la gestión ambiental de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, la cual se encargará de ejecutar las actividades de desinstalación y desmantelamiento de los sistemas de refrigeración. El gestor será el responsable *in situ*, de retirar o remover (recuperar) tanto el gas refrigerante como el aceite en cualquier condición de calidad del sistema de refrigeración, y almacenarlos en recipientes recargables externos adecuados para estas sustancias residuales.

La actividad de recuperación del gas durante la desinstalación es pertinente cuando el sistema se encuentra en el sitio de operación (*in situ*). Cuando el sistema no se encuentra en el sitio de operación, el gestor se encargará del desmantelamiento; de manera que la remoción del gas refrigerante y el aceite probablemente no se lleva a cabo, siempre y cuando el gestor se cerciore de que el sistema de refrigeración no contenga estos residuos. De nuevo, se resalta que el gestor estará a cargo de la gestión ambientalmente racional del gas refrigerante residual que se genera a raíz de la desinstalación de los sistemas de refrigeración; para ese fin, utilizará los centros de acopio y regeneración de la Red R&R&R (ver ficha anterior), ya sea para valorar los refrigerantes residuales aptos para aprovechar, o para gestionar los refrigerantes residuales no aprovechables (destrucción). Cabe aclarar que el procedimiento de retirar y remover el gas refrigerante y aceite de un sistema de refrigeración es igualmente pertinente para procesos de *drop-in*, *retrofit* y conversiones.

**Disposición de aceites lubricantes:** El aceite usado es cualquiera a base de petróleo o sintético que ha sido contaminado con residuos, metales pesados, agua u otros químicos, como los solventes que se utilizan en el proceso (Figura 89). El aceite usado no es el mismo que el aceite negro. Este último incluye los que no han sido usados, como el residuo de tanques con aceite virgen o el residuo de la limpieza de un derrame de aceite.

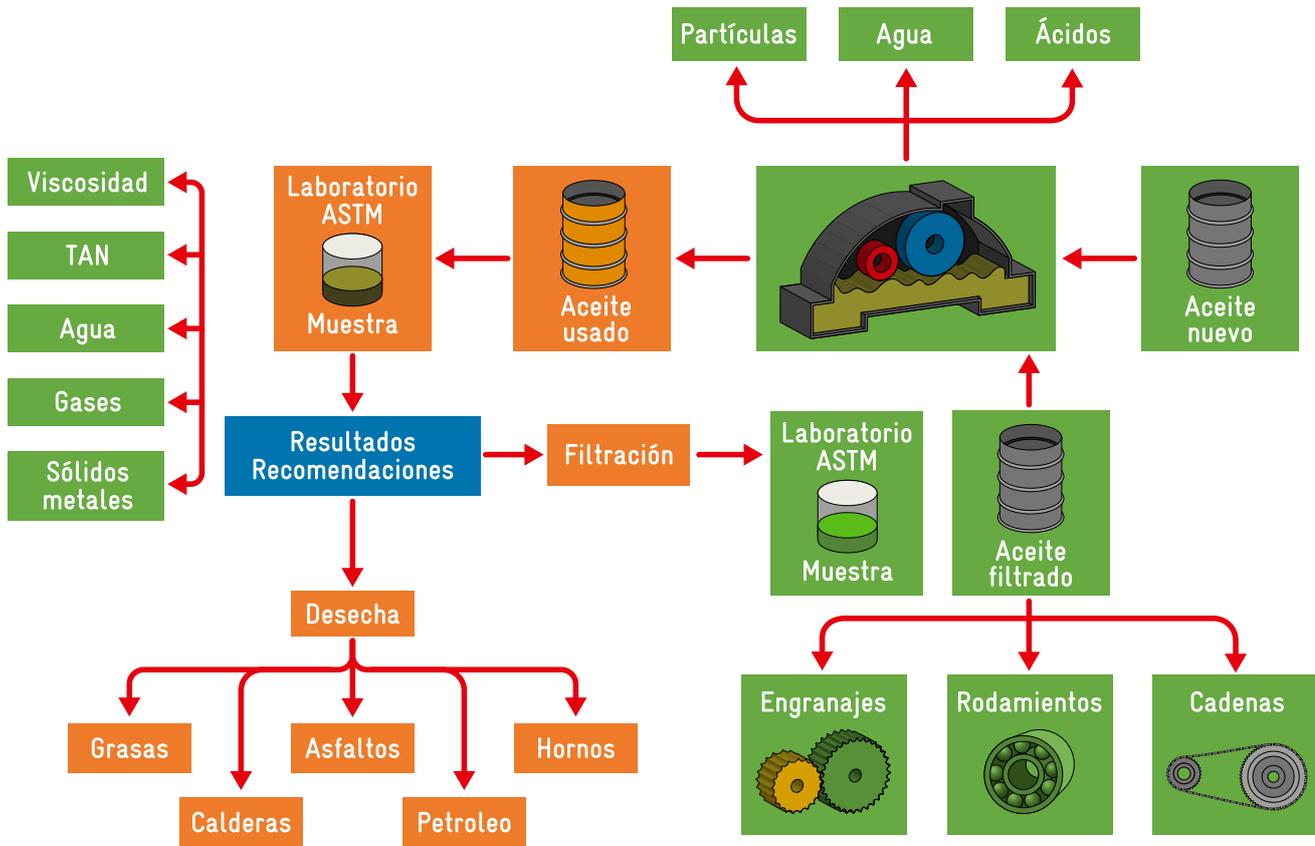
De acuerdo con la Resolución 1188 de 2003 del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, de Bogotá D. C., se definen los siguientes conceptos:

- » **Aceite usado:** Todo aceite lubricante, de motor, de transmisión o hidráulico con base mineral o sintética de desecho que, por efectos de su utilización, se haya vuelto inadecuado para el uso asignado inicialmente. Estos aceites son clasificados como residuo peligroso por el anexo I, numerales 8 y 9 del Convenio de Basilea, el cual fue ratificado por Colombia mediante la Ley 253 de 1996.
- » **Aceite usado tratado:** Todo aceite usado al cual se le han removido los componentes contaminantes de carácter físico o químico hasta niveles aceptables para su disposición técnica adecuada y el uso ambientalmente razonable.
- » **Disposición final:** Eliminación de aceites usados mediante procesos de combustión, incineración, biorremediación o encapsulamiento que cumplan con las normatividades y especificaciones ambientales y de seguridad que existan o se impongan.

» **Residuo o desecho peligroso:** Aquel que por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radioactivas o reactivas puede deteriorar la calidad ambiental hasta niveles que causen riesgo a la salud humana. También son residuos peligrosos aquellos que, sin serlo en su forma original, se transforman por procesos naturales en residuos peligrosos. Así, se consideran residuos peligrosos, los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

Con base en esta normatividad, debe tenerse en cuenta que la manipulación de aceites debe seguir los procedimientos que impidan generar daños al ambiente y a las personas; esto incluye las actividades relacionadas con recambios, transporte o movilización de aceites, utilización de aceites usados o disposición de residuos de estos (Figura 96), actividad que debe ser realizada por empresas, instituciones o personas debidamente avaladas por las autoridades ambientales, para tal fin.

FIGURA 96. PROCESOS INVOLUCRADOS PARA LA DISPOSICIÓN DE LOS ACEITES USADOS



Fuente: elaboración propia basado en Chevron (2017).

