

Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de **Aparatos Eléctricos y Electrónicos**



Libertad y Orden

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

República de Colombia



Libertad y Orden

**Ministerio de Ambiente,
Vivienda y Desarrollo Territorial**
República de Colombia

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

Juan Manuel Santos Calderón

MINISTRA DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

Beatriz Uribe Botero

VICEMINISTRO DE AMBIENTE

Carlos Castaño Uribe

DIRECTORA DE DESARROLLO SECTORIAL SOSTENIBLE

Marcela Bonilla Madriñán

CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

DIRECTOR EJECUTIVO

Carlos Alberto Arango

EQUIPO DE TRABAJO

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

CÉSAR AUGUSTO BUITRAGO GÓMEZ.

JOSÉ ÁLVARO RODRÍGUEZ CASTAÑEDA

MARIET ALEJANDRA SÁNCHEZ ABRIL

LEYDY MARÍA SUÁREZ OROZCO

ANDREA LÓPEZ ARIAS

CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

SANDRA MILENA RODRÍGUEZ GARCÉS

CORRECCIÓN DE ESTILO Y PRUEBAS

María Emilia Botero Arias

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

José Roberto Arango R.

Wilson Garzón M.

IMPRESIÓN

Imprenta Nacional de Colombia

CON EL APOYO DE:

EMPA - SWISS FEDERAL LABORATORIES FOR MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY.

DANIEL OTT

FABIAN BLASER

JULIO DE 2010

Catalogación en la fuente

Cítese como: Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Centro Nacional de Producción más Limpia 2009.

100 p.

ISBN: 978-958-8491-48-6

1. Saneamiento básico
2. Residuos sólidos
3. Residuos aprovechables
4. Residuos peligrosos
5. Reciclaje
6. Re-uso
7. Disposición final
8. Buenas prácticas

© Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión 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 de este documento para fines comerciales.

Contenido

I.	Introducción	5
PARTE A	Marco teórico	6
A.1	La cuestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos - RAEE	6
A.2	Contexto internacional	15
PARTE B	Manejo	18
B.1	Recolección y almacenamiento	18
B.2	Transporte y logística	22
B.3	Reuso	25
B.4	Reciclaje	28
B.5	Disposición final	40
PARTE C	Fichas técnicas	42
C.1	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	42
C.2	Componentes que pueden contener sustancias peligrosas	54
C.3	Otros residuos que se deben considerar	74
C.4	Resumen de las alternativas de tratamiento	78
PARTE D	Anexos	80
D.1	Glosario	80
D.2	Marco jurídico	82
D.3	Lista de aparatos eléctricos y electrónicos	83
D.4	Normatividades, responsabilidades y metas de recolección en distintos países europeos	86
D.5	Alternativas de tratamiento	88
D.6	Información técnica adicional	94
D.7	Bibliografía	96



Introducción

Los aparatos electrónicos son una mezcla compleja de muchos materiales, algunos de los cuales son materias primas escasas y valiosas que ameritan ser recuperadas. Sin embargo, pueden contener elementos o compuestos peligrosos, que si bien no generan problema durante su uso, se convierten en un peligro cuando se liberan al medio ambiente. Las operaciones de almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento (recuperación/reciclado) y/o disposición final de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), deben realizarse en instalaciones que cuenten con todas las autorizaciones ambientales a que haya lugar de acuerdo a la normatividad ambiental vigente. De la misma forma, el transporte de los residuos que sean considerados como peligrosos, debe ser realizado dando cumplimiento a las normas ambientales y de transporte vigentes para el manejo de los mismos.

En este sentido, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial identificó la importancia de establecer lineamientos técnicos que orientaran su manejo en el ámbito nacional, así como la gestión de las autoridades ambientales. En razón a lo anterior, se elaboró este documento, con el objetivo de determinar los aspectos técnicos que se deben considerar en las diferentes etapas del manejo, de tal forma que se busque la prevención y reducción de los impactos ambientales.

Para el cumplimiento de este objetivo, este documento presenta un contexto general que introduce al lector en la problemática existente en torno a los RAEE; posteriormente se establecen lineamientos generales para cada una de las diferentes etapas del manejo, incluyendo el almacenamiento, transporte, desensamble, aprovechamiento y disposición final, y por último se dan recomendaciones sobre el cuidado y correcto manejo de casos específicos en algunos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

En este contexto, este documento se constituye en una herramienta de orientación para los gestores que intervienen en las diferentes etapas de manejo de los RAEE y para las autoridades ambientales, y fuente de consulta para profesionales, técnicos especializados en el tema, investigadores, personal vinculado al sector, estudiantes y público en general.

PARTE A – Marco teórico

A.1 La cuestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos - RAEE

A.1.1 Panorama global de los RAEE

La producción mundial de aparatos electrónicos y, en particular de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) se enfrenta a la mayor expansión industrial de la historia: según cifras de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el comercio mundial de las TIC alcanzó el 7,7% del producto mundial bruto en 2004, la mayor parte procedente de China [1]. Se estima que en el 2006, 230 millones de computadores y mil millones de teléfonos celulares se vendieron en todo el mundo, lo que corresponde a 5'848.000 toneladas [2]. Como consecuencia, los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos son, por mucho, el componente de los residuos de más rápido crecimiento. Según el PNUMA la generación de RAEE en los países en vía de desarrollo se triplicará hacia el año 2010 [2].

En Europa los residuos electrónicos están experimentando un crecimiento del 3 al 5% al año, casi 3 veces más rápido que el total de los residuos generados¹. La cantidad actual de RAEE generados en los 27 países miembros de la Unión Europea (EU27) se estima en 8,7 millones de toneladas al año, mientras que la cantidad recogida y reciclada se estima en sólo 2,1 millones de toneladas o el 25% [3]. Esta estimación incluye todas las categorías de los desechos electrónicos definidas por la legislación europea.

En los EE.UU., menos del 20% de las categorías como televisores, computadores y periféricos incluidos los teléfonos móviles, fueron separados de las otras corrientes de desechos para "tratamiento y recuperación posterior". Esta cifra incluye parte de la exportación de desechos electrónicos a países como India y China². El resto es incinerado, enviado a los rellenos, almacenado, reutilizado o exportado.

En 1994 se estimaba que aproximadamente 20 millones de computadores personales (PC), cerca de 7 millones de toneladas, quedaron obsoletos. Hacia 2004, esa cifra se había incrementado a más de 100 millones de PC. En cifras totales, cerca de 500 millones de PC alcanzaron el fin de su vida útil entre 1994 y 2004 [4].

En total, el crecimiento de productos electrónicos desechados a escala mundial se calcula entre 20 y 50 millones de toneladas generados cada año [5].

A.1.2 Panorama en América Latina

En América Latina, el reciclaje formal de los desechos electrónicos, que en su mayoría se limita a un desensamble profesional, es una actividad bastante nueva. En países como Chile, Argentina, Perú, Colombia y Brasil, empresas tradicionales de reciclaje de metales han descubierto el mercado de reciclaje de los RAEE, sin embargo, las cantidades recicladas están todavía en un nivel modesto, ya que ni el marco político, ni la infraestructura logística permiten mayores cantidades. La mayoría de estas empresas no ofrecen un servicio completo, ya que se concentran básicamente en los componentes valiosos, como las tarjetas de circuito impreso, descuidando la disposición adecuada de otros componentes como los tubos de rayos catódicos (TRC) que no tienen un valor económico, pero representan un riesgo para la salud y el medio ambiente.

1 www.conama.cl/rm/568/article-38368.html

2 www.greenpeace.org

En Chile, el reciclaje formal de los RAEE alcanza sólo un 1,5 a 3% de las cantidades generadas [6], una cifra que probablemente es similar o incluso inferior en los demás países de la región.

La mayoría de las empresas se concentran en la prestación de servicios a grandes empresas nacionales e internacionales basándose en un enfoque empresa a empresa (B2B: bussiness to bussiness), mientras que el sector informal está tratando de beneficiarse de los componentes valiosos de los residuos procedentes de hogares particulares.

Se estima que en los países de América Latina se están generando aproximadamente 120.000 toneladas al año, una cantidad que se triplicará hacia el 2015 [7].

A.1.3 Situación en Colombia

A la pregunta ¿si el tema de los residuos electrónicos ya ha alcanzado una masa crítica en América Latina y el Caribe?, Ripley [8] responde lo siguiente: “El potencial de LAC para generar cantidades considerables de RAEE ha crecido drásticamente en los últimos años. Las ventas de computadores personales y teléfonos celulares se han disparado. Pero el problema va más allá de computadores y celulares. Una amplia gama de equipos digitales que en los Estados Unidos y Europa ya se dan por sentados, apenas empezaron a conquistar los mercados de LAC. Además se puede observar que los usuarios latinoamericanos ya no se contentan con comprar los modelos de ayer”.

Las mismas tendencias también se pueden observar en Colombia (Ilustración 1). Las ventas de equipos eléctricos y electrónicos se han disparado en los últimos años, y en poco tiempo estos aparatos serán descartados por sus usuarios convirtiéndose en residuos.

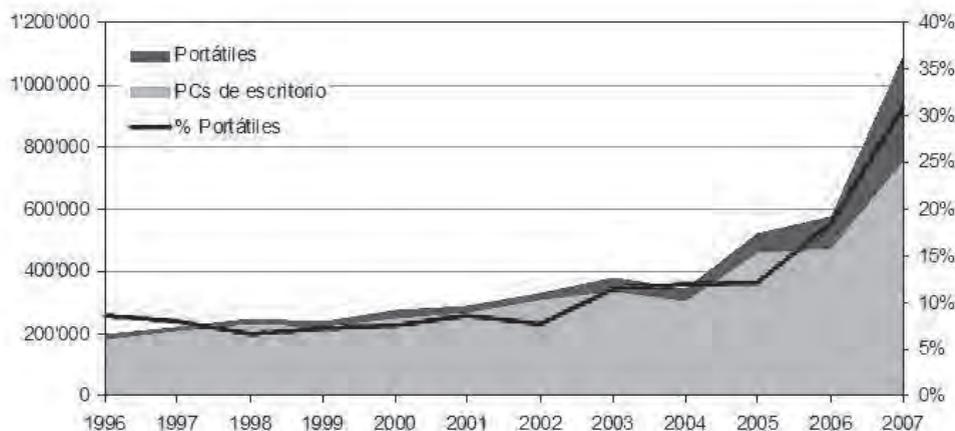


Ilustración 1: Computadores de escritorio y portátiles vendidos en Colombia entre 1996 y 2007. Fuente: D. Ott. *Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia: Diagnóstico de Computadores y Teléfonos Celulares. 2008, EMPA.*

Las estimaciones para el 2007 indican que en Colombia se generaron entre 6.000 y 9.000 toneladas de residuos de computadores, monitores y periféricos, lo que corresponde a entre 0,1 y 0,15 kg por persona.

Sumando todos los residuos de computadores que ya se generaron y los que posiblemente se generarán hasta el 2013, en Colombia se espera que se pueda llegar a tener entre 80.000 y 140.000 toneladas de residuos de este tipo. Actualmente se calcula que hasta el 2007 se generaron unas 45.000 toneladas de residuos de PCs, monitores y periféricos (Ilustración 2).

En otras palabras, únicamente en el año 2007 se generó casi la quinta parte de todos los residuos de PC generados en Colombia hasta la fecha [9].

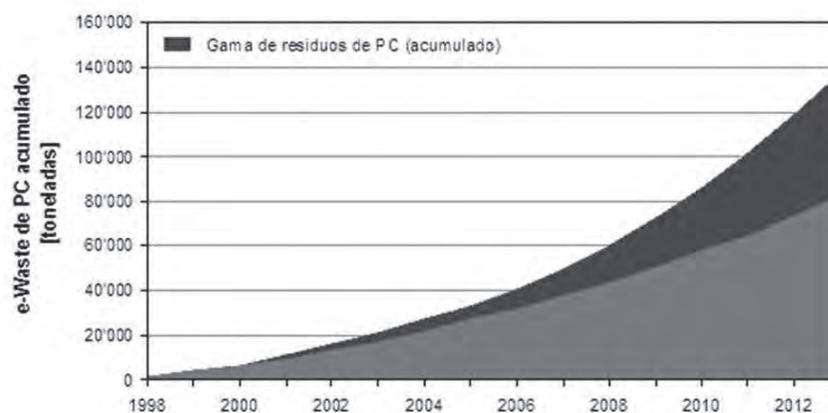


Ilustración 2: Residuos de computadores, monitores y periféricos acumulados con proyección hasta el 2013. Fuente: D. Ott. Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia: Diagnóstico de Computadores y Teléfonos Celulares. 2008, EMPA.

Además de los computadores, hay otros aparatos eléctricos y electrónicos, como televisores y celulares, que cuentan con un nivel de penetración bastante elevado y una alta frecuencia de reposición.

Según la encuesta del Centro de Investigación de Mercados -CIM [10], más del 60% de los usuarios privados venden o donan sus computadores obsoletos, tanto los PCs de escritorio como los portátiles. El 7% ingresan a la corriente de los residuos sólidos y terminan en el relleno sanitario o en manos de un reciclador. Entre el 7 y el 11% se entregan o son manejados por los recicladores informales.

A.1.4 Definiciones

El término “residuos de aparatos eléctricos y electrónicos” se refiere a aparatos dañados, descartados u obsoletos que consumen electricidad. Incluye una amplia gama de aparatos como computadores, equipos electrónicos de consumo, celulares y electrodomésticos que ya no son utilizados o deseados por sus usuarios.

Otras definiciones son las siguientes:

Según la *Directiva sobre RAEE de la Unión Europea, 2002*: “Todos los aparatos eléctricos o electrónicos que pasan a ser residuos [...]; este término comprende todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento en que se desecha”.

Según la *OCDE, 2001 [11]*: “Cualquier dispositivo que utilice un suministro de energía eléctrica, que haya alcanzado el fin de su vida útil”.

Según *BAN (Basel Action Network), 2002*: “Los residuos electrónicos incluyen una amplia y creciente gama de aparatos electrónicos que van desde aparatos domésticos voluminosos, como refrigeradores, acondicionadores de aire, teléfonos celulares, equipos de sonido y aparatos electrónicos de consumo, hasta computadores desechados por sus usuarios”.

En inglés, el término más conocido es e-waste, una versión más práctica del término oficial de la Unión Europea: WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*). Este término se impuso a nivel internacional contra otros términos como e-scrap o e-trash.

En español, WEEE equivale a RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos). A pesar de que muchos hablan de chatarra o basura electrónica, o residuos-e, se promueve el uso del término RAEE como término oficial en los países de habla española.

A.1.5 Categorías

Según la Directiva de la Unión Europea sobre RAEE, 2002, los productos o aparatos que al final de su vida útil pueden constituir residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), se clasifican en 10 categorías (Tabla 1). En la ilustración 3, se presenta por categorías la composición de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos generados en Europa en el 2005.

Tabla 1. Categorías de RAEE según la Directiva de la Unión Europea

N°	Categoría	Ejemplos
1	Grandes electrodomésticos	Neveras, congeladores, lavadoras, lavaplatos, etc.
2	Pequeños electrodomésticos	Aspiradoras, planchas, secadores de pelo, etc.
3	Equipos de informática y telecomunicaciones	Procesadores de datos centralizados (minicomputadoras, impresoras), y elementos de computación personal (computadores personales, computadores portátiles, fotocopiadoras, telex, teléfonos, etc.).
4	Aparatos electrónicos de consumo	Aparatos de radio, televisores, cámaras de vídeo, etc.
5	Aparatos de alumbrado	Luminarias, tubos fluorescentes, lámparas de descarga de alta intensidad, etc.
6	Herramientas eléctricas y electrónicas	Taladros, sierras y máquinas de coser.
7	Juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre	Trenes y carros eléctricos, consolas de vídeo y juegos de vídeo.
8	Aparatos médicos	Aparatos de radioterapia, cardiología, diálisis, etc.
9	Instrumentos de medida y control	Termostatos, detectores de humo o reguladores de calor.
10	Máquinas expendedoras	Máquinas expendedoras de bebidas calientes, botellas, latas o productos sólidos.

Fuente: Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea.

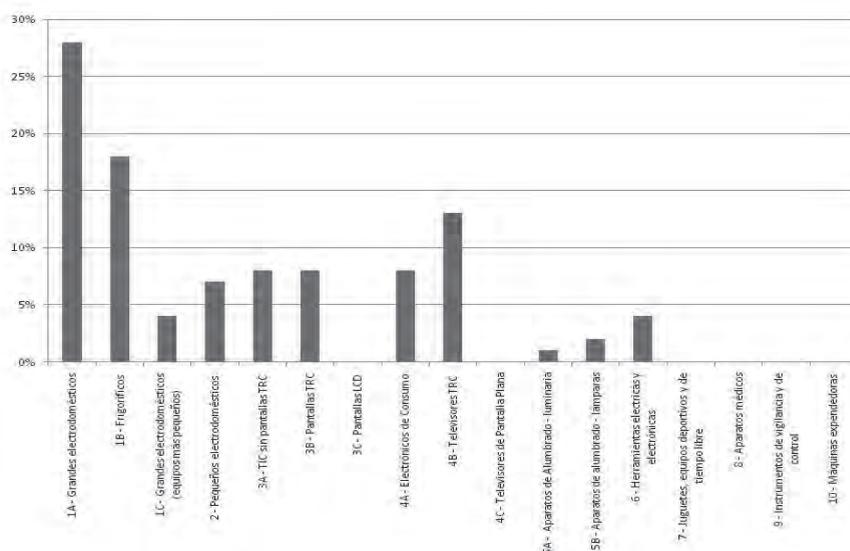


Ilustración 3: Composición de los RAEE generados en Europa en el 2005 por categoría. Fuente: J. Huisman, et al. Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - Final Report. 2007.

