

Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados

Lineamientos para el uso en el contexto colombiano



Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados

Lineamientos para el uso en el contexto
colombiano



Como empresa de propiedad federal, la GIZ apoya al Gobierno alemán en la consecución de sus objetivos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible.

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficinas registradas
Programa Proklima

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Alemania
Teléfono: +49 61 96 79-1022
Fax: +49 61 96 79-80 1022
E-mail: proklima@giz.de
Internet: www.giz.de/proklima

Proyecto

Gestión y destrucción de sustancias que agotan la capa de ozono existentes en los bancos de SAO

Responsable

Bernhard Siegele, Director del programa Proklima, bernhard.siegele@giz.de

Autor

Dr. Jonathan Heubes (HEAT GmbH, Königstein)

Revisión temática

Jürgen Beckmann (Oficina Bávara para el Medio Ambiente, Alemania)
Nidia Mercedes Pabón Tello (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia)
Cinthya Berrío, Johannes Frommann, Ellen Günsilius, Franziska Frölich (GIZ GmbH, Eschborn)

Concepto

Jürgen Usinger (HEAT GmbH, Königstein)

Revisión tipográfica y de estilo

María Emilia Botero Arias (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia)
Nicole Müller (GIZ GmbH, Eschborn)

Traducción

Cinthya Berrío Boza, Carolina Vélez Rincón (GIZ GmbH), Leonie Meier

Diseño

Jeanette Geppert (pixelundpunkt kommunikation, Frankfurt)

Fotografías

Título: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia
Jürgen Beckmann, Georg Wallek, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Istockphoto (figuras 13, 16 y paso 4), Shutterstock (figuras 9, 12 y pasos 25, 28), Jeanette Geppert (figura 18 izquierda)

Referencias a URL:

La presente publicación contiene referencias a páginas web externas. Los contenidos de las páginas externas mencionadas son responsabilidad exclusiva del respectivo proveedor. Al incluir una referencia por primera vez, la GIZ ha comprobado que los contenidos ajenos no den lugar a eventuales responsabilidades civiles o penales. Sin embargo, no puede esperarse un control permanente de los contenidos de las referencias a páginas externas sin que existan indicios concretos de una infracción de índole legal. Cuando la GIZ constate o sea informada por terceros que una página externa a la que ha remitido da lugar a responsabilidades civiles o penales, eliminará de inmediato la referencia a dicha página. La GIZ se distancia expresamente de tales contenidos.

Por encargo de

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear
División KI II 7 Financiación Climática Internacional, Iniciativa Internacional del Clima
11055 Berlín, Alemania
Teléfono: +49 30 18 305-0
Fax: +49 30 18 305-4375
E-mail: KI117@bmub.bund.de
Internet: www.bmub.bund.de/ Internet: www.bmub.de

La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación.

© Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2017
© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017

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.

No comercializable – Distribución gratuita



Lugar y fecha de publicación

Bogotá, abril 2017

Número serial

G-S01-2017-es-01

Citación sugerida

GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). *Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano*. Bogotá, Colombia.

Para la edición de Colombia, créditos:

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
Juan Manuel Santos Calderón

MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Luis Gilberto Murillo

VICEMINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Carlos Alberto Botero López

DIRECTOR DE ASUNTOS AMBIENTALES SECTORIAL Y URBANA

Willer Edilberto Guevara Hurtado

UNIDAD TÉCNICA OZONO – UTO

COORDINADORA NACIONAL

Leydy María Suárez Orozco

EQUIPO TÉCNICO

Angélica Nataly Antolínez Esquivel

Cristian Julián Veloza Cifuentes

Edwin Mauricio Dickson Barrera

Gabriel Felipe Martínez Romero

Hilda Cristina Mariaca Orozco

María Carolina Vélez Rincón (GIZ, Colombia)

Nidia Mercedes Pabón Tello

Xiomara Ibeth Stavro Tirado

EQUIPO ADMINISTRATIVO

Myriam Cristina Jiménez Moreno

Oscar Mauricio Jaimes González

ISBN: 978-958-8945-20-0

GESTIÓN Y DESTRUCCIÓN DE SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO EXISTENTES EN LOS BANCOS DE SAO

El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) ha estado controlando efectivamente la producción y el consumo de SAO desde 1989. Sin embargo, grandes bancos de SAO se han acumulado a nivel mundial por el uso histórico excesivo de estas sustancias, que se liberan de forma continua desde los bancos a la atmósfera, dañando la capa de ozono y el clima global. Es importante anotar que estos bancos no están controlados por el Protocolo de Montreal. La recolección, recuperación y destrucción adecuada de bancos de SAO plantea un verdadero desafío para los países en desarrollo. El proyecto "Gestión y destrucción de sustancias que agotan la capa de ozono existentes en los bancos de SAO" forma parte de la Iniciativa Internacional del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) y apoya a Colombia en la gestión de bancos de SAO. Esta guía ha sido desarrollada en el marco de este proyecto.

Como consecuencia de la implementación de los diferentes programas y proyectos promovidos y financiados por el Protocolo de Montreal y orientados a la disminución y eliminación del consumo de las sustancias agotadoras de la capa de ozono - SAO, la reconversión voluntaria a tecnologías libres de estas sustancias en grandes empresas y los controles realizados para la importación y el comercio de las SAO, se han presentado existencias de residuos y equipos con estas sustancias que requieren disposición final.

Con el propósito de preparar al país para la gestión integral de los residuos de las SAO y de los equipos que las contienen, y en consonancia con las políticas nacionales, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la Unidad Técnica Ozono (UTO), se encuentra estudiando diferentes alternativas. Actualmente, Colombia es uno de los países cooperantes del proyecto global de gestión y destrucción de bancos de SAO, implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, y como parte del plan de trabajo de este proyecto se ha preparado el presente documento con el objetivo de brindar los lineamientos técnicos básicos para la gestión de equipos de refrigeración y aire acondicionado al final de la vida útil.

Abreviaturas

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
AEE	Aparatos eléctricos y electrónicos
PCB	Bifenilo policlorado
CFC	Clorofluorocarbono
CFC-11	Triclorofluorometano
CFC-12	Diclorofluorometano
EPS	Poliestireno expandido
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HFC	Hidrofluorocarbonos
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (sigla inglés)
NIR	Espectroscopía de reflectancia en el infrarojo cercano (sigla inglés)
PAO	Potencial de agotamiento del ozono
PSAI	Poliestireno de alto impacto
PBB	Polibromados de bifenilo
PBDE	Polibromados difenil éter
PCG	Potencial de calentamiento global
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Cloruro de polivinilo
PUR	Espuma rígida de poliuretano (sigla inglés)
R-134a	Tetrafluoroetano
R-22	Clorofluorometano
R-600a	Isobutano
RAC	Refrigeración y aire acondicionado
RAEE	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
RESPEL	Residuos peligrosos
RTOC	Reporte del Comité de Opciones Técnicas de Refrigeración, Aire Acondicionado y Bombas de Calor (sigla inglés)
SAO	Sustancias que agotan el ozono
SSS	Espectrómetro de chispa móvil (sigla inglés)
TEAP	Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica del Protocolo de Montreal (sigla inglés)

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos debe tener como objetivo principal la economía circular, siguiendo la estrategia de “jerarquía de residuos”¹: prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, recuperación y finalmente la disposición final. Este enfoque debe ser incluido en la redacción de políticas de residuos y en la gestión de residuos a nivel operativo. No solo se aplica para residuos sólidos, sino también para residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Esta corriente de residuos merece especial atención, debido a que está aumentando rápidamente, mostrando incrementos entre 20 y 50 millones de toneladas desechadas por año (Ongondo *et al.*, 2011). Los RAEE pueden contener sustancias peligrosas y en ausencia de una gestión adecuada podrían causar problemas graves para el medio ambiente y la salud humana.

Esta guía busca contribuir al mejoramiento de la gestión adecuada de los residuos para un grupo de RAEE particularmente importante: refrigeradores domésticos y aparatos de aire acondicionado. Estos equipos son importantes debido a que:

- Son productos de uso masivo que se encuentran en casi todos los hogares en todo el mundo.
- Más allá de los componentes peligrosos típicos de los RAEE, estos aparatos a menudo contienen refrigerantes y agentes espumantes (estos últimos solo en refrigeradores) con alto potencial de calentamiento global (PCG) y potencial de agotamiento de ozono (PAO), dañando la capa de ozono y contribuyendo al calentamiento global si se liberan al medio ambiente.

Esta guía está dirigida tanto a las empresas de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, como a las autoridades ambientales regionales o locales en Colombia. Cuando los refrigeradores domésticos y aires acondicionados llegan al final de su vida útil y se requiere el proceso de desensamble, surgen varias preguntas. Esta guía dará respuesta a las preguntas clave en los distintos capítulos, como se muestra en la figura 1.

¹ Véase la Directiva 2008/98/EC para más información sobre los principios y definición. La directiva también introduce el principio de “quien contamina, paga” y la “responsabilidad extendida del productor”.

Figura 1. Preguntas clave abordadas en la guía para apoyar el tratamiento adecuado de residuos de refrigeradores y aires acondicionados



Es importante tener en cuenta que la gestión exitosa de los residuos de estos aparatos necesita un marco regulatorio. Como los refrigeradores y aires acondicionados desechados son clasificados como RAEE, y además contienen refrigerantes y agentes espumantes que pueden ocasionar impactos negativos en el clima, se requiere un marco normativo integral que aborde ambos aspectos (figura 2). Por supuesto, este marco regulatorio también incluye otros aparatos que pueden contener SAO y gases fluorados.

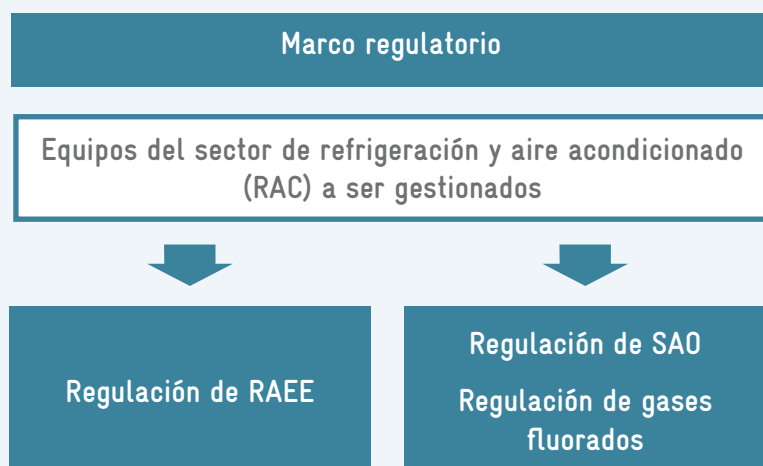
La Unión Europea (UE) cuenta con un marco normativo completo en relación con ambos aspectos: la Directiva RAEE 2012/19 / UE², el Reglamento SAO (CE) 1005/2009³ y el Reglamento de gases fluorados (CE) 517/2014⁴. Colombia también ha establecido un marco normativo sólido, el cual se considera en detalle en el capítulo 2.

² <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:en:PDF>, fecha de acceso 01.04.2016.

³ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:286:0001:0030:EN:PDF>, fecha de acceso 01.04.2016.

⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517&from=DE>, fecha de acceso 01.04.2016.

Figura 2. Marco regulatorio para una gestión exitosa de SAO/HFC contenidos en los RAEE, tales como refrigeradores y aires acondicionados



RECUADRO 1

LA IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN ADECUADA DE LOS RESIDUOS DE REFRIGERADORES Y AIRES ACONDICIONADOS PARA EL MEDIO AMBIENTE

Muchos equipos desechados...

Los refrigeradores se encuentran en casi todos los hogares en el mundo, mientras que los aires acondicionados juegan un papel dominante en climas cálidos. Particularmente en los países en desarrollo, los aires acondicionados son productos cada vez más populares: la producción mundial de refrigeradores domésticos y aparatos de aire acondicionado representa alrededor de 100 millones de unidades por año. A nivel mundial, el número de refrigeradores domésticos en uso se estima entre 2 y 2,3 mil millones de unidades (RTOC de 2014), las existencias de aires acondicionados residenciales se estiman en alrededor de 700 millones de unidades (GIZ, 2014b). Teniendo en cuenta la vida media de los equipos, entre 75 y 90 millones de refrigeradores domésticos y aproximadamente 45 millones de aires acondicionados tipo *split* entran a la corriente de desechos cada año. Sería una amenaza ambiental masiva si estos aparatos no se gestionan adecuadamente al final de su vida útil.

Muchos componentes peligrosos...

- Los refrigerantes más importantes que se encuentran en estos equipos: CFC-12, HCFC-22, HFC-134a, R-410A, HFC-32 y, solución de amoníaco que contiene cromo VI
- Agentes espumantes más importantes: CFC-11, HCFC-141b.
- Mercurio
- Plaqueta de circuito impreso
 - Plomo
 - Cadmio
 - Cromo hexavalente
- Bifenilo policlorado (PCB) en condensadores eléctricos
- Polibromados de bifenilo (PBB) y polibromados difenil éter (PBDE) en plásticos como retardante de llama

El impacto para el clima global y la capa de ozono...

- Si no es gestionado correctamente, un refrigerador doméstico que contiene clorofluorocarbono (CFC) emitirá 0,56 kg de PAO y 3,6 toneladas equivalentes de CO₂. Esta última cifra corresponde a un vuelo de Colombia a España.
- Si no es gestionado correctamente, un aparato de aire acondicionado tipo *split* residencial con R-22 emitirá 0,08 kg de PAO y 2,6 toneladas equivalentes de CO₂.

Cuando los refrigeradores y aires acondicionados son sometidos a una gestión adecuada de residuos, surgen varios beneficios:

- Protección de la capa de ozono y del sistema climático, y prevención de las emisiones de sustancias tóxicas que contaminan el ecosistema
- Ahorro de materias primas (agotadas)
- Beneficios económicos por la venta de materiales valiosos

No solo los combustibles fósiles sino también los metales y otros materiales, como los que se encuentran en los refrigeradores y aires acondicionados, son materias primas que se están agotando y deberían ser parte de la economía circular. Más aún, estos aparatos contienen materiales valiosos. Algunos componentes como el compresor son bien conocidos como materiales de gran valor, sin embargo, hay otras partes como los plásticos y cables que también merecen su extracción. Para manejar una empresa de gestión de RAEE con éxito, es esencial una buena comprensión de las ganancias que se pueden obtener de los diversos componentes recuperados, lo cual puede ayudar a compensar los costos de desensamble y destrucción adecuada de los componentes peligrosos.

RECUADRO 2

LA IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN ADECUADA DE LOS RESIDUOS DE REFRIGERADORES Y AIRES ACONDICIONADOS PARA LA SALUD HUMANA (GIZ, 2013; MODIFICADO)

Sustancias peligrosas	¿Dónde están contenidas?	¿Cómo se emiten?	¿Por qué son peligrosas?
Plomo	Soldadura	Al calentar la soldadura	• Los metales pesados se acumulan en los tejidos del cuerpo a través del contacto sin protección • Daño en el riñón
Cadmio	• Contactos • Coloración de la carcasa de plástico	• Quema o calentamiento	• Daños al cerebro e incluso la muerte
Mercurio	• Quema o calentamiento • Daños al cerebro e incluso la muerte	• Calentamiento • Trituración	• Toxina nerviosa, letal en pequeñas dosis • Contamina el agua, el suelo y el aire
Cromo hexavalente	• Enchapado (tapa metálica) • Agente anti corrosivo • Pigmento en plásticos	• Disolución • Quema de plástico	• Cancerígeno
Sustancias ignífugas: Bifenilos policlorados Policlorados difenil-éter	• Carcasa de plástico e interior • Cableado de plástico y cables • Tableros de circuito impreso	• Disolución • Quema de plástico • Trituración	• Cancerígeno

Por último, esta guía se enfoca en el desensamble manual de los refrigeradores y aires acondicionados. Mientras que los países industrializados suelen utilizar unidades de trituración automatizadas para el procesamiento avanzado de los refrigeradores y aires acondicionados, muchos países (en desarrollo) carecen de los recursos financieros y de la cantidad de equipos desechados y recogidos para justificar estas inversiones sustanciales. Además, el desensamble manual ofrece algunas ventajas considerables, en particular en los países de bajos ingresos:

- Oportunidades de empleo y aumento de ingresos con ello, particularmente para los segmentos de la población con bajos niveles de educación.
- Es posible lograr un alto grado de clasificación homogénea de plásticos y metales, los cuales son bienes y productos valiosos en el mercado de reciclaje.

Sin embargo, es indispensable una cierta especialización cuando se desmantelan estos aparatos, debido en particular a los componentes peligrosos existentes (véase el recuadro 2). Por lo tanto, es necesario formar (y posiblemente también certificar) a los empleados que trabajan en este tipo de actividades. Las empresas de reciclaje (en Europa) a menudo ofrecen cursos intensivos para principiantes, que comprenden alrededor de 200 horas de enseñanza.