## 9. RECOMENDACIONES PARA EL PROPIETARIO DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CON HIDROCARBUROS

El fabricante o el instalador debe proporcionar un número apropiado de manuales de instrucción o folletos, así como las instrucciones de seguridad. Los manuales de instrucción para los equipos deben suministrarse en el idioma (o idiomas) del país en el que se usará el equipo.

El manual de instrucciones debe incluir al menos la siguiente información, si es relevante:

- a) El propósito del sistema.
- b) La descripción de la maquinaria y el equipo.
- c) El diagrama esquemático del sistema de refrigeración y el diagrama de circuitos eléctricos.
- d) Las instrucciones de encendido, suspensión y reposo del sistema, y de sus partes.
- e) Las instrucciones respecto a la eliminación de fluidos y equipos operativos.
- f) Las causas de los defectos más comunes y las medidas a tomar; por ejemplo, instrucciones sobre la detección de fugas por parte del personal autorizado, y la necesidad de contactar técnicos de mantenimiento competentes en caso de fuga o avería.
- g) Las precauciones que deben tomarse para prevenir el congelamiento de agua en los condensadores, enfriadores, etc., a bajas temperaturas ambiente o debido a la reducción normal en la presión/temperatura del sistema.
- h) Las precauciones al levantar o transportar los sistemas o partes de ellos.
- i) Toda la información mostrada en la documentación del sitio de operación, de ser necesario.
- j) Una referencia sobre medidas de protección, implementos de primeros auxilios y procedimientos a seguir, en caso de emergencia; por ejemplo: fuga, incendio o explosión.
- k) Las instrucciones para el mantenimiento de todo el sistema, con un cronograma para el mantenimiento preventivo relacionado con las fugas (NTC 6228-4).
- l) Las instrucciones respecto a la carga y descarga del refrigerante.
- m) Las instrucciones relacionadas con el manejo del refrigerante y los riesgos asociados a este.
- n) Las instrucciones concernientes al funcionamiento y mantenimiento del equipo de seguridad, protección y primeros auxilios, dispositivos de alarma y lámparas de indicación.
- o) Una guía para elaborar el libro de registro.
- p) Los certificados exigidos.

### 9.1 EQUIPOS AUTOCONTENIDOS

El manual de usuario o las instrucciones de uso deben estar localizadas para poder realizar una buena instalación y un uso adecuado del equipo.

Una de las primeras operaciones, después de desembalar, es limpiar la cámara con agua y jabón neutro. La unidad condensadora debe limpiarse periódicamente, manteniéndola libre de cuerpos extraños. Para su limpieza, se recomienda utilizar un cepillo de pelo duro (no de acero), y si no se tuvieran los medios necesarios, avisar al servicio técnico para realizar la limpieza. De esta manera, se conseguirá mantener el buen rendimiento de grupo frigorífico.

Efectuar la operación de limpieza del condensador para su buen rendimiento. La limpieza exterior debe realizarse a diario utilizando agua jabonosa, ya que los restos de comidas y grasas pueden perjudicar los componentes del mueble. No dañar el circuito de refrigeración durante la limpieza, ya que puede ocasionar graves consecuencias. No se aconseja utilizar productos agresivos, como lejías, ácidos, entre otros.

El mantenimiento debe realizarlo personal cualificado. Las operaciones de mantenimiento las determinan las condiciones del local, así como las de su uso. Los elementos a tener en cuenta son: la limpieza del condensador y de los lugares donde se acumulen restos de alimentos o líquidos a los que no se llegue en la limpieza diaria.

El equipo deben usarlo personas adultas, y solo personal cualificado exclusivamente puede manipularlo. El fabricante generalmente no se responsabiliza de los daños causados por el uso indebido o por reparaciones no autorizadas. Estos equipos son pesados; por lo tanto, deben tomarse las precauciones debidas para su instalación.

El mueble debe conectarse directamente a la toma de tierra, para su protección contra descargas eléctricas. El cable de toma de tierra no debe ser cortado ni modificado. Es preciso asegurarse de que el cable de conexión eléctrica no quede atrapado debajo del equipo, ni esté en contacto con el motor. En caso de que el cable esté dañado, el fabricante debe sustituirlo, por el servicio posventa o por personal cualificado, con el fin de evitar riesgos. En caso de que fuera necesario realizar algún trabajo eléctrico o mecánico para instalar o hacer mantenimiento del aparato, este debe realizarlo personal cualificado. No se puede olvidar desconectar la vitrina antes de efectuar cualquier reparación, mantenimiento u operación de limpieza.

Para un buen rendimiento, el local donde vaya a ser instalado el aparato deberá tener una ventilación adecuada, una temperatura no superior a 32 °C (clase climática 4).

Este equipo está dotado de un circuito de refrigeración, no debe resultar dañado por ninguna operación de limpieza o mantenimiento. Utilizar el equipo exclusivamente según la función para la cual se ha diseñado y con las condiciones de trabajo especificadas en el manual.

Revisar la carga máxima del estante (generalmente 2 kg por bandeja), únicamente referida al aspecto mecánico.

La fuente de luz debe reemplazarse por el tipo y la potencia que se indican sobre el producto en zona de la luminaria. Dicha fuente de luz debe ser reemplazada únicamente por el fabricante, su servicio técnico o persona cualificada equivalente.

#### Indicaciones y advertencias específicas para aparatos que utilizan gases inflamables:

- » No almacenar en este aparato sustancias explosivas, como latas de aerosol con un propelente inflamable.
- » Mantener libres de obstrucciones todas las aberturas de ventilación en la envolvente del aparato o en la estructura de encastre.
- » No utilizar dispositivos mecánicos u otros medios para acelerar el proceso de descongelación, distintos a los recomendados por el fabricante.
- » No dañar el circuito de fluido refrigerante.
- » No utilizar aparatos eléctricos en el interior de los compartimentos destinados a la conservación de alimentos, a menos que sean del tipo recomendado por el fabricante.

## 9.2 UNIDADES REMOTAS, SISTEMAS DISTRIBUIDOS Y CENTRALIZADOS

### Instrucciones de reparación de aparatos que contienen R-290

**1. Comprobaciones de la zona:** Antes de empezar a trabajar en sistemas que contengan refrigerantes inflamables, es necesario realizar comprobaciones de seguridad para minimizar el riesgo de ignición. Para reparar el sistema de refrigeración, deberán adoptarse las siguientes precauciones, antes de realizar los trabajos en el sistema.

**2. Procedimiento de trabajo:** El trabajo se llevará a cabo bajo un procedimiento controlado para minimizar el riesgo de que haya gases o vapores inflamables durante las tareas de mantenimiento.

**3. Zona de trabajo general:** Todo el personal de mantenimiento y demás personas que trabajen en la zona local deberán recibir instrucciones sobre la naturaleza del trabajo que se va a realizar. Se debe evitar trabajar en espacios confinados.

**4. Comprobación de la presencia de refrigerante:** La zona se comprobará con un detector de refrigerante adecuado antes y durante el trabajo, para asegurarse de que el técnico es consciente de la existencia de atmósferas potencialmente tóxicas o inflamables. Es necesario asegurarse de que el equipo de detección de fugas que se utiliza es adecuado para su uso con todos los refrigerantes aplicables; es decir, que no produce chispas, está suficientemente sellado o es intrínsecamente seguro.