Otra clasificación usada para los RAEE comprende su división en tres líneas, denominadas mediante colores, de la siguiente forma:

- **Línea blanca:** Comprende todo tipo de electrodomésticos grandes y pequeños, como por ejemplos neveras, lavadoras, lavavajillas, hornos y cocinas.
- **Línea marrón:** Comprende todos los electrónicos de consumo como televisores, equipos de sonido y de vídeo.
- **Línea gris:** Comprende los equipos informáticos (computadores, teclados, ratones, etc.) y de telecomunicaciones (teléfonos móviles, terminales de mano o portátiles, etc.).

Sin embargo, los tipos de clasificación anteriormente mencionados, tienen un marcado enfoque desde la perspectiva de su comercialización.

Desde la perspectiva de la gestión y el manejo de los respectivos residuos, se propone aplicar la clasificación que se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de RAEE desde una perspectiva de su gestión y manejo

No.	Categorías	Ejemplos	Justificación
1	Aparatos destinados a la refrigeración.	Neveras, congeladores, otros refrigerantes	Requieren un transporte seguro (sin roturas) y el consecuente tratamiento individual
2	Electrodomésticos grandes y medianos (menos equipos de la categoría 1)	Todos los demás electrodomésticos grandes y medianos	Contienen en gran parte diferentes metales y plásticos que puede ser manejados según los estándares actuales
3	Aparatos de iluminación	Tubos fluorescentes, bombillos	Requieren procesos especiales de reciclaje, valorización o disposición final.
4	Aparatos con monitores y pantallas	Televisores, monitores TRC, monitores LCD	Los tubos de rayos catódicos requieren un transporte seguro (sin roturas) y el consecuente tratamiento individual
5	Otros aparatos eléctricos y electrónicos	Equipos de informática, oficina, electrónicos de consumo, electrodomésticos de la línea marrón (excepto los mencionados en categorías anteriores)	Están compuestos en principio de los mismos materiales y componentes y por consiguiente requieren un tratamiento de reciclaje o valorización muy semejante

Fuente: Adaptación propia de ACRR, La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - Guía dirigida a Autoridades Locales y Regionales. 2003.

A.1.6 Características

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) están compuestos de cientos de materiales diferentes, tanto valiosos como potencialmente peligrosos. Oro, plata, paladio y cobre son algunos de los materiales valiosos que se pueden recuperar de los RAEE; plomo, cadmio, mercurio y arsénico son algunos de los componentes peligrosos que pueden estar presentes en los equipos eléctricos y electrónicos en desuso, lo cual va a depender del tipo de tecnología, país de origen y del fabricante, estos compuestos se pueden liberar al medio ambiente durante el desensamble de los mismos. Uno de los ejemplos mas relevantes en cuanto al contenido de compuestos peligrosos es el plomo el cual estaba presente en la soldadura de muchos equipos, hoy en día en el mercado se ofrecen equipos libres de soldadura de plomo.

Estas características tan particulares de reunir, por ejemplo en un volumen tan pequeño como en el de un teléfono móvil, materiales de alto valor junto con elementos potencialmente peligrosos, son una de las causas de los impactos negativos que se generan al medio ambiente cuando se disponen en rellenos sanitarios, se botan a los suelos o cuerpos de agua o se realiza el desensamble inadecuado de estos residuos, ya que en algunos países en vía de desarrollo

existe una fuerte lucha por los materiales de alto valor económico, en combinación con un fuerte desconocimiento de lo que se debe manejar de manera adecuada.

Sin embargo resulta sorprendente que estas dos fracciones, es decir los componentes valiosos y peligrosos, no representan ni el 2% de todo el peso, según demuestra la Ilustración 4 (derecha) sobre las cantidades de equipos recogidos y reciclados en Suiza en 2007 y los flujos de materiales resultantes de la recuperación y disposición final.

La Ilustración 4 muestra que según SWICO, de todos los aparatos de las TIC que entran al sistema de reciclaje cada año, los componentes peligrosos apenas llegan al 0,5% de todo el material recogido. Para los componentes de mayor valor económico este porcentaje es de una magnitud parecida, considerando que estos materiales se encuentran especialmente en los cables y en pequeñas fracciones en las tarjetas de circuito impreso.

De acuerdo a lo anterior es posible que a un equipo eléctrico o electrónico se le practiquen pruebas para clasificarlos como un residuo peligroso, sin embargo los resultados pueden mostrar que no se pueden catalogar como tal, no obstante una cantidad apreciable de estos equipos en rellenos sanitarios o dispuestos de forma inadecuada en suelos o terrenos no aptos para este fin, puede presentar problemas de contaminación por presencia de metales pesados o compuestos orgánicos, es por esto que si bien no se puede clasificar a los residuos eléctricos y electrónicos como residuos peligrosos tampoco se pueden clasificar como residuos ordinarios, de acuerdo a la clasificación de residuos establecida en la normatividad vigente en Colombia.

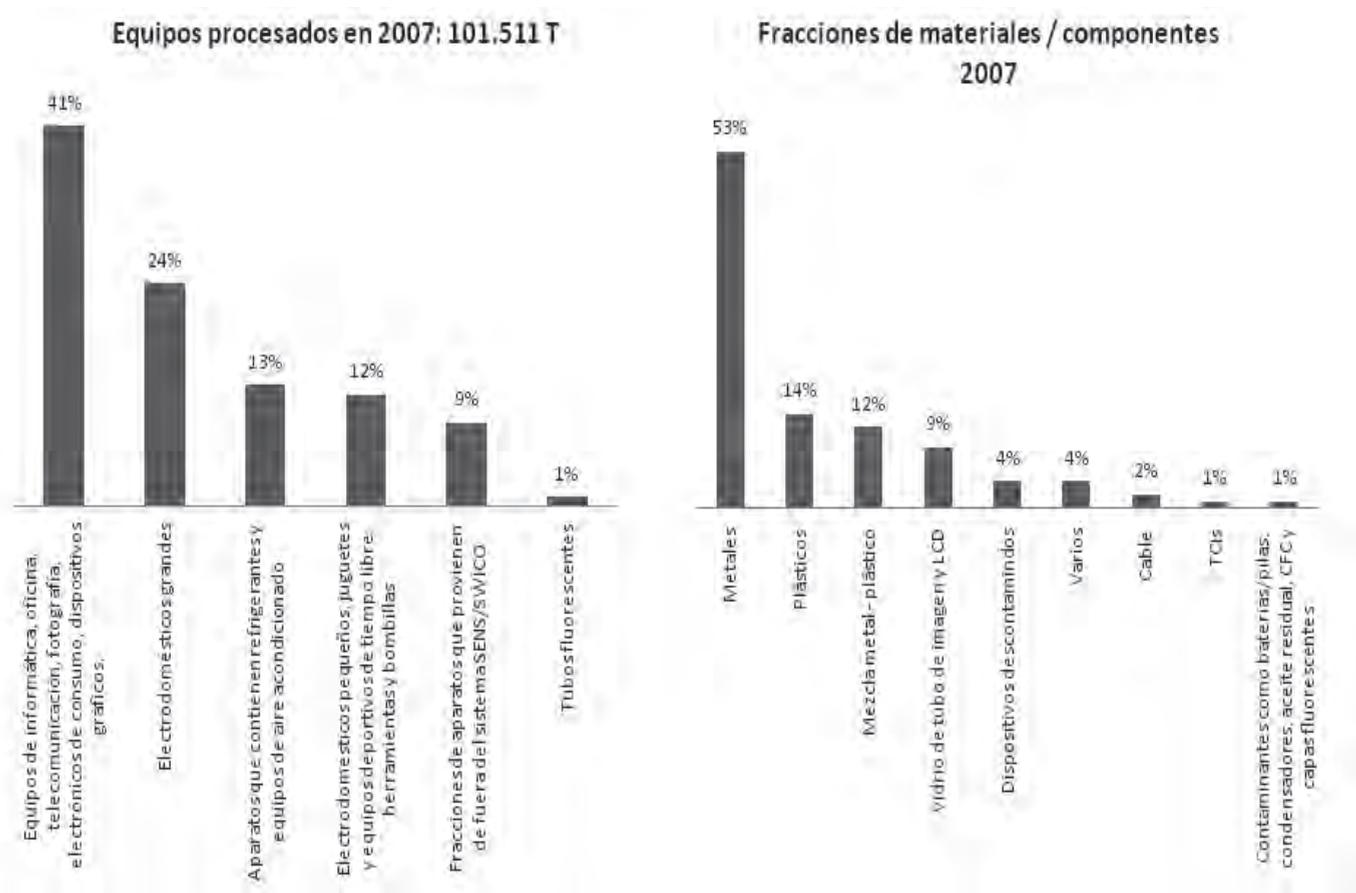


Ilustración 4: Equipos recogidos y reciclados en Suiza en 2007 (en toneladas) y flujos de materiales resultantes. Fuente: Swico, Jahresbericht 2007.

A.1.6.1 Materiales valiosos

La producción de aparatos eléctricos y electrónicos requiere una mezcla compleja de componentes, entre los que figuran muchos metales preciosos cuya extracción y transformación tienen un impacto ambiental importante, derivado de su producción primaria (consumo de energía y materias primas).

Aunque el porcentaje de los metales preciosos es relativamente pequeño comparado con el peso total (Ilustración 4), su concentración, como es el caso del oro, alcanza a ser más alta que la encontrada naturalmente en una mina. Además, a pesar de las pequeñas cantidades de metales preciosos en los RAEE, éstos se vuelven muy importantes desde el punto de vista del valor económico de los mismos (Ilustración 5).

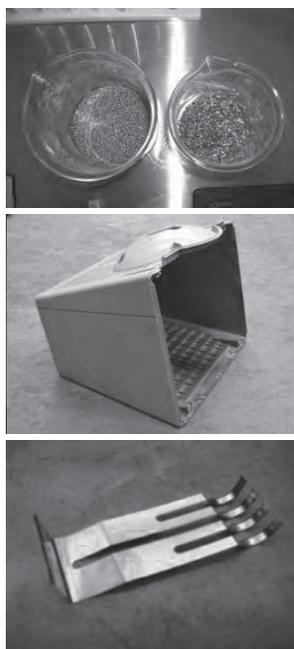


Ilustración 5: Algunos materiales que se obtienen de los equipos de aparatos eléctricos y electrónicos, los cuales se reincorporan al ciclo productivo.

Fuente: Archivos de la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible del MAVDT

El material de un computador de escritorio está dominado por el acero de baja aleación (65%) y los plásticos (10%). Los metales preciosos como Au (27ppm), Ag (170ppm) y Pd (12ppm) se encuentran solamente en concentraciones muy bajas. Analizando la importancia económica, los metales preciosos hacen la mayor contribución al total de ingresos (31% Au y Pd 7%). Además, en particular el cobre (12%) y los diversos plásticos (15%) muestran un porcentaje relativamente alto. Por otra parte, hay una fuerte disminución de la importancia de los materiales ferrosos (15%) en comparación con el material que representan [13].

De otra parte, elementos potencialmente peligrosos como el plomo, el selenio y el arsénico, entre otros, también tienen un valor económico que no puede ser despreciado.

A.1.6.2 Sustancias peligrosas

La producción y la liberación de emisiones peligrosas durante el reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos dependen mucho del manejo de los RAEE. Las sustancias de preocupación en equipos eléctricos y electrónicos, por lo general, están en forma sólida no-dispersable, y no hay riesgo de exposición humana o emisión al ambiente por su uso en un contacto normal directo. Por lo tanto las sustancias peligrosas que contienen algunos residuos

de aparatos eléctricos y electrónicos (Tabla 3), no representan automáticamente riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Ciertos procesos de recuperación usados principalmente en países en desarrollo o en transición, como someter los residuos a altas temperaturas sin ningún tipo de control o uso de tecnologías diseñadas para tal fin, pueden causar daños a la salud humana y contaminar el aire, agua y suelo. Por este motivo, el proceso de recuperación de los materiales contenidos en los RAEE incide sobre el grado de impacto para la salud humana y el medio ambiente.

La gestión inadecuada de los residuos electrónicos, tanto la incineración sin control de emisiones como el depósito en rellenos sanitarios junto con los residuos urbanos, hace que algunos de esos contaminantes puedan llegar al suelo, el aire o a las aguas subterráneas. Por lo tanto, estos materiales deben ser extraídos de los equipos electrónicos una vez se han desechado, y deben ser tratados de manera diferente a los demás tipos de desechos [14].

Tabla 3: Lista de posibles sustancias peligrosas presentes en los RAEE.

Sustancia	Presencia en RAEE
Compuestos halogenados	
PCB (Policloruros de bifenilo)	Condensadores, transformadores
Retardantes de llama para plásticos: TBBA (Tetrabromo-bifenol-A)	(Componentes termoplásticos, cables, tarjetas madre, circuitos, revestimientos plásticos, etc.).
PBB (Polibromobifenilos)	TBBA actualmente es el retardante de llama más utilizado en placas de circuitos y carcasas
PBDE (Polibromodifenilo éteres)	
Clorofluorocarbonados (CFC)	Unidades de refrigeración, espumas aislantes
Metales pesados y otros metales	
Arsénico	Pequeñas cantidades entre los diodos emisores de luz, en los procesadores de las pantallas de cristal líquido LCD
Bario	"Getters" en los tubos de rayos catódicos (TRC) en la cámara de ventilación de las pantallas TRC y lámparas fluorescentes
Berilio	Cajas de suministro eléctrico (fuentes de poder)
Cadmio	Baterías recargables de Ni-Cd, capa fluorescente (pantallas TRC), fotocopiadoras, contactos e interruptores y en los tubos catódicos antiguos
Cromo VI	Discos duros y de almacenamiento de datos
Plomo	Pantallas TRC, tarjetas de circuito, cableado y soldaduras
Mercurio	Lámparas fluorescentes en LCDs, en algunos interruptores con mercurio (sensores). Los sistemas de iluminación de las pantallas planas, las cafeteras electrónicas con desconexión automática o los despertadores contienen relés de mercurio
Níquel	Baterías recargables de Ni-Cd y Ni-Hg y pistola de electrones en los monitores TRC
Elementos raros (Ytrio, Europio)	Capa fluorescente (Monitores TRC)
Selenio	Fotocopiadoras antiguas
Sulfuro de zinc	Interior de monitores TRC, mezclado con metales raros
Otros	
Sustancias radioactivas (Americio)	Equipos médicos y detectores de fuego, detectores de humo, entre otros

Fuente: Adaptación de www.ewasteguide.info/hazardous_substances

EJEMPLOS DE COMPOSICIONES

Televisor	
Materiales	% (Peso)
PS (Poliestireno)	11,9
ABS	4,74
Otros plásticos	1,97
Vidrio de pantalla	45,71
Vidrio de cono	11,43
Metales ferrosos	19,81
Aluminio Al	1,01
Cobre Cu	2,23
Estaño Sn	0,04
Plomo Pb	0,04
Material magnético	0,54
Papel (C, H, O)	0,02
Material fluorescente	0,03
Otros	0,56

Nevera	
Materiales	% (Peso)
(HI) PS	13,36
ABS	1,6
SAN	0,29
PVC	0,94
PP	0,24
PE/PMMA/nylon/goma	1,18
PUR espuma (excl. CFCs)	15,65
Vidrio (Silicio SiO ₂)	2,11
Metales ferrosos	43,47
Cobre Cu	11,07
Aluminio Al	2,61
CFC11	1,32
CFC12	0,32
Aceite	0,66
Otros	5,19

A.1.7 Problemática ambiental vs. recursos secundarios

Los RAEE presentan un potencial riesgo para el ambiente según el manejo que se les de, así como una oportunidad de negocio dado el contenido de materiales valiosos y peligrosos [15]. Si bien las sustancias peligrosas no representan un riesgo durante la fase de utilización de los equipos, pueden ser perjudiciales cuando entran en desuso, específicamente cuando son sometidos a procesos de desensamble en condiciones no adecuadas en las cuales no se tenga en cuenta su potencial peligro. El plomo en tubos de rayos catódicos (TRC), el cadmio, los retardantes de llama bromados en plásticos y el mercurio en la luminaria de las pantallas planas son sólo algunos de los ejemplos de sustancias peligrosas que pueden poner en peligro la salud de las personas y el medio ambiente si no se manejan de manera adecuada. Se ha documentado en varios estudios que el desensamble de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en los países en desarrollo se realiza principalmente por personas de bajos recursos económicos, sin ningún tipo de medidas de seguridad industrial [16]. Un estímulo adicional para estas inadecuadas prácticas es el aumento de los precios de los metales, en particular de cobre, níquel, oro, plata, hierro y aluminio. Estos metales pueden ser extraídos y vendidos localmente para ser exportados a los mercados globales.

La proporción de los metales preciosos contenidos en los desechos electrónicos es importante: se estima que en los 230 millones de computadores y los 1.000 millones de teléfonos celulares vendidos en el 2006, las cantidades de oro y plata pueden llegar aproximadamente a 70 toneladas y 535 toneladas respectivamente, lo que para cada uno de estos metales corresponde a cerca del 3 % de la producción minera mundial; para el paladio estas cifras incluso llegan a 18 toneladas, o un 12% [17].

Lo anterior muestra, que las cantidades crecientes de desechos electrónicos representan un enorme potencial de recursos.