RECUADRO 3

“BUENAS PRÁCTICAS” Y RECUPERACIÓN MANUAL DE ESPUMA DE POLIURETANO DE LOS REFRIGERADORES

Los lineamientos presentados en este documento en lo relacionado con la recuperación manual de la espuma de poliuretano de los refrigeradores, no corresponden a las mejores prácticas disponibles a nivel internacional. Generalmente, se recomienda procesar los refrigeradores en máquinas de trituración encapsuladas para recuperar los agentes soplantes de la espuma. La recuperación manual de la espuma de poliuretano resultará en la pérdida del 10 al 33% del agente de soplado (Öko-Institut, 2010).

Sin embargo, el procedimiento aquí descrito reconoce la realidad de muchos países en desarrollo que carecen de los recursos financieros para tales sistemas de recuperación (etapa II, ver definición en el recuadro 7) los cuales implican costos de inversión entre 2 y 4 millones de euros y que requieren una cantidad mínima de aproximadamente 100.000 unidades de refrigeradores devueltos por año para la viabilidad económica.

Si las piezas de espuma retiradas se queman en incineradores de alta temperatura, más del 70% de los agentes de expansión puede ser destruido (suponiendo que no haya más desgasificación de la espuma durante el almacenamiento y transporte). Este porcentaje podría ser incluso más alto, cuando los refrigeradores enteros se procesan en los incineradores de alta temperatura.

En diferentes secciones del documento se hace mención a las etapas I y II para la gestión de equipos, cuya definición se presenta en detalle en el recuadro 7 y en la figura 19. Asimismo, en el capítulo 10 de esta guía se describen posibles actualizaciones técnicas sucesivas como la trituración automática incluyendo la recuperación de agentes espumantes.

Las siguientes fuentes se consideraron para describir las "buenas prácticas" (aparte de la espuma) a menos que se especifique lo contrario:

- RAL 728, 2007. Rückproduktion von Kühlgeräten. Garantía de calidad y especificaciones de prueba para el desmantelamiento de equipos de refrigeración. Gütesicherung RAL-GZ 728
- VDI 2343
- DIN EN 50574 (VDE 0042-11): 2013-06 / EN: 50574:2012 + AC: 2012
- LAGA 31, 2009. Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 31. Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten ("Requerimientos para la disposición de AEE")

2. EL MARCO REGULATORIO COLOMBIANO PARA RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS Y RESIDUOS PELIGROSOS

Colombia ya cuenta con un marco regulatorio completo que incluye RAEE y residuos peligrosos (RESPEL)

2.1 Regulación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

La Ley 1672 que entró en vigor en 2013 se aplica en todo el país para regular la importación, producción, comercialización y consumo (uso) de los aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus respectivos residuos. El reglamento incluye:

- Responsabilidad extendida del productor en todo el ciclo de vida del producto, incluyendo el manejo de los residuos;
- Promoción de la educación, la investigación y el desarrollo tecnológico para el manejo integral y ambientalmente seguro de los residuos a través de instituciones educativas públicas y privadas; también se dirige al sector de gestión de residuos para aumentar la productividad y el empleo;
- Establecimiento de sistemas de recolección, el fomento del reciclaje y el manejo ambientalmente seguro de los residuos con la participación de las autoridades municipales y ambientales, así como del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y otras entidades industriales, comerciales y académicas para construir la infraestructura relacionada;
- Mecanismos para la inspección, vigilancia y control de los diferentes actores involucrados en el manejo de residuos;
- Creación de incentivos para la participación activa de los actores y el apoyo de la transición a materiales amigables con el medio ambiente a través de políticas fiscales;
- Sanciones contra los actores que no contribuyan al manejo integral de residuos;
- Establecimiento del Comité Nacional de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos para la promoción y aplicación del marco político, formulación de estrategias, entre otras funciones.

Colombia cuenta con varias resoluciones relacionadas con residuos de computadores y periféricos (Resolución 1512 del año 2010), y con los residuos de pilas y acumuladores

(Resolución 1297 de 2010 y Resolución 372 de 2009). La lista aquí no es exhaustiva, pero pone de manifiesto las disposiciones más importantes. La Ley de RAEE, 1672 de 2013, conforma el marco para la gestión adecuada de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia.

2.2 Residuos peligrosos (RESPEL)

El marco general para RESPEL lo constituye la *Política ambiental para la gestión integral de residuos o desechos peligrosos* del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La definición de residuos peligrosos prevista en la Ley 1252 de 2008 coincide con la definición del Convenio de Basilea. En consecuencia, los residuos peligrosos se consideran como residuos que pueden causar un daño directo o indirecto o efectos no deseados a la salud humana y al medio ambiente, debido a sus propiedades corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas y otras. Esta definición también se aplica a los residuos de las sustancias agotadoras de la capa de ozono.

El movimiento transfronterizo de residuos peligrosos también está contemplado en la Ley 1252 de 2008: este reglamento prohíbe la importación de desechos o residuos peligrosos. Además, se requiere una detección eficaz de los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos e incluye sanciones contra aquellos que no cumplan con la ley. La exportación de RESPEL solo está permitida en casos en los que estos no se puedan tratar en el propio país debido a su complejidad. Por último, la Ley 1252 requiere minimizar la producción de RESPEL y maximizar la reutilización (es decir, el reciclaje). Más especificaciones para los que tratan RESPEL se dan en el Decreto 1076 de 2015 (título 6), que contiene un conjunto de normas para los generadores y receptores de RESPEL, por ejemplo, especificaciones para el personal, certificaciones y planes para las medidas de seguridad y los accidentes. También el Decreto 1076 de 2015 define qué tipo de componentes se clasifican como residuos peligrosos (página 476 y ss.). Además, en caso de fuga o derrame accidental de hidrocarburos y otras sustancias nocivas hay que seguir las directrices del Decreto 321 de 1999.

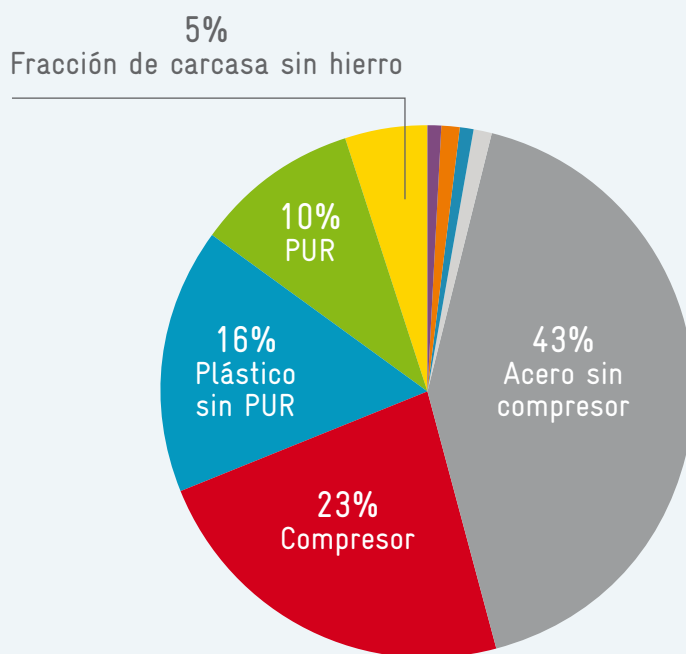
Asimismo, el Decreto 1079 de 2015 (sección 8, artículo 2.2.2.3.2.3.) especifica los requisitos en materia de transporte terrestre de mercancías peligrosas dentro del país.

Por último, el Decreto 1076 de 2015 (sección 2) define el requerimiento de una licencia ambiental de la autoridad ambiental local para la construcción y operación de instalaciones dedicadas al almacenamiento, uso, recuperación de corrientes de residuos, así como la eliminación de residuos peligrosos. Asimismo, dicho decreto establece los requisitos de construcción y operación de las instalaciones dedicadas al almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento (recuperación y reciclaje) o eliminación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

3. LA COMPOSICIÓN DE REFRIGERADORES Y AIRES ACONDICIONADOS

Los refrigeradores están compuestos predominantemente de metales ferrosos, metales no ferrosos (latón, cobre, aluminio, etc.) y de plásticos, que en conjunto representan aproximadamente 80% del peso (véase la figura 3). En consecuencia, las partes dominantes en relación con el peso son el acero, el compresor, los plásticos y la espuma rígida de poliuretano (PUR).

Figura 3. Composición promedio de un refrigerador doméstico en Europa (Öko-Institut, 2007)



Una representación más detallada de la distribución de los diferentes componentes se presenta en la tabla 1, considerando equipos antiguos que contienen CFC. El refrigerante CFC-12 y el agente espumante CFC-11 representan menos del 1% cada uno. Sin embargo, ambos componentes son contaminantes y clasificados como residuos peligrosos.

Tabla 1. Composición detallada promedio de refrigeradores europeos (basado en 1.000 equipos en las condiciones en que fueron entregados a las empresas de gestión de RAEE e incluye aparatos de los tipos I, II y III, véase capítulo 5.1; Öko-Institut, 2007)

COMPONENTES	REFRIGERADOR DOMÉSTICO CON CFC (kg por 1 equipo)	PORCENTAJE EN EUROPA
Acero sin compresor	17	43%
Compresor	9	23%
Plástico sin PUR	6,2	16%
PUR	4	10%
Fracción de carcasa no ferrosa	2	5%
CFC-11	0,34	0,9%
Agua	0,25	0,6%
Vidrio	0,25	0,6%
Aceite	0,2	0,5%
Cable	0,15	0,4%
CFC-12	0,115	0,3%
Restante	0,1	0,3%
Total	39,6	100%

Esta composición se refiere a refrigeradores domésticos de hogares europeos. En otros países se pueden encontrar diferentes porcentajes y valores absolutos. Las siguientes tablas (tablas 2 y 3) muestran el peso de los distintos componentes de los pequeños y grandes refrigeradores que se encuentran típicamente en Colombia.

Tabla 2. Composición detallada de materiales de un refrigerador pequeño (RED VERDE, 2015)

COMPONENTE	PESAJE kg
Acero laminado en frío (chatarra mixta)	16,8
(Al) aluminio	0,6
(Cu) cobre de segunda	0,4
Vidrio plano	4,8
Plástico ABS	1,3
Plástico HI-PS/PS	3,7
Plástico PP/HI-PP	2,1
Plástico PVC	0,7
Poliestireno expandido (EPS) icopor	1,2
Plástico molido mezclado	5,5
Cable de cobre mixto	0,4
Tarjeta electrónica	0,54
Aceites de neveras con menos de 50 ppm de PCB de la unidad de compresor	0,0029
Gas refrigerante (CFC-12 o HFC-134a)	0,065
Espumas de poliuretano (con agente espumante)	7,3
Residuos no aprovechables para disposición en relleno sanitario (basura)	0,0030
Total	45,6

Tabla 3. Composición detallada de materiales de un refrigerador grande (RED VERDE, 2015)

COMPONENTE	PESAJE kg
Acero laminado en frío (chatarra mixta)	25,8
(Al) aluminio	1,0
(Cu) cobre de segunda	0,5
Vidrio plano	7,4
Plástico ABS	2,1
Plástico HI-PS/PS	5,8
Plástico PP/HI-PP	3,3
Plástico PVC	1,1
Poliestireno expandido (EPS) icopor	1,9
Plástico molido mezclado	8,5
Cable de cobre mixto	0,6
Tarjeta electrónica	0,8
Aceites de neveras con menos de 50 ppm de PCB de la unidad de compresor	0,005
Gas refrigerante (CFC-12 o HFC-134a)	0,1
Espumas de poliuretano (con agente espumante)	11,3
Residuos no aprovechables para disposición en relleno sanitario (basura)	0,05
Total	70,1

Para los aires acondicionados se presenta una distribución similar, aunque en este caso el compresor es la parte individual más pesada. Otra diferencia fundamental de los aires acondicionados es la ausencia de espuma y de vidrio. Una vez los diferentes componentes son extraídos durante el proceso de desensamble, el proceso de reciclaje es el mismo. En la tabla 4 se muestra el porcentaje medio del peso de los materiales de un equipo de aire acondicionado (unidades autocontenidas).

Tabla 4. Composición promedio de los aires acondicionados autocontenidos⁵ en Alemania.

MATERIAL	PORCENTAJE
Acero	5,3%
Compresor	39,3%
Metales no ferrosos	21% (12,7% cobre, 8,3% aluminio)
Plástico	26,4%
Plaqueta de circuito impreso	1,0%
Refrigerante	2,4%
Otros materiales	4,6%
Total	100%

3.1 Compresor y acero

El compresor es la parte individual más pesada de los refrigeradores y aires acondicionados y se compone de cobre (8%), hierro (57%) y aleación de hierro fundido (35%). Solo el 15% de los compresores tienen un componente de hierro fundido en lugar de hierro. Estas proporciones son similares para los refrigeradores y aires acondicionados, solo algunas veces los compresores de los aires acondicionados tienen mayor contenido de hierro⁶. El acero generalmente se encuentra en los gabinetes de refrigeradores, es decir, en la carcasa, además, las rejillas están hechas de acero.

El intercambiador de calor en los refrigeradores está hecho de hierro, a diferencia de los aires acondicionados, donde principalmente se utiliza cobre y aluminio. El único tipo de refrigerador que contiene cobre y aluminio en el intercambiador de calor es el refrigerador comercial.

⁵ Comunicación personal Georg Wallek, Director general (COO Recycling centre ESO GmbH in Offenbach/Urbanminers GmbH).
⁶ Comunicación personal Georg Wallek, Director general (COO Recycling centre ESO GmbH in Offenbach/Urbanminers GmbH).

3.2 Espuma aislante

Para fines de aislamiento térmico se utilizan diferentes tipos de espuma: espuma rígida de poliuretano (PUR), a veces lana de vidrio y EPS. Las espumas rígidas de poliuretano de los refrigeradores antiguos contienen CFC-11 y HCFC-141b como agente espumante. Los refrigeradores domésticos generalmente contienen aproximadamente 4-10 kg de aislante de espuma de poliuretano. Esta espuma contiene 5-10% de agente espumante dependiendo del peso (Departamento Australiano de Medio Ambiente, 2014), pero generalmente en el rango inferior.

En algunos casos, se ha añadido 5-10% de CFC-12 al agente espumante CFC-11 para mejorar las propiedades de la espuma⁷.

Mientras que los agentes espumantes CFC se han utilizado tanto en países en desarrollo como en países desarrollados en el pasado (y que ahora forman parte de los bancos de SAO), los agentes espumantes HCFC se han utilizado sobre todo en los países en desarrollo. Hoy en día, se utiliza ciclopentano como agente soplante en los países desarrollados y cada vez más también en los países en desarrollo. Una mezcla de pentano y aire puede crear una atmósfera explosiva bajo ciertas condiciones, lo cual se debe tener en cuenta cuando se muele la espuma, como parte del tratamiento para su gestión final. Los agentes de soplado CFC y HCFC son considerados como residuos peligrosos.

Los refrigeradores producidos en Colombia antes de 1997 probablemente contienen clorofluorocarbonos (CFCs) como agentes espumantes. Por esto, la espuma debe ser tratada de una manera especial (véase también el capítulo 10).

Una mayor diversidad de materiales de aislamiento se encuentra en los refrigeradores comerciales, que van desde la típica espuma rígida de poliuretano (con agente espumante), poliestireno espumado y lana mineral. El poliestireno espumado no requiere tratamiento especial, ya que no contiene agentes de expansión que perjudican el medio ambiente. Lo mismo es cierto para el poliestireno expandido (EPS o icopor) y lana mineral (no se utiliza comúnmente en Colombia⁸). Los aires acondicionados normalmente no contienen espuma.

⁷ Comunicación personal Jürgen Beckmann, Oficina Estatal de Baviera para el Medio Ambiente (Alemania).

⁸ Taller con gestores de RAEE, 31 de Marzo 2016.

3.3 Plásticos

Un refrigerador doméstico típico contiene alrededor de 5 a 10 kg de plásticos: principalmente PS (poliestireno⁹), PP (polipropileno), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y a veces PVC (cloruro de polivinilo)(Departamento Australiano de Medio Ambiente, 2014). El plástico dominante es el PS, que se utiliza para el revestimiento de los interiores. Las bandejas de frutas y verduras están hechas de PP, y con menos frecuencia de ABS. A veces el PVC se encuentra en la parte superior del refrigerador (parte de la carcasa), pero esto es raro. Hoy en día los plásticos ABS y PP utilizados en refrigeradores domésticos no contienen retardantes de llama y por tanto son componentes valiosos para su posterior aprovechamiento (capítulo 9). En casos raros, los plásticos de refrigeradores viejos todavía pueden contener retardantes de llama (p.ej.: sustancias bromadas)¹⁰.

Las piezas de plástico que se encuentran en los refrigeradores comerciales principalmente contienen PS, a veces con recubrimiento de aluminio adicional.

Los aires acondicionados se componen predominantemente de polipropileno, pero también pueden contener ABS. En los aires acondicionados es más común encontrar retardantes de llama.