**5. Presencia de un extintor de incendios:** Si se va a realizar algún trabajo en caliente en el equipo de refrigeración o en cualquiera de las piezas asociadas, debe tenerse a mano un equipo de extinción de incendios adecuado. Se debe contar con un extintor de polvo seco o CO<sub>2</sub> junto a la zona de carga.

**6. Ausencia de fuentes de ignición:** Ninguna persona que realice trabajos relacionados con un sistema de refrigeración que implique exponer tuberías, debe utilizar fuentes de ignición de forma tal que pueda producirse un riesgo de incendio o explosión. Todas las fuentes de ignición posibles, incluido fumar cigarrillos, deben mantenerse suficientemente alejadas del lugar de instalación, reparación, retirada y eliminación; operaciones durante las cuales es posible que se libere gas refrigerante al espacio circundante. Antes de iniciar los trabajos, la zona de alrededor del equipo debe inspeccionarse, para comprobar que no haya peligros de incendio o combustión. Deben colocarse carteles de «NO FUMAR».

**7. Zona ventilada:** Es necesario asegurarse de que la zona esté al aire libre o suficientemente ventilada antes de entrar en el sistema o de realizar cualquier trabajo en caliente. Debe mantenerse cierto grado de ventilación durante la realización del trabajo; la ventilación debe dispersar con seguridad el refrigerante liberado y, de ser posible, expulsarlo externamente a la atmósfera.

**8. Comprobaciones en el equipo de refrigeración:** Cuando se cambien componentes eléctricos, deben ser aptos para el fin previsto y cumplir con las especificaciones. En todo momento, deben respetarse las instrucciones de mantenimiento y servicio del fabricante; en caso de duda, hay que contactar al departamento técnico del fabricante para solicitar ayuda. En las instalaciones que utilicen refrigerantes inflamables, deben realizarse las siguientes comprobaciones:

- » La carga real de refrigerante debe ser acorde con el tamaño de la sala en la que están instaladas las piezas que contienen refrigerante.
- » Los mecanismos y salidas de ventilación deben funcionar adecuadamente y no estar obstruidos.
- » Si se utiliza un circuito de refrigeración indirecto, debe comprobarse la presencia de refrigerante en el circuito secundario.
- » Las marcas de señalización del equipo deben seguir siendo visibles y legibles; las marcas y signos ilegibles deben corregirse.
- » El tubo o los componentes de refrigeración deben estar instalados en una posición en la que sea improbable que queden expuestos a cualquier sustancia que pueda corroer los componentes que contienen refrigerante, a menos que dichos componentes estén fabricados con materiales intrínsecamente resistentes a la corrosión o protegidos adecuadamente contra la misma.

**9. Comprobaciones en los dispositivos eléctricos:** Entre las tareas de reparación y mantenimiento de los componentes eléctricos, se incluyen comprobaciones iniciales de seguridad y procedimientos de inspección de los componentes. Si se detecta un fallo que pueda comprometer la seguridad, no debe conectarse alimentación eléctrica al circuito hasta que se haya solucionado satisfactoriamente. Si el fallo no puede corregirse inmediatamente, pero es necesario continuar con el funcionamiento, debe adoptarse una solución temporal adecuada.

Se comunica al propietario del equipo para que todas las partes estén informadas. Las comprobaciones iniciales de seguridad incluyen:

- » Comprobar que los condensadores están descargados: Esto se hace de manera segura para evitar la posibilidad de que se produzcan chispas.
- » Comprobar que no queden expuestos componentes y cables eléctricos con tensión durante la carga, recuperación o purga del sistema.
- » Comprobar que haya continuidad en la conexión a tierra.

**10. Reparación de componentes sellados:** Durante la reparación de componentes sellados, debe desconectarse la alimentación eléctrica del equipo en el que se esté trabajando antes de retirar las cubiertas selladas, etc. Si es absolutamente necesario que el equipo tenga alimentación eléctrica durante la reparación, debe colocarse algún tipo de detección de fugas que funcione permanentemente en el punto más crítico, para advertir de una situación potencialmente peligrosa.

Para garantizar que al trabajar con componentes eléctricos no se altere la carcasa de forma que afecte al nivel de

protección, se debe prestar atención especial a daños en los cables, excesivo número de conexiones, terminales no ajustados a la especificación original, daño en las juntas, montaje incorrecto de casquillos pasacalles, etc.

Es necesario asegurarse de que el aparato está montado de forma segura, las juntas o los materiales de sellado no se han degradado al punto de que ya no sirvan para evitar la entrada de atmósferas inflamables. Las piezas de repuesto deben cumplir las especificaciones del fabricante.

**11. Reparación de componentes intrínsecamente seguros:** No se debe aplicar carga inductiva o capacitiva permanente al circuito sin asegurarse de que no se superará la tensión y la corriente permitidas para el equipo en uso. Los componentes intrínsecamente seguros son los únicos en los que se puede trabajar mientras tienen tensión en presencia de una atmósfera inflamable. El aparato de pruebas debe tener la capacidad nominal correcta. Hay que sustituir los componentes exclusivamente por piezas especificadas por el fabricante; otros tipos de piezas pueden provocar la ignición del circuito.

## 10. REFERENCIAS

- ACRIB. (2001). *Guidelines for the use of Hydrocarbon Refrigerants in Static Refrigeration and Air*. ACRIB. <https://n9.cl/hz1bl>
- ASHRAE. (2013). *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. ASHRAE. <https://n9.cl/tc1rwo>
- ASHRAE. (2019). *Designation and Safety Classification of Refrigerant [ANSI/ASHRAE Standard 34-2019]*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. <https://n9.cl/0x94pf>
- Bitzer. (septiembre de 2022). *Óleos para refrigerante R290 (propano)*. <https://n9.cl/eixi0j>
- Caloryfrio.com. (julio de 2022). *Aceites para compresores de refrigeración y aire acondicionado*. <https://n9.cl/voiso>
- Carrier. (agosto de 2022). *Tenor CO2 Air-Cooled Gas Cooler*. <https://n9.cl/eondaz>
- Colbourne, D. (2018). *Normas internacionales de seguridad para los sistemas de aire acondicionado, refrigeración y bombas de calor*. GIZ. <https://n9.cl/4xg4c>
- CoolProp. (agosto de 2022). *CoolProp*. <http://www.coolprop.org/>
- Danfoss. (julio de 2022). *Optyma 114F3500*. <https://n9.cl/j0j4p>
- Diego, S. (abril de 2021). *Tienda D1. 3D Warehouse Trimble Inc*. <https://n9.cl/yetplk>
- Fluke. (s. f). *Linterna ultravioleta Fluke RLD2 para sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado*. <https://n9.cl/n5uom>
- Icontec. (2019). *NTC 6228-1: 2019 - Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 1: Definiciones, clasificación y criterio de selección*. Icontec. <https://n9.cl/mnzxlz>
- Imbera. (2022). *Minimercados*. <https://n9.cl/gy8ul4>
- Infrico. (2025). *Catálogo 2025 Infrico*. <https://infrico.com/>
- Intarcon. (2022). *Refrigeración sostenible en cocinas industriales y supermercados con R-290*. <https://n9.cl/eyzem>
- Martínez, I., González, J., Corberán, J., & Royo, R. (2011). Oil type influence on the optimal charge and performance of a propane chiller. *International Journal of Refrigeration*, 34, 1000-10007. <https://n9.cl/hch6p>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]. (septiembre de 2021). *Historias del Ozono. Referentes de seguridad y medioambientales para sistemas de refrigeración. Serie de normas NTC 6228 Boletín n.º 1 (pp. 8-11)*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]. (2022). *Sector de refrigeración y acondicionamiento de aire*. <https://n9.cl/xl3gmz>
- Salazar, J. (2017). *Almacenamiento y manejo de lubricantes. Chevron*. <https://n9.cl/ltg18>
- Sanabria. (julio de 2022). *Modelado del interior del Supermercado Carulla. 3D Warehouse Trimble Inc*. <https://n9.cl/khur4>