A.2 Contexto internacional

Distintos convenios, iniciativas y conceptos abordan directa e indirectamente la gestión, el manejo y la disposición final de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Sin duda, estos instrumentos han sido fundamentales para que las naciones creen sus propias legislaciones adaptadas a su realidad. Como legislación más específica se puede citar

la creación de la Directiva Europea Relativa a los Residuos Electrónicos y Eléctricos que entró en vigencia en el 2003, la cual se presenta a continuación.

A.2.1 Directiva Europea sobre RAEE

La Directiva Europea sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)³, que entró en vigor en febrero del 2003 y se aplica a todos los países miembros de la Comunidad Europea, habla de la responsabilidad individual del productor, estableciendo las funciones de los actores implicados en la gestión de los RAEE e instalando objetivos para su recolección y reciclaje.

En general, las políticas europeas sobre aspectos ambientales se basan en cuatro principios:

- Principio de precaución.
- Principio de adopción de medidas preventivas.
- Los daños medioambientales deben, de manera prioritaria, corregirse en su origen.
- Quien contamina, paga.

La normativa comunitaria sobre aparatos eléctricos y electrónicos consta de varios apartados que abarcan, respectivamente:

La gestión de los RAEE: Directiva 2002/96/CE

- Basada en la responsabilidad extendida del productor (REP).
- Prevención de generación de residuos.
- Reuso, reciclaje y otras formas de recuperación y aprovechamiento.
- Reducción de la disposición.

Las restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en los AEE: la Directiva 2002/95/CE implica, principalmente:

- Uso restringido de sustancias tóxicas. Prohíbe la utilización de cuatro metales pesados (plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente) y los materiales ignífugos bromados PBB y PBDE para fabricar aparatos eléctricos y electrónicos nuevos.
- Protección de la salud humana.
- Disposición ambientalmente amigable.

Las sustancias perjudiciales para la capa de ozono (CFC, etc.): el Reglamento comunitario 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de junio de 2000 es de aplicación directa en las legislaciones nacionales. Exige la valorización y tratamiento de las sustancias perjudiciales para la capa de ozono como los CFC y los HCFC de los circuitos de refrigeración y espumas aislantes de los equipos de refrigeración, sistemas de aire acondicionado y bombas de calefacción cuando se limpien o antes de desmontarlos y deshacerse de ellos.

El diseño ecológico de los aparatos que utilizan energía: la Comisión Europea propuso el 8 de agosto de 2003 una directiva para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía. Este proyecto de ley pretende establecer un marco de requisitos para el diseño general y específico de aquellos productos que consumen energía "con un volumen de ventas significativo que representen un impacto ambiental considerable, además de mejoras potenciales".

Actualmente, la Directiva RAEE está en revisión y modificación por parte de la Comunidad Europea. Los objetivos específicos de la revisión de la Directiva son los siguientes:

- Reducir los costos administrativos mediante la supresión de todas las cargas administrativas innecesarias, pero sin rebajar el nivel de protección ambiental;

³ Para más información: http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/legis_en.htm

- Mejorar la eficacia y la aplicación de la Directiva mediante un mayor cumplimiento;
- Reducir el impacto ambiental de la recogida, tratamiento y valorización de los RAEE hasta los niveles que supongan el máximo beneficio neto para la sociedad.

Adicionalmente, la modificación de esta Directiva está contemplando la revisión de las categorías de clasificación de los RAEE.

A.2.2 Algunos modelos de gestión implementados a nivel internacional para la gestión de los RAEE

A.2.2.1 Responsabilidad extendida del productor (REP)

La responsabilidad extendida del productor, REP (Extended Producer Responsibility, EPR, por sus iniciales en inglés), es un principio político para promover la reducción de los impactos ambientales de sistemas de productos durante el ciclo de vida completo mediante la extensión de las responsabilidades del fabricante de un producto hacia varias etapas del ciclo de vida del mismo, en especial hacia la retoma, el reciclaje y la disposición final. La REP se implementa a través de una combinación de instrumentos políticos, administrativos, económicos e informativos [18].

Según la OCDE [11], la REP es un enfoque de política ambiental en el cual la responsabilidad del fabricante por un producto se extiende hasta el fin del ciclo de vida del producto. Se caracteriza por la transferencia de responsabilidad (física y/o económica, completa o parcial) hacia el productor y el suministro de incentivos a los productores para que tengan en cuenta consideraciones ambientales desde la etapa del diseño del producto.

De acuerdo con lo anterior, las políticas gubernamentales sobre REP hacen que la protección del ambiente sea una prioridad en las distintas fases del ciclo de vida de productos y servicios, obligando a las empresas a pensar en lo que ocurre fuera de sus instalaciones. Esto conlleva al productor a un análisis minucioso para establecer acciones correctivas que mitiguen los impactos perjudiciales de los productos que se colocan en el mercado, considerando el diseño del producto, su fabricación, el uso y manejo de los residuos posconsumo. Las políticas de REP son también fuente de oportunidad para que las empresas replanteen sus negocios, pues abren las puertas para crear valor agregado a los clientes a través de la oferta de servicios postventa y de disposición de productos. Así mismo, el tratar de ofrecer una gama de servicios, brinda la oportunidad a la empresa de obtener un mejor conocimiento de las necesidades presentes y futuras de sus clientes [19].

En algunos países ya se han desarrollado políticas de REP que afectan el uso y la disposición final de ciertos productos, haciendo a las empresas responsables. Un ejemplo de esto, son los requerimientos de la Unión Europea para los fabricantes de artículos electrónicos, donde por ley tienen la obligación de recuperar sus productos, después de que finaliza su vida útil, para garantizar su reciclaje y disposición final.

Esta responsabilidad puede ser asumida de manera colectiva o individual. Lo primero significa que por lo general un grupo de productores, importadores y distribuidores se asocian en una organización responsable de productores (OPR) para cumplir con su responsabilidad designada (responsabilidad colectiva del productor –RCP-). Por lo contrario se habla de una responsabilidad individual del productor (RIP) cuando un productor individual se hace responsable para la gestión ambientalmente adecuada únicamente de sus propios productos.

A.2.2.2 La Iniciativa StEP

La Iniciativa StEP⁴ (Solving the e-Waste Problem, por sus iniciales en inglés) nació en 2003 cuando investigadores de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) empezaron a examinar la relación entre equipos electrónicos (sobre todo computadores) y el medio ambiente. El estudio con el nombre “Computers and the Environment” identificó una serie de preguntas e inquietudes frente al tema, lo que llevó a una ampliación de la investigación a todo el campo de equipos eléctricos y electrónicos y fomentó el desarrollo de esta iniciativa internacional: StEP. Los miembros de la iniciativa incluyen entre otros a empresas multinacionales del sector privado (Hewlett Packard, Dell, Cisco Systems y

Ericsson), universidades (Delft University, Massachusetts Institute of Technology, University of Melbourne), centros de investigación (EMPA, Fraunhofer Institute, Institute for Applied Ecology), entidades ambientales (US-EPA), entidades de cooperación internacional (SECO, GTZ), y representantes del sector del reciclaje (Umicore Group, National Center for Electronics Recycling).

La iniciativa StEP opera a través de cinco grupos de trabajo en los siguientes temas: Política y legislación, rediseño, reuso, reciclaje y transferencia de conocimientos.

Los objetivos principales de la iniciativa son:

- Optimizar los ciclos de vida de equipos eléctricos y electrónicos a través de la mejora de las cadenas de suministro, el cierre de ciclos de materiales y la reducción de la contaminación.
- Incrementar el reuso y la utilización de los materiales presentes en los equipos.
- Ejercer la preocupación sobre disparidades como la brecha digital entre los países industrializados y los países en vía de desarrollo.
- Aumentar el conocimiento público, científico y económico sobre el tema.

Los cinco principios de StEP son:

1. El trabajo de StEP está basado en el diagnóstico científico e incorpora un punto de vista comprensivo de los aspectos sociales, ambientales y económicos de los RAEE.
2. StEP conduce la investigación del ciclo de vida completo de los equipos eléctricos y electrónicos y su correspondiente suministro global, procesos y flujos de materiales.
3. La investigación y los proyectos pilotos de StEP intentan contribuir a la solución de los problemas de los RAEE.
4. StEP condena cualquier actividad ilegal relacionada con los RAEE inclusive exportaciones ilegales y prácticas de reuso/reciclaje que son dañinos para el medio ambiente y la salud humana.
5. StEP trata de fomentar el reuso y reciclaje seguro y eficaz por todo el planeta, y de la manera más socialmente responsable posible.

PARTE B – Manejo

La Ilustración 6 presenta un diagrama de flujo de gestión de los RAEE según las etapas de manejo presentadas en este capítulo: recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje y disposición final. El uso y reuso inicial de los equipos no será tomado en cuenta en la siguiente descripción de las etapas.

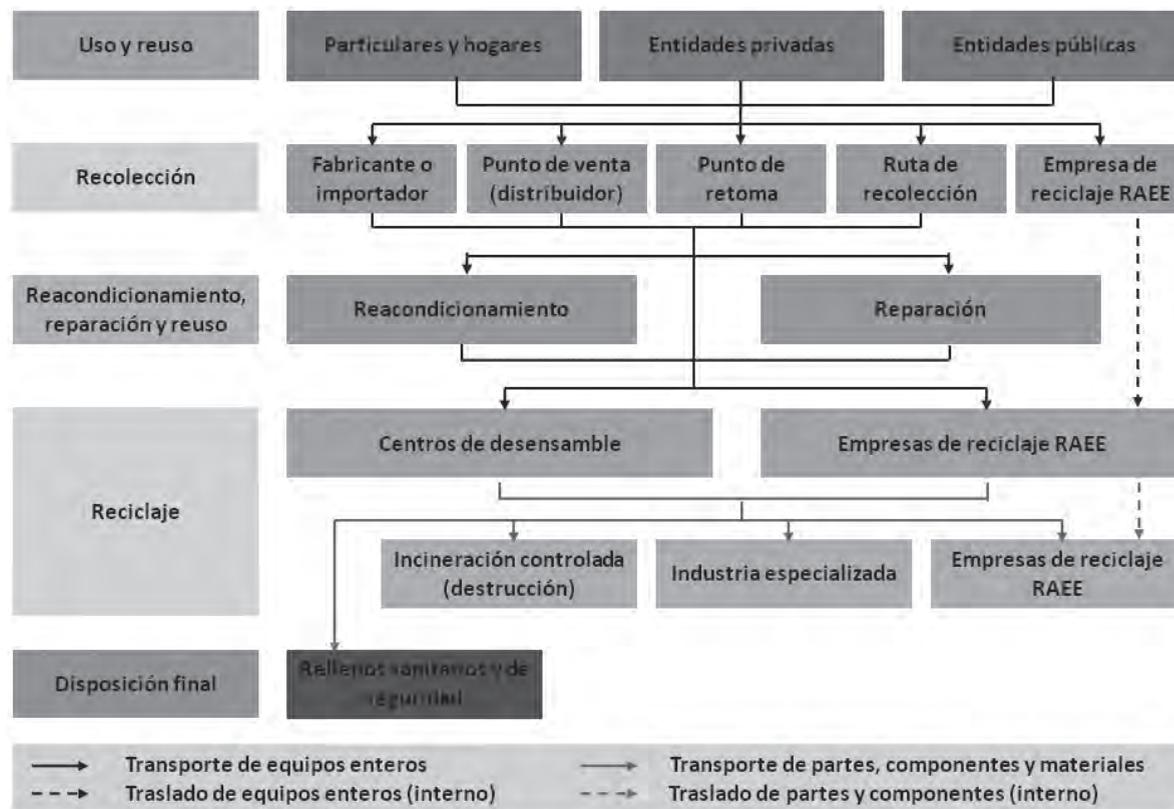


Ilustración 6: Flujograma de las diferentes etapas de manejo de los RAEE. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

La Ilustración 6 no resume todas las posibilidades de manejo ni la totalidad de los flujos entre las diferentes etapas, sino solamente una selección de los que se consideran los más viables y frecuentes.

Los siguientes subcapítulos harán énfasis en los aspectos más importantes y los requerimientos técnicos de cada etapa de manejo.

B.1 Recolección y almacenamiento

La etapa clave y decisiva para un sistema de reciclaje de RAEE es la recolección. Un sistema de recolección eficaz depende de esquemas de recolección accesibles y eficaces para el usuario y de la divulgación de información a los usuarios de forma coherente y adecuada.

Aparte de eso, las experiencias demuestran que la etapa de recolección es la más costosa. Específicamente en el caso de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, que muchas veces pueden ser voluminosos y delicados, lo que resulta en costos representativos que pueden depender principalmente de la distancia, cantidad y calidad de los RAEE [20].

Además, el cálculo de la capacidad estimada no es fácil debido a las diferencias en la vida útil de los equipos y la existencia de mercados de segunda, entre otros. La recuperación de un producto depende no sólo de su vida útil, sino de la capacidad de almacenamiento de las viviendas (mayor en las zonas rurales que en las ciudades) y del comportamiento y los hábitos de la gente. Para calcular la cantidad aproximada de RAEE que se generará en una zona se emplean dos métodos fundamentales: el método del "uso y consumo" y el de la "oferta del mercado". Ambos métodos se basan en estimaciones acerca de la oferta típica de AEE, en el promedio de peso y vida útil, en la situación socioeconómica de la zona geográfica y en el tiempo que se almacenan en los hogares, según datos estadísticos, los aparatos eléctricos y electrónicos.

B.1.1 Lineamientos generales de puntos de retoma y recolección

En principio, para la retoma y recolección de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos existen las siguientes opciones, presentadas en la Ilustración 7:

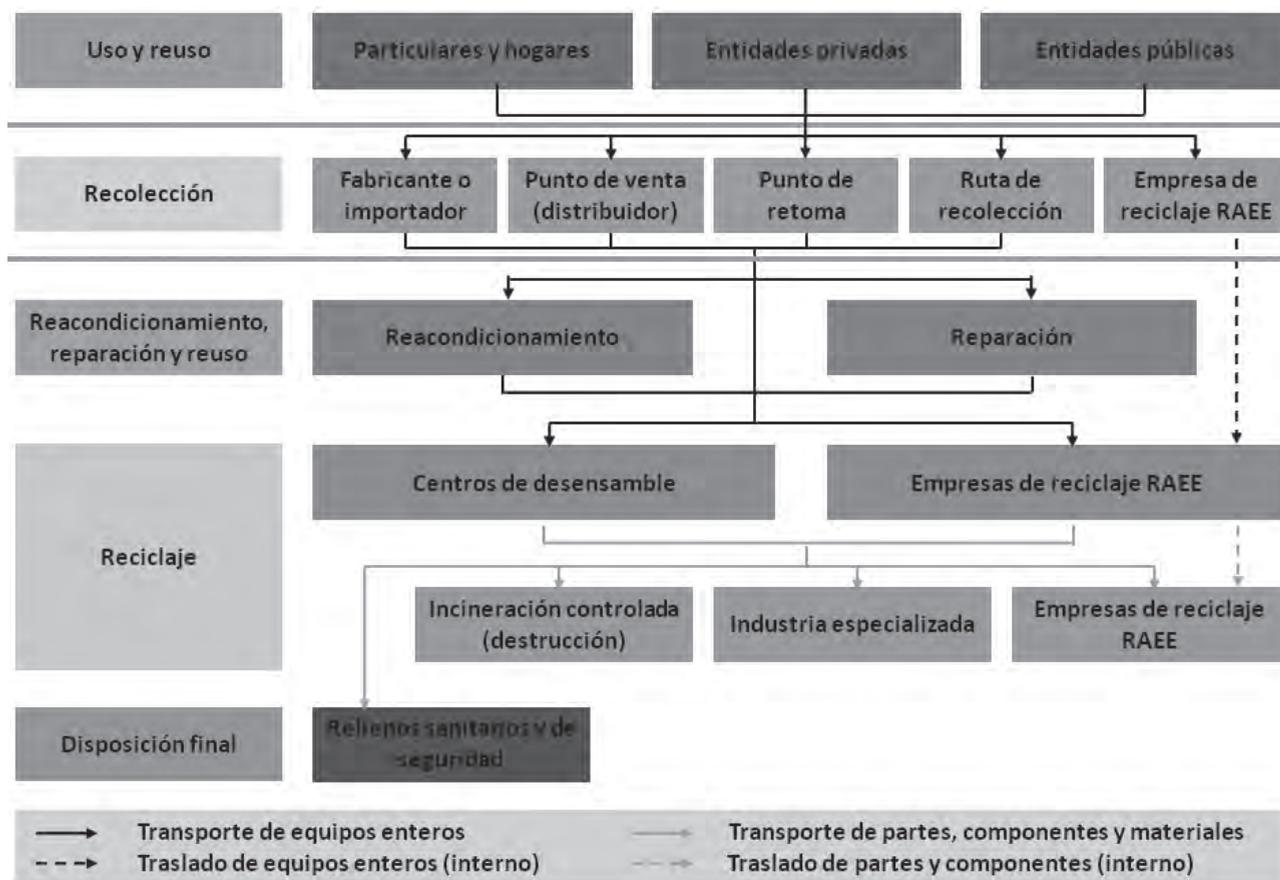


Ilustración 7: Posibles puntos de retoma y recolección de los RAEE. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

- **Fabricante o importador**

El fabricante o importador se encarga directamente de recibir o recoger los RAEE de su marca.

- **Punto de venta (Distribuidor)**

Por lo general, y como es aplicado en muchos países con sistemas de gestión de RAEE establecidos, el minorista, distribuidor o punto de venta se convierte en un punto de retoma y recolección de los RAEE.

- **Puntos establecidos para la entrega o recolección de RAEE**

Esto se refiere a un sistema en el cual el propio consumidor puede llevar el aparato desechado a un punto de entrega o recolección. Los RAEE podrán depositarse allí siempre que existan contenedores individuales adecuados y disponibles.