Adicionalmente a los retardantes de llama, se pueden encontrar compuestos inorgánicos tales como trióxido de antimonio y compuestos orgánicos de fósforo libres de halógenos. Otros compuestos críticos posibles son:

- Pigmentos inorgánicos (óxido de titanio, óxido de hierro, amarillo de cromo)
- Pigmentos orgánicos (ftalocianina, quinacridona)
- Aditivos de metales pesados (Cr, Cd, Pb)
- Plastificante (p.ej.: ftalato)

3.4 Refrigerantes

El circuito de refrigeración contiene la sustancia refrigerante y el aceite. Los refrigerantes dominantes son CFC-12 y HFC-134a, este último ha sido sustituido en muchos países por R-600a.¹¹ Los refrigeradores distintos a refrigeradores domésticos con un volumen de 180 litros pueden contener HCFC-22, propano, mezclas de propano-butano, y refrigerantes que contienen amoníaco. El amoníaco se usa particularmente en los minibares de hoteles, en países desarrollados tanto como países en desarrollo. Este refrigerante requiere un tratamiento especial que se diferencia parcialmente de los otros tratamientos. No solo se debe

9 Específicamente se usa poliestireno de alto impacto (PSAI).

10 Comunicación personal Georg Wallek, Director general (COO Recycling centre ESO GmbH en Offenbach/Urbanminers GmbH).

11 En lugar de nombrar cada grupo de sustancias químicas, a menudo se utiliza el símbolo R (para refrigerante), p.ej.: R-12. Para más información sobre nomenclatura, véase http://www.iifir.org/userfiles/file/webfiles/summaries/Refrigerant_classification_EN.pdf, fecha de acceso 01.04.2016.

a las propiedades del amoníaco sino también al cromo hexavalente del refrigerante. Los refrigerantes que contienen amoníaco se pueden distinguir por los intercambiadores de calor típicos que son más gruesos (véase figura 4). Estos refrigeradores deben ser procesados en instalaciones especializadas de acuerdo con el proceso de extracción de refrigerante y el tratamiento de refrigerante (teniendo en cuenta las buenas prácticas de recuperación y almacenamiento de los refrigerantes).

3.5 Plaquetas de circuito impreso

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha estimado que las plaquetas de circuito impreso constituyen aproximadamente hasta el 0,3% del peso de los grandes electrodomésticos de línea blanca¹², a pesar de que existen grandes diferencias (PNUMA, 2013). Las plaquetas de circuito impreso contienen pequeñas cantidades de metales y sustancias tales como antimonio, berilio, cadmio, y cloro en los componentes electrónicos. Además, pueden contener retardantes de llama bromados y también plomo en la soldadura (IGES, 2009; RMIT, 2006).

Los refrigeradores y aires acondicionados contienen una o más plaquetas de circuito impreso, particularmente los refrigeradores domésticos y comerciales modernos.

Adicionalmente a las sustancias peligrosas asociadas con el circuito impreso, las plaquetas son de alto valor en el mercado del reciclaje. Dependiendo de la legislación nacional, se clasifican como residuos peligrosos o como residuos electrónicos (como es el caso de Colombia) y requieren una gestión ambientalmente segura, sobre todo cuando las partes peligrosas se han retirado previamente. A veces, solo las plaquetas sin los componentes son clasificadas como residuos peligrosos.¹³

Figura 4. Refrigerador que usa amoníaco como refrigerante. El intercambiador de calor (bobina de refrigeración) es más grueso en comparación con el de los refrigeradores que usan refrigerantes halogenados o butano.



¹² Electrodomésticos de línea blanca son aparatos eléctricos domésticos como refrigeradores y lavadoras, típicamente de color blanco.

¹³ Comunicación personal con Georg Wallek, Director general (COO Recycling centre ESO GmbH en Offenbach/Urbanminers GmbH).

3.6 Mercurio

El mercurio se puede encontrar en termostatos, sensores, relés, interruptores, y en la iluminación (véase la figura 5). Raramente se encuentra dentro de refrigeradores y aires acondicionados domésticos, pero a menudo está presente detrás de la lámpara en la cubierta de la parte superior de los congeladores horizontales. Su presencia se debe comprobar en el inicio del proceso de desensamble para su extracción y tratamiento especial. El mercurio es una sustancia peligrosa, por tanto, la eliminación completa de piezas que contienen mercurio tiene alta prioridad.

La diferenciación precisa entre los interruptores de mercurio y los interruptores sin mercurio depende de los conocimientos y la formación del personal. En consecuencia, no se recomienda ni explica en más detalle en esta guía.

Figura 5. Las piezas que contienen mercurio (derecha) a menudo se encuentran detrás de la lámpara en la cubierta de la parte superior de congeladores horizontales (izquierda).



3.7 Condensadores que contienen bifenilos policlorados (PCB) o electrolitos a considerar

Los PCB se han utilizado ampliamente en los aparatos eléctricos antes de la década de 1970, por ejemplo, en los condensadores eléctricos. Los nuevos equipos producidos desde mediados de la década de 1980 por lo general no contienen PCB. Por lo tanto, solo los refrigeradores y aires acondicionados muy antiguos (> 30 años) aún pueden contener condensadores con PCB.¹⁴

Dependiendo del año de producción y de cada fabricante, los condensadores que contienen PCB pueden estar marcados de la siguiente manera:

PCB, Chlordiphenyl, Clophen, Askarel, G, ISKRA, DB/764, 0219(...), C2, CD, CPA, 3CD, 4CD, 5CD, CI, Clp, CPA30, CPA40, CPA50, Cp, CP25, CP30, CP40, CP50, P25, 10/070/65, 25/070/56, CB/764, KPM 1013¹⁵.

Los condensadores libres de PCB pueden estar marcados con la combinación de las siguientes letras: MP, MKK, MPP, MKV, MFV, LK, LP. Algunos productores de condensadores nunca usaron PCB, por ejemplo Tesla, MM, Bosch, ITT. Los condensadores con la etiqueta “ELKO” contienen electrolitos y son libres de PCB. Sin embargo, los electrolitos también requieren de tratamiento especial y contienen sustancias peligrosas a considerar.

Las combinaciones de letras antes mencionadas solo sirven como ejemplo.¹⁶ Tal como se presenta, puede ser difícil diferenciar los condensadores eléctricos en función del código de etiquetado, se recomienda manejar todos los condensadores como residuos peligrosos que requieren tratamiento en plantas especializadas, donde los PCB sean destruidos en condiciones de alta temperatura después de extraer los componentes valiosos, tales como el aluminio.



¹⁴ El transformador de refrigeradores y aires acondicionados consiste de hierro y cobre y normalmente no contiene PCB. Solo en aparatos grandes, el transformador puede contener PCB en su aceite.

¹⁵ VDI 2343, hoja 3, fuentes 5 y 6.

¹⁶ En el siguiente enlace se puede encontrar una lista de la mayoría de productores y posibles condensadores con PCB: http://www.chemsuisse.ch/de/files/97/DE_PCB_Hilfsmittel/80/Verzeichnis.pdf, fecha de acceso 01.04.2016.

Figura 6. Localización de condensadores (flecha roja) que puedan contener PCB



3.8 Aceite

Los compresores de refrigeradores y aires acondicionados necesitan aceite. Los refrigeradores con CFC contienen alrededor de 200 a 300 g de aceite (menos aceite en refrigeradores sin CFC), mientras que los equipos de aire acondicionado pueden llegar a contener hasta 1 kg, dependiendo del tamaño. Una cierta parte del refrigerante se disuelve en el aceite, que también se clasifica como residuo peligroso. Para extraer el componente de refrigerante, se requiere un tratamiento térmico especial (véase el recuadro 4). Solo después de que los residuos de refrigerante se hayan retirado del aceite, éste puede ser reciclado¹⁷.

RECUADRO 4

¿ES RELEVANTE LA SEPARACIÓN TÉRMICA ESPECIAL DEL ACEITE?

En el caso de no contar con separadores térmicos de aceite especiales, la mezcla de refrigerante y aceite que sea extraída de los aparatos puede ser destruida directamente en los incineradores de alta temperatura. En caso que los refrigerantes extraídos se tengan que recuperar para su reutilización, las unidades de recuperación, como las utilizadas en Colombia, están equipadas con separadores de aceite. Por lo tanto, solamente se detectan pequeñas cantidades de aceite, que luego se retiran de nuevo antes del proceso de recuperación.

¹⁷ Dependiendo del refrigerante, se utilizan diferentes aceites. Sin embargo, este aspecto solo es relevante cuando se recupera el aceite para su reutilización y puede despreciarse cuando el aceite de desecho está sujeto a la destrucción final.

Sin embargo, hay varios argumentos que resaltan la importancia de separar el refrigerante del aceite durante la etapa I de gestión de equipos de refrigeración y aire acondicionado (ver definición en el recuadro 7). Este procedimiento se realiza utilizando separadores térmicos de aceite especiales (sin calentamiento de los cilindros!):

- 1) Muchas de las boquillas de inyección de las instalaciones de disposición de altas temperaturas, están teniendo problemas con el aceite, es decir que se bloquean fácilmente
- 2) El contenido de aceite provoca una alta probabilidad de crear hollín en la chimenea y con ello una mayor probabilidad de formación de dioxinas y furanos
- 3) La determinación de la tasa de recuperación de refrigerante es deficiente ya que el contenido de aceite a menudo se desconoce y por lo tanto tiene que ser estimado, esto introduce una fuente de error (véase también el capítulo 5).
- 4) Siguiendo el principio general de la gestión de residuos (véase el capítulo 1), el aceite debe ser reutilizado en lugar de ser destruido a altas temperaturas.

3.9 Vidrio

Los refrigeradores contienen una fracción de vidrio que está por debajo del 1%. El vidrio se utiliza dentro de los refrigeradores como estantes y puede ser fácilmente extraído antes del proceso de desensamble.

Los aires acondicionados en general no contienen vidrio.

3.10 Fracción no ferrosa de la carcasa

Las fracciones no ferrosas se componen de latón, cobre y aluminio. El intercambiador de calor de los aires acondicionados generalmente se compone de cobre y aluminio. Estos son materiales con una alta conductividad térmica. El latón se utiliza muy poco, solo para las conexiones de aparatos de aire acondicionado y normalmente no se utiliza en los refrigeradores.

3.11 Resumen de sustancias peligrosas

Las sustancias peligrosas más preocupantes y conocidas en refrigeradores y aires acondicionados son los refrigerantes CFC-12, HCFC-22, HFC-134a, R-410A (mezcla de HFC), HFC-32, otros HCFC o mezclas de HFC y la solución de amoníaco que contiene cromo VI. Los agentes espumantes más peligrosos contenidos en las espumas rígidas de poliuretano (PUR) de refrigeradores son: CFC-11, HCFC-141b. Otras sustancias peligrosas son:

- Mercurio (solo en congeladores horizontales)
- Componentes de plaquetas de circuito impreso (en aires acondicionados y refrigeradores)
 - Plomo
 - Cadmio
 - Cromo hexavalente
- PCB en condensadores (en aires acondicionados y refrigeradores)
- PBB y PBDE en plásticos como retardantes de llama (hay mayor probabilidad de encontrar estas sustancias en los aparatos de aire acondicionado que en refrigeradores)

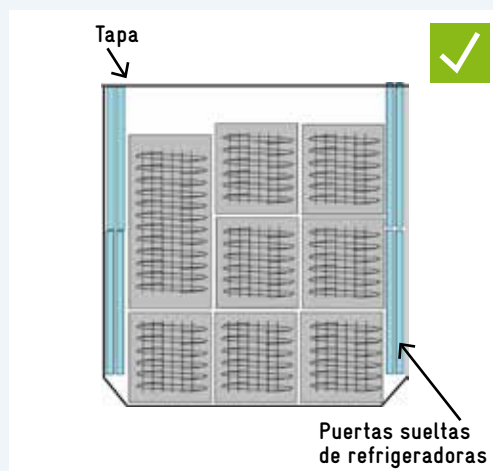
4. TRANSPORTE

Es importante seguir instrucciones especiales de seguridad en el transporte de los refrigeradores y aires acondicionados al final de su vida útil para evitar una pérdida incontrolada de refrigerantes, agentes espumantes críticos y otras sustancias nocivas como el aceite. Independientemente de si el transporte incluye uno o varios electrodomésticos, los refrigeradores y aires acondicionados se deben sujetar al vehículo de transporte para evitar daños. Se pueden utilizar correas de sujeción, pero no son necesarias si se garantiza suficiente densidad de empaquetamiento.

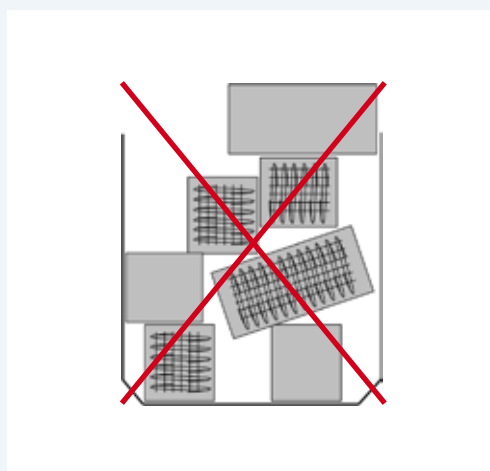
Cuando se transportan varios aparatos se pueden utilizar contenedores con ruedas. Todos los intercambiadores de calor de los refrigeradores deben estar orientados en la misma dirección en ángulos rectos a la dirección de desplazamiento (figura 7). Es recomendable transportar estos aparatos en posición vertical (no al revés) y no colocarlos apoyados sobre sus serpentines de enfriamiento. Se debe evitar amontonar los refrigeradores al azar. Para minimizar el daño durante el transporte, se recomienda llenar el espacio de carga vacío con puertas sueltas de refrigeradores. Además, los aparatos pesados deben colocarse en la capa más baja, los elementos más ligeros y más pequeños en la parte superior de la primera capa, etc.

Figura 7. Pila adecuada (izquierda) e inadecuada (derecha) de refrigeradores dentro de un contenedor de rodillos

Contenedor sobre rodillos
llenado correctamente



Contenedor sobre rodillos
llenado **in**correctamente



Se debe evitar el traslado de un sistema de transporte a otro en la medida de lo posible, ya que esto siempre viene con el peligro de dañar los sistemas de refrigeración. Los contenedores con ruedas u otros contenedores de transporte deben estar cubiertos (tapa) para asegurar la protección contra la lluvia.

Durante el transporte, los contenedores deberán estar protegidos contra la entrada no autorizada de personas para evitar la desaparición y daño de los aparatos. Además, al menos dos extintores deben estar a bordo del vehículo de transporte (véase Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia, 2010). Cuando se cargan o descargan los vehículos, los refrigeradores y aires acondicionados deben ser manipulados con cuidado y no se deben dejar caer.

Cuando los aparatos llegan a las empresas de gestión de RAEE, los equipos deben ordenarse según su tamaño (véase también el capítulo 5), y también según el refrigerante contenido. Debe haber un área delimitada dentro de la planta para cada tipo de equipo ordenado (véase figura 8). Se debe evitar acumular aparatos en varias capas dentro de la planta.

La preclasificación facilita en gran medida el procesamiento posterior de los equipos. Cuando los aparatos con diferentes refrigerantes se procesan juntos (lo cual depende de la estrategia tecnológica de extracción de la etapa I y del separador térmico de aceite), todos estos aparatos se pueden almacenar en la misma zona de la planta.

Figura 8. Refrigeradores ordenados en la planta de una empresa de gestión de RAEE después de que los equipos han sido entregados



Para informarse sobre aspectos generales de los sistemas de recolección, véase la *Guía para establecer sistemas de recolección para equipos que contienen SAO* de la GIZ (en preparación).

5. CATEGORÍAS DE EQUIPOS, REGISTROS Y TASAS DE RECUPERACIÓN

Cada empresa de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos debe tener su propio sistema de información y monitoreo para controlar lo siguiente:

- 1) Entrada de RAEE frente a su salida: Toneladas de RAEE entregadas (= entrada) frente a material recuperado (= salida)
- 2) Tasas de recuperación de las sustancias peligrosas, al menos de los refrigerantes

5.1 Categorías de equipos

Los equipos y materiales tienen que ser categorizados. En el caso de los aparatos, esto depende principalmente de los sistemas de categorización específicos de cada país. Además, las categorías deben reflejar el mercado. Se puede utilizar la siguiente diferenciación para refrigeradores:

- **Aparatos de tipo I**

“Refrigeradores domésticos”: estos refrigeradores tienen un diseño doméstico típico con una capacidad de almacenamiento de hasta 180 litros. Los aparatos pueden o no estar equipados con un compartimento congelador separado.

- **Aparatos de tipo II**

“Combinación refrigerador-congelador de tipo doméstico”: estos son los aparatos de refrigeración de un diseño doméstico típico con una capacidad de almacenamiento que va desde 180 a 350 litros. Por lo general, estos aparatos tienen un compartimento congelador separado.

- **Aparatos de tipo III**

“Congeladores tipo baúl y congeladores verticales”: estos son aparatos de congelación de un diseño doméstico típico con una capacidad de almacenamiento de hasta 500 litros.

- **Refrigeradores comerciales**

Estos son todos los aparatos cuya construcción y tamaño es distinto a los mencionados anteriormente y que se utilizan principalmente para fines comerciales.