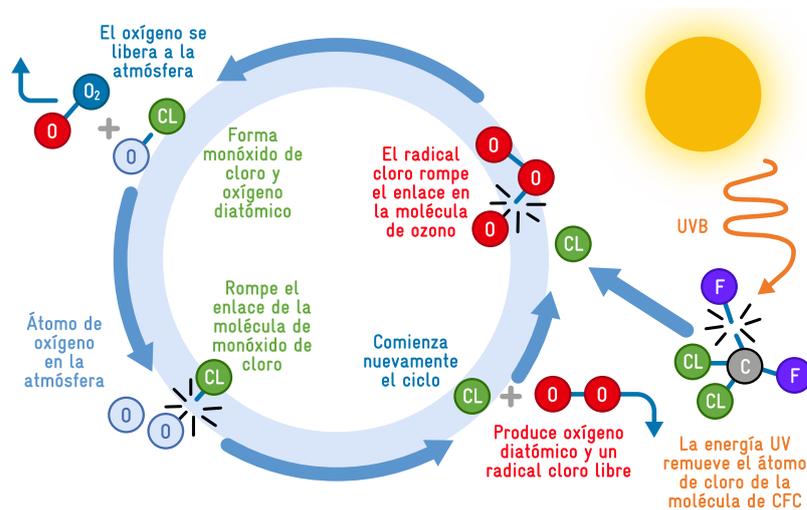
# 11. ANEXOS

## ANEXO A. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO AL USO DE LOS REFRIGERANTES

Como se ha señalado, los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) son una familia de compuestos orgánicos sintéticos derivados del metano o del etano, en los que todos o algunos de los átomos de hidrógeno se han sustituido por átomos de flúor, cloro o bromo; lo cual aporta una enorme estabilidad a la molécula, por lo que tuvieron un amplio uso en los sistemas RAC. Estas sustancias forman parte del grupo de compuestos conocidos como sustancias agotadoras de ozono (SAO).

A causa de dicha estabilidad, estas moléculas tienen una elevada permanencia en la atmósfera, y cuando las SAO acceden a la estratosfera, ocurre la problemática principal. En principio, el intercambio gaseoso entre troposfera y estratosfera es reducido; pero esa permanencia permite que, finalmente, las SAO accedan a esa última capa donde ocurren reacciones fotoquímicas promovidas por luz ultravioleta incidente, lo que favorece la descomposición de esas moléculas. En esta reacción, se liberan los átomos de halógenos —principalmente cloro, pero también flúor y bromo— ocurriendo la destrucción del ozono presente en la estratosfera.

FIGURA A-1. PROCESO DE DESTRUCCIÓN DEL OZONO EN LA ESTRATOSFERA



Fuente: elaboración propia.

El ozono (O<sub>3</sub>) es un gas incoloro, inestable, de olor característico que está presente en la atmósfera terrestre de manera natural. Las moléculas de ozono son químicamente idénticas, cada una con tres átomos de oxígeno; pero su concentración varía con la altura: el ozono de la estratosfera nos protege de la radiación ultravioleta del Sol, mientras que el ozono presente en la troposfera tiene efectos tóxicos sobre los seres vivos.

Se denomina capa de ozono a la concentración máxima de ozono presente en la atmósfera terrestre de manera natural. Esta capa está ubicada en la estratosfera, por encima de los 15 km de altura, y rodea a la Tierra como un tenue manto esencial para la vida en la superficie del planeta, porque actúa como un escudo protector ante los peligrosos rayos ultravioleta del Sol.

El efecto directo que ocasiona la reducción de la concentración estratosférica de ozono es un incremento de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, lo cual origina afecciones sobre la salud humana (aumento de determinadas afecciones oculares, como cataratas, y de

la incidencia de cáncer de piel y debilitamiento del sistema inmunológico), y sobre los ecosistemas, tanto terrestres como marinos; fundamentalmente, un descenso en la productividad primaria y una mayor incidencia de necrosis en vegetales, con las consiguientes afecciones secundarias sobre las diferentes redes tróficas y sobre determinados sectores económicos que, en concreto, se traducirían en una menor producción pesquera y agrícola.

Hacia 1980, la comunidad científica mundial demostró el daño que ciertos productos químicos (denominados SAO) le hacen a la capa de ozono, debido a su alta persistencia en la atmósfera y a la comprobada acción del cloro libre sobre las moléculas de ozono.

En 1981, a partir de la creación de un grupo de trabajo conformado por expertos y técnicos para elaborar lineamientos tendientes a proteger la capa de ozono, nace el Convenio de Viena, el cual se convirtió en el primer mecanismo internacional para proteger la salud de las personas y el ambiente, a raíz de los daños detectados en la capa de ozono.

En septiembre de 1987, 196 países firmaron el Protocolo de Montreal (PM), relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, con el fin de establecer plazos máximos para la eliminación de la producción y consumo de las sustancias agotadoras de la capa de ozono. El PM entró en vigencia en enero de 1989.

El PM controla eficazmente el uso de CFC y HCFC que agotan la capa de ozono. El cronograma para la reducción mundial de los CFC se completó en 2010. Los HCFC, inicialmente utilizados como sustitutos de los CFC, se han prohibido en la mayoría de los países no incluidos en el artículo 5 ("desarrollados") desde 2010; pero siguen siendo ampliamente utilizados en los países ("en desarrollo") del artículo 5, donde deben ser eliminados gradualmente antes de 2030.

El calentamiento global es un efecto generado, principalmente, por la emisión de gases de combustión; los cuales, al acumularse en la atmósfera, actúan como un blindaje de la radiación infrarroja —en lo que, comúnmente, se conoce como efecto invernadero— atrapando parte de dicha radiación y provocando un aumento de la temperatura del planeta. Como causa directa de este efecto, se presenta la alteración en el clima, afectación de los ciclos hídricos, las lluvias y la disponibilidad del agua, así como cambios abruptos de temperatura y de presión en la atmósfera.

Además de los problemas que presentan los CFC y HCFC en relación con la capa de ozono, también existen estudios que demuestran la incidencia de sus compuestos, así como de los HFC, en el efecto invernadero y el calentamiento global. Este problema ya quedó recogido también en el PM. En la Conferencia de las Partes (COP 3) de Kioto (1997), sobre el cambio climático, se acordó establecer controles sobre otras sustancias con efecto invernadero no recogidas en acuerdos anteriores.

El uso creciente de equipos RAC conduce a aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI; en inglés GHG: Greenhouse Gas) debido a dos razones: primera, la mayoría de las aplicaciones RAC consumen electricidad generada, en parte, a través de combustibles fósiles; lo que resulta en grandes cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub> (emisiones indirectas). Segunda, la mayoría de las aplicaciones utilizan gases fluorados (HCFC o HFC) como refrigerantes para transferir el calor. Dado que estos gases se escapan, por ejemplo, durante el servicio o cuando se descarta un aparato, también causan emisiones considerables (emisiones directas).