- **Retoma o recolección directa por la empresa de reciclaje**

En muchos de los sistemas establecidos en países europeos, la empresa de reciclaje también recibe los aparatos en desuso directamente si el usuario se encarga de llevarlo hasta sus instalaciones. En algunos casos especiales, la empresa también hace directamente la recolección de los RAEE.

Se recomienda que una vez los equipos en desuso sean entregados, se separen por tipo de aparato para poderlos almacenar en sus respectivas categorías y de esa manera facilitar el envío para los procesos posteriores (que pueden, pero no necesariamente deben, ser diferentes para todos los equipos).

B.1.2 Requisitos técnicos del punto de retoma y recolección

Para un punto de retoma y recolección se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Instalarse en un lugar techado protegido de las condiciones del ambiente.
- Depositar temporalmente los RAEE en contenedores, sobre estibas, o en cajas de rejas o de madera, facilitando su carga en el transporte hacia el punto de almacenamiento, por un tiempo limitado de acuerdo a las características de los contenedores y a las condiciones del sitio. Estos recipientes deben estar debidamente señalizados.
- Realizar la clasificación por diferentes categorías o tipos de aparatos para facilitar su posterior entrega a empresas especializadas.
- Establecer mecanismos de control para evitar hurtos.
- Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que se depositen en el punto de recolección, no deben ser desensamblados ni manipulados.

Algunos ejemplos de estos requisitos pueden observarse en las Ilustraciones 8 a 11.



Ilustración 8: Estiba de madera.
Foto: MAVDT



Ilustración 9: Caja de madera sobre estiba.
Foto: MAVDT



Ilustración 10: Caja sobre estiba.
Foto: MAVDT



Ilustración 11: Caja metálica de rejas.
Foto: www.schroth-paletten.de

B.1.3 Requisitos técnicos para instalaciones de almacenamiento

Los siguientes son requerimientos básicos para las instalaciones de almacenamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos:

- **Protección contra la intemperie:** el almacenamiento debe realizarse a temperatura ambiente y protegido de la intemperie, con el objeto de evitar que agentes contaminantes puedan lixiviar al ambiente debido a los efectos del tiempo y para permitir el posterior reacondicionamiento o reutilización de los equipos.
- **Pisos:** impermeables para evitar infiltraciones y contaminación de los suelos.
- **Capacidad:** adecuada para el manejo de todo el inventario.
- **Protección contra acceso no autorizado:** el desecho electrónico se debe almacenar de manera tal que no se permita el ingreso de personas no autorizadas a las instalaciones para evitar que se agreguen o sean extraídos equipos en desuso o piezas sin supervisión.
- **Registros:** mantener registros de inventarios, tanto de equipos en desuso enteros, como de piezas recuperadas.
- **Procedimientos:** se deben documentar los procedimientos que se llevan a cabo en el sitio de almacenamiento.
- **Personal:** el personal debe estar capacitado para cumplir con los procedimientos del almacenamiento.
- **Almacenamiento y empaque:** en general, los RAEE se deben almacenar sobre estibas, o en cajas de rejas o de madera, facilitando su almacenamiento, carga y transporte hacia procesos posteriores (Ilustraciones 12 y 13). En el capítulo siguiente se detallarán algunos casos especiales y excepciones.



Ilustración 12: Cajas metálicas de rejas para almacenamiento.
Foto: Recycling Trainer.



Ilustración 13: Contenedores sobre ruedas.
Foto: Recycling Trainer.

B.1.4 Almacenamiento y empaque para casos especiales

- Componentes que pueden contener sustancias peligrosas: Después de un desensamble, los componentes peligrosos que pueden estar presentes en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se deben almacenar, envasar, embalar, rotular, etiquetar y transportar contemplando la legislación vigente.
- Baterías: Para prevenir el riesgo de inflamación, las baterías Ni-Cd y Litio Ion se deben empaquetar de manera independiente (por ejemplo en bolsas de plástico) previo a su almacenamiento en contenedores para evitar el contacto entre las mismas.
- Monitores TRC (Tubos de rayos catódicos): Los monitores TRC enteros se deben empaquetar de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de fractura durante condiciones de envío normales. Además, el empaque debe reducir al mínimo emisiones de material al ambiente si una fractura ocurre durante el transporte, por ejemplo utilizando cajas de madera o cajas Gaylord. Los monitores TRC con el vidrio quebrado, los pedazos de cristal y el vidrio de desecho de cristal se deben empaquetar en envases impermeables para evitar la pérdida de partículas y pedazos.

B.2 Transporte y logística

B.2.1 Lineamientos generales

Los procedimientos de transporte de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos dependen del tipo de residuo y nivel de desensamble o reciclaje que se tenga, ya que se pueden transportar equipos enteros en desuso, o sus componentes después de su desensamble. Por lo tanto en este capítulo se distingue entre el transporte de equipos enteros en desuso y el transporte de componentes y partes desensambladas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, como se observa en la Ilustración 14. En ambos casos se deben tener en cuenta los requerimientos técnicos que se enuncian a continuación.

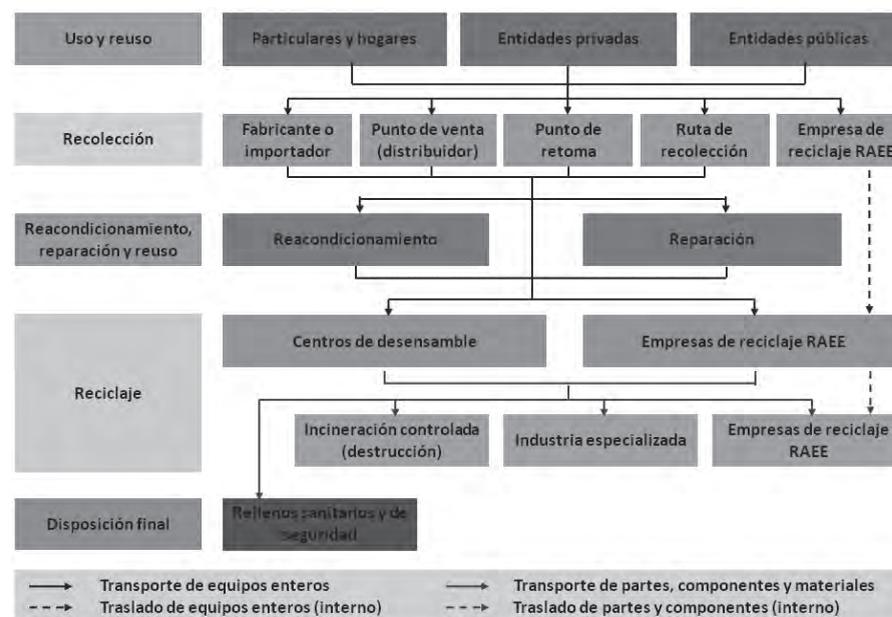


Ilustración 14: Esquema de los pasos que se necesitan en un sistema de transporte y logística para asegurar el desplazamiento de los RAEE entre las etapas de manejo. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA

B.2.2 Requisitos técnicos

B.2.2.1 Condiciones generales para el transporte de RAEE

- Se debe garantizar siempre la protección contra la intemperie.
- Durante el transporte se debe evitar que las personas no autorizadas tengan acceso a la carga, con el fin de evitar la adición o pérdida de partes o piezas de equipos sin supervisión.
- La carga en el vehículo debe estar debidamente empacada, acomodada, estibada, apilada, sujeta y cubierta de tal forma que no presente peligro para la vida de las personas y el medio ambiente (ver ejemplo en la Ilustración 17).
- Para este fin se recomienda que todo transporte de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de tamaño mediano o pequeño se realice en cajas de madera, de cartón grueso o de rejillas metálicas (ver ejemplo en la Ilustración 16).
- En caso de transportar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en estibas, se debe envolver toda la estiba con una película plástica cuando esté cargada (ver ejemplo en la Ilustración 19).
- Es recomendable no poner más de tres capas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en las estibas y asegurar que la carga no sobresalga de las cajas.
- Por lo general no se requieren cartones o espumas entre las capas. Sin embargo, para algunas excepciones se recomienda colocarlos, por ejemplo para el transporte de monitores en desuso.
- En caso de ofrecer los servicios de recolección y transporte de equipos de impresión y fotocopia en desuso, tener un sistema de recolección de derrames de tinta para evitar contaminación del medio ambiente y de los demás componentes conjuntamente transportados.
- Portar como mínimo dos (2) extintores tipo multipropósito, uno en la cabina y los demás cerca de la carga, en sitio de fácil acceso para que se pueda disponer de él rápidamente en caso de emergencia, y contar con personal preparado para su utilización.

La Ilustración 15 presenta un ejemplo de cómo no se deben transportar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE.



Ilustración 15: Ejemplo de cómo NO se deben transportar los RAEE. Foto: MAVDT



Ilustración 17: Asegurar que la carga esté bien sujeta durante el transporte. Foto: MAVDT



Ilustración 16: Contenedor con RAEE en cajas metálicas. Foto: MAVDT

B.2.2.2 Características de empaque requeridas para el transporte de equipos enteros en desuso

Los equipos enteros en desuso que se transporten hacia un lugar de almacenamiento o un lugar de desensamble deben ser empacados de manera que se reduzca al mínimo su fractura durante condiciones de envío normales y que en caso de presentarse las mismas, el material sea contenido, evitando emisiones al medio ambiente. Especialmente, se debe tener precaución cuando se trate de equipos con pantalla y equipos que contienen tintas o líquidos que podrían derramarse durante el transporte.

Algunos casos especiales:

● **Monitores y televisores con tubos de rayos catódicos**

- Los TRC necesitan ser mantenidos intactos durante el transporte debido a que la mayor parte de usos del vidrio sin plomo requieren su separación de la fracción plomada y la mayoría de técnicas de separación se realizan a partir de los tubos intactos. Incluso si los TRC se piensan triturar, es también preferible, por razones de salud y de seguridad, transportar los tubos intactos.
- Para cerciorarse de que un TRC llegue intacto al sitio de tratamiento se debe mantener su cubierta original y apilar correctamente en un recipiente conveniente tal como cajas de madera, rejas metálicas o de cartón grueso. También se pueden utilizar empaques de película plástica sobre palés, pero se recomienda el uso de cajas para su transporte. La Ilustración 18 presenta un ejemplo de cómo se debe realizar la descarga de televisores que han sido transportados sobre un palé.
- Si los monitores y televisores TRC son transportados sobre una estiba de tal manera que los pedazos quebrados no pueden ser contenidos, la carga debe ser envuelta en una película plástica o en plástico burbuja.
- En caso que se tengan monitores y televisores con el tubo quebrado o en pedazos, dichos pedazos de vidrio se deben empacar en recipientes o cajas aparte que eviten que las partículas o fragmentos puedan ser liberados.
- Coloque los monitores con la pantalla hacia un lado (en particular los monitores de la primera capa). Se recomienda introducir una capa de espuma o de plástico burbuja entre las diferentes capas.
- De ser posible todos los cables de los monitores deberán ser removidos para evitar daños y complicaciones al descargar las cajas o las estibas. Se recomienda que los cables se transporten en envases o cajas separados.
- Tubos sueltos (TRC) se deben transportar con las mismas precauciones para mantenerlos intactos y evitar la fractura de los mismos.

● **Impresoras, faxes, fotocopiadoras y otros equipos**

- De ser posible, las impresoras y otros equipos deberán ser empacados individualmente.
- Colocar los equipos más pesados en la base de la estiba.
- Si no se dispone de cajas, se debe colocar una capa de cartón o material de empaque entre las impresoras y demás equipos de impresión.
- Para evitar el derrame de tintas y de tóner, se deben colocar los equipos en contenedores y envases impermeables. También existe la posibilidad de transportarlos en un vehículo que cuente con un sistema de acumulación de líquidos.

● **Periféricos de las TIC**

- Colocar los teclados, ratones, audífonos, micrófonos y otros accesorios y periféricos en cajas de cartón.
- Apilar las cajas en estibas y envolverlas con un plástico para colocarlas sobre un palé o almacenarlas en cajas de madera o cajas Gaylord.



Ilustración 18: Descarga de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Foto: MAVDT



Ilustración 19: Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos sobre estibas envueltos con plástico. Foto: eag-Leitfaden.

B.2.2.3 Características de empaque requeridas para el transporte de partes y componentes

Los componentes resultantes del proceso de desensamble de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, tales como baterías, discos duros, tarjetas de circuito impreso, pantallas, etc. pueden ser transportados hacia plantas específicas para aprovechamiento, tratamiento o disposición final, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Por lo general, los componentes de equipos electrónicos deben ser empacados de manera que se evite el desprendimiento de componentes con contenidos peligrosos al ambiente.
- Todos los componentes deben ser colocados preferiblemente en cajas de cartón (seltas o caja Gaylord) o de madera.
- Todas las cajas sueltas de cartón que se coloquen sobre las estibas deben ser envueltas con un plástico para colocarlas en palés.
- La caja Gaylord se debe colocar sobre una estiba para facilitar su transporte.
- Asegurar que la carga no sobresalga de la caja.
- Las características de empaque requeridas para el transporte de baterías deben cumplir los mismos requisitos considerados para el almacenamiento, mencionados anteriormente en el numeral B.1.4.

B.3 Reuso

B.3.1 ¿Porqué reusar los aparatos eléctricos y electrónicos?

El reuso sirve para prolongar la vida útil de los aparatos eléctricos y electrónicos usados, de manera que vuelvan a introducirse en el mercado. A diferencia del reciclaje, para el cual es imprescindible descomponer los equipos en desuso y partes, en el reuso se conserva íntegro el estado de los aparatos y componentes, con lo que se mantiene un valor mayor mediante un esfuerzo menor.

El reuso también reporta beneficios por la reventa de los productos a precios inferiores que los nuevos. Constituye un nuevo sector económico, con escasa armonización de las actividades existentes, en el que un nuevo tipo de industria

puede encontrar nuevas oportunidades volviendo a comercializar, por ejemplo, electrodomésticos de línea blanca. Los beneficios relacionados con el reuso de aparatos eléctricos y electrónicos en desuso revisten especial importancia en dos ámbitos:

- Dichas actividades ofrecen un trabajo interesante de clasificación y reciclaje, además de formación para mano de obra no calificada o con perspectivas de empleo limitadas.
- Los aparatos reutilizados, por ser mucho más baratos que los nuevos, permiten a las familias menos favorecidas acceder a bienes que, de otro modo, no podrían permitirse, con lo que disminuye la exclusión social.

B.3.2 Lineamientos generales para el reuso

Principalmente existen las siguientes formas de reuso de aparatos eléctricos y electrónicos (Ilustración 20):

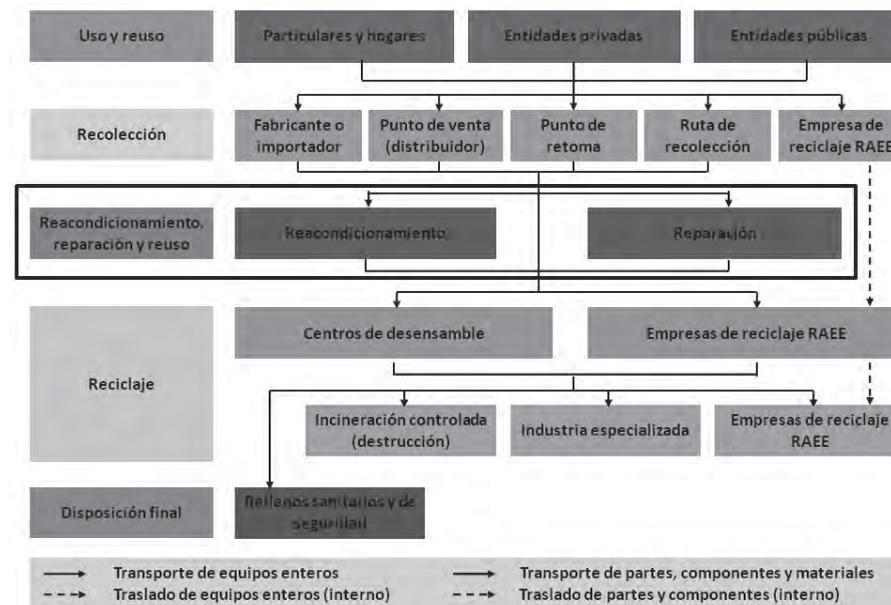


Ilustración 20: Etapa de reuso. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

- **Reuso directo de aparatos completos:** Consiste en la reutilización directa del equipo usado sin realizarle ninguna adecuación. Los aparatos que están todavía en pleno funcionamiento pueden:
 - Venderse a título particular a tiendas de segunda mano.
 - Venderse entre consumidores (anuncios en periódicos o revistas).
 - Donarse gratuitamente a familiares o amigos.
- **Reutilización de componentes sin pérdida funcional:** Un equipo usado para el cual su restauración y reparación completas no sean económicamente eficientes puede todavía contener uno o más componentes que puedan ser reutilizados. Para este fin los equipos deben ser desensamblados con el mayor cuidado para evitar el daño de los componentes a ser reutilizados. Por ejemplo los ventiladores de las PC, unidad de discos, dispositivos de memoria, diferentes componentes electrónicos, etc. pueden ser utilizados otra vez para el mismo propósito sin pérdida funcional. Una manera de reutilizar consiste en desarmar los equipos, recuperar partes en buen estado

de funcionamiento y reemplazar las piezas desgastadas o averiadas. Las partes recuperadas pueden ser limpiadas o pintadas, ajustadas mecánicamente o electrónicamente, reconfiguradas y probadas para que cumplan con su función y con las expectativas estéticas similares a un modelo nuevo.