En Colombia, las siguientes categorías podrían reflejar mejor el mercado (tabla 5):

Tabla 5. Clases de refrigeradores que típicamente se encuentran en Colombia (pueden servir para categorización y mantenimiento de registros, RED VERDE, 2015)

TIPO DE REFRIGERADOR	DIMENSIONES APROXIMADAS (cm)			PESO APROX. (kg)
	ALTURA	ANCHO	PROFUNDIDAD	
Refrigeradores convencionales, tipo "frost"	139,8	61,4	69,1	42,2
Refrigeradores, tipo "no-frost"	174,0	69,1	72,1	74,8
Refrigeradores de doble puerta, "nevecones" o SBS (<i>side by side</i>)	180,6	92,6	87,5	158,9
Refrigeradores de tipo minibar	57,6	49,7	46,5	20,4

Con respecto a los aires acondicionados existen principalmente dos diferentes tipos: las unidades independientes (*plug-in*) y los sistemas *split*. Estos tipos se subdividen según su tamaño y capacidad.

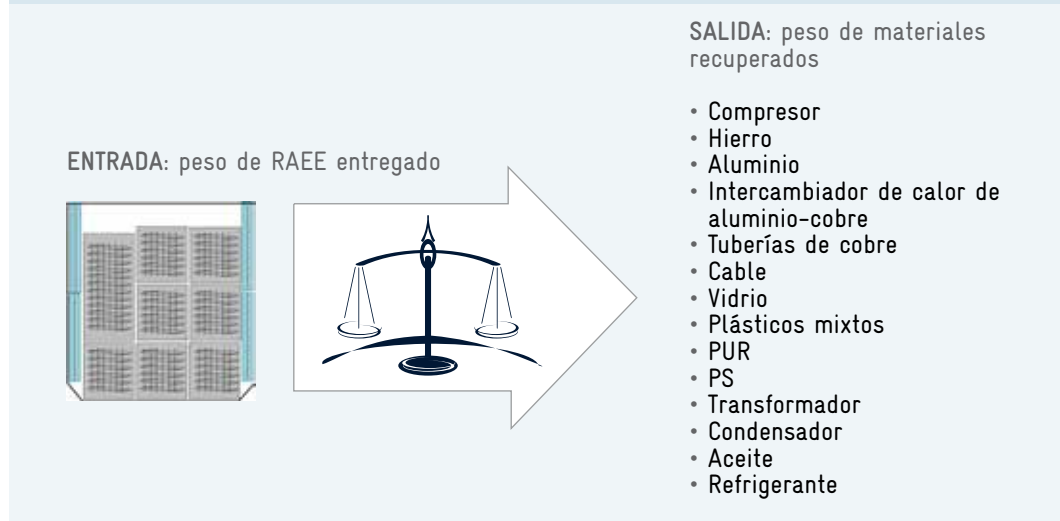
5.2 Entrada de RAEE frente a los materiales recuperados

Este enfoque tiene en cuenta las toneladas de los RAEE recibidos en las instalaciones de los gestores (entrada) en comparación con las toneladas de los materiales recuperados (salida), como se ilustra en la figura 9. La definición de las categorías depende de la legislación nacional y básicamente refleja las categorías que se han definido en el marco del sistema nacional de recolección (en el caso de que exista¹⁸). En Colombia algunos tipos de RAEE actualmente son entregados a gestores de RAEE y clasificados después. Sin embargo, existen 3 categorías, 28 sub-categorías y 469 sub-partidas arancelarias de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) que han sido identificadas en el arancel nacional y que deben ser consideradas como base para la preparación de una normativa nacional detallada.

Independientemente de si se tiene en cuenta el desensamble manual o un procedimiento de trituración automatizado, se sugiere el uso de las categorías de la figura 9 para los materiales recuperados. Dependiendo de los recursos disponibles, se pueden introducir más categorías. Este tipo de monitoreo es indispensable para establecer un modelo de negocio sólido de una empresa gestora de RAEE y un control de la eficacia de los procesos.

¹⁸ En el caso que el esquema de recolección no haya sido establecido, por favor consultar las guías de GIZ para establecer un sistema de recolección de equipos que contienen SAO *Guía para establecer sistemas de recolección para equipos que contienen SAO*.

Figura 9. Sistema de monitoreo del gestor de RAEE: enfoque de balance de masas (toneladas de RAEE recibidas-izquierda versus toneladas de materiales recuperados-derecha)



5.3 Determinación de las tasas de recuperación del refrigerante

Aparte del método de balance de masa que ha sido descrito anteriormente, todos los refrigeradores y aires acondicionados entregados a gestores de RAEE deben estar registrados de acuerdo a sus características. Por lo tanto, es aconsejable mantener un registro para anotar el número de refrigeradores y de aires acondicionados con sus respectivas características, tales como:

- Tipo de equipo (para categorías, véase numeral 5.1)
- Tipo de refrigerante (véase etiquetado en el refrigerador o en el compresor, véase figura 10)
- Circuito de refrigerante defectuoso o intacto (véase el recuadro 5)

Cada trabajador en la línea de desensamble debe registrar diariamente el número de aparatos procesados. La tabla 6, diseñada para la etapa I (ver recuadro 7 y figura 19), podría ser utilizada para este propósito. Al final de la semana, estos datos deben ser digitalizados (p.ej.: usando un archivo de Excel). En Colombia, RED VERDE ha diseñado una plataforma en línea a la que las empresas de gestión de RAEE pueden acceder para registrar directamente sus datos (véase www.redverde.co).

Tabla 6. Plantilla para registros de refrigeradores y aires acondicionados. Los campos marcados con un relleno de color naranja son las unidades que se utilizan para determinar la tasa de recuperación

SEMANA DEL AÑO:	REFRIGERADORES			APARATOS DE AIRE ACONDICIONADO		
	Con gases clorados y fluorados (CFC, HCFC, HFC)	Refrigerantes sin cloro ni flúor (HC-290, R600a, etc.)	SAO y gases fluorados (CFC, HCFC, HFC)	Refrigerantes sin cloro ni flúor (HC-290, R600a, etc.)		
Número total de unidades	Circuito de refrigeración defectuoso, p.ej.: • Compresor ausente • Tuberías dañadas	Circuito de refrigeración sin daños, (p.ej.: daños no visibles)	Circuito de refrigeración defectuoso	Circuito de refrigeración sin daños	Circuito de refrigeración defectuoso	Circuito de refrigeración sin daños
	Lunes 7	III		II		
	Martes 4	II		I	I	
	Miércoles					
	Jueves					
	Viernes					

Procedimiento detallado

Las tasas de recuperación deben ser calculadas constantemente y por lo menos una vez por semana después de transferir la plantilla (tabla 6) a una versión electrónica, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula clave:

$$\text{Tasa de recuperación} = \frac{\text{Cantidad de refrigerante recuperado (en gramos)}}{\text{Cantidad esperada de refrigerante (en gramos)}}$$

Cálculo de la **cantidad de refrigerante recuperado**:

- Antes de iniciar el trabajo en la mañana, el operario debe registrar el peso del tanque de presión (véase paso 10, capítulo 7)
- Debe extraer el refrigerante de todas las unidades durante el tiempo de trabajo y completar la plantilla impresa (véase tabla 6)
- Se debe registrar el peso (valor mostrado en la pantalla) del tanque de presión al final de la jornada
- La diferencia entre los valores indicados (mañana y tarde) representa la “**cantidad de refrigerante recuperado**”

Se debe tener en cuenta que se recomienda primero seguir el proceso de separación de refrigerante del aceite (véase el recuadro 4). Cuando el proceso de separación se realice durante la noche (para asegurar que todos los refrigerantes se eliminaron de la mezcla de refrigerante y aceite, véase el recuadro 6), la lectura de la pantalla no se tomará al final del día sino a la mañana siguiente.

Cálculo de la **cantidad esperada de refrigerante**:

- Se debe multiplicar el número de equipos sin daños que contienen SAO o gases fluorados (tabla 6, columna naranja) por el promedio de carga inicial de las unidades (en gramos).
- Los datos de la carga inicial se pueden obtener de la etiqueta del producto (véase figura 11).

Figura 10. Tanque de presión sobre báscula. Contiene refrigerantes recuperados que han sido extraídos



Figura 11: Indicación del tipo de refrigerante en el etiquetado del producto (izquierda) y en el compresor (derecha)



Este procedimiento se realiza separadamente para refrigeradores y aires acondicionados. Sin embargo, no se hace por separado para diferentes aparatos de la misma clase (p.ej.: tipos de nevera I, II, etc.). Se usa idealmente un valor de carga inicial promedio ponderado en la fórmula. Este valor se puede obtener teniendo en cuenta las cargas junto con el número de los diferentes equipos que se recogen.

Es recomendable controlar el proceso de recuperación al menos una vez por año.¹⁹ Generalmente se cuenta con personal autorizado que lleva a cabo este proceso. El refrigerante recuperado debe ascender por lo menos al 90% del refrigerante contenido, tomando como base la información de la placa. Se recomienda realizar esta prueba con 100 refrigeradores una vez al año (100 aparatos a ser gestionados cuyos circuitos de refrigeración se encuentren sin daños, de los cuales 60 sean de tipo I, 25 de tipo II, y 15 de tipo III) y se procede a comparar las cantidades extraídas con las cantidades mostradas en la etiqueta. Una vez que un refrigerador en una prueba de 100 unidades se encuentre defectuoso, tiene que ser sustituido por un refrigerador intacto.²⁰

Importante: ¡Si la prueba muestra una tasa de recuperación < 90%, los equipos de recuperación deben ser controlados, reparados o renovados!

¹⁹ En Alemania TA-Luft Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3.

²⁰ Para más información, véase RAL 728 p. 18 ss.

RECUADRO 5

¿ESTÁ DEFECTUOSO EL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN?

Para la determinación de las tasas de recuperación, solamente se consideran los aparatos con un circuito de refrigeración intacto. Pero, ¿cómo se puede saber si el circuito está defectuoso o no?

- Control visual: algunos componentes del sistema (p.ej.: compresor) no están presentes o la tubería está deteriorada → defecto
- Comprobar manómetro: ¿no hay presión en los sistemas? → defecto
- Inspección de vidrio: ¿no hay formación de ampollas en la mirilla? → defecto

Las unidades defectuosas están sujetas al proceso de desensamble manual de la forma habitual. No es necesario extraer el refrigerante pues ya se ha escapado del sistema.

6. ELEMENTOS DE SEGURIDAD LABORAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS Y REQUERIMIENTOS PARA LAS INSTALACIONES DE GESTORES DE RAEE

6.1 Elementos de seguridad laboral

Para los empleados de las empresas gestoras de RAEE que conducen el proceso de desensamble se recomiendan los siguientes elementos básicos de protección personal (figura 12):

Figura 12. Elementos de protección personal recomendados para empleados que ejecutan el proceso de desensamble de refrigeradores y aires acondicionados.



Debido al peligro de quedar atrapado no se recomienda usar pantalones con fijación en los hombros (overoles).

6.2 Herramientas y equipos necesarios para las empresas de gestión de RAEE

Es importante que las empresas de gestión de RAEE estén equipadas con diversas herramientas y equipos como se muestra en las siguientes imágenes. En la figura 13 se muestran las herramientas básicas necesarias para el proceso de desensamble y en la figura 14 se muestra una línea de desmontaje (izquierda), que permite la inclinación de los refrigeradores para extraer los refrigerantes en el punto más bajo con unos alicates de perforación (figura 14, derecha).

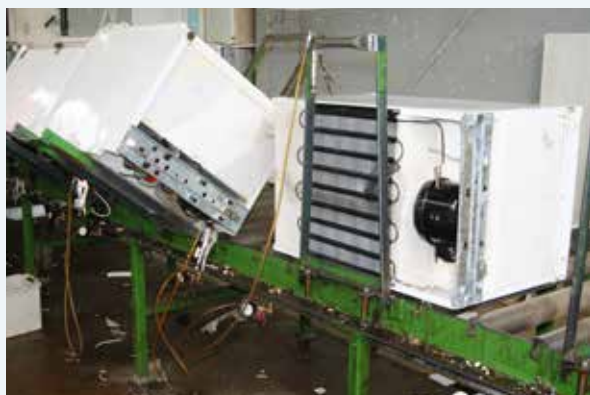
Figura 13. Herramientas básicas de una empresa de gestión de RAEE



Finalmente, en la figura 15 se muestra un separador térmico de aceite (izquierda), un recipiente a presión con báscula para el refrigerante extraído (parte superior derecha) y un depósito de aceite ASF²¹ para almacenar el aceite de desecho (abajo a la derecha).

²¹ Los contenedores ASF pertenecen a la categoría *gran recipiente para mercancías a granel* (GRG) y se usan para almacenar y transportar líquidos inflamables o nocivos para el agua.

Figura 14. Línea de desmontaje para extraer refrigerantes y los alicates de perforación requeridos



Línea de desmontaje para la extracción de refrigerantes
con alicates de perforación



Alicates de perforación

Figura 15. Equipo necesario después de que el refrigerante ha sido extraído: separador térmico especial de aceite (izquierda), un recipiente a presión con báscula (parte superior derecha) y un depósito de aceite ASF para el aceite de desecho (abajo a la derecha).



Línea de desmontaje para la extracción de refrigerantes
con alicates de perforación



Recipiente a presión con báscula



Contenedor de aceite

La línea de desensamble, los alicates perforadores y el separador térmico de aceite son generalmente hechos a la medida para adaptarse a las necesidades de los clientes; el diseño depende en gran medida del número de aparatos y del tipo de refrigerante. En consecuencia, no se pueden dar recomendaciones generales sobre el sistema que se debe utilizar. Sin embargo, se puede distinguir entre dos tipos básicos:

- Sistema de recuperación estacionario (diseño estándar de alrededor de 60 refrigeradores por hora)
- Unidades de recuperación móviles

Por lo general, los sistemas de recuperación estacionarios tienen dimensiones de 2.000 x 1.200 x 1.800 mm con un peso de alrededor de 1 tonelada y trabajan con una presión negativa de 0,8 bar²². En particular, las pequeñas empresas de gestión de RAEE con pocos refrigeradores para procesar, no iniciarán el proceso mediante la instalación de sistemas de recuperación estacionarios; en ese caso, la instalación de una unidad de recuperación móvil parece más adecuada.

Los refrigeradores con R-600a también se pueden tratar con tales unidades de recuperación si se aseguran ciertas medidas de seguridad (considerando la inflamabilidad del R-600a). Incluso para los refrigeradores de amoníaco existen módulos especiales. La viabilidad económica de estas inversiones depende del número de refrigeradores. Los proveedores de estos sistemas ofrecen asesoramiento.²³

Por último, las empresas de gestión de RAEE necesitan varios contenedores y cajas para el almacenamiento de los RAEE y los componentes recuperados. Además del almacenamiento para el aceite y el refrigerante (figura 15), no se necesitan recipientes ni cajas especiales.

En general, cuanto más grande es el contenedor, los costos de transporte pueden disminuir. Por esta razón, las empresas de gestión de RAEE pueden estar interesadas en recipientes grandes, pero por supuesto esto depende de la cantidad de RAEE para ser procesados. Los RAEE, incluyendo refrigeradores y aires acondicionados, son idealmente entregados en contenedores con ruedas (figura 16, izquierda); estos también pueden ser utilizados para el transporte posterior de los componentes recuperados a otras instalaciones. Como alternativa, se pueden utilizar recipientes más pequeños (figura 16, derecha).

²² Para ejemplos, véase: <http://www.en-pro.de/sites/default/files/stufe1.pdf>, fecha de acceso 01.04.2016.

²³ Ejemplos de proveedores de sistemas de etapa I: <http://www.en-pro.de/home> and <http://www.herco-gmbh.com/en/>, fecha de acceso 01.04.2016.

Figura 16. Contenedor con ruedas (izquierda) y contenedor más pequeño de 7m³ (derecha) para el transporte de RAEE y componentes recuperados.



Las empresas de gestión de RAEE utilizan también contenedores y cajas más pequeñas. Los contenedores hechos de malla de hierro sirven para la mayoría de los componentes: cables, compresores, serpentines de enfriamiento, etc. (figura 17, izquierda). Para el almacenamiento intermedio, los empleados que trabajan directamente en las líneas de desensamble pueden utilizar cajas de plástico simples (figura 17, derecha).

Figura 17. Contenedores de malla de hierro para el almacenamiento de componentes recuperados, aquí se muestra lleno de cables (izquierda). Caja de plástico más pequeña para almacenamiento intermedio, aquí se muestra llena de componentes de cobre (derecha).



Los volquetes sirven particularmente para el vidrio (figura 18, izquierda), mientras que los tambores de plástico redondos con tapas de cierre hermético se deben utilizar para los componentes peligrosos, tales como plaquetas de circuitos, interruptores que contienen mercurio, etc. (figura 18, derecha).

Figura 18. Volquete (izquierda) y contenedores de plástico (derecha) para materiales recuperados.