Aunque los HCFC se habían utilizado, inicialmente, como sustitutos de los CFC, fueron reemplazados cada vez más por los HFC del PM, predominantemente, como refrigerantes en el sector de RAC. Aunque los HFC no tienen potencial de agotamiento de la capa de ozono, tienen un considerable potencial de calentamiento global. Sin regular, en la producción y el consumo de HFC, las emisiones resultantes contribuirían sustancialmente a las emisiones mundiales de GEI. Conscientes de este hecho, las partes del Protocolo de Montreal acordaron, durante la Reunión de las Partes de Kigali (MOP 28), en octubre de 2016, la reducción global de los HFC.

La Enmienda de Kigali al MP, que comprende diferentes líneas de base, fechas de congelación y calendarios de reducción de la producción de HFC para varios grupos de países, entró en vigor a principios de 2019.

El índice más significativo de medición es el potencial de calentamiento global (PCG; en inglés, GWP: Global Warming Potential), que trata de cuantificar el efecto invernadero en función de dos factores: la vida media en la atmósfera y las propiedades de absorción de energía infrarroja del gas. El hecho de que en estas sustancias siempre hay enlaces C-F, que absorben gran cantidad de energía en la región de infrarrojo (IR), hace que tengan gran contribución al efecto invernadero, aun en pequeñas cantidades.

El índice del PCG se basa en la eficiencia radiactiva (capacidad de absorber calor) de cada gas relativa al dióxido de carbono, así como en la velocidad de descomposición de cada uno (la cantidad eliminada de la atmósfera en un número dado de años) relativa a la del CO<sub>2</sub>. Este indicador ofrece una vía para convertir las emisiones de diferentes GEI en una medida común que permita a los analistas del clima integrar los impactos radiactivos de varios GEI en una medida uniforme denominada equivalentes en carbón o dióxido de carbono. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el PCG tiene típicamente una incertidumbre en su determinación de 35%.

Como la degradación del CO<sub>2</sub> en la atmósfera sigue un mecanismo diferente al de otros GEI, los tiempos de vida juegan un papel importante en los valores del PCG. Las partes del Convenio marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) han estado de acuerdo en usar los PCG basados en un tiempo de 100 años.

La vida media en la atmósfera de una sustancia es el tiempo necesario para que la concentración original de esa sustancia en la atmósfera disminuya a la mitad, por acción de las transformaciones químicas o por remoción.

Cuando la presencia de una sustancia en la atmósfera es larga, se dice que esa sustancia es estable, muy persistente, y que sus efectos dañinos seguirán sucediendo con la misma intensidad. Por ejemplo: si un CFC particular tiene una vida media de 100 años, significa que la emisión de una pequeña cantidad de este refrigerante tomará cerca de 700 años hasta que sus efectos ambientales sean despreciables. Por lo tanto, para la sustitución de refrigerantes, es importante elegir sustancias con una vida media corta, ya que aseguran un menor impacto ambiental.

Los gases que tienen un tiempo de vida más largo permanecen en la atmósfera por periodos más prolongados y, en consecuencia, pueden afectar al clima. En la tabla A-1 se indica el tiempo de vida de distintos halocarbonos y sustancias sustitutivas.

TABLA A-1. VIDA MEDIA DE ALGUNOS REFRIGERANTES COMUNES

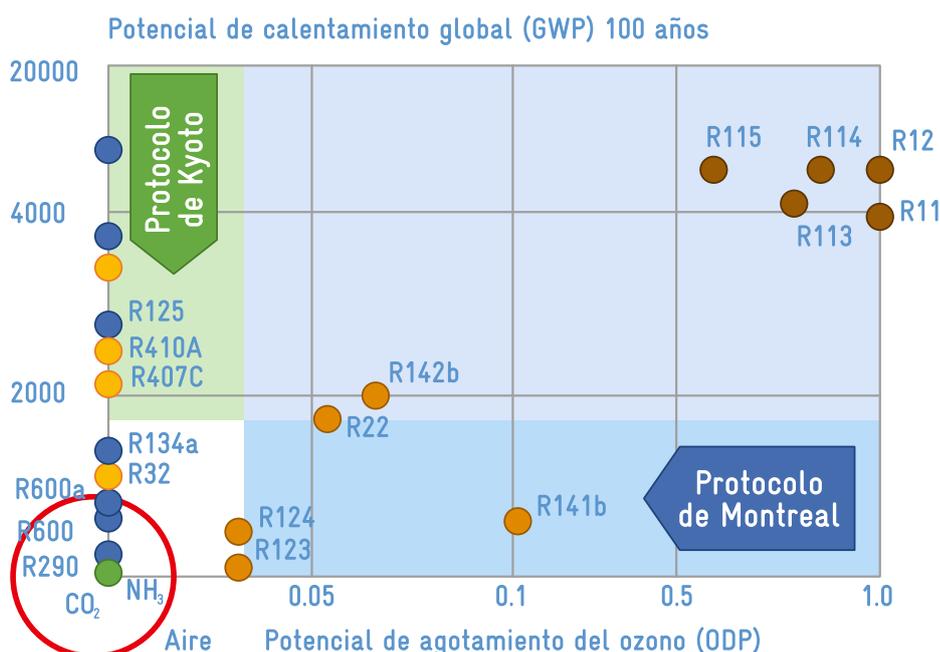
NOMBRE	VIDA MEDIA (AÑOS)	NOMBRE	VIDA MEDIA (AÑOS)
CFC		Hidrocarburos	
R-11	45	R-170	<1
R-12	100	R-290	<1
HCFC		R-600a	<1
R-22	11,8	Inorgánicos	
R-123	1,4	Agua	-
R-141b	9,2	Amoniac	<1
HFC		Dióxido de carbono	20
R-23	260		
R-134a	13,8		

Fuente: elaboración propia con base en información técnica pública.

La mayoría de los CFC se eliminan de la atmósfera en escalas temporales que van de los 50 a los 100 años, con excepción del R-23 que tiene una vida de 270 años. Los HCFC y los HFC se eliminan de manera eficiente de la troposfera, mediante procesos de oxidación de la química atmosférica. En consecuencia, su tiempo de vida oscila entre un año y algunos decenios.

La mayoría de los gases de halocarbonos tienen una vida lo suficientemente larga como para mezclarse en toda la atmósfera antes de ser destruidos. Por lo tanto, sus relaciones de mezcla son prácticamente constantes en toda la troposfera. En cambio, el tiempo de vida del amoniac y los compuestos orgánicos oscila, en general, entre días y semanas, lo que hace que su distribución sea variable, tanto en el espacio como en el tiempo.

FIGURA A-2. MATRIZ PCG/PAO



Fuente: elaboración propia.

## ANEXO B. REFRIGERANTES NATURALES

**Refrigerantes inorgánicos:** Son compuestos químicos o combinaciones de los elementos de la tabla periódica que no contienen carbono, excepto el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los refrigerantes inorgánicos más comunes son el agua R-718, el amoníaco R-717 y el dióxido de carbono R-744; además de los presentados en la tabla B-1.