- **Reacondicionamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos:** El reacondicionamiento y reparación son procesos técnicos de renovación y restauración, en los cuales se restablecen completamente las condiciones funcionales y estéticas de un equipo en desuso de tal forma que el equipo puede ser usado en un nuevo ciclo de vida.

B.3.3 Clasificación y evaluación

Normalmente la clasificación y selección de los equipos en desuso se realiza con base en las características físicas que pueden ser determinadas sin encender los equipos, es decir que no puede determinarse con seguridad si el equipo es funcionalmente apto para un uso posterior.

Algunos criterios permiten establecer de antemano si el equipo cumple con los estándares mínimos que se tienen contemplados:

- La edad del aparato: este aspecto determinará en gran medida el consumo que realice de energía y agua, así como los riesgos intrínsecos del aparato.
- El tipo y el modelo del aparato: sirven para determinar si el producto se ha quedado obsoleto con la aparición de tecnología alternativa.
- La demanda de dichos aparatos según su capacidad, función, utilidad: los aparatos más solicitados por las empresas de economía social son los frigoríficos, los hornos, las lavadoras y los productos de tecnologías de la información y de la comunicación.
- El estado general del aparato.

De esa manera se pueden identificar de forma preliminar aquellas unidades que tienen limitaciones en cuanto a la tecnología de sus componentes, su ausencia o el estado en el que se encuentran funcionando. Por lo tanto, se definen las unidades que potencialmente, pueden ser recicladas y las unidades que pueden ser reacondionadas [20].

B.3.4 Requisitos técnicos para reacondicionamiento y reparación

Para el reacondicionamiento y reparación es importante considerar los siguientes aspectos:

- Las instalaciones de reacondicionamiento y de reparación proporcionan aparatos eléctricos y electrónicos que por sus características, en cuanto a su manejo, equivalen a equipos nuevos.
- Los procesos llevados a cabo en el reacondicionamiento y la reparación de los aparatos eléctricos y electrónicos en desuso por lo general se limitan al desensamble y limpieza de los equipos, el reemplazo de componentes y partes, el arreglo básico de ciertas partes, y el montaje del equipo reparado o reacondicionado (ver ejemplos en las Ilustraciones 21, 22 y 23).

Teniendo en cuenta estos aspectos se recomiendan los siguientes lineamientos para el reacondicionamiento y la reparación:

- Para las instalaciones de reacondicionamiento y de reparación aplican los mismos lineamientos establecidos en las etapas de almacenamiento y transporte enunciadas anteriormente.
- Hay que asegurar que los diferentes componentes y repuestos electrónicos recuperados o generados como residuos durante el proceso se manejen de manera ambientalmente adecuada.



Ilustración 21: Reacondicionamiento de computadores y periféricos. Foto: Programa Computadores para Educar -CPE.



Ilustración 22: Reacondicionamiento de computadores. Foto: MAVDT



Ilustración 23: Reparación de equipos eléctricos y electrónicos. Foto: MAVDT

B.4 Reciclaje

El reciclaje de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se puede hacer de manera manual, mecánica o combinando ambas técnicas. En este documento, la etapa de reciclaje incluye los procesos de aprovechamiento y valorización, los cuales se refieren a todo proceso industrial cuyo objeto sea la transformación y recuperación de los recursos contenidos en los residuos, o del valor energético (poder calorífico) de los materiales que componen los RAEE.

Después de que se hayan extraído los contaminantes que pueden estar presentes en algunos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, algunos residuos se pueden destinar a procesos de reciclaje, de donde se obtienen tres grandes grupos de materiales: vidrios, plásticos y metales.

En términos generales, el aprovechamiento y valorización de componentes, materiales y subproductos procedentes del reciclaje de los RAEE, pueden consistir en la fundición, la refinación, la recuperación química y la incineración controlada:

- Fundición: se refiere a la fundición y el reciclaje común de metales ferrosos.
- Refinación térmica y química: se refiere a la recuperación de los metales nobles, no ferrosos, contenidos en las tarjetas de circuito impreso y en otros residuos eléctricos y electrónicos, a través de procesos térmicos o químicos.
- Incineración: los residuos sin valor, no aprovechables o con contenidos peligrosos son incinerados bajo altos estándares técnicos que permiten la recuperación del valor energético en forma de energía eléctrica y evitan la contaminación del ambiente por las emisiones atmosféricas a través de sistemas de control y descontaminación de emisiones.

Las siguientes ilustraciones presentan una descripción de los tres diferentes escenarios que se pueden encontrar para el reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Mientras que en algunos países se aplica la estrategia de simplemente triturar los equipos electrónicos en desuso enteros (Ilustración 24), en la mayoría se observa una combinación manual-mecánica (Ilustración 25). Sobre todo en países en vía de desarrollo se está realizando un reciclaje únicamente manual (Ilustración 26) [13].

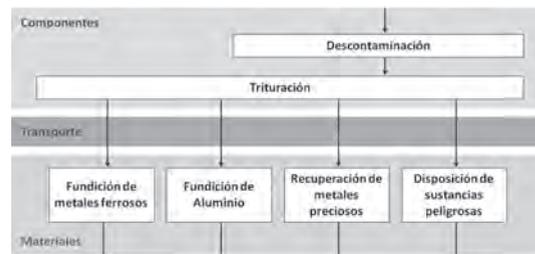


Ilustración 24: Reciclaje mecánico de RAEE. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

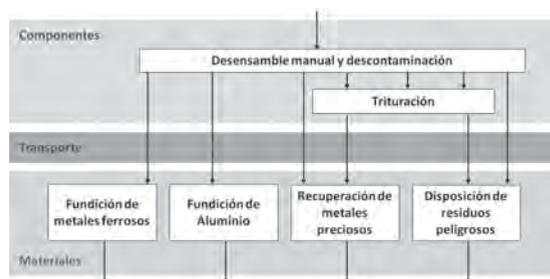


Ilustración 25: Reciclaje manual/mecánico. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

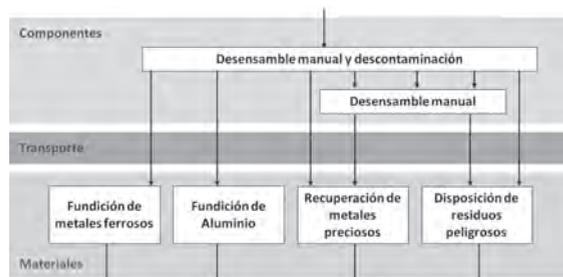


Ilustración 26: Reciclaje manual. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

B.4.1 Desensamblable

El desensamblable consiste en, como su nombre lo indica, separar los principales componentes o partes de componentes que conforman los residuos de aparatos eléctricos o electrónicos (desensamblable parcial), o el desensamblable de los mismos en todos sus componentes y materiales (desensamblable completo), los cuales serán clasificados de forma general en plásticos, vidrio, metales ferrosos, metales no ferrosos (como aluminio y cobre) y componentes peligrosos como mercurio y plomo, entre otros.

En el contexto colombiano, el desensamblable – sea manual o mecánico – puede ser realizado básicamente por los siguientes actores (Ilustración 27):

- Centros de desensamblable: se refiere al desensamblable manual llevado a cabo en instalaciones que cuentan con la tecnología y procesos diseñados para tal fin.
- Empresas de reciclaje: se refiere a que la empresa de reciclaje tiene su propia cadena de desensamblable, manual o mecánica.

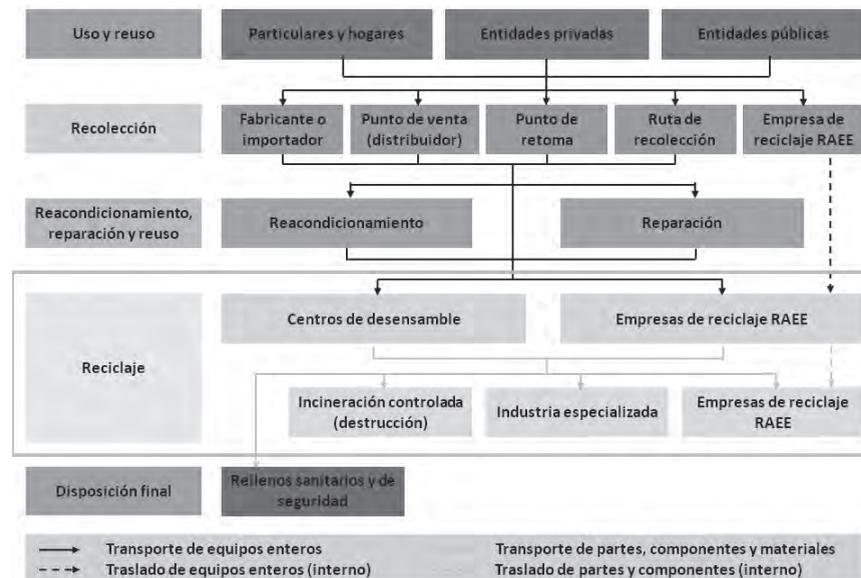


Ilustración 27: Esquema con la etapa de reciclaje. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

B.4.2 Descontaminación

En esta etapa se realiza la separación de los componentes peligrosos que pueden estar presentes en algunos aparatos eléctricos y electrónicos en desuso, para evitar que los componentes contaminados terminen en las fracciones aprovechables para reciclar y así facilitar su manejo posterior. Este paso se debe realizar en particular cuando el proceso posterior sea el desensamblable mecánico.

En general, los componentes que pueden contener sustancias peligrosas deben ser extraídos manualmente (ver ejemplos en las Ilustraciones 28 y 29). Los procesos futuros de manejo, tales como la incineración controlada o la refinación, pueden permitir el reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos sin el retiro anterior de sustancias peligrosas.

Los residuos peligrosos que se pueden generar en el desensamblable de RAEE consiste en: vidrio con plomo, vidrio con bario, cañón de electrones con bario, película fosforescente, condensadores que contengan bifenilos o trifenilos policlorados (PCB o PCT) y tarjetas de circuitos impresos con soldaduras de plomo [23].

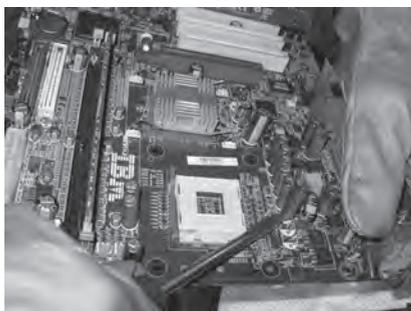


Ilustración 28: Remoción de los condensadores grandes.
Foto: MAVDT



Ilustración 29: Remoción de la pila de respaldo.
Foto: MAVDT



Ilustración 30: Descontaminación de neveras.
Foto: MAVDT

B.4.3 Desensamble mecánico (trituración)

Principalmente en los países industrializados, el desensamble mecánico es el método más aplicado para procesar y recuperar los materiales contenidos en los RAEE. Después de un primer paso manual de descontaminación (para algunos equipos seleccionados) y acondicionamiento para los procesos posteriores (por ejemplo quitar o cortar los cables), los RAEE pasan al proceso mecánico de trituración y separación.

Por lo general la trituración se lleva a cabo en una trituradora de cadena, en la cual los RAEE son destruidos mediante un proceso mecánico. Del proceso de trituración sale una mezcla de diferentes fragmentos de materiales, los cuales posteriormente son separados a través de mecanismos de separación (como por ejemplo la clasificación de aire, criba, ciclón, turbo-rotor, corriente de Foucault o separación magnética, etc.) en diferentes fracciones y corrientes limpias. Las corrientes después entran a su respectivo procesamiento y son puestos a disposición para su comercialización.

De esa manera, los plásticos son triturados y granulados en otra línea de proceso.

Para los cables también existen soluciones mecánicas para separar los plásticos aislantes del cobre y los componentes interiores, por ejemplo con máquinas separadoras o trituradoras para cables con separación metal-plástico.

Algunos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, como por ejemplo los monitores TRC o aparatos con líquidos o aceites, no pueden ser procesados en conjunto con el resto de los aparatos y deben ser manejados a través de otros procesos.

Las Ilustraciones 31 a 34 presentan algunos ejemplos de trituradoras de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.



Ilustración 31: Trituradora de cadena para los RAEE. Foto: Global Electric Electronic Processing GEEP.



Ilustración 32: Equipo de alimentación de un triturador de RAEE.
Foto: <http://ewasteguide.info>



Ilustración 33: Trituradora de cadena
Foto: Inmark.



Ilustración 34: Separador de metales triturados.
Foto: www.greenbusinesstimes.com

B.4.4 Desensamble manual



Ilustración 35: Desensamble manual de un equipo electrónico. Foto: MAVDT



Ilustración 36: Desensamble manual de un computador.
Foto: MAVDT



Ilustración 37: Desensamble manual de un equipo electrónico. Foto: MAVDT

A pesar de que en muchos países industrializados el desensamble mecánico de los RAEE está muy desarrollado y cuentan con un número considerable de plantas con tecnología de punta, varios modelos de reciclaje prevén la inclusión de un paso de desensamble manual, por lo general a través de proyectos y centros de desensamble.

Para los países en vía de desarrollo, el desensamble manual de muchos de los equipos electrónicos es una alternativa viable y recomendable, aparte de ser una muy buena opción para la creación de empleo, en particular para mano de obra no calificada o personas discapacitadas.

Además, si se pretende recuperar componentes para reutilizarlos, es esencial que parte del desensamble se realice a mano, puesto que así es más fácil identificar los componentes que funcionan para volverlos a comercializar, la separación es mayor, se consume menos energía y se extraen con más eficacia las sustancias potencialmente peligrosas.



Ilustración 38: Un computador de escritorio y sus principales componentes.

Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

Los métodos de desensamble dependen de los materiales y componentes a ser extraídos e incluyen corte, presión, fractura y desensamble mecánico con herramientas como destornilladores y alicates, que se utilizan para realizar la extracción de los componentes que contienen los metales preciosos de una manera eficiente y así reducir el riesgo por contaminación.

Es recomendable que existan procesos estandarizados para realizar el desensamble de los diferentes equipos y componentes electrónicos en desuso, los cuales permitirán realizar la trazabilidad de los compuestos de valor y separar los residuos peligrosos para su posterior disposición, en caso de ser necesario.

En general, primero se debe desensamblar la carcasa o cubierta plástica desatornillándola y posteriormente clasificar los materiales que se encuentran en las partes exteriores.

Se separan las cubiertas plásticas de los televisores y de los monitores que contienen retardantes de llama, los plásticos, los cables, las tarjetas de circuito impresas (printed writing board PWB), los metales ferrosos, de los metales no ferrosos, y el vidrio.

Como segundo paso, se extraen las materias primas reciclables; dentro de los materiales aprovechables se encuentran: componentes eléctricos, electrónicos y electromecánicos, plásticos, metales ferrosos y no ferrosos como cobre y aluminio.

Posteriormente al proceso de desensamble sigue la extracción de los materiales de valor, como oro (de los conectores), níquel, cobre, hierro, aluminio e imanes permanentes, que valen la pena recuperar como recursos secundarios. Esta etapa del reciclaje requiere de tecnología específica y más avanzada para poder realizarla de manera segura y ambientalmente sostenible, además requiere grandes inversiones.

También se pueden separar componentes para reutilización; los componentes no peligrosos y no aprovechables deben pasar a disposición final.

Para cada una de las corrientes de salida se debe definir una ruta potencial para su venta, su procesamiento o eliminación de conformidad con lo estipulado en la PARTE C de este documento.

B.4.4.1 Lineamientos para las instalaciones de desensamble manual

Las instalaciones para el desensamble de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos requieren contar con personal capacitado y entrenado correctamente, y deben proveer todas las condiciones de seguridad necesarias para disminuir los riesgos a los trabajadores.

Además, la infraestructura del centro de desensamble debe estar diseñada para prevenir toda clase de contaminación y reaccionar ante cualquier situación de emergencia. Para estos fines, se aconseja que se tengan en cuenta los siguientes requisitos:

- Techo para la conservación de los equipos electrónicos en desuso. Los RAEE no deben exponerse a humedad ni a la luz solar directa o a temperaturas altas, en particular cuando los equipos van a ser reacondicionados o reutilizados.
- Extractores, para la evacuación de emisiones.
- Piso de concreto o piso industrial, para realizar la limpieza de polvo o cualquier otra sustancia más fácilmente.
- Rampas de acceso para cargue y descargue de los equipos en desuso y materiales.
- Detectores de humo y extintores, para velar por la seguridad de los operarios, equipos electrónicos en desuso y las instalaciones de la planta, así como prevenir el daño al medio ambiente; en caso de presentarse cualquier eventualidad.
- Los almacenes deben ser adecuados para llevar a cabo el inventario de material procesado y sin procesar. Se debe contar con balanzas de pesaje adecuadas.
- Las instalaciones que utilizan calor para ablandar la soldadura o que trituran varios componentes de los RAEE necesitan diseñar sus operaciones para controlar emisiones atmosféricas.
- Lugar para identificar, manejar y almacenar correctamente los componentes peligrosos que se extraen de algunos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en desuso durante el desensamble.
- Alarmas de seguridad.
- Rutas de evacuación y señalización de espacios.