6.3 Requerimientos para las instalaciones de las empresas de gestión de RAEE

Existen algunos requerimientos para las instalaciones, cuando se establecen sistemas de etapa I (ver recuadro 7 y figura 19) con almacenamiento temporal de materiales. Estos requerimientos se refieren principalmente a:

- Construcción
- Protección contra el ruido
- Seguridad de la instalación
- Protección preventiva contra incendios
- Protección del agua y del suelo

Construcción

Antes de instalar los sistemas que comprende la etapa I (ver recuadro 7), es importante verificar la estática de los cimientos y del edificio. El área debe estar protegida con rejas y puertas con llave que deben mantenerse cerradas durante los tiempos sin operación para evitar el ingreso de personal no autorizado. Las áreas que se utilicen para el almacenamiento de equipos y el desmantelamiento de los mismos deben ser pavimentadas, pero separadas unas de otras y marcadas como tal. El suelo debe ser suave y sin fisuras, en particular cuando se gestiona el mercurio.

Protección contra el ruido y el polvo

Los sistemas de la etapa I deben instalarse en áreas industriales, en lugar de áreas residenciales, para evitar impactar a los residentes en términos de tráfico y ruido. Durante el proceso de planificación, es importante tener en cuenta el ruido de los vehículos entregando los RAEE y recogiendo materiales recuperados.

Las fases durante el proceso de desensamble en las que se emite ruido deben realizarse al interior del edificio o planta. Los niveles de ruido máximo definidos a nivel nacional deben ser considerados tanto para las fuentes de ruido (emisiones), como para el impacto del ruido a ciertas distancias (inmisiones). Las compuertas, ventanas y puertas deben abrirse solamente si es necesario y mantenerse cerradas durante la noche.

Además de las máscaras contra el polvo que utilicen los operarios, se recomiendan sistemas de recogida de polvo móviles o estacionarios para evitar que partículas pequeñas entren en los pulmones durante la extracción manual de la espuma. Es importante que el filtro pueda capturar efectivamente partículas de al menos 5 micras (micrón es sinónimo de μm y $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$).

Seguridad de la instalación

Para evitar la creación de una atmósfera explosiva dentro del edificio, es importante considerar las propiedades físicas y químicas de los refrigerantes (p.ej.: límite de explosión inferior y superior) y las fuentes de ignición (p.ej.: fuegos abiertos, cigarrillos) deben ser excluidas. Si es necesario, un sistema de ventilación de aire puede garantizar la suficiente velocidad de intercambio de aire. Un sistema de comprobación automático de la concentración de los hidrocarburos dentro del edificio podría proporcionar los indicadores necesarios. En el caso de alcanzar los límites críticos de explosividad, la operación deberá suspenderse. La norma EN 378 sirve como guía de evaluación en la creación de atmósferas explosivas.

Protección preventiva contra incendios

De acuerdo con el departamento local de bomberos se debe establecer una regulación de precaución contra incendios. Los elementos incluyen un sistema de detección automática de incendios y un sistema de control de humo y calor para la eliminación de humo. Además, deben ponerse a disposición del cuerpo de bomberos los planos de la planta, que proporcionen una visión general del edificio y sus componentes. En todo momento debe garantizarse la disponibilidad de agua suficiente para la extinción de incendios.

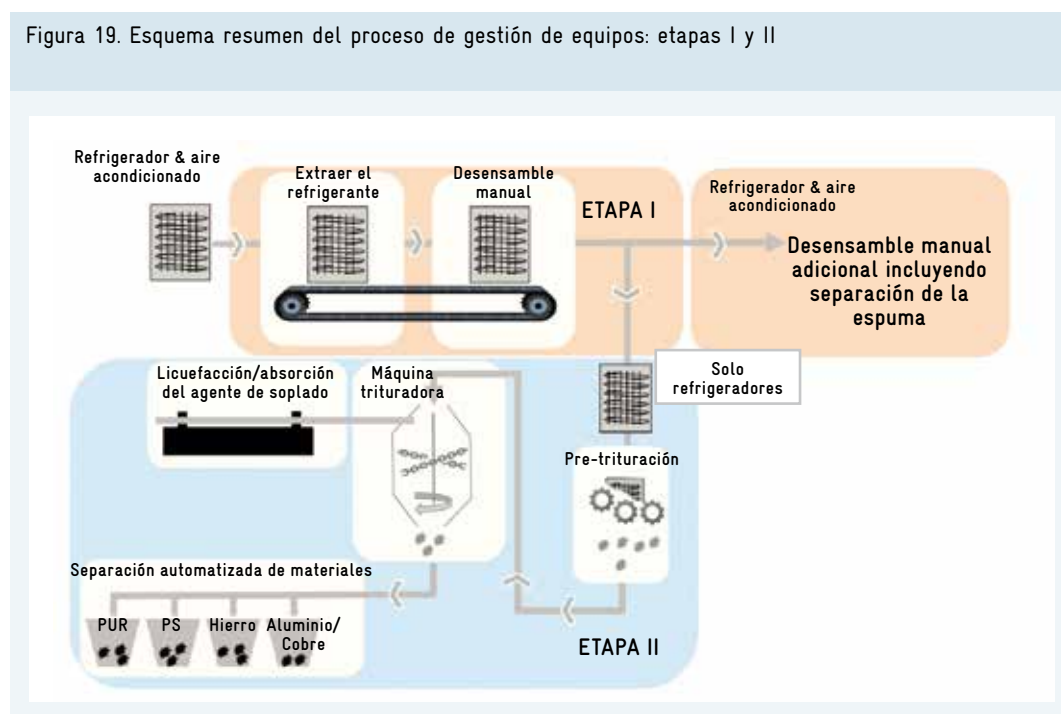
Protección de agua y suelo

Las áreas de almacenamiento para refrigeradores y aparatos de aire acondicionado deben tener techos a prueba de agua con la provisión de control de derrames. Del mismo modo, la zona donde se lleva a cabo el desensamble requiere un manto de impermeabilización. Se recomienda instalar un estanque de acero bajo el área de desensamble para evitar que los refrigerantes y aceites se infiltren en el suelo y al agua subterránea. Además se recomienda tener en cuenta la legislación nacional para más detalles sobre los requisitos del sitio.

7. DESENSAMBLE MANUAL DE REFRIGERADORES

De acuerdo con la definición comúnmente aceptada²⁴, todas las operaciones descritas a continuación (pasos 1 a 23) pertenecen a la llamada etapa I. Los pasos 24 a 28 se refieren a la extracción manual de espumas (recuadro 3). Los pasos 1 al 23 incluyen la extracción de partes sueltas, extracción de refrigerante y aceite, la separación del aceite y el refrigerante, el retiro del condensador y del compresor incluyendo componentes conectados, el retiro del intercambiador de calor y el drenaje del aceite del compresor. Después de estos pasos, la espuma de aislamiento será retirada manualmente del gabinete del refrigerador. Las áreas sombreadas con color naranja en la figura 19 indican los pasos que comprende esta guía; las áreas sombreadas con color azul señalan los pasos de la etapa II que no están comprendidos en esta guía, véanse también el recuadro 7 y el capítulo 10.

Figura 19. Esquema resumen del proceso de gestión de equipos: etapas I y II



Las empresas de gestión de RAEE deben elaborar instructivos de trabajo detallados y todos los empleados deben ser informados periódicamente sobre estos documentos. Los instructivos de trabajo deben estar claramente visibles en el área de trabajo. Este capítulo se podría utilizar como guía de versión impresa para los empleados.

²⁴ Véase también el recuadro 7 y VDI 2343.

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Extracción de piezas sueltas

PASO // 01



- Desmontaje de piezas sueltas
- Los refrigeradores normalmente llegan con todas las piezas interiores

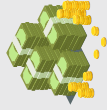
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Extracción de piezas sueltas

PASO // 02



- Elimine todas las piezas sueltas del refrigerador
 - Vidrio
 - Plástico
 - Acero
- El plástico y el acero son materiales valiosos

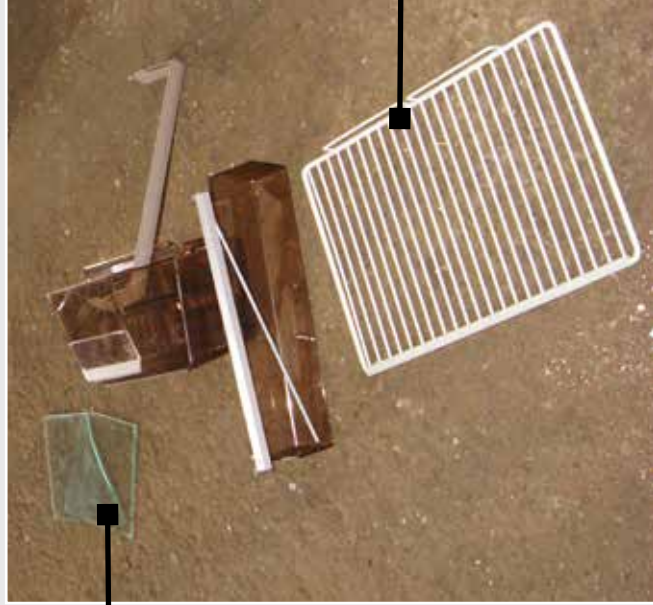


PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Extracción de piezas sueltas

PASO // 03

- Almacene los componentes en contenedores separados



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Extracción de piezas sueltas

PASO // 04

- ¿Qué hacer con los plásticos?



¿El plástico tiene algún símbolo?

- Separe los plásticos conforme a los símbolos



¿El plástico no tiene símbolo?

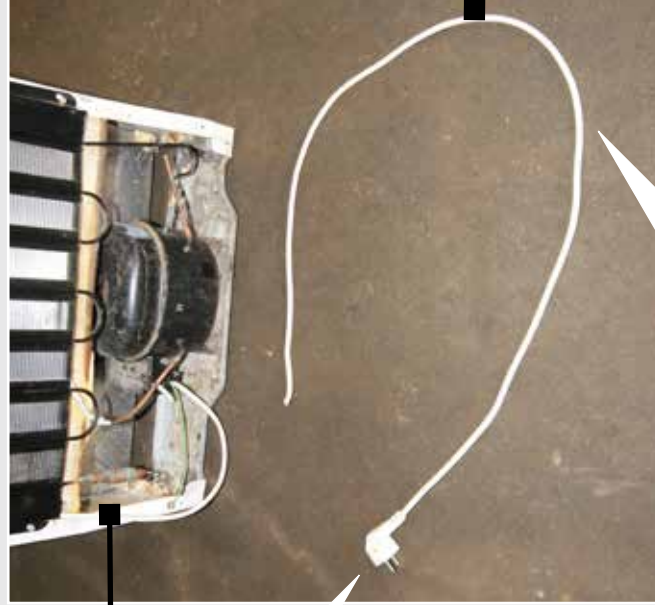
- Almacene las partes de plástico en un contenedor de plásticos mixtos para separarlos más adelante



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Extracción del cable

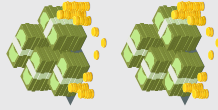
PASO // 05



Enchufe

Cable de suministro eléctrico

- Corte el enchufe de suministro eléctrico
- El enchufe de suministro eléctrico es un componente valioso
- Separar el enchufe del cable incrementará el valor del cable



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Los interruptores de congeladores podrían contener sustancias nocivas

PASO // 06



- ¡Compruebe si la placa de cubierta del congelador contiene interruptores de mercurio!
- Retire la caja de plástico en la tapa y busque los interruptores



Aquí, no se encuentra un interruptor de mercurio

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Los interruptores de los congeladores podrían contener sustancias nocivas

PASO // 07



Almacene los interruptores de mercurio en contenedores separados

Aquí se encuentra un interruptor de mercurio



RECUADRO 6

¡LOS REFRIGERANTES SON SUSTANCIAS PELIGROSAS! ¡NO DEJE QUE SE LIBEREN A LA ATMÓSFERA!

Las unidades de recuperación portátiles (imágenes A, B y C) se pueden utilizar para extraer refrigerantes del refrigerador y del aire acondicionado. Para eso, es importante conectar cilindros adecuados (imagen D) con la unidad de recuperación para almacenar el refrigerante recuperado.

Debido a la probabilidad de contaminación de refrigerantes recuperados mezclados con otros refrigerantes (p.ej.: R-410A), es recomendable utilizar cilindros de recuperación con una presión máxima de funcionamiento de 400 psig (p.ej.: DOT-4BA-400). Para los valores de las diferentes presiones de mantenimiento, se recomienda consultar la tabla 7.

Las unidades portátiles de recuperación en general deben contener un separador de aceite (imagen B, p.ej.: WIGAM EASYREC120R100), una característica importante para la red R&R²⁵. Las unidades que no están equipadas con un separador de aceite integrado (imagen A), necesitan una herramienta separada, como un kit de filtros, (imagen C, p.ej.: Mastercool Recoverymate 69500) que se puede utilizar para eliminar el aceite, los contaminantes y la humedad. Por lo tanto, la herramienta de limpieza está simplemente unida con mangueras regulares de transferencia de refrigerante.

Dependiendo del tipo de refrigerante extraído, el refrigerante puede volver a utilizarse después de la recuperación (p.ej.: R-134a o R-22) o puede enviarse para su destrucción (p.ej.: R-12). Por supuesto, los diferentes cilindros deben utilizarse para los diferentes tipos de refrigerantes. ¡Utilizar pinzas de perforación en lugar de válvulas de derivación de línea simplifica y acelera el proceso de extracción! Los alicates de perforación (con un costo de alrededor de 70 a 80 euros en el mercado europeo) se pueden combinar con las unidades portátiles de recuperación.

El proceso de extracción es aún más eficaz cuando se utilizan sistemas de extracción más grandes en combinación con separadores térmicos de aceite (véanse los pasos 8 a 11). Consulte también el capítulo 6.2 y el recuadro 4 para una discusión sobre las diferencias.



Imagen A:
Unidad de recuperación portátil para la extracción de refrigerante en Colombia (izquierda: vista lateral, derecha: vista frontal). Esta unidad no contiene un separador de aceite.

Imagen B:
Unidad de recuperación portátil con separador de aceite integrado.



Imagen C:
Herramienta para eliminar aceite, contaminantes y humedad. Sirve como adición para unidades de recuperación comunes como la mostrada en la imagen A.



Imagen D: Cilindro para almacenar el refrigerante recuperado.

Tabla 7. Indicación de las presiones máximas de funcionamiento de los refrigerantes y clasificación del cilindro según el Departamento de Transporte DOT (Estados Unidos). Ejemplo: DOT4BA400 está diseñado para la presión máxima de operación de 400 psig, DOT4BW260 está diseñado para 260 psig

REFRIGERANTE (ASHRAE #)	CLASE	SG 25 °C (77 °F)	CILINDRO DE 30 o 50 lb.	CILINDRO DE 125 lb.	CILINDRO DE 1000 lb.
R-22	HCFC	1,2	4BA350	4BA300	4BW260
R-290	HC	0,49	4BA350	4BA300	4BW260
R-438A	HFC	1,15	4BA350	4BA300	4BW260
R-422D	HFC	1,2	4BA350	4BA300	4BW400
R-417A	HFC	1,15	4BA350	4BA300	4BW260
R-422A	HFC	1,14	4BA350	4BA300	4BW400
R-437A	HFC	1,18	4BA350	4BA300	4BW260
R-134a	HFC	1,2	4BA350	4BA300	4BW260
R-401A	HCFC	1,19	4BA350	4BA300	4BW260
R-401B	HCFC	1,19	4BA350	4BA300	4BW260
R-402A	HCFC	1,15	4BA400	4BW400	4BW400
R-402B	HCFC	1,16	4BA400	4BW400	4BW400
R-404 o R-507	HFC	1,05	4BA350	4BA300	4BW400
R-407A o R-407C	HFC	1,15	4BA350	4BA300	4BW400
R-408A	HCFC	1,06	4BA350	4BA300	4BW400
R-409A	HCFC	1,22	4BA350	4BA300	4BW260
R-410A	HFC	1,06	4BA400	4BW400	4BW400

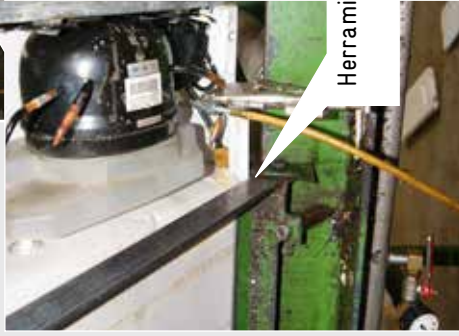
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

¡Los refrigerantes son sustancias nocivas! ¡No deje que se liberen a la atmósfera!

PASO // 08



- Extraiga el refrigerante y el aceite en el punto más bajo



Herramienta de drenaje

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Mayor información sobre los alicates perforadores

¡Los refrigerantes son sustancias nocivas! ¡No deje que se liberen a la atmósfera!

- Utilice alicates de perforación especiales para extraer el refrigerante
- Estos alicates tienen una aguja hueca y deben colocarse sobre el tubo de cobre de paso del refrigerante, del circuito de refrigeración
- El refrigerador y el aire acondicionado deben inclinarse a un cierto ángulo, de modo que las pinzas de perforación se puedan colocar en el punto más bajo del circuito de refrigeración al lado del compresor. De esta manera tanto el refrigerante como el aceite pueden extraerse.
- La aguja perforará el tubo de cobre
- La llave hexagonal permite el ajuste de un tornillo (en el extremo del alicate) que influye en la profundidad de penetración de la aguja
- Los alicates tienen una "función de bloqueo" que los mantiene fijos al tubo de cobre del refrigerante (se pueden retirar las manos)
- Los alicates de perforación tienen que estar conectados a un sistema de extracción industrial con separador térmico de aceite o a una unidad de recuperación móvil
- Las alternativas a los alicates de perforación son, por ejemplo, los cabezales de perforación

Un tubo flexible conecta los alicates de perforación con un separador térmico de aceite (vea el paso 09) o una unidad móvil de recuperación (vea el recuadro 6)

Llave hexagonal para ajustar la aguja perforadora.