TABLA B-1. VIDA MEDIA DE ALGUNOS REFRIGERANTES COMUNES

NÚMERO R	COMPONENTES	PAO	PCG	SEGURIDAD
R702	Hidrógeno normal (H <sub>2</sub> )	0	-	A3
R704	Helio (He)	0	-	A1
R717	Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0	0	B2
R718	Agua (H <sub>2</sub> O)	0	0	A1
R729	Aire (78 %, N <sub>2</sub> /21 %, O <sub>2</sub> /Ar 0,9 %/ CO <sub>2</sub> 0,04 %/otros 0,06 %)	0	-	A1
R744	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0	1	A1
R764	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0	300	B1

Fuente: elaboración propia con base en información técnica pública.

**Agua R-718:** Como refrigerante primario, el agua es utilizada en los procesos de refrigeración por absorción, acompañado del bromuro de litio o amoníaco en máquinas de aire acondicionado, y como absorbedor acompañado del amoníaco en máquinas de refrigeración. El agua es una opción refrigerante atractiva porque no es tóxica ni inflamable; sin embargo, es un refrigerante que funciona a muy baja presión.

**Amoníaco R-717 (NH<sub>3</sub>):** Este gas incoloro, corrosivo, irritante, tóxico y de olor sofocante se emplea como refrigerante en la industria en general. Aunque no afecta metales ferrosos, como el aluminio y el bronce fosfórico, en presencia de humedad, destruye los metales no ferrosos (como el zinc, el cobre y sus aleaciones). Por sus cualidades termodinámicas, el amoníaco es uno de los mejores refrigerantes debido a que tiene más alto coeficiente de transferencia de calor.

**Dióxido de carbono R-744 (CO<sub>2</sub>):** Gas incoloro e incombustible, el R-744 tiene varias propiedades convenientes como refrigerante: disponibilidad, bajo PCG, baja toxicidad y

costo reducido. Aunque se le atribuye una baja eficiencia energética, es usado como refrigerante alternativo, especialmente, en grandes compañías con amplios programas ambientales.

**Isobutano R-600a (isobutano):** Gas licuado, comprimido, incoloro, de olor característico; es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo con posible ignición en punto distante. Es uno de los principales sustitutos de los CFC y HFC, especialmente, en el sector doméstico.

**Etano R-170 (etano):** Gas refrigerante inflamable en condiciones estándar; es incoloro e inodoro, no daña la capa de ozono y su efecto invernadero es muy pequeño. Se utiliza, principalmente, en equipos de refrigeración de baja o muy baja temperatura, y es compatible con lubricantes convencionales.

**Propileno R-1270 (propileno):** Compuesto orgánico adecuado para uso en aplicaciones de refrigeración de temperatura media o baja; no es tóxico, con cero ODP y muy bajo GWP.

## ANEXO C. ORGANIZACIONES INTERNACIONALES Y NACIONALES DE NORMALIZACIÓN Y ESTÁNDARES PARA REFRIGERACIÓN

Las principales organizaciones internacionales y regionales de normalización son: Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), Organización Internacional de Normalización (ISO) y Comisión Panamericana de Normas Técnicas (Copant).

Algunos organismos internacionales de normalización, especialmente de Estados Unidos, tienen un alcance e influencia tales que, en la práctica, pueden considerarse organizaciones regionales o internacionales. Es el caso de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), el Instituto Nacional de Normalización de los Estados Unidos (ANSI), el Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (AHRI), la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) y Underwriters Laboratories (UL).

En Colombia, el Subsistema Nacional de la Calidad (Sical) es un arreglo de instituciones, creado por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo para conformar una infraestructura de la calidad en Colombia. Desde los ámbitos público y privado, lideran actividades y políticas en materia de normalización, reglamentación técnica, acreditación, evaluación de la conformidad, metrología y vigilancia y control.

El Sical está conformado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec), el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) y el Instituto Nacional de Metrología (INM). También lo integran los ministerios y las autoridades descentralizadas del orden nacional que emiten reglamentos técnicos. Las entidades

de vigilancia y control, como la SIC, el Invima, el ICA y el Ideam, también forman parte del Sical, así como los laboratorios, los organismos de certificación y aquellos de inspección que adelantan actividades de evaluación de la conformidad. Las empresas y los consumidores son los eslabones finales de esta infraestructura.

Las normas técnicas (NT) son documentos voluntarios, solo de carácter obligatorio si son adoptados por actos administrativos en reglamentos técnicos (RT); son accesibles al público y elaboradas mediante consenso de las partes interesadas, deben ser basadas en los resultados de la experiencia y el desarrollo tecnológico a nivel mundial para ser aprobadas por un organismo reconocido.

Los tipos de NT del sector de refrigeración y aire acondicionado (RAC) pueden agruparse en cuatro categorías principales:

- » **Normas de seguridad y ambientales.** Para el diseño, la fabricación y la instalación de productos y sistemas de RAC.
- » **Normas de rendimiento.** Para determinar la eficiencia y el rendimiento de los sistemas y equipos de RAC, así como de los refrigerantes.
- » **Normas sobre prácticas.** Para determinar conocimientos y orientar a los técnicos hacia las mejores prácticas a la hora de manipular sistemas de RAC y refrigerantes.
- » **Normas de calidad.** Pueden ser generales y aplicarse a cualquier industria, así como a procesos que impliquen la utilización de refrigerantes, tales como producción, contabilidad, certificación, formación, etc.

TABLA C-1. NORMAS INTERNACIONALES

NORMA INTERNACIONAL	TEMA	V <sup>2</sup>	H <sup>3</sup>	DESCRIPCIÓN
ISO 23953-1:2015	Vitrinas refrigeradas. Parte 1: Vocabulario.	X		Establece un vocabulario de términos y definiciones relativas a las vitrinas refrigeradas utilizadas para la venta y exhibición de productos alimenticios.
ISO 23953-2:2015	Vitrinas refrigeradas. Parte 2: Clasificación, requisitos y condiciones de ensayo.	X		Especifica los requisitos para la construcción, características y desempeño de las vitrinas refrigeradas utilizadas en la venta y exhibición de productos alimenticios.
IEC 60335-2-89:2019	Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-89: Requisitos particulares para aparatos de refrigeración para uso comercial con una unidad de condensación de fluido refrigerante o un compresor incorporado o a distancia.	X		Define requisitos de seguridad para aparatos frigoríficos comerciales accionados eléctricamente que llevan incorporado un motocompresor o que se suministran en dos unidades para su montaje como un solo aparato, de acuerdo con las instrucciones.
ANSI/ASHRAE	Standard 72-2022: Método de prueba de refrigeradores y congeladores comerciales abiertos y cerrados.	X		Sobre los tipos de refrigeradores y congeladores comerciales abiertos y cerrados utilizados para exhibir o almacenar productos para los cuales se requiere o desea refrigeración.