Ilustración 39: Puesto de trabajo con herramientas. Foto: MAVDT

B.4.4.2 Herramientas y equipos auxiliares

Si bien el desensamble y otros procedimientos que se llevan a cabo en los centros de reciclaje de América Latina y el Caribe son principalmente manuales, se requieren equipos de apoyo, los cuales son descritos a continuación:

- **Carga y descarga:** un montacargas es la mejor opción para trabajar con estibas y realizar la carga y descarga de los camiones.
- **Molino:** el molino se utiliza para la trituración de las partes de plástico de los RAEE. Este proceso facilita y reduce el volumen de los materiales para el transporte.
- **Herramientas:** destornilladores, alicates, punzones, estiletes, martillos, etc., son de vital importancia para el desensamble de las piezas (Ilustración 39).
- **Destornilladores eléctricos:** para destornillar carcasas y componentes y para la destrucción de la información contenida en los discos duros.
- **Pequeños contenedores, cajas y estibas:** para el almacenamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en desuso antes, durante y después del proceso de desensamble y su posterior transporte.

B.4.4.3 Protección del trabajador

Para garantizar la seguridad del trabajador se requieren los siguientes utensilios:



- **Guantes resistentes a los cortes:** un operario que trabaja en el desensamble de los componentes y partes electrónicas, debe protegerse contra cortes y astillas.



- **Lentes de seguridad:** cuando se trabaja en el triturado de partes o simplemente en el proceso de desensamble, es muy importante que el operario utilice lentes de protección para evitar que cualquier partícula entre en sus ojos.



- **Máscaras o respiradores:** serán necesarias cuando exista exposición al polvo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Durante la trituración de residuos electrónicos es inevitable la generación de polvo con contenido de metales; los trabajadores podrían correr el riesgo de inhalarlos.



- **Protectores de oídos:** en caso de que los sonidos emitidos por una máquina o por simple aplicación mecánica (como golpes con martillos) superen el nivel establecido en las normas de seguridad.

Además se recomiendan:

- Overoles de material grueso que los identifiquen como empleados de la empresa.
- Casco para protegerse de la caída de material que pueda estar mal asegurado.

B.4.4.4 Registros

Es importante que estas instalaciones, garanticen la gestión y manejo integral de los residuos o desechos peligrosos que se generan durante el proceso de desensamble de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos; cada planta debe tener registros de las cantidades que se envían para reciclaje y disposición a cada destinatario (el balance de cada planta de desensamble debe coincidir con el de cada receptor).

B.4.4.5 Planes de seguridad

Cada etapa del proceso de desensamble debe tener un plan de seguridad en caso de presentarse alguna emergencia o contratiempo. Los planes de emergencia deben ser conocidos y practicados por todo el personal de la empresa, que debe saber qué hacer al momento de presentarse una emergencia.

B.4.4.6 Destrucción de información

En caso de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con discos duros, se debe notar que generalmente se pide al gestor que elimine la información contenida en los mismos, antes de realizarse cualquier trabajo. La destrucción de la información almacenada y de las etiquetas con las marcas registradas en algunos componentes hace parte de las estrategias para minimizar los delitos de hurto de información y falsificación de componentes.

La destrucción de la información contenida en los discos duros puede ser física (p. ej. con taladro) o electrónica (programas especializados de destrucción de datos). Ejemplos de destrucción física de discos duros se observan en la Ilustración 40.

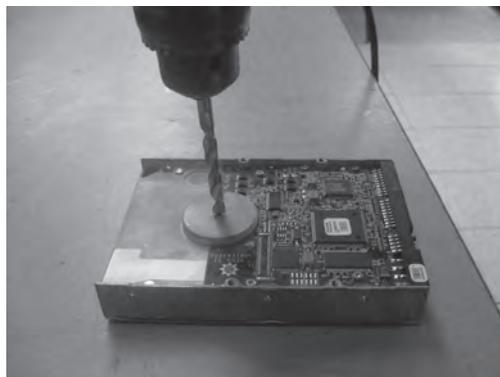


Ilustración 40: Destrucción del disco duro con un taladro.
Foto: MAVDT

B.4.4.7 Consideraciones ambientales

El grado de peligro que se puede presentar a los trabajadores y al ambiente varía dependiendo de cada instalación individual. Por ejemplo, algunas operaciones de desensamble manual plantean pocos aspectos medioambientales, mientras que otras, como el desensamble en masa de componentes electrónicos o recuperación de soldadura de estaño-plomo, la ruptura de pantallas TRC o el uso de las desfibradoras presentan una gama más amplia de potenciales preocupaciones.

Los riesgos presentes para los trabajadores y el ambiente en las instalaciones de reacondicionamiento son generalmente pequeños ya que para el reacondicionamiento de los equipos en desuso no se utilizan medios destructivos puesto que harían inutilizables sus componentes y propiciarían la emisión de sustancias contaminantes.

Por lo tanto, las instalaciones de desensamble y recuperación de materiales generalmente necesitan más control que las instalaciones de reacondicionamiento en cuanto a los aspectos ambientales se refiere.

B.4.5 Fundición

Este proceso se refiere al reciclaje y reprocesamiento de los metales ferrosos y no ferrosos como por ejemplo el aluminio a través de procesos térmicos, también denominado pirometalurgia. La fundición es el tratamiento térmico de minerales o metales ya obtenidos, sea a través de una oxidación, es decir se calientan con oxígeno, o una reducción sin oxígeno.

Estos procesos deben llevarse a cabo según los estándares de su respectiva industria.



Ilustración 41: Fundición de metales. Fuente: http://www.implats.co.za/im/g_impala_processing.asp

B.4.6 Refinación térmica y química

La refinación es la separación de metales preciosos de los demás metales. Algunos materiales que pueden entrar en este proceso son catalizadores usados, componentes electrónicos, minerales o aleaciones metálicas. La refinación de metales preciosos es un proceso muy costoso y complejo. Con el fin de aislar los metales preciosos, se utilizan como procesos la pirólisis, la hidrólisis o una combinación de ambas.

En la pirólisis, los metales preciosos son separados de los otros materiales no preciosos, a través de la fundición o la oxidación. En la hidrólisis, los metales preciosos son disueltos en agua regia (compuesto de ácido clorhídrico y ácido nítrico) o mediante una solución de ácido clorhídrico y gas de cloro. Posteriormente, ciertos metales pueden ser precipitados o reducidos directamente en relación con una sal o un gas orgánico. Después pasan por las etapas de limpieza o recristalización. El metal precioso se separa de la sal por calcinación. Los metales nobles primero son hidrolizados y posteriormente son pirolisados.

Las ilustraciones 42 y 43 presentan algunos procesos para la refinación de metales.

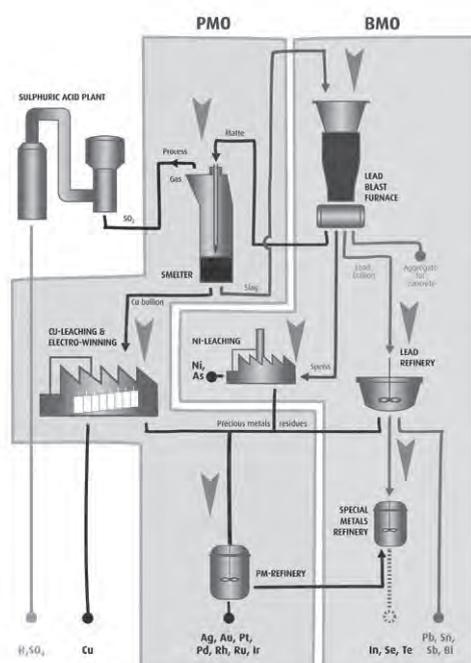


Ilustración 42: Esquema de la refinación térmica de UMICORE en Bélgica. Fuente: UMICORE



Ilustración 43: Refinación química de los RAEE. Foto: http://www.sabinmetal.com/ Assaying_Sampling_Methods.html



Ilustración 44: Metales recuperados a través de procesos químicos. Foto: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

Nota: En Latinoamérica y el Caribe todavía no existen refinaciones de tecnología de punta que puedan extraer varios metales preciosos de los componentes electrónicos a la vez. Se realiza el desensamble de forma manual, para posteriormente proceder a la clasificación, valorización y venta de los materiales ya sea como materias primas en los mercados locales o transportados a plantas de refinación en Europa o Norteamérica, para una recuperación más completa y de mayor eficiencia. La Tabla 4 muestra un listado de algunas refinaciones que recuperan metales preciosos de los componentes de los RAEE.

Tabla 4: Panorama de algunas refinерías que trabajan con RAEE.

Nombre	País	Descripción
Umicore www.umicore.com	Bélgica	Umicore es un grupo empresarial de tecnología de materiales. Sus actividades se centran en cuatro áreas de negocio: materiales avanzados, productos de metales preciosos y catalizadores, metales preciosos y servicios de especialidades de zinc.
Boliden www.boliden.se	Suecia	Boliden es una de las principales empresas europeas de metales. Los principales metales son el zinc y el cobre. Las operaciones se llevan a cabo en tres áreas de negocio: mercadeo, fundiciones y minas.
Norddeutsche Affinerie AG www.na-ag.com	Alemania	El Grupo de NA es el mayor productor de cobre en Europa y es el líder mundial en el reciclaje de cobre. Producen alrededor de 1 millón de toneladas de cátodos de cobre y más de 1,2 millones de toneladas de productos de cobre cada año.
Noranda – Xstrata www.xstrata.com	Canadá	Xstrata es un grupo minero diversificado, cuyas empresas mantienen una significativa posición en siete importantes mercados internacionales de productos básicos: cobre, carbón de coque, carbón térmico, ferrocromo, níquel, vanadio y zinc, con un creciente grupo de platino, exposiciones adicionales de oro, cobalto, plomo y plata, e instalaciones de reciclaje.
SIPI Metals Corp. www.sipimetals.com	EEUU	SIPI Metales Corp. es un refinador de metales preciosos y fabricante de aleaciones de cobre. Su interés está en el refinado de metales preciosos de desechos generados en la electrónica, química, fotografía, y las industrias aeroespaciales.
Colt Refining Inc. www.coltrefining.com	EEUU	Colt Refining es una empresa que ofrece los servicios de refinería química y recuperación de metales preciosos.
WC Heraeus GMBH www.heraeus.com	Alemania	La actividad principal de WC Heraeus GMBH es la recuperación de metales preciosos como oro, plata, metales del grupo platino, paladio, iridio, osmio, rodio, rutenio y de metales especiales (tales como tántalo y berilio).

Fuente: Autores.

B.4.7 Incineración



Ilustración 45: Planta de incineración.
Foto: Pacific Consultants & Engineers.

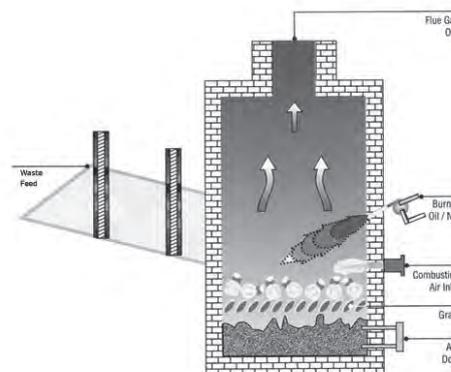


Ilustración 46: Proceso de incineración.
Fuente: Pacific Consultants & Engineers.

La incineración tiene como objetivo principal asegurar la disposición o la transformación segura del material en una forma inerte; sin embargo, también se dirige a utilizar el poder calorífico contenido en los materiales para recuperar energía, lo cual constituye un nivel más alto en la jerarquía de la gestión de desechos y establece una mejor opción ante la quema sin la recuperación de energía o su disposición, ya que proporciona oportunidades para el suministro de energía no fósil.

Este proceso tiene el problema de generar peligros para el medio ambiente cuando se carece de medidas de control adecuadas. Los ejemplos mas conocidos son las emisiones de mercurio, dioxinas y furanos; estas últimas se producen cuando los plásticos que contienen bromo o compuestos clorados (conocidos como retardantes de llama) son calentados y quemados durante el proceso de reciclaje.

Teniendo en cuenta lo anterior, el incinerador u otra unidad de combustión (con o sin la recuperación de energía) debe contar con los controles adecuados y estar equipados con sistemas avanzados para el tratamiento y limpieza posterior de las emisiones atmosféricas, cumpliendo con la normatividad ambiental vigente en la materia.

Así mismo, cuando los RAEE se incineran, la mayor parte del plomo que contienen se transfiere a la fracción de la escoria (ceniza inferior). Por esta razón, dichas escorias deben ser manejadas de manera ambientalmente adecuada.

B.5 Disposición final

B.5.1 Lineamientos generales

Por lo general siempre queda una fracción no aprovechable que resulta de las anteriores etapas de manejo de los RAEE. Las cantidades a disponer dependen del sistema de gestión y los estándares técnicos de los diferentes procesos. Para la disposición final de los materiales no aprovechables de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos existen las siguientes opciones, presentadas en la Ilustración 47:

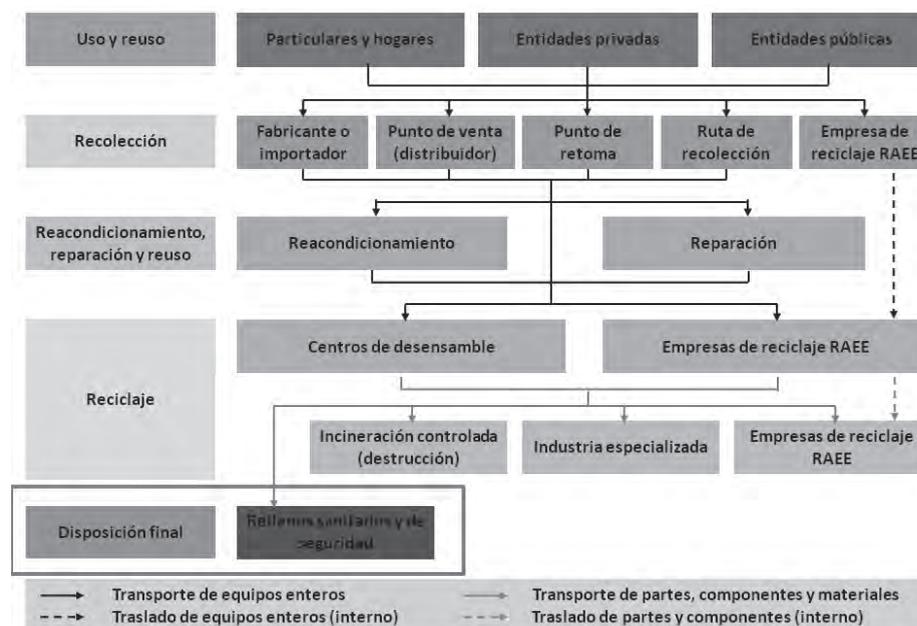


Ilustración 47: Disposición final de los materiales no aprovechables. Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

B.5.2 Relleno sanitario

Los RAEE en general contribuyen a la aparición de efectos negativos ambientales en los rellenos sanitarios comunes dada la presencia de metales pesados y sustancias halogenadas que lixivian y evaporan. Adicionalmente la variedad de sustancias contenidas en los RAEE obrará recíprocamente para ejercer efectos sinérgicos, aumentando potencialmente y magnificando sus efectos negativos. Por lo tanto, no se debe realizar la disposición final de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en rellenos sanitarios, no solamente por los efectos negativos causados sino también por la pérdida de recursos secundarios valiosos.

Los materiales no aprovechables identificados durante las etapas anteriores de manejo de los RAEE tales como polvo acumulado en los equipos, calcomanías y papel adherido a éstos, material de empaque, gomas y caucho, pueden ser entregados a la empresa de aseo de la zona para su disposición final en relleno sanitario común.



Ilustración 48: Relleno sanitario.
Fuente: www.landofgraciousliving.com



Ilustración 49: Disposición inadecuada de RAEE. Foto: MAVDT

B.5.3 Relleno de seguridad

Si se requiere la disposición de las fracciones sobrantes en los procesos de reciclaje e incineración, ésta debe realizarse en rellenos de seguridad, al igual que los componentes con contenido de sustancias peligrosas que no cuenten con procesos de aprovechamiento adecuados, siempre y cuando cumplan con los requerimientos técnicos que exige un relleno de seguridad.

Los termoplásticos molidos o granulados también pueden ser depositados en rellenos de seguridad, al no ser incinerados o reciclados.

Si se cuenta con la incineración de algunas fracciones habrá que incluir la disposición final de las cenizas.

PARTE C – Fichas técnicas

C.1 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos



Computadores

Información general

El uso de computadores hoy en día se ha vuelto algo muy común, tanto en entidades privadas como entidades públicas y hogares. El rápido cambio tecnológico y las crecientes cifras de venta a nivel mundial y en particular en los países en vía de desarrollo se reflejan en vidas útiles cada vez más cortas y en un fuerte aumento de los aparatos que quedan en desuso.

Gama de aparatos

Esta ficha técnica comprende los siguientes equipos de cómputo:

- Computadores personales de escritorio (CPU sin periféricos)
- Computadores personales portátiles
- Servidores

Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

- **Condensadores grandes.** En computadores más antiguos puede haber condensadores grandes (diámetro o largo $> 25\text{mm}$) cerca de la fuente de poder o en las tarjetas de circuito impreso (sobre todo en la TCI de la fuente de poder). En equipos modernos los condensadores grandes son muy escasos.
- **Componentes con mercurio.** Los componentes con mercurio (switches) se utilizaron sobre todo en aparatos de procesamiento electrónico de datos de alta calidad y servían como elemento de contacto y como interruptores para la técnica relé. Se pueden encontrar por lo general en las TCI (ver Ilustración 79 y 80).
- **Pequeñas pantallas de LCD.** Las pequeñas pantallas de LCD sirven como elementos de visualización o para controlar el funcionamiento. Se ubican normalmente en la parte delantera del equipo (en la capa de plástico); sin embargo, a veces también se encuentran en las TCI.
- **Tarjetas de circuito impreso (TCI).** Las tarjetas de circuito impreso (TCI) representan la verdadera parte electrónica de un equipo y son un compuesto de diferentes sustancias y elementos (véase Tarjetas de circuito impreso, página 63).
- **Baterías de respaldo.** Las baterías de respaldo se encuentran por lo general en equipos nuevos en la tarjeta de circuito impreso (véase Tarjetas de circuito impreso, página 63).