Alicates de perforación.

Se recomienda extraer también los refrigerantes de hidrocarburos (p.ej.: R-600a) para su reciclaje o eliminación con las unidades de recuperación. Sin embargo, depende en gran medida de la unidad de recuperación, si pueden manejar los hidrocarburos que puedan crear mezclas explosivas con el aire (véase también el capítulo 6).

Alternativamente, los hidrocarburos pueden ser liberados a la atmósfera. Ventear hidrocarburos no causa ningún daño severo debido a las cargas limitadas (~ 200 g) en refrigeradores, el nulo potencial de agotamiento del ozono y un potencial de calentamiento atmosférico muy bajo (PCG = 3). Sin embargo, es necesario asegurarse de que el aceite no corra de forma descontrolada al liberar los hidrocarburos. Por lo tanto, la liberación de hidrocarburos debe ser realizada en la esquina superior del circuito de refrigerante (es decir, lo opuesto a como se indica en el paso 08 de este capítulo). Cuando los hidrocarburos son liberados, el número máximo de unidades para ser procesado depende del tamaño de la construcción de la fábrica y la ventilación. Para evitar la creación de atmósferas explosivas, la fórmula de la norma EN 378 (sección "espacio ocupado por humanos") puede ser considerada como orientación. Otra alternativa, es el venteo en un entorno abierto.

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Separación del aceite y el refrigerante

PASO // 09



El separador térmico de aceite caliente la mezcla de refrigerante y aceite para separarlos.

- Separe el refrigerante del aceite utilizando un separador térmico especial para aceites

En los separadores térmicos especiales la mezcla de refrigerante y aceite se calienta por lo menos a 100 °C. El proceso de desgasificación normalmente no toma más que unas pocas horas. La temperatura y el tiempo de desgasificación son interdependientes, es decir, cuanto mayor sea la temperatura, más corto será el proceso de desgasificación. Para asegurarse de que la totalidad de los componentes halogenados se han evaporado del aceite, el proceso se puede hacer durante la noche. Después de este proceso, el contenido de CFC del aceite a desechar no debe ser mayor a 2 g de hidrocarburos halogenados/kg. El aceite podría entonces ser utilizado en las plantas de combustión combinada (aprovechamiento de energía térmica) o en el reciclaje de aceite usado para crear nuevos productos a partir del aceite reciclado. Solo si la concentración de hidrocarburos halogenados supera los 2 g/kg de aceite, el aceite debe incinerarse a alta temperatura para la destrucción final. Para conocer los requerimientos de los separadores térmicos de aceite, por favor, véase también el recuadro 4.

Los refrigerantes son extraídos para ser depositados en tanques de presión especiales. El aceite se almacena en recipientes adicionales. Los recipientes de doble pared ASF podrían utilizarse para este fin con una bandeja de colección adicional²⁶.

26 En Alemania, éstos tienen que seguir el DIN 30741.

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Separación del aceite y el refrigerante

PASO // 10

Monitor
(peso)



- Pese las cantidades de refrigerante extraídas en un tanque de presión

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Separación del aceite y el refrigerante

PASO // 11

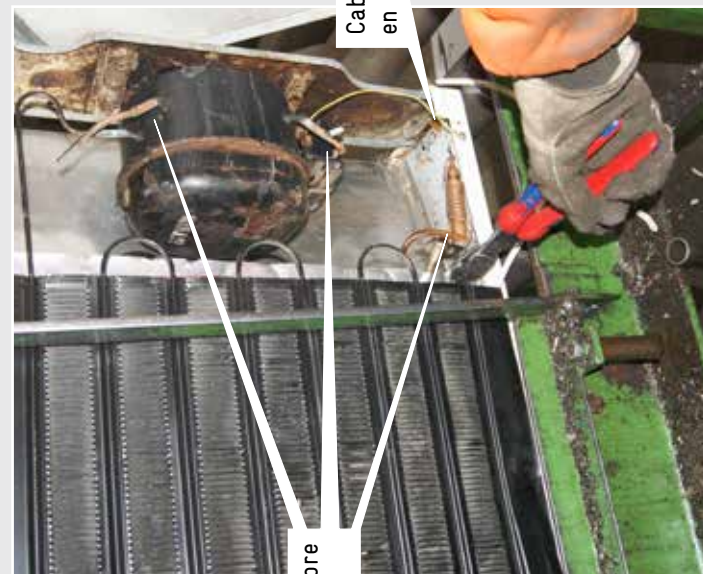


- Almacene el aceite en un contenedor separado (p.ej.: contenedor ASF)
- Los recipientes deben tener paredes dobles con una bandeja adicional

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Corte de las partes visibles

PASO // 12

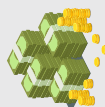


Cobre

Cable (amarillo
en este caso)

Corte todas las piezas salientes visibles y almacénelas separadamente:

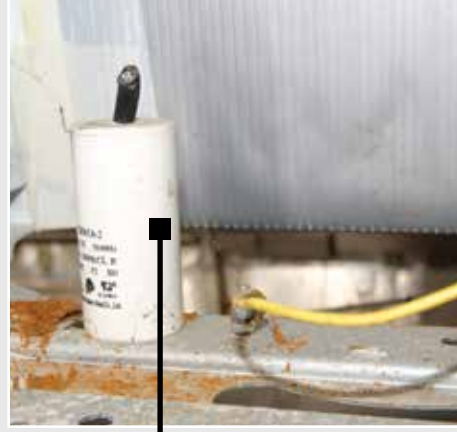
- Secador de filtro y tuberías de cobre
- Cables
- El cobre y los cables son componentes valiosos



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

¡Los condensadores eléctricos pueden contener sustancias nocivas!

PASO // 13



- Separe el condensador del refrigerador
- Atención: ¡el condensador puede contener PCB!
- Almacene el condensador en un contenedor

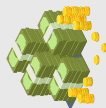
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del compresor

PASO // 14



- Desenrosque el compresor manualmente con una llave
- El compresor es un componente valioso

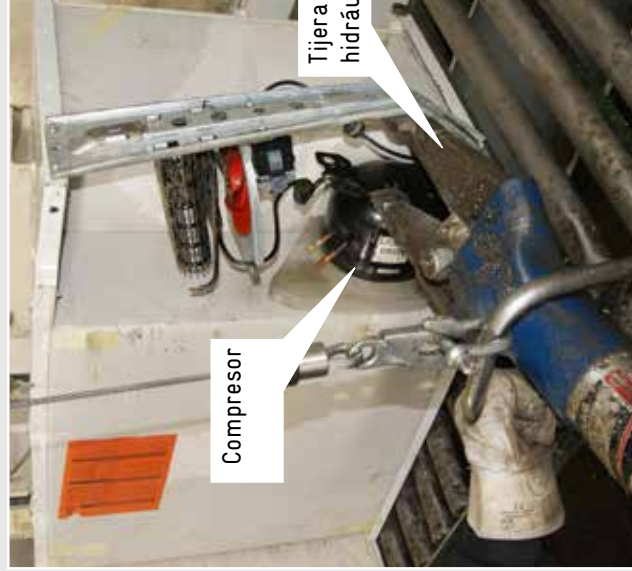


PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del compresor

PASO // 15

- Como alternativa, utilice tijeras hidráulicas para retirar el compresor



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del compresor

PASO // 16



- Retire el compresor del refrigerador

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del compresor

PASO // 17



- Utilice una máquina de perforación para perforar un agujero en el compresor

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del compresor

PASO // 18



- Ponga el compresor en posición invertida sobre una reja de hierro (agujero apuntando hacia abajo), de modo que el resto del aceite del compresor gotee hacia la reja²⁷.
- Por debajo de la reja de hierro tiene que haber una bandeja inferior para capturar el aceite que gotee.
- El compresor solo debe ser retirado de la reja de hierro si está libre de gotas.²⁸
- Debe contar con aglutinantes de aceite para absorberlo en caso de un derrame.

²⁷ Por favor notar que el aceite goteado puede contener hasta 30% de CFC (Umweltbundesamt 1998). Por eso el aceite debe ser tratado en un separador térmico especial para aceites.

²⁸ En este caso el contenido residual de aceite en el compresor es menos de 10ml (equivalente a aproximadamente 8g).

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del compresor

PASO // 19



Contenedor para aceite
derramado

- Ubique un recipiente adecuado debajo de la bandeja inferior para recoger el aceite que gotee.
- Idealmente, la bandeja de recolección del aceite derramado está conectada directamente con el sistema de degasificación

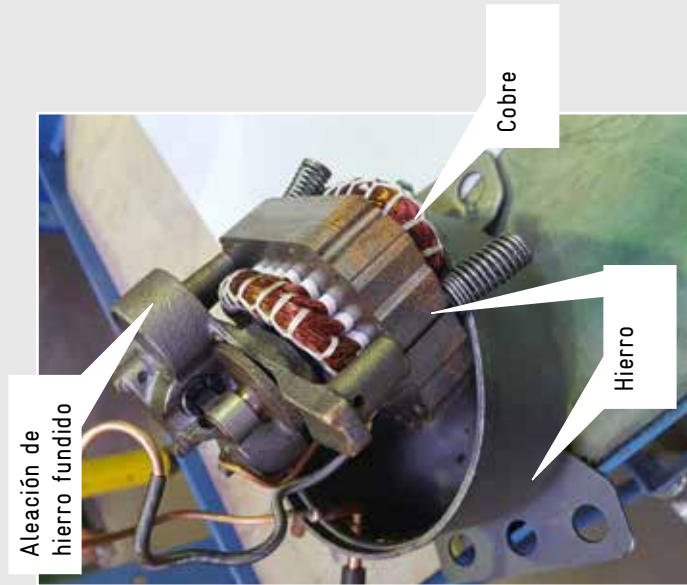


Conexión directa con el
sistema de degasificación

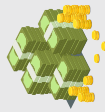
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Opcional: Desensamble del compresor

PASO // 20



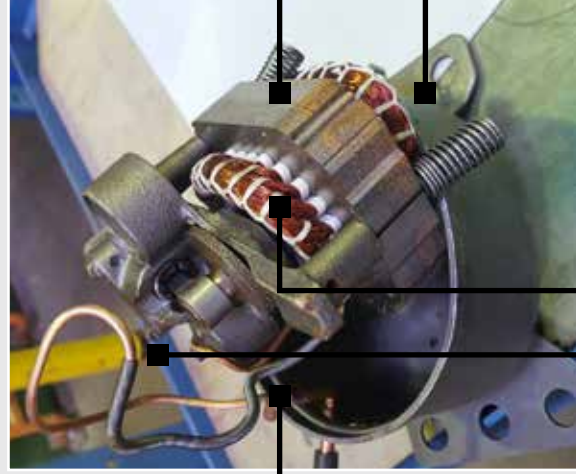
- Corte el compresor utilizando una amoladora angular
- Separe los siguientes componentes:
 - Aleación de hierro fundido
 - Cobre
 - Hierro
- Los tres componentes son valiosos



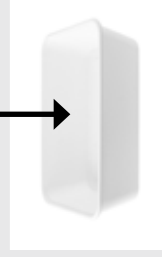
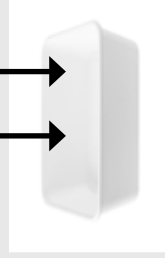
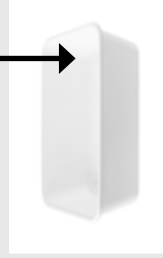
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Opcional: Desensamble del compresor

PASO // 21



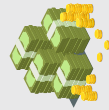
- Almacene los componentes en cajas distintas:
 - Aleación de hierro fundido
 - Cobre
 - Hierro



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del intercambiador de calor

PASO // 22



- Retire el intercambiador de calor
- Retire los soportes de montaje con un martillo
- El intercambiador de calor es un componente valioso



Martillo

Intercambiador de calor



Soportes de montaje

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Retiro del intercambiador de calor

PASO // 23



- Retire el intercambiador de calor
- Almacene el intercambiador de calor en un contenedor separado



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Mayor información sobre la recuperación manual de espuma

¡Los agentes espumantes son sustancias nocivas! ¡No deje que se liberen a la atmósfera!

En caso de que los sistemas que comprende la etapa II no estén disponibles (ver recuadro 7 y figura 19) y los refrigeradores no puedan incinerarse como unidades enteras en incineradores de altas temperaturas aprobadas por el TEAP (Technology and Economic Assessment Panel), se puede considerar la recuperación manual de la espuma.

Si se decide por la recuperación manual de la espuma ...

- Retire la espuma en piezas de gran tamaño para reducir la liberación de agentes de soplado, independientemente de si se está removiendo la espuma o cortando el refrigerador.
- Este procedimiento no debería realizarse bajo altas temperaturas ya que esto aumenta la liberación de agentes de soplado: a temperatura ambiente alrededor de 45 °C, la liberación de agentes espumantes es dos veces más alta en comparación con temperaturas alrededor de 20 °C.
- Utilice máscaras antipolvo (ver capítulo 6, numeral 6.1). Además, se recomiendan sistemas de recogida de polvo móviles o estacionarios para evitar que partículas pequeñas entren en los pulmones. Los costos de inversión para un sistema móvil de recogida de polvo son de unos 180 euros. Es importante que el filtro pueda capturar efectivamente partículas de al menos 5 micras (micrón es sinónimo de μm y $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$). Además, el desmolde de la espuma puede realizarse en un entorno abierto (solo con cubierta de techo). Puede encontrar más información sobre límites de polvo en la página de EUROLEX²⁹. El dispositivo de recogida de polvo también se puede conectar a una mesa de trabajo adecuada, para desmontar la espuma sobre una mesa o armario ventilado.

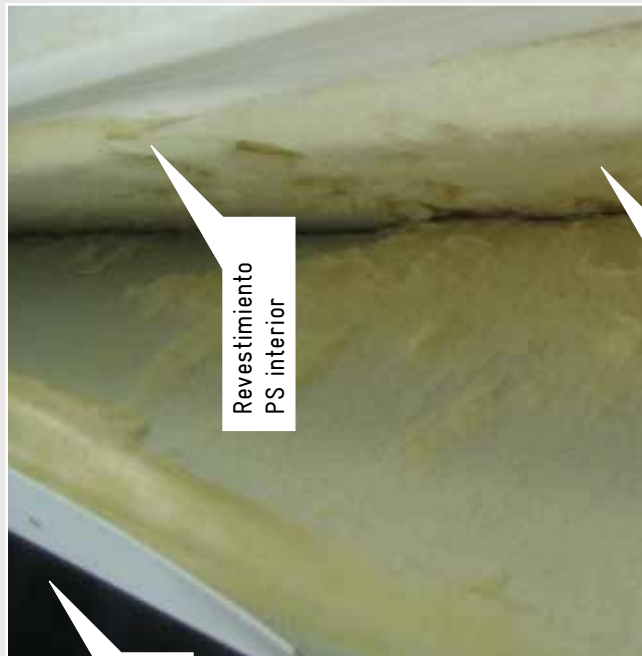
29 <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:ES:PDF>, fecha de acceso, 01.04.2016.

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Recuperación de la espuma: ¡la espuma puede contener sustancias nocivas!

PASO // 24

- Retire el revestimiento metálico exterior de las paredes laterales. Quizás, las juntas tengan que ser eliminadas previamente
- Quite la espuma con un raspador o espátula, deben rasparse incluso las adherencias pequeñas, con cuidado
- Retire la espuma por completo



Revestimiento metálico

Revestimiento PS interior

Espuma aislante con agentes soplantes



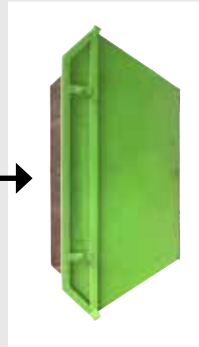
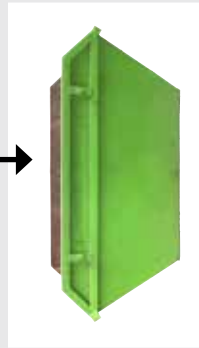
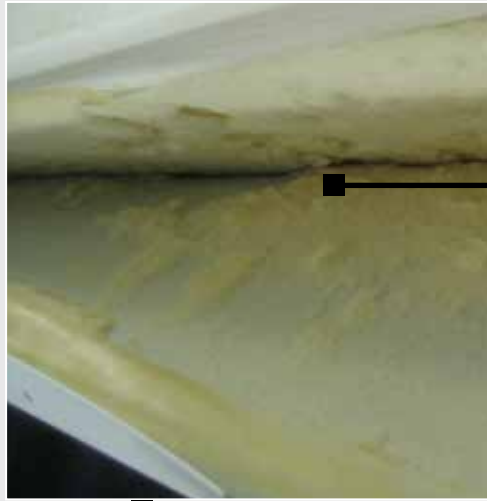
Raspador

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Recuperación de la espuma: ¡la espuma puede contener sustancias nocivas!