NORMA INTERNACIONAL	TEMA	V <sup>2</sup>	H <sup>3</sup>	DESCRIPCIÓN
UL 471 - 2010	Refrigeradores y congeladores comerciales.	X		Refrigeradores y congeladores comerciales.
AHRI 1201 (SI/2013)	Clasificación de rendimiento de exhibidores refrigerados comerciales y gabinetes de almacenamiento.	X		Sobre los exhibidores refrigerados comerciales y gabinetes de almacenamiento, siempre que estén equipados y diseñados para funcionar con sistemas eléctricos de expansión directa.
ISO 5149-1:2014	Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.		X	Definiciones, clasificación y criterio de selección.
ISO 5149-2:2014	Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.		X	Diseño, construcción, realización de ensayos, marcado y documentación.
ISO 5149-3:2014	Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.		X	Sitio de instalación.
ISO 5149-4:2014	Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medio ambientales.		X	Operación, mantenimiento, reparación y recuperación.
ANSI/ASHRAE	Standard 15-2019		X	Estándar de seguridad para sistemas de refrigeración.
ISO 817:2014	Refrigerantes			Designación y clasificación de seguridad.
ANSI/ASHRAE	Standard 34		X	Designación y clasificación de seguridad de los refrigerantes.
ASTM E681	Método de prueba estándar			Método de prueba estándar para límites de concentración de inflamabilidad de productos químicos (vapores y gases).
ISO 17584:2022	Propiedades refrigerantes			Especifica las propiedades termofísicas de varios refrigerantes y mezclas de refrigerantes de uso común.
AHRI 700 (2019)	Especificaciones para refrigerantes			Define los niveles aceptables de contaminantes (requisitos de pureza) para los refrigerantes de fluorocarbonados, hidrocarburos (incluido el R-290) y el dióxido de carbono, independientemente de la fuente, y enumera los métodos de prueba aceptables.
ISO 11650:1999	Rendimiento de los equipos de recuperación o reciclaje de refrigerantes.			Especifica los aparatos de prueba, las mezclas de gases de prueba, los procedimientos de muestreo y las técnicas analíticas que se utilizan para determinar el rendimiento de los equipos de recuperación o reciclado de refrigerantes.
AHRI 740 (2016)	Clasificación del rendimiento del equipo de recuperación de refrigerantes y del equipo de recuperación/reciclado.			Sobre los equipos para recuperar o reciclar refrigerantes no inflamables, refrigerantes simples, azeótropos, mezclas zeotrópicas y sus contaminantes normales en sistemas de refrigeración.

Fuente: elaboración propia.

TABLA C-2. NORMAS NACIONALES

NORMA	TEMA	DESCRIPCIÓN
NSCL 291901031-2	Normas Sectoriales de Competencia Laboral (NSCL) <sup>4</sup>	"Intervenir el sistema de refrigeración según manuales de buenas prácticas y normativa" (aprobada por el Consejo Directivo Nacional del SENA, el 4 de diciembre de 2019). Esta NSCL tiene cuatro ámbitos de aplicación: a) Refrigerantes no inflamables, no tóxicos; b) refrigerantes inflamables; c) refrigerantes tóxicos, y d) refrigerantes a altas presiones (CO <sub>2</sub> ).
NSCL 291901058-1	Normas Sectoriales de Competencia Laboral (NSCL)	"Instalar sistemas de climatización y refrigeración de acuerdo con especificaciones técnicas y manuales de fabricantes" (aprobada por el Consejo Directivo Nacional del SENA, el 23 de abril de 2020).
NSCL 291901059-1	Normas Sectoriales de Competencia Laboral (NSCL)	"Mantener sistemas de climatización y refrigeración según procedimientos y normativa técnica" (aprobada por el Consejo Directivo Nacional del SENA, el 23 de abril de 2020).
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas <sup>5</sup>	Resolución 90708 del 30 de agosto de 2013
RETIQ	Reglamento Técnico de Etiquetado	Resolución 41012 del 18 de septiembre de 2015
RETSIT	Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas	Resolución 40773 del 29 de diciembre de 2023

<sup>4</sup> Las NSCL son, en Colombia, el "estándar reconocido por el sector productivo que describe los resultados que un trabajador debe lograr en el desempeño de una función laboral, los contextos –en los procesos de formación, evaluación y certificación en las buenas prácticas de refrigeración– en los que ocurre ese desempeño, los conocimientos que debe aplicar y las evidencias que debe presentar para demostrar su competencia" (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2003).

<sup>5</sup> El marco regulatorio para gases refrigerantes en Colombia enfoca, principalmente, la implementación del Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali con la eliminación de los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), y la reducción del consumo o la producción de hidrofluorocarbonos (HFC).  
Fuente: elaboración propia.

### Marco regulatorio para gases refrigerantes

El marco regulatorio para gases refrigerantes en Colombia se enfoca principalmente en la implementación del Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali, con la eliminación de los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), y la reducción del consumo o la producción de hidrofluorocarbonos (HFC). En la tabla C-1, se incluye, principalmente, la normativa que limita o restringe la

adquisición, fabricación y uso de este tipo de sustancias. Estas normas están relacionadas con los equipos que contienen estos gases y, en conjunto, la disposición como residuos peligrosos.

Bajo el análisis general, es igualmente importante tener en cuenta lo relacionado con la iniciativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la sustitución de la SAO por otros con menor GWP (Onudi, 2022).

TABLA C-3. MARCO REGULADORIO PARA GASES REFRIGERANTES EN COLOMBIA

NORMATIVIDAD	OBJETO
Resolución 130 de 2024	Por la cual se establecen medidas para la importación de las sustancias listadas en el anexo F del Protocolo de Montreal y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 129 de 2024	Modifica la Resolución 2749 de 2017 que establece medidas para controlar las importaciones de sustancias agotadoras de la capa de ozono, listadas en el grupo I del anexo C de Protocolo de Montreal y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 851 de 2022	Reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible sobre la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

NORMATIVIDAD	OBJETO
Resolución 634 de 2022 MinAmbiente	Prohibición de la fabricación e importación de equipos y productos que contengan CFC, HCFC y HFC.
Ley 1970 de 2019	Por medio de la cual se aprueba la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal.
Resolución 2267 de 2018	Residuos permitidos mediante tratamiento térmico.
Resolución 2507 de 2018 MinAmbiente	Extensión de la vigencia de las resoluciones 1652 de 2007 y 171 de 2013 para importación y producción de equipos que usen SAO.
Resolución 2749 de 2017 MinAmbiente y MinComercio	Prohibición de la importación de SAO.
Decreto Único Ambiental 1076 de 2015 y Decreto 423 de 2005 MinAmbiente	Régimen sancionatorio y medidas de control de las exportaciones de SAO.
Resolución 131 de 2014 MinAmbiente	Control de exportaciones de SAO.
Ley 1672 de 2013	Gestión integral de equipos de refrigeración y aire acondicionado al final de la vida útil.
Resolución 171 de 2013 MinAmbiente	Prohibición de la fabricación e importación de refrigeradores, congeladores y combinaciones de refrigerador-congelador.
Resolución 2329 de 2012 MinAmbiente	Prohibición de importación de sustancias SAO de los anexos.
Ley 1252 de 2008	Gestión de residuos y desechos peligrosos.
Resolución 301 de 2008 MinSalud	Prohibición de CFC.
Resolución 1652 de 2007 MinAmbiente	Prohibición de fabricación e importación de equipos y productos con SAO.
Resolución 901 de 2006 MinAmbiente, MinVivienda y MinComercio	Control de importaciones y uso de SAO.
Ley 960 de 2005 MinAmbiente	Aprobación de la Enmienda al Protocolo de Montreal.
Resolución 734 de 2004 MinComercio y MinAmbiente	Control de importaciones y uso de SAO.
Ley 29 de 1992	Aprobación del Protocolo de Montreal.

Fuente: Onudi (2022).