Comentarios generales

En particular computadores muy antiguos pueden contener baterías grandes en la parte posterior del equipo. En general se trata de baterías de ácido-plomo o baterías de gel-plomo.

Los computadores portátiles se incluyen dentro de esta categoría, sin embargo, son un caso especial puesto que tienen adjunta la pantalla LCD; para el desensamble de la pantalla ver página 54 y siguientes.

Desensamble adecuado

Nota: Para equipos portátiles, cuya pantalla se encuentra integrada, primero se debe separar la pantalla de manera cuidadosa para evitar que se rompan los tubos fluorescentes delgados y delicados que por lo general se encuentran en el borde superior e inferior de la pantalla.

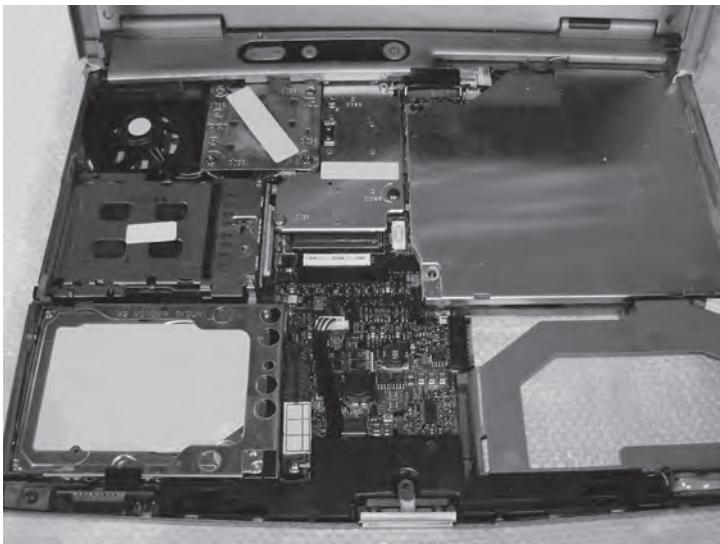


Ilustración 50: El interior de un portátil. Foto: MAVDT

- Remoción de la carcasa
- Remoción de la fuente de poder
- Remoción de los dispositivos como disco duro, A-drive y CD-drive
- Remoción de las TCI
- Identificación y remoción de condensadores grandes (mayor al tamaño de un pulgar)
- Identificación y remoción de componentes con mercurio (switches)
- Identificación y remoción de pilas y baterías (en las TCI y la parte trasera del equipo)
- Identificación y remoción de pequeñas pantallas LCD y LED

Para el desensamble de las TCI véase página 63 y siguientes.

Materiales valiosos

Los materiales valiosos más obvios dentro de un computador son el hierro/acero de las carcasas de metal y de partes del marco, el aluminio de los disipadores de calor, el cobre que se encuentra en las TCI y sus componentes (por ejemplo en transformadores y bobinas).

Las TCI por su lado, contienen una serie de metales preciosos como oro, plata, platino y paladio dentro de los contactos y los materiales conductores.

También los componentes y piezas de un computador que sirven para el reuso son materiales valiosos que por lo general pueden ser separados fácilmente del resto de componentes.

Otros residuos

En los computadores, los plásticos se utilizan por lo general solamente como tapas frontales, en la parte delantera del equipo. Las piezas de plástico pueden ser recuperadas enteras a partir del desensamble manual del equipo o en forma granulada después del desensamble mecánico.

Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).



Periféricos de las TIC

Información general

Los aparatos periféricos de las TIC se utilizan sobre todo en los ambientes de oficina y de los hogares privados. El acelerado cambio tecnológico (por ejemplo equipos más rápidos o más eficientes) resulta en una vida útil relativamente corta de este tipo de equipos electrónicos.

Gama de aparatos

- Quemador de CD
- Unidad de CD
- Unidad de DVD
- Mouse
- Módem
- Fuente de poder
- Plóter
- Escáner
- Teclados

Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

- Pantallas LCD. En particular los equipos periféricos de las TIC más nuevos pueden contener pantallas LCD para el control de funcionamiento.
- Tarjetas de circuito impreso.
- Condensadores electrolíticos grandes. Por lo general, en equipos antiguos y grandes, las tarjetas de circuito impreso pueden contener condensadores electrolíticos grandes, mientras que en las tarjetas de equipos nuevos se encuentran pilas de respaldo – véase también Tarjetas de circuito impreso, página 63. En escáneres y plóteres antiguos y grandes los condensadores se ubican por lo general cerca de la fuente de poder.
- Tubos fluorescentes. Los escáneres contienen tubos fluorescentes. Estos se ubican debajo del vidrio de escaneo.

Casos especiales

Aparatos nuevos como ratones o teclados inalámbricos contienen pilas o baterías. Estos dispositivos no tienen cable de conexión. Las pilas se encuentran normalmente en un compartimento de pilas en la parte inferior del equipo.

Especialmente los módems grandes procedentes de empresas cuyo negocio central es la transferencia de datos, pueden contener relés con mercurio, grandes condensadores electrolíticos, pilas y baterías de respaldo.

Desensamble adecuado

- Controlar si el periférico es inalámbrico
- Sacar pilas y baterías
- Abrir el equipo, identificar y extraer condensadores grandes y pilas de respaldo
- Sacar los tubos fluorescentes de los escáneres
- Identificar y extraer pantallas LCD y LED (si se encuentran)

El desensamble puede ser manual o mecánico, parcial o completo. La prioridad está en la separación y recuperación de los materiales aprovechables.

Materiales valiosos

- Periféricos más complejos como unidades de CD, unidades de DVD, módem, etc. son conjuntos compactos de metales ferrosos y no ferrosos, plásticos, tarjetas y otros componentes y materiales.
- Escáneres y plóteres contienen metales en las carcasas y en los elementos de tracción.
- Los ratones y teclados están principalmente compuestos de una carcasa de plástico y de una TCI con cobre como material de conducción eléctrica.

Otros residuos

En los periféricos de las TIC se encuentra todo tipo de plásticos de diferentes características y calidades.

Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).

También se pueden encontrar mezclas metal-plásticas que no se pueden separar fácilmente. Para estos materiales se recomienda la trituración mecánica con separación posterior.



Equipos con tubos de imagen

Información general

Los monitores de este tipo ya no se ven casi en los mercados de equipos nuevos. Sobre todo se pueden encontrar en los mercados de segunda.

Sin embargo, estos monitores seguirán apareciendo como monitores en desuso por muchos años más (en ciertos países se estima que hasta 20 años más).

Gama de aparatos

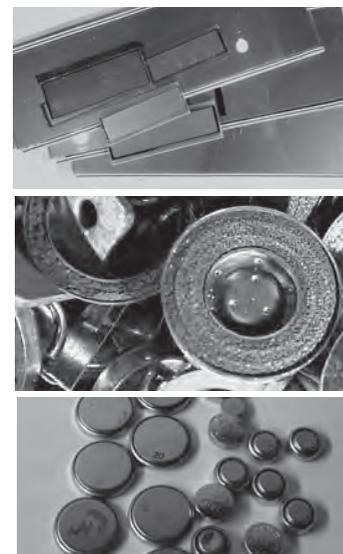
- Televisores (TRC)
- Monitores de computador (TRC)
- Otros monitores (TRC)

Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

- **Tubos de rayos catódicos TRC.** Véase Tubos de imagen, página 66.
- **Tarjetas de circuito impreso TCI.** En los monitores, normalmente varias TCI conjuntas están instaladas en el "chasis de TCI", que es un bastidor de metal.
- **Condensadores grandes.** Los condensadores grandes por lo general se ubican cerca de la fuente de poder o en el "chasis de TCI".



- **Pantallas LED o LCD.** En la parte delantera del aparato en ciertos casos se pueden encontrar pequeñas pantallas de LED o LCD.
- **Getterpills.** Los “getterpills” se encuentran normalmente detrás del cañón de electrones o en el cono.
- **Baterías de respaldo.** Las baterías de respaldo se encuentran cerca del receptor (en caso de aparatos con control remoto) o en la TCI (por ejemplo aparatos con función “modo en espera”).



Casos especiales

Algunos televisores muy antiguos pueden contener condensadores con PCBs y válvulas termoiónicas.

Desensamble adecuado

- Destornillar la parte trasera de la carcasa.
- Abrir el “chasis de TCI” (varias TCI montadas en uno o varios bastidores de metal). Ver ejemplo en la Ilustración 51.
- Airear el tubo. Para este paso existen las siguientes dos posibilidades:
 - (1) Primero se desmantela el contacto de alto voltaje de la parte superior del cono. Entonces, el tubo puede ser aireado con una herramienta aguda (por ejemplo una lezna) golpeándola suavemente con un martillo contra el área donde se ubicaba el contacto de alto voltaje (por ahí el vidrio es más frágil).
 - (2) La alternativa que se considera más segura es desmantelar las TCI de la unidad de desviación y desmantelar la unidad de desviación misma, entonces se rompe el zócalo de evacuación en el cuello del tubo con golpes prudentes de martillo.

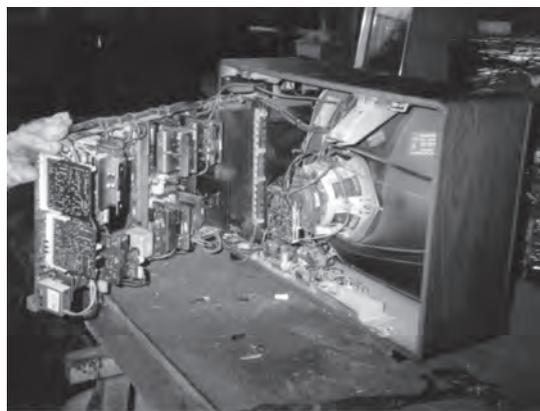


Ilustración 51: “Chasis de TCI”.
Foto: eag-leitfaden.

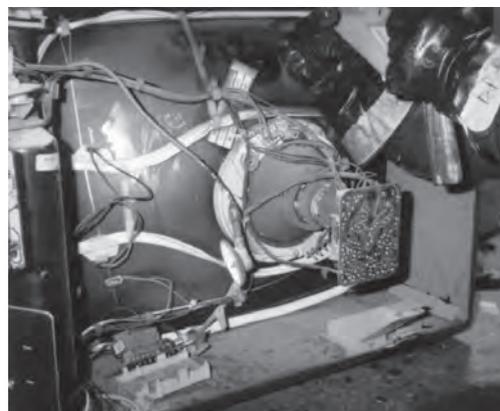


Ilustración 52: Airear el tubo de imagen.
Foto: eag-leitfaden.

- Sacar el cañón de electrones del cuello del tubo. El cañón de electrones se puede observar en la Ilustración 53.
- Separar los "getterpills" del cañón de electrones y guardarlos por separado (ver ejemplo en la Ilustración 54).

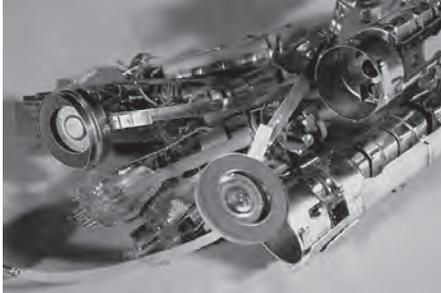


Ilustración 53: Cañón de electrones con "getterpills".
Foto: eag-leitfaden.



Ilustración 54: Separar los "getterpills".
Foto: MAVDT

- Desmantelar el cable envolviendo el tubo de rayo catódico y guardarlo por separado.
- Desmontar las TCI y retirar componentes como condensadores grandes y pantallas LCD. Véase también TCI, página 63.
- Destornillar y sacar el tubo de rayo catódico. Los tubos deben ser guardados en una caja hasta que siga el tratamiento adecuado (ver ejemplo en la Ilustración 55). Véase también tubos de imagen, página 54.



Ilustración 55: Jaula para los tubos de imagen. Foto: MAVDT

- Quitar otras unidades como parlantes, componentes de control, etc.
- Separar las diferentes partes de la carcasa.
- Las válvulas termoiónicas en televisores viejos deben ser desmontadas. Metales de calidad superior pueden ser recuperados de estos tubos.



Ilustración 56. Tubos de vacío o amplificadores. Foto: eag-leitfaden.

Materiales valiosos

- Yugo de deflexión: éste contiene alto porcentaje de cobre de calidad superior. La unidad de desviación se encuentra detrás del tubo de imagen (Ilustración 57).

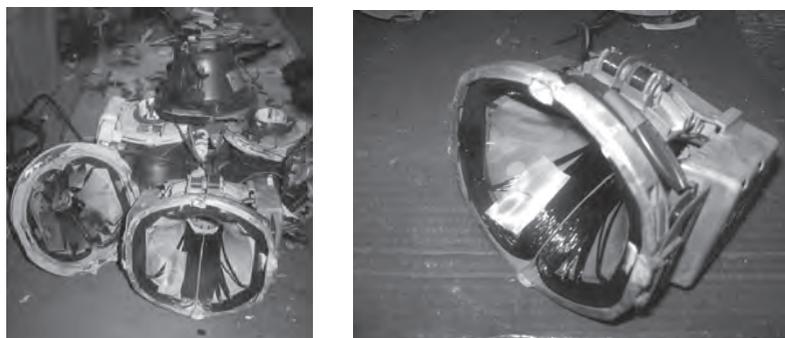


Ilustración 57: Yugo de deflexión. Foto: MAVDT.

- TCI: posee un alto contenido de cobre como conductor eléctrico. Las TCI descontaminadas inclusive los bastidores (chasis) pueden ser suministrados al tratamiento ulterior con los demás metales.
 - Cañón de electrones: consiste en acero aleado con níquel de calidad superior.
 - Vidrio del tubo de rayo catódico: el vidrio del tubo de rayo catódico que fue obtenido por separado y liberado de la capa fluorescente puede ser suministrado a un tratamiento posterior. Véase tubos de imagen, página 54.
- Además, se encuentran metales ferrosos y no ferrosos de bastidores, y elementos como transformadores, componentes de control, aluminio de elementos del bastidor y de refrigeración y cables de cobre y aluminio.

Otros residuos

En los monitores y televisores se encuentran partes de plástico y de madera.

Frecuentemente, los plásticos son tratados con retardantes de llama bromados y por lo tanto necesitan un manejo posterior adecuado.

Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).

También se pueden encontrar mezclas metal-plásticas que no se pueden separar fácilmente. Para estos materiales se recomienda la trituración mecánica con separación posterior.

Equipos con pantallas planas



Información general

En los últimos años, las pantallas planas se pueden encontrar en una gama creciente de aplicaciones y dispositivos. La reducción del tamaño es una ventaja clave en la aplicación de las pantallas planas como pantallas de computador o celular.

También en el sector de la televisión son cada vez más los aparatos de pantallas planas puestos en el mercado.

Gama de aparatos

- Pantallas de computador portátil
- Pantallas de computadores fijos

- Pantallas de televisores
- Pequeños computadores didácticos
- Pequeños computadores de videojuegos

Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

- Pantallas LCD de todos tamaños. La parte principal de los monitores y televisores de pantallas planas es la pantalla LCD como tal. En computadores didácticos y portátiles la pantalla LCD también representa una alta proporción del dispositivo.
- Tarjetas de circuito impreso. Los portátiles contienen tarjetas de circuito impreso. Dado el tamaño pequeño de los dispositivos, estos suelen ser muy difíciles de desensamblar, sin embargo es necesario realizar este proceso.
- Baterías. Los dispositivos portátiles cuentan con baterías. Dependiendo de la edad de los equipos, estos pueden ser de níquel-hidruro metálico, de iones de litio, o baterías de otro tipo. En computadores didácticos y de entretenimiento se encuentran más bien pilas o baterías recargables que se ubican en los respectivos compartimentos.

Desensamble adecuado

- Examinar las TCI y extraer posibles contenidos de componentes peligrosos.
- Extraer las pilas, baterías de los compartimentos correspondientes.
- Desensamblar el resto del equipo, teniendo en cuenta que debido al tamaño pequeño de los aparatos esto muchas veces resulta difícil y lleva mucho tiempo.

Para el desensamble adecuado de las pantallas LCD, consultar el capítulo Pantallas de cristal líquido LCD (página 58).



Ilustración 58: Acumulador de un portátil (Foto: eag-leitfaden).

Materiales valiosos

Los principales materiales valiosos de este tipo de aparatos son los metales preciosos contenidos en las diferentes tarjetas de circuito impreso.

Algunas veces también se pueden encontrar componentes con alto contenido de cobre, partes de aluminio y de metales ferrosos.

Otros residuos

Los monitores y computadores de pantalla plana por lo general contienen un alto porcentaje de plásticos. En su mayoría, estos plásticos son tratados con retardantes de llama bromados y por lo tanto necesitan un manejo posterior adecuado.

Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).



Impresoras

Información general

Las impresoras son clasificadas por los métodos de impresión subyacentes que emplean; numerosas tecnologías han sido desarrolladas estos años.

Una impresora monocromática sólo puede producir imágenes de un color, usualmente el negro, o graduaciones de tonos de este color, tal como una escala de grises.

Una impresora a color produce imágenes de múltiples colores, a partir de la combinación simultánea de al menos tres de los siguientes colores fundamentales: el magenta, el cian y el amarillo. El color negro acompaña y mejora la impresión de diversas tonalidades. Este sistema se conoce con el nombre de Sistema CMYK.