PASO // 25

- Almacenar los paneles de metal exterior y los plásticos PS en recipientes separados
- Almacenar las piezas de espuma en bolsas adecuadas



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Recuperación de la espuma: ¡la espuma puede contener sustancias nocivas!

PASO // 26

- Si se requiere cortar los refrigeradores en trozos más pequeños, use una amoladora angular
- Trate de reducir el número de cortes para evitar la liberación de agentes de soplado



Amoladora angular



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

Recuperación de la espuma: ¡la espuma puede contener sustancias nocivas!

PASO // 27



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE REFRIGERADORES

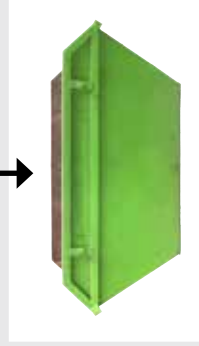
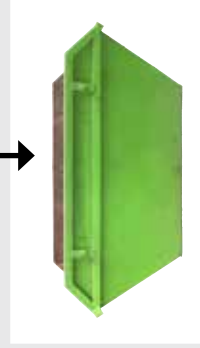
Recuperación de la espuma: ¡la espuma puede contener sustancias nocivas!

PASO // 28



Si el refrigerador ha sido cortado en trozos pequeños:

- Retire la carcasa de acero de las piezas cortadas
- Retire el revestimiento interior de plástico (en su mayoría PS)
- Almacene los componentes en contenedores y bolsas de plástico separadas



8. DESENSAMBLE MANUAL DE AIRES ACONDICIONADOS

El desmantelamiento de aires acondicionados es menos complicado que el de los refrigeradores pues no contienen espuma. Los siguientes pasos muestran el proceso de desensamble manual de una unidad de aire acondicionado autónoma, el proceso es similar para otros sistemas de aire acondicionado³⁰.

³⁰ Los sistemas más grandes como los aires acondicionados de tipo *chiller* se pueden (en parte) desensamblar en el lugar (*in situ*) después de la recuperación del refrigerante.

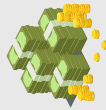
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro de los paneles exteriores de plástico

PASO // 01

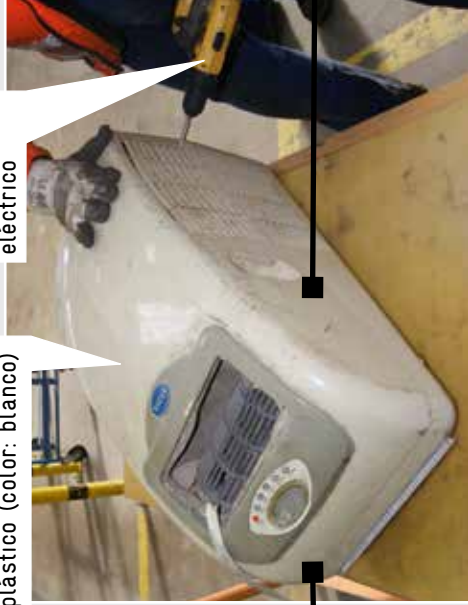
¿Qué pasa con el plástico?

- Retire los paneles exteriores de plástico con un destornillador eléctrico
- Los plásticos son componentes valiosos



Paneles exteriores de plástico (color: blanco)

Destornillador eléctrico



¿El plástico tiene algún símbolo?

- Separe plásticos conforme a los símbolos

¿El plástico no tiene símbolo?

- Almacene los componentes plásticos en un contenedor para plásticos mixtos



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro de los paneles exteriores de plástico

PASO // 02

¿Qué pasa con el plástico?

- Quite los paneles exteriores de plástico



¿Hay un símbolo encima del plástico?

- Separe plásticos conforme a los símbolos

¿No hay un símbolo encima del plástico?

- Almacene los componentes plásticos en un contenedor para plásticos mezclados



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

¡La plaqueta de circuito puede contener sustancias nocivas!

PASO // 03



- Retire las plaquetas de circuito
- Atención: pueden contener sustancias nocivas
- Almacene las plaquetas de circuito en cajas separadas



Plaqueta de circuito unida al panel de plástico



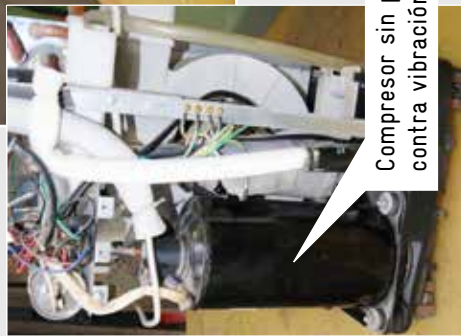
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro de la protección del compresor

PASO // 04



Protección contra vibración



Compresor sin protección contra vibración

- Retire la protección contra vibración del compresor
- Almacénela en el contenedor de plásticos mixtos

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

¡Los refrigerantes son sustancias nocivas! ¡No las libere a la atmósfera!

PASO // 05



Herramienta de drenaje

- Extraiga el refrigerante y el aceite del punto más bajo

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro del compresor

PASO // 06



Destornillador eléctrico

Compresor

- Retire el compresor utilizando un destornillador eléctrico
- El compresor es un componente valioso
- Procese el compresor de la misma manera como se realiza para los refrigeradores

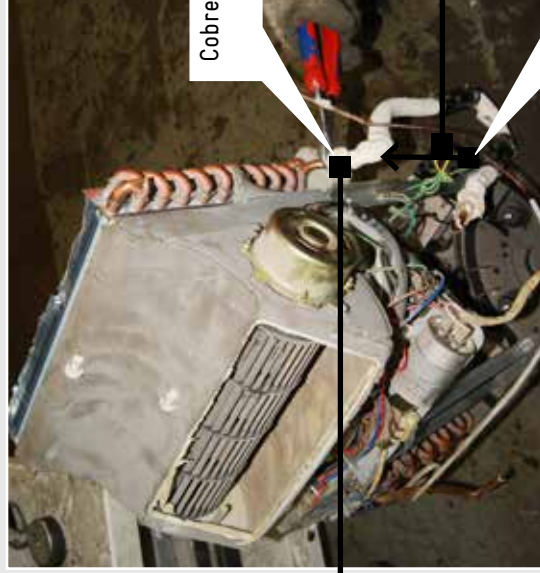


PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro de las partes visibles

PASO // 07

- Corte todas las piezas salientes visibles:
 - Secador de filtro y tuberías de cobre
 - Cables
- Almacene los componentes en cajas separadas



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro del intercambiador de calor

PASO // 08

- Retire el intercambiador de calor de aluminio y cobre
- El intercambiador de calor de aluminio y cobre es un componente valioso



Intercambiador de calor de aluminio y cobre

Destornillador eléctrico

PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

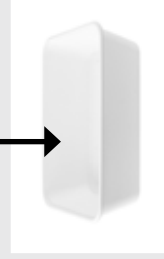
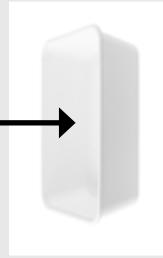
Retiro del intercambiador de calor

PASO // 09

Intercambiador de calor
de aluminio y cobre



- Almacene el intercambiador de calor y los componentes de acero en cajas separadas

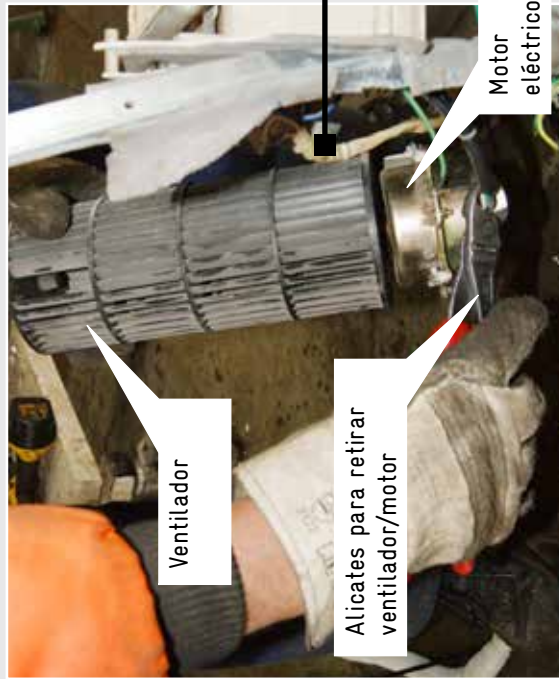


Componente
de acero

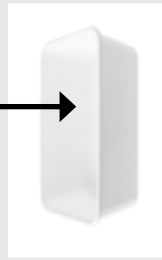
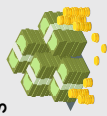
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Extracción del ventilador y del motor eléctrico

PASO // 10



- Retire el ventilador y el motor eléctrico utilizando alicates
- El motor eléctrico es un componente valioso
- Almacene el motor y el ventilador en cajas distintas



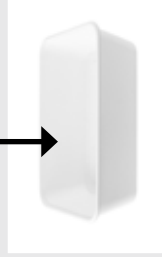
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

¡La plaqueta de circuito puede contener sustancias nocivas!

PASO // 11



- Retire las plaquetas de circuito visibles
- Atención: las plaquetas de circuito pueden contener sustancias peligrosas
- Almacénelas en una caja aparte



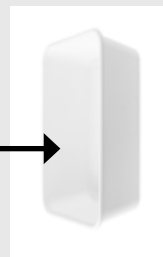
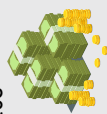
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro de los cables

PASO // 12



- Retire todos los cables visibles
- Los cables son componentes valiosos
- Almacene los cables en una caja aparte



PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

¡El condensador eléctrico puede contener sustancias peligrosas!

PASO // 13



- Retire el condensador eléctrico
- Atención: el condensador eléctrico puede contener sustancias peligrosas
- Almacene el condensador eléctrico en una caja aparte



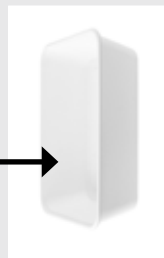
PASOS PARA EL DESENSAMBLE ADECUADO DE AIRES ACONDICIONADOS

Retiro del transformador

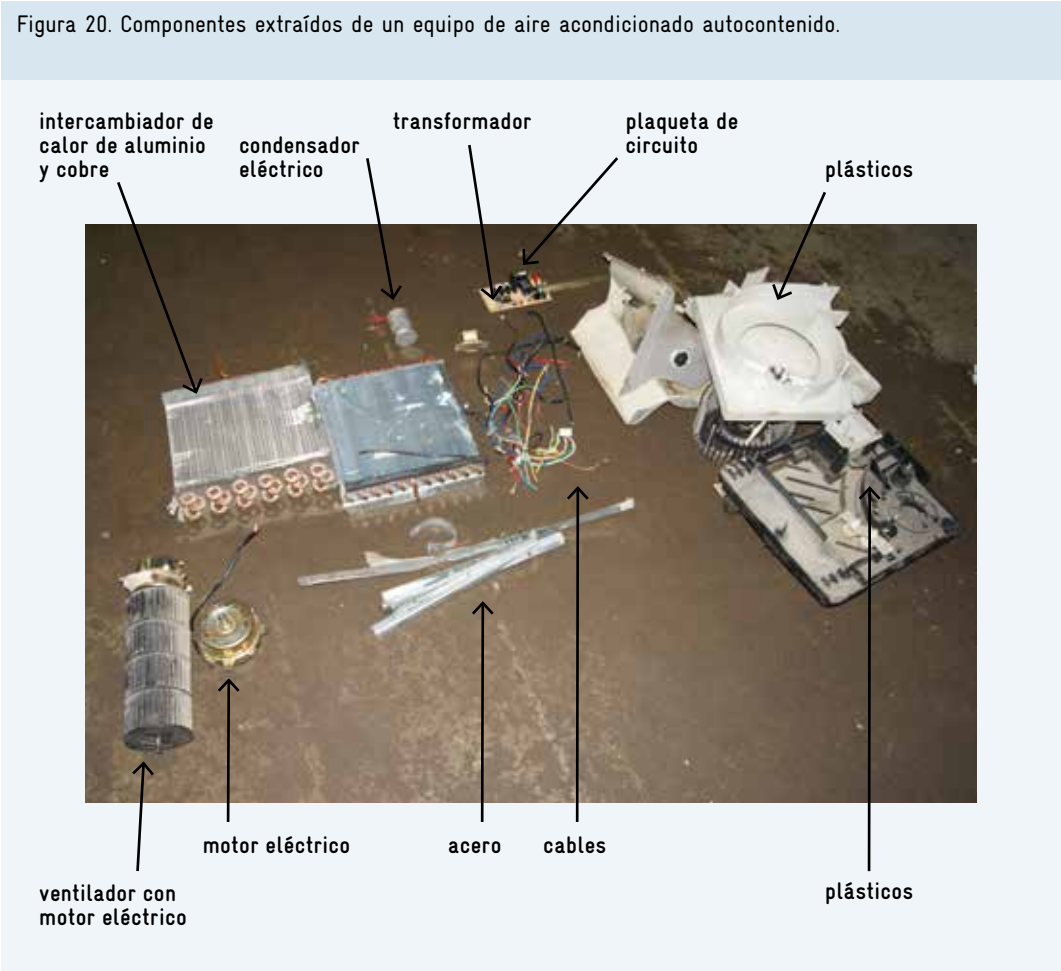
PASO // 14



- Retire el transformador
- Almacene el transformador en una caja separada



Finalmente, la figura 20 muestra los componentes extraídos del proceso de desensamble del equipo de aire acondicionado autocontenido.



9. TRANSFORMACIÓN Y VALORIZACIÓN DE MATERIALES EXTRAÍDOS

9.1 Separación de componentes extraídos y tratamiento posterior

Los componentes recuperados deben ser ordenados por separado y almacenados en contenedores y cajas apropiadas. Las categorías sugeridas para los componentes recuperados se han presentado en el capítulo 5 (figura 9).

La gran ventaja del desensamble manual, suponiendo la disponibilidad de suficiente mano de obra, es el alto grado en que los plásticos y los metales se pueden separar. Cuanto más homogéneamente se clasifiquen los materiales, mayor será el precio de venta en el mercado del reciclaje.

Con un poco de experiencia, los metales se pueden distinguir fácilmente:

- Acero
- Aluminio
- Cobre

Los plásticos también se pueden separar aún más:

- Poliestireno (PS)
- Polipropileno (PP)
- Polietileno (PE)
- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

Sin embargo, la separación visual de los plásticos es más difícil. A veces, las abreviaturas (p.ej.: PP) están colocadas en algún lugar en la parte del plástico, pero a menudo esta etiqueta no se encuentra. En este caso, se pueden utilizar detectores especiales para la identificación de diferentes tipos de plástico, así como la presencia de retardantes de llama (con costos de inversión > 6.000 € en Europa). Estos detectores operan con fluorescencia por rayos X, espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) o espectrómetro de chispa móvil (SSS) y son portátiles. Algunos ejemplos son:

- Unidad portable RFA NITON XL2
- ICR Bruker Vektor 22 /N
- mIRoGun 2.0, SSS-3-FR

Existe un método más simple: la prueba de quemado. Este método consiste en la observación de tres características cuando las piezas de plástico se queman: el tipo de llama, el humo y el olor. Cada plástico muestra características típicas de estos tres parámetros. Sin embargo, ya que este método podría causar un riesgo para la salud cuando se inhala el humo, no se recomienda la aplicación de la prueba de quemado.

Incluso los condensadores sin PCB pueden desensamblarse aún más. Sin embargo, ya que ésta es una tarea crítica y necesita conocimiento especializado, no se recomienda esta separación y se sugiere tratar todos los condensadores eléctricos como residuos peligrosos.

9.2 Disposición final

Los siguientes componentes recuperados están sujetos a disposición final:

- Los condensadores eléctricos
- La solución de amoníaco que contiene cromo VI (usado como refrigerante)
- CFC y otros refrigerantes críticos y agentes de soplado

9.3 Opciones de reciclaje de los materiales recuperados

En la tabla 8 se proporciona una visión general sobre las diferentes opciones de reciclaje de los materiales que se recuperan durante el desensamble manual de los refrigeradores y aires acondicionados. En general, estos procesos de reciclaje no los realizan las empresas de gestión de RAEE y los componentes se envían a instalaciones de tratamiento especiales.