**Versión: 01**  
**Fecha de Aprobación: 04-09-2021**



# HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

## R-290

De acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 1907/2006

### 1. PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

**Nombre del producto:** Propano (R-290)  
**Código comercial:** R-290  
**Tipo de producto y uso:** Gas refrigerante.  
**Fórmula:** C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>  
**No. De registro:** 01-2119486944-21-XXXX

**Usos:** Refrigerante.

**Fabricante o importador:**  
 GEFRIEREN, S.A. de C.V.  
 Boulevard Benito Juárez 10, San Mateo Cuauhtepc, 54948 Tultitlán de Mariano Escobedo, Méx.

**E – mail:** [ventas@gefrieren-gas.com](mailto:ventas@gefrieren-gas.com)  
**Tif.:** (55) 4550 43 03

[www.gefrieren-gas.com](http://www.gefrieren-gas.com)

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

**Clasificación de la sustancia o de la mezcla:**

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 [CLP].

Peligros físicos: Gases inflamables - Categoría 1 (Flam. Gas 1) ; H220  
 Gases a presión (Press. Gas) ; H280

**Directiva 67/548/CEE:** F+; R12

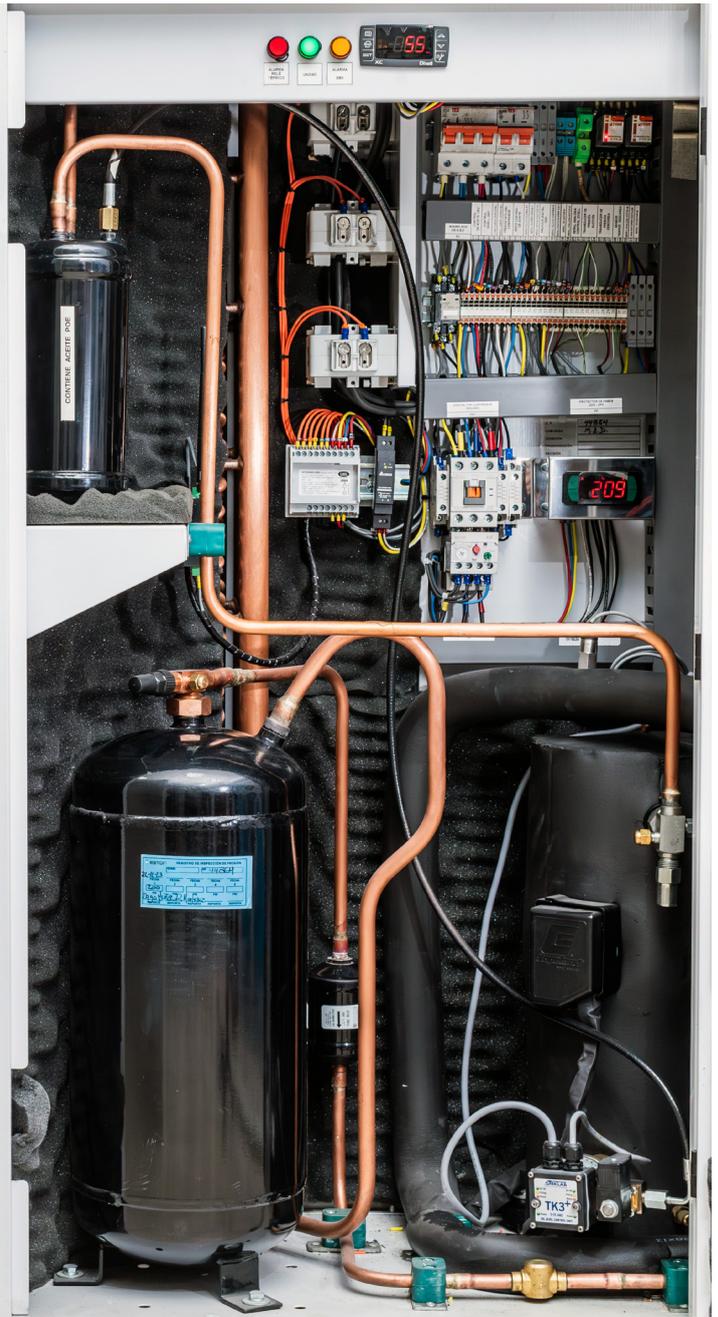
#### Elementos de la etiqueta

**Identificador del producto:** Propano  
 N° CAS: 000074-98-6  
 N° EC: 200-827-9  
 No de identificación UE: 601-003-00-5

SDS – R-290 (Propano)  
[www.gefrieren-gas.com](http://www.gefrieren-gas.com)

1

SGSSL, Sistema de Gestión en Seguridad y Salud Laboral <b>!!!ESTE CHEQUEO ES OBLIGATORIO ANTES DEL INICIO DE ACTIVIDADES!!!</b> EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA TRABAJOS DE SERVICIO TÉCNICO, <b>INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>			
Nombre del técnico: _____ Centro de servicio: _____ Nombre del cliente: _____ Fecha: _____		Tipo de trabajo: <u>                    </u> Orden de trabajo #: _____ Correo electrónico: _____	
		Instalación _____	Servicio, Mtto _____
<b>Nota: Si lo necesita, puede utilizar el espacio en blanco por detrás de la hoja</b>			
<b>1. Resultados de la evaluación de riesgos:</b>			
- El lugar de trabajo se encuentra en buenas condiciones:		- Levantamiento/transporte de cargas pesadas	
Sin obstáculos	Si	No	Si
Piso	Si	No	No
Iluminación	Si	No	Dispositivos de elevación
Ventilación	Si	No	Montacarga
Rutas de escape existentes y sin obstáculos	Si	No	Grúa
- Espacios confinados, contenedores, ductos en el suelo, techos intermedios:	Si	No	Tráfico
- Condiciones de trabajo			
	Polvo	Calor	
	Frío		
- Ruidos	Si	No	
- EX área	Si	No	
- Peligro de incendio/chispas	Si	No	
- Sustancias peligrosas	Si	No	
R-717		R-290	
R-744		R-600a	
Otro			
- Agua caliente/agua residual	Si	No	
- Bordes Afilados	Si	No	
			Si
			No
<b>2. ¿Existe un riesgo inmediato para usted o para los demás?</b> En caso afirmativo, hágalos participar durante el análisis de riesgos y haga que todos los involucrados firmen el análisis. Anote aquí sus conclusiones:			
<b>3. Medidas según el análisis de riesgos (los riesgos debe ser eliminados por) - selección de los EPP requeridos con una X:</b>			
Ropa protectora para Soldadura fuerte	X	Soldadura blanda	X
Herramientas aisladas eléctricas			
Guantes de seguridad - Describa la función de protección			
Gafas de seguridad - Describa la función de protección			
Botas de seguridad - Describa la función de protección			
Casco de seguridad - Describa la función de protección			
Tapa dura - Describa la función de protección			
Protección auditiva - Describa la función de protección			
			Ropa protectora para (especifique)
			Tapete de aislamiento eléctrico
			Detector personal de gases
			Ventilador de aire personal
			Conexión a tierra ESD
			Máscara de gas (¿tipo de filtro?)
			Máscara de polvo (especifique)
			Extintor de fuego
			Sistema de protección contra caídas



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](mailto:proklima@giz.de)  
[www.giz.de/proklima](http://www.giz.de/proklima)

Unidad Técnica Ozono  
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible  
Carrera 13 No. 37 - 38 Bogotá D.C., Colombia  
T +57 1 3323400 ext 2401, 1241  
[www.minambiente.gov.co](http://www.minambiente.gov.co)