Tabla 8. Opciones de reciclaje de materiales recuperados

COMPONENTES	OPCIÓN DE RECICLAJE
Láminas de aluminio	Fundición
Hierro	Fundición
PS granulado	Reciclaje mecánico
Vidrio	Fundición
Compresor	Fundición después de la separación de los componentes
Intercambiador de calor de aluminio y cobre	Trituración, separación y fundición
Motores eléctricos	Trituración, separación y fundición
Cables sin enchufe	Separación en planta de reciclaje
Cables con enchufe	Separación en planta de reciclaje
Carcasa de aluminio	Fundición
Acero inoxidable	Fundición
Condensador eléctrico	Disposición final o primero separación y después fundición
Interruptores con mercurio (Hg)	Recuperación de mercurio en planta especial (resto: vidrio)
Plásticos	Reciclaje mecánico, reciclaje de materias primas, co-combustión.
Refrigerante	Disposición final o recuperación
Amoníaco	Disposición final
Espuma rígida de poliuretano	Disposición final si la espuma contiene agentes espumantes nocivos • La espuma desgasificada se puede usar como aglutinante de aceite. La espuma desgasificada compactada se puede utilizar en hornos de cemento (co-combustión)

Reciclaje de plásticos

Los plásticos pueden ser reciclados mecánicamente, reciclados como materia prima o utilizados para la recuperación de energía.

El reciclado mecánico es la técnica de reciclaje más recomendada³¹. Requiere plásticos correctamente ordenados; después, el plástico es enlechado o triturado, lavado y limpiado de sustancias no deseadas tales como papel y metales. Los plásticos se calientan para ser flexibles y para crear nuevas formas. Posibles productos que resultan de este proceso son cajas de herramientas, cajas de CD, papeleras o láminas de piso, marcos de ventanas y vallas, entre otros.

Durante el proceso de reciclaje como materia prima (*feedstock-recycling*), las macromoléculas del plástico se descomponen en compuestos de bajo peso molecular (metanol o mezclas como gas de síntesis y aceites). Las materias primas petroquímicas derivadas se utilizan en refinerías y plantas químicas para producir nuevos productos.

El uso energético del plástico en aplicaciones industriales a gran escala (residuos a energía) solo se recomienda cuando los plásticos contienen retardantes de llama. Mediante el uso de sistemas combinados de calor y electricidad, se pueden generar calefacción residencial y electricidad.

9.4 El valor de los componentes extraídos

En la tabla 9 se muestra una evaluación cualitativa (esquema de semáforo) de la valorización de los componentes extraídos en el mercado del reciclaje en Europa. La coloración roja indica un costo negativo (donde el gestor de RAEE tiene que pagar por su tratamiento), la coloración amarilla indica los valores netos de hasta 300 euros por tonelada, mientras que la coloración verde muestra los componentes aprovechables con valores netos de hasta 1500 euros por tonelada³². No se presentan valores absolutos ya que los precios altos subyacen a los cambios temporales y difieren dependiendo de la región, la demanda y el precio del petróleo. Aun así, los niveles relativos normalmente se mantienen constantes, por lo que en la tabla se indican los componentes que alcanzan altos precios en el mercado de reciclaje y también los que tienen costos negativos.

31 http://www.bvse.de/314/457/4__Werkstoffliches_Recycling, fecha de acceso 01.04.2016.

32 Valores para el mercado de reciclaje alemán, febrero 2016.

Tabla 9. Evaluación cualitativa (esquema de semáforo) de la valorización en el mercado del reciclaje de los componentes extraídos (comunicación personal con Sr. Wallek).

COMPONENTES	AIRE ACONDICIONADO	REFRIGERADOR
Láminas de aluminio	Revestimiento del compartimento de congelación	
Hierro	Pequeñas piezas para los paneles de cubierta	Intercambiador de calor, paneles externos
Granulado PS	No disponible sin técnica de trituración	No disponible sin técnica de trituración
Vidrio	Estanterías	
Compresor	X	X
Intercambiador de calor de aluminio y cobre	X	
Motores eléctricos	X	
Cables sin enchufe	X	X
Cables con enchufe	X	X
Fundición de aluminio	Parte del compresor	Parte del compresor
Acero inoxidable	Partes pequeñas en refrigeradores comerciales	
Condensador eléctrico	X	X
Transformador	X	
Refrigerante ³³	X	X
Plásticos mixtos	X	X

33 En Colombia, los refrigerantes recuperados son valorizables, por favor consulte la explicación en el texto.

Los componentes más valiosos son el intercambiador de calor de aluminio y cobre y los cables sin enchufe. Por ello, se recomienda cortar las clavijas de la fuente de alimentación enchufable cuando haya recursos humanos suficientes disponibles. Los enchufes restantes luego pueden venderse por aproximadamente 40 a 50 euros por tonelada en el mercado de reciclaje (valor válido para el mercado europeo).

Los compresores alcanzan precios más altos (aproximadamente 400 euros por tonelada en Europa) cuando se cortan y se separan en componentes individuales. La factibilidad económica de hacer esta separación depende en gran medida de los salarios locales y los precios de las materias primas. Cuanto más alto sea el precio del cobre y aluminio, más atractivo será el desensamble de los compresores.

El vidrio no genera rendimientos. En Alemania, lo mismo es válido para las SAO, plásticos mixtos y condensadores eléctricos. En Colombia la situación es diferente, solo los CFC son destruidos, pero el HFC-134a (en refrigeradores) y HCFC-22 (en aires acondicionados) se recuperan para su posterior regeneración. Después de este proceso, la calidad obtenida es la misma que la de los refrigerantes vírgenes, así los refrigerantes regenerados tienen un valor positivo y dan rendimientos cuando entran en la Red de Recuperación, Reciclaje y Regeneración de Gases (Red R&R&R).

Además, los plásticos pueden lograr rendimientos más altos si se clasifican correctamente. En particular, el plástico ABS es un tipo de plástico muy valioso³⁴.

En general, los precios más altos se pueden lograr con técnicas de granulado, porque la trituración mecánica resulta en una mayor pureza. El granulado se obtiene mediante técnicas de trituración y separación (véase el capítulo 10). El granulado de hierro, por ejemplo, alcanza 250 euros por tonelada en el mercado europeo, mientras que el hierro extraído ordinariamente alcanzará alrededor de 120 euros por tonelada³⁵. Por otra parte, las tecnologías de trituración y separación representan inversiones costosas con considerables costos operacionales para lo cual se requiere tener un plan de negocio que justifique este tipo de inversiones (véase también el capítulo 10).

El valor neto de la gestión de los equipos de refrigeración y aire acondicionado resultará del equilibrio entre los rendimientos y costos de gestión adecuada de los residuos de los componentes que contienen sustancias peligrosas. Un hallazgo importante es que este equilibrio puede ser positivo tanto para los refrigeradores como para los aires acondicionados. Es decir, incluso teniendo en cuenta la gestión adecuada de ciertos componentes críticos (residuos peligrosos), los ingresos de ambos aparatos se mueven entre 5 y 15 euros por aparato en los países desarrollados y en desarrollo. Los rendimientos de los aires

34 Precios de intercambio actual para los diferentes tipos de plásticos se pueden seguir aquí: http://plasticer.de/preise/preise_monat_multi_en.php, fecha de acceso 01.04.2016.

35 Valores para el mercado de reciclaje alemán, febrero 2016.

acondicionados son siempre un poco más altos (alrededor de 3 euros por aparato, pero aún dentro del rango) debido al valioso intercambiador de calor de aluminio y cobre y a la ausencia de espuma rígida de poliuretano (PUR), pues el tratamiento del agente de soplado es costoso.

10. LISTA DE VERIFICACIÓN Y PERSPECTIVAS

En la siguiente tabla (tabla 10) se resumen los aspectos más importantes del desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados y por lo tanto constituye una lista de verificación para las empresas de gestión de RAEE y sus trabajadores.

Tabla 10. Lista de verificación para las empresas de gestión de RAEE y sus trabajadores para garantizar el éxito en el desensamble manual de aires acondicionados y refrigeradores

¿Están todas las licencias ambientales requeridas disponibles y vigentes?	✓
¿Todos los equipos y las herramientas necesarias están presentes en la empresa de gestión de RAEE?	✓
¿Los empleados están debidamente equipados en cuanto a seguridad en el trabajo y capacitados para manejar los componentes que contengan residuos peligrosos?	✓
¿Todos los componentes peligrosos han sido eliminados de los aparatos? • Mercurio (solo en congeladores) • Componentes de plaquetas de circuito impreso (en aires acondicionados y refrigeradores) • PCB en los condensadores (refrigeradores y aparatos de aire acondicionado) • PBB y PBDE en plásticos, como retardantes de llama (estas sustancias se encuentran con mayor probabilidad en los aires acondicionados que en refrigeradores)	✓
¿Existe un mercado para todos los componentes valiosos?	✓

Se recomienda que las empresas gestoras de RAEE puedan intercambiar prácticas y conocimientos sobre la tecnología y los mercados entre sí. En Colombia, los gestores de RAEE a veces almacenan los componentes ya que no ven posibilidades de venderlos en el mercado. Para aumentar la cantidad de componentes recuperados y mejorar las oportunidades de exportación, es importante establecer redes y consorcios.

Hacia la etapa II

Desde una perspectiva ambiental, se recomienda usar sistemas de etapa II, en los cuales la espuma se tritura en sistemas encapsulados con la recuperación del agente de soplado (véase también el recuadro 3). Sin embargo, cuando el flujo de residuos de refrigeradores es aún bajo³⁶ - lo que también depende de la eficacia del sistema de recolección de RAEE - las opciones transitorias resultan ser razonables.

Una vez se haya establecido el desensamble manual de los refrigeradores y aires acondicionados dentro de la etapa I, una pregunta clave de muchos países es la siguiente: ¿qué hacer con la espuma rígida de poliuretano? En el párrafo siguiente se ofrecen algunas soluciones indicando al mismo tiempo algunas mejoras continuas hacia sistemas de etapa II.

La espuma de poliuretano debe ser molida en una máquina de trituración en la que se recuperan posteriormente los agentes de soplado. Para el proceso de trituración se recomienda el “*Querstromzerspaner*”, un impactador de cadena, que puede ser utilizado más adelante para refrigeradores enteros y otros RAEE pequeños después de las modernizaciones adecuadas. El principio del *Querstromzerspaner* consiste en cadenas rotatorias que lanzan el material para su trituración. Estas partículas se muelen al chocarse entre sí.³⁷ El proceso debe realizarse en una atmósfera inerte (inyección de gas N₂) para evitar la creación de atmósferas explosivas. Además es importante tener un ambiente descomprimido para recapturar los agentes de expansión que se liberan a través de la molienda. El aire del proceso dentro de la máquina de trituración se retira por aspiración, pasando por filtros para la purificación de las partículas. Después de ello, hay varias opciones para recuperar el agente de soplado del aire del proceso:

- 1) **Criocondensación:** Los agentes de soplado que se liberan, se licuan a través del enfriamiento del aire del proceso, utilizando nitrógeno líquido. Incluso en países con flujos altos de residuos de refrigeradores, esta opción se aplica cada vez menos, debido a la complejidad de esta tecnología y a los altos costos de operación (alrededor de 300 euros por día para el nitrógeno líquido en el mercado europeo, además de los considerables costos de energía).

³⁶ Como regla general, cerca de 100.000 refrigeradores al año deben estar disponibles para justificar un sistema de etapa II.

³⁷ Los impactadores de cadena *Querstromzerspaner* están disponibles en diferentes tamaños (diámetro de la cámara): 1.200 mm, 1.600 mm, 2.000 mm y 2.500 mm.

- 2) **Carbón activado - incineración:** se recupera agua y humedad del aire del proceso y la corriente se hace pasar por carbón activado extruido. Una vez que el filtro está “lleno”, se sustituye el carbón activado. El proceso de adsorción es exotérmico, de modo que la desorción requiere una fuente de calor. Se requieren otros requisitos de seguridad si las espumas recolectadas contienen CFC -11 y agentes de expansión con ciclopentano (o solo ciclopentano). Para identificar los agentes de expansión, se pueden utilizar detectores especiales (alrededor de 4.000 euros en el mercado europeo), que se insertan en la espuma para este propósito. En caso de que haya sido utilizado ciclopentano, se debe crear una atmósfera inerte adicional durante este proceso. Además, el almacenamiento y el transporte requieren de medidas de seguridad adicionales. Se puede desechar el filtro de carbón activado completo en un incinerador de residuos peligrosos (posiblemente también en hornos de cemento).³⁸
- 3) **Carbón activado – reutilizable:** esta opción está siendo aplicada de forma creciente. El proceso se parece al proceso descrito en la opción 2); sin embargo, los gases se desorben principalmente mediante el uso de agua. Después del proceso de desorción, el carbón activado se puede volver a utilizar. Bajo esta opción, debe considerarse el problema de la neutralización.

A pesar de que la espuma, los refrigeradores enteros y los RAEE pequeños pueden ser procesados en una máquina de trituración en una etapa posterior, se requiere contar con los siguientes componentes adicionales:

- Separador de flujo de aire (filtro, ciclones)
- Cinta magnética
- Cinta transportadora

Después del proceso de trituración, el material molido se transporta mediante cintas transportadoras a un separador de flujo de aire. A continuación, las partículas pequeñas y ligeras (PS y PUR) son separadas, luego los metales se extraen del material molido con cintas magnéticas. Como fracciones restantes quedan las piezas de aluminio y cobre. La gran ventaja de este proceso de separación es la alta calidad del granulado, que en general alcanza precios más altos en el mercado de reciclaje.

³⁸ Un proceso de desorción en una cámara hermética también podría facilitar el uso del carbón activado, sin embargo, no hay ninguna experiencia con esta opción hasta ahora.

RECUADRO 7

LAS ETAPAS I, II Y III PARA REFRIGERADORES

Etapa I: incluye el retiro de partes sueltas, extracción de refrigerante y aceite, separando el aceite del refrigerante, la eliminación de los componentes peligrosos, retiro y desensamble del compresor que incluye otros componentes (y el drenaje del aceite del compresor) y el retiro del intercambiador de calor (véase también el capítulo 6).

Etapa II: proceso de trituración en un sistema encapsulado incluyendo la recuperación de los agentes de expansión. Toda vez que los aparatos sean sometidos a la etapa II, deben cumplirse necesariamente los pasos indicados en la etapa I. Durante el tratamiento mecánico de la espuma en la etapa II, entre el 70 y el 80% de los agentes de expansión son liberados para luego ser capturados de nuevo con técnicas apropiadas (p.ej.: la licuefacción en la trampa de refrigeración o presión y el carbón activado). De la matriz de espuma se puede extraer entre el 20 y el 30% del agente de soplado restante, mediante la aplicación de vacío o temperatura. Los agentes de expansión recuperados se deben almacenar en cilindros adecuados. Estos sistemas de etapa II son relativamente caros con costos de inversión entre 2 y 4 millones de euros en el mercado europeo.

Etapa III: recientemente, se han introducido sistemas sofisticados de la etapa III, donde la destrucción definitiva de SAO se lleva a cabo dentro de los sistemas de la etapa II. Es posible aplicar diferentes técnicas y opciones. Los refrigerantes licuados o gaseosos y agentes de soplado se destruyen por tratamiento térmico o catalítico.

11. BIBLIOGRAFÍA

Australian Department of the Environment 2014. End-of-Life Domestic Refrigeration and Air Conditioning Equipment in Australia

GIZ, 2013. Best Practice Guidebook for SMALL South African E-Waste Businesses.

GIZ, 2014b. Green Cooling Technologies – Market trends in selected refrigeration and air conditioning subsectors.

IGES, 2009. Environmental and human health risks associated with the end-of-life treatment of electrical and electronic equipment. Institute for Global Environmental Strategies. Available at: <http://www.ecotic.ro/wp-content/uploads/2015/07/7b0720b8b07623e752380504460d5ec1edf51e85.pdf> fecha de acceso 05.04.2016

LAGA 31, 2009. Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 31. Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia, 2010. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Öko-Institut e.V., 2007. Ökobilanzielle Untersuchung zur Verwertung von FCKW- und KW-haltigen Kühlgeräten.

Öko-Institut e.V., 2010. Study of the ozone depletion and global warming potentials associated with fridge recycling operations that involve the manual stripping of polyurethane insulation foam. RAL-Gütegemeinschaft Rückproduktion von Kühlgeräten e.V.

Ongondo F.O., Williams I.D., Cherrett T.J., 2010. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. Waste Management 31 (2011), 714–730.

RAL 728, 2007. Rückproduktion von Kühlgeräten. Quality Assurance and Test Specifications for the Demanufacture of Refrigeration Equipment. Gütesicherung RAL-GZ 728. Sankt Augustin, Germany

RMIT, 2006. A Literature Review on the Environmental and health Impacts of Waste Electrical and Electronic Equipment. RMIT University Melbourne, Australia.

Umweltbundesamt, 1998. Leitfaden zur Entsorgung von Kühlgeräten, Berlin.

United Nations Environmental Program, 2013. Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, Available at: <http://www.unep.org/resourcepanel/Publications/MetalRecycling/tabid/106143/Default.aspx>, date accessed 21/3/2014.

UNEP RTOC, 2014. UNEP 2014 Report of the Refrigeration, Air conditioning and Heat Pump Technical Option Committee: 2014 Assessment. UNEP, Nairobi. Available at: <http://conf.montrealprotocol.org/meeting/mop/mop27/presession/Background%20Documents%20are%20available%20in%20English%20only/RTOC-Assessment-Report-2014.pdf>, fecha de acceso 05.12.2016



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficinas registradas
Bonn y Eschborn, Alemania

Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40
53113 Bonn, Alemania
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5
65760 Eschborn, Alemania
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

E info@giz.de
I www.giz.de