Existen dispositivos profesionales y semiprofesionales, que se utilizan en laboratorios de revelado fotográfico o en el hogar. Estos dispositivos suelen ser conocidos como impresora fotográfica, impresora con calidad fotográfica o bases de impresión fotográfica.

Gama de aparatos

- **Impresora láser:** Es un tipo de impresora que permite imprimir texto o gráficos, tanto en negro como en color, con gran calidad. El dispositivo de impresión consta de un tambor fotoconductor unido a un depósito de tóner y un haz láser. Para la impresión láser monocromo se hace uso de un único tóner. Si la impresión es en color es necesario contar con cuatro (uno por cada color base).
- **Impresora de matriz de punto:** Es un tipo de impresora con una cabeza de impresión que se desplaza de izquierda a derecha sobre la página, imprimiendo por impacto, oprimiendo una cinta de tinta contra el papel, de forma similar al funcionamiento de una máquina de escribir. Aunque estas máquinas son muy duraderas, con el tiempo pierden eficacia.
- **Impresora térmica:** Obtiene la imagen mediante el calentamiento de papel sensible al calor. Éste es un sistema muy empleado en terminales de venta, cajeros automáticos, para imprimir tiquetes o recibos, o para crear etiquetas. Tienen la ventaja de no requerir más mantenimiento que la sustitución del rollo de papel.
- **Impresora de inyección de tinta:** Este tipo de impresoras son hoy en día las más populares por lo que se han convertido en serias competidoras de la impresora láser, además de su impresión de calidad a bajo costo. La tinta se obtiene de unos cartuchos reemplazables. Algunas impresoras utilizan dos cartuchos, uno para la tinta negra y otro para la de color, en donde suelen estar los tres colores básicos.



Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

- Tarjetas de circuito impreso. Se encuentran, dependiendo del modelo de la impresora, en diferentes posiciones como por ejemplo en las partes laterales o detrás de los elementos de mando.
- Condensadores electrolíticos grandes. En particular en equipos antiguos y grandes, las tarjetas de circuito impreso pueden tener condensadores electrolíticos grandes, mientras que en las tarjetas de equipos nuevos se encuentran pilas de respaldo – véase también Tarjetas de circuito impreso, página 63. Los condensadores normalmente se ubican, como en todos los equipos de voltaje bajo, cerca de la fuente de poder o en la tarjeta de circuito. En equipos más recientes estos condensadores normalmente son menores a 25mm de diámetro o largo.
- Tubos fluorescentes y pantallas LCD. Las impresoras láser contienen tubos fluorescentes y pantallas LCD para el menú de control. También contienen pilas de respaldo en caso de fallo de corriente.

Casos especiales

En impresoras muy antiguas se pueden encontrar condensadores con PCBs.

Desensamble adecuado

- Abrir el equipo y desensamblarlo hasta encontrar la tarjeta de circuito impreso
- Identificar y extraer los condensadores grandes (fuente de poder/tarjeta)
- Sacar las pilas de respaldo y las baterías
- Sacar los tubos fluorescentes
- Sacar tóner y cartuchos sobre todo cuando la impresora es a color. También se recomienda sacar los tóner y cartuchos que solamente contienen tinta negra.
- Sacar posibles pantallas LCD

Materiales valiosos

Las impresoras en general contienen metales ferrosos y no ferrosos en las carcasas (sobre todo los equipos antiguos y grandes) y en los componentes. Muchas veces estos metales se emplean junto a fracciones de plástico. La separación de los metales y los plásticos se realiza a través de un procesamiento mecánico.

Otros residuos

Las impresoras por lo general tienen carcasas, coberturas y tapas de plástico. Impresoras pequeñas pueden ser enteramente de plástico, sin contener elementos estructurales de metal.

Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).

También se pueden encontrar mezclas metal-plásticas que no se pueden separar fácilmente. Para estos materiales se recomienda la trituración mecánica con separación posterior.

En impresoras láser, los cartuchos de tóner y tinta se ubican normalmente debajo de la cubierta superior. Estos muchas veces contienen tambores fotoconductores (ver Ilustración 59). Sin embargo, estos tambores en general son tambores OPC (organic photo conductor) que no son problemáticos por su contenido. Para las impresoras de inyección se utilizan cartuchos compactos para la tinta negra o de colores. Estos componentes normalmente son fáciles de desmontar por lo que el cambio usualmente se realiza por el usuario.



Ilustración 59: Cartucho de tóner con tambor fotoconductor.

Foto: MAVDT



Ilustración 60: Impresora láser con cartucho de tóner.

Foto: MAVDT



Fotocopiadoras

Información general

El número de estos aparatos que quedan obsoletos todavía no es muy grande dado que los usuarios hasta hace poco raramente eran hogares, principalmente eran empresas y universidades. Ahora esto está cambiando debido a los avances tecnológicos y la venta de aparatos compactos y multifuncionales que a la vez son impresoras y fotocopiadoras.

Gama de aparatos

Esta ficha técnica se refiere a los siguientes aparatos:

- Fotocopiadoras grandes
- Fotocopiadoras pequeñas
- Aparatos de oficina multifuncionales (fotocopiadora, impresora y escáner en uno)

Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

- **Condensadores.** Los condensadores normalmente están ubicados cerca de la fuente de poder.
- **Pantallas LCD.** Las pantallas de LCD sirven como pantalla táctil y se ubican en la parte delantera del equipo.
- **Tambores fotoconductores.** Se encuentran en la parte superior del equipo o integrados al cartucho de tóner. En el primer caso se utilizaban, sobre todo en aparatos viejos y de alto rendimiento, tambores fotoconductores con selenio y cadmio. En el segundo caso se trata de tambores fotoconductores tipo OPC (organic photo conductor) que no contienen componentes peligrosos. Ver ficha técnica de los tambores fotoconductores, página C-72.
- **Tubos fluorescentes.** Están ubicados debajo del vidrio de escaneo. Antes de sacarlos es necesario dismantelar este vidrio.
- **Baterías de respaldo.** A veces se encuentran como componentes pequeños encima de las tarjetas de circuito impreso.

Casos especiales

Las fotocopiadoras pequeñas pueden contener condensadores con bifenilos policlorados (PCB), baterías, tubos fluorescentes y tambores fotoconductores.

Adicionalmente, en fotocopiadoras grandes muy probablemente se pueden encontrar pilas de respaldo, tarjetas de circuito impreso y pantallas LCD.

Materiales valiosos

Diferentes metales como cobre, latón, aluminio (por ejemplo en bastidores, elementos de refrigeración, cables, etc.) o hierro/acero (por ejemplo piezas de carcasas o elementos de accionamiento) pueden ser valiosos y deben ser recuperados.

Las TCI posiblemente contienen metales preciosos, por lo cual se deben separar y someter a un tratamiento especial.

Véase también las descripciones detalladas de los componentes mencionados, páginas 63 y siguientes.

Otros residuos

Las fotocopiadoras por lo general tienen carcasas, coberturas y tapas de plástico. Fotocopiadoras pequeñas pueden ser enteramente de plástico, sin contener elementos estructurales de metal como en el caso de las fotocopiadoras grandes.



Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).

También se pueden encontrar mezclas metal-plásticas que no se pueden separar fácilmente. Para estos materiales se recomienda la trituración mecánica con separación posterior.

Las fotocopiadoras también tienen cartuchos de tóner, estos se encuentran en la tapa o como elemento de recambio.



Celulares

Información general

El número de celulares obsoletos es alto dado que los niveles de penetración de la telefonía celular se han disparado en los últimos años. Con el avance tecnológico y las exigencias de los consumidores su vida útil se disminuye continuamente, haciendo que los celulares presenten la fracción de los RAEE que más crece.

Últimamente, en el mercado se están comercializando aparatos más complejos y sofisticados que reúnen agendas electrónicas, cámaras fotográficas, geoposicionadores (GPS), reproductores de música y teléfonos celulares en un solo equipo. Debido a este desarrollo, el número de aparatos de buscapersonas y aparatos de radio se está disminuyendo.

Gama de aparatos

- Celulares
- Terminales de mano o portátiles
- PDA
- Buscapersonas, bíper
- Aparatos de radio

Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

- Pantalla LCD o LED. La pantalla LCD o LED está en la parte delantera del celular.
- Baterías. La batería se encuentra en la parte trasera del celular.
- Tarjetas de circuito impreso.

Desensamble adecuado

- Sacar y separar los componentes mencionados (pantalla LCD/LED y TCI).
- Descontaminar la TCI si contiene componentes con sustancias peligrosas.

Materiales valiosos

Los conductores eléctricos de cobre en las TCI descontaminadas.

Otros residuos

Las carcasas de los celulares y aparatos de radio por lo general son de plástico. Estos plásticos muchas veces contienen retardantes de llama.

Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).



Juegos eléctricos y electrónicos

Información general

Los juegos y juguetes eléctricos y electrónicos hoy en día se pueden encontrar en cualquier casa. Incluso los niños pequeños ya juegan con muñecas que hablan y con animales que se mueven. Autos y barcos a control remoto, game-boys y juegos electrónicos, entre otros, confirman esta tendencia.

Gama de aparatos

- Juguetes electrónicos
- Juguetes de control remoto
- Juguetes (de pilas y baterías)
- Videojuegos

Componentes que pueden tener sustancias peligrosas

Los principales componentes de los juegos eléctricos y electrónicos que pueden tener sustancias peligrosas son:

- Pilas y baterías. Por lo general se encuentran en un compartimento de pilas. Dependiendo del tipo, este compartimento puede ser ubicado en diferentes lugares del equipo.
- Pequeñas pantallas LCD (eventualmente). En los videojuegos se encuentran también pantallas LCD de diferentes tamaños.
- Pequeñas tarjetas de circuito impreso (eventualmente).

Materiales valiosos

Los materiales de valor contenidos en los juegos eléctricos y electrónicos son los elementos grandes de tracción, transformadores pequeños y las tarjetas de circuito impreso, que contienen compuestos de metales ferrosos y no ferrosos.

Otros residuos

La mayoría de las carcasas y coberturas de los juguetes eléctricos y electrónicos son de plástico. En los aparatos más modernos y sofisticados, estos plásticos pueden contener retardantes de llama.

Para más información sobre los plásticos que se encuentran en los RAEE consultar la ficha técnica de los plásticos (página 66).

C.2 Componentes que pueden contener sustancias peligrosas



Tubos de imagen

Información general

Debido a la presencia de diferentes materiales en el tubo de imagen es necesario realizar un procesamiento posterior. El objetivo principal es la remoción del recubrimiento. Adicionalmente, si el vidrio se recicla, hay que separar las partes del vidrio con plomo de las partes sin plomo.

¿En cuáles aparatos se encuentran?

- Monitores de computador
- Televisores
- Equipos de vigilancia y control
- Otros monitores

Desensamble adecuado

En la Tabla 5 se presenta el porcentaje por peso de cada uno de los componentes de un monitor de tubos de rayos catódicos.

Tabla 5: Porcentaje por peso de los componentes de TRC.

Componente	Peso (%)
Vidrio de pantalla	54,05
Vidrio de cono y cuello	29,73
Hierro (máscara de sombra)	9,19
Cobre (cañón de electrones)	5,41
Polvo de vidrio (producto de cortar el vidrio)	1,41
Película fosforescente	0,16

Fuente: Adaptación de los autores.

El nivel de desensamble de los TRC depende de los requerimientos del uso final (véase Tabla 12). Por ejemplo, para poder suministrar los vidrios a un gestor de vidrio es necesario que los vidrios con contenido contaminantes sean separados de los vidrios sin contaminantes y que los vidrios no sean contaminadas por otras sustancias. Pero para suministrar los vidrios a una planta de fundición esta separación no es necesaria. A continuación se describe el procedimiento para realizar el desensamble de los TRC, para lo cual inicialmente se presenta en la Ilustración 61 cada uno de los componentes de un monitor.

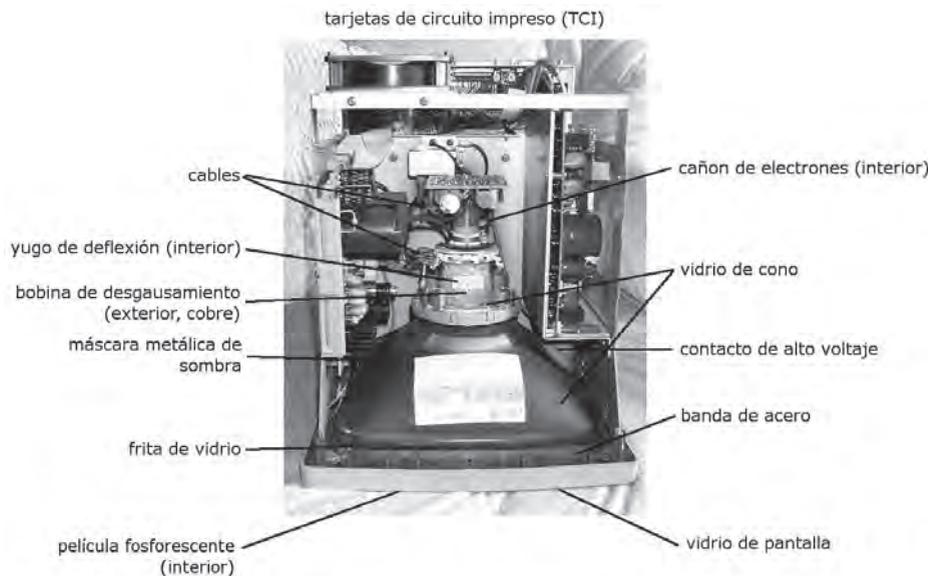


Ilustración 61: Componentes de un monitor. Foto: www.vintagemacworld.com

Etiquetas y remanentes de adhesivos de silicona se deben sacar del tubo de imagen con una espátula u otra herramienta. Con una sierra se quita la banda de acero. Además la unidad de desviación es retirada de la parte trasera del tubo de imagen.

Para separar los vidrios hay que considerar la composición diferente de los vidrios procedentes de pantallas a blanco y negro, y pantallas a color. Mientras en pantallas a blanco y negro todas las partes del vidrio contienen plomo, en pantallas a color sólo el vidrio de cono contiene plomo (véase la composición en la Tabla 20 en el Anexo). Es decir que el vidrio de pantalla en pantallas a color por lo general no contiene plomo (o en algunos casos en muy bajas concentraciones). El vidrio de cono y el vidrio de pantalla se separan mediante un alambre caliente u otra herramienta adecuada. Se debe tener en cuenta que las dos partes de vidrio están unidas por una frita de vidrio de óxido de plomo/borato que contiene más que 80% de plomo. Esta es recolectada con los otros vidrios con plomo y no debe ser mezclada con los vidrios sin plomo.

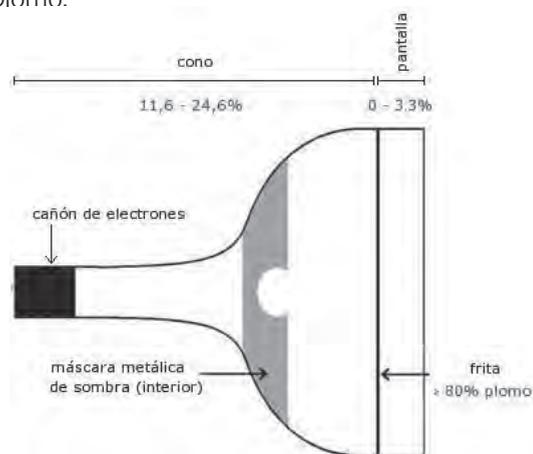


Ilustración 62: Contenido de plomo en los vidrios del TRC. Fuente: MacGibbon, 2006; modificado.

Después de haber sacado la máscara de sombra y el cañón de electrones se realiza la aspiración del recubrimiento que se ubica al interior del vidrio de pantalla (ver ejemplo en la Ilustración 65). El recubrimiento interior del vidrio se introduce en un envase separado como se observa en la Ilustración 66. Éste también puede ser separado del vidrio por lavado u otros procedimientos.

Se debe evitar que se generen emisiones de polvo del vidrio de plomo o del recubrimiento de la pantalla.

Al final se debe quitar la capa anti-brillo que está al exterior del vidrio de pantalla y – dependiendo de los requerimientos del uso posterior – el vidrio puede ser recolectado entero o triturado.



Ilustración 63: Separar el tubo de imagen.
Foto: MAVDT.



Ilustración 64: Careta metálica de sombra.
Foto: MAVDT.



Ilustración 65: Aspiración del recubrimiento.
Foto: MAVDT



Ilustración 66: Recolección del recubrimiento en envase con cobertura. Foto: MAVDT

Si el cañón de electrones todavía está en el tubo de imagen, hay que sacarlo del cuello del tubo. Posiblemente los "getterpills" están fijados al cañón de electrones. De no ser así, están fijados al cuello del tubo (Ilustración 68). Es importante que los "getterpills" se separen y almacenen por aparte antes de un tratamiento mecánico del cañón de electrones.

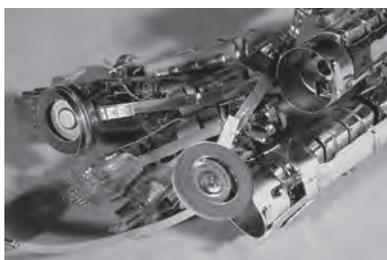


Ilustración 67: Cañón de electrones.
Foto: eag-leitfaden.



Ilustración 68: "Getterpill" en el cono.
Foto: MAVDT



Ilustración 69: "Getterpills".
Foto: eag-leitfaden.

Composición del vidrio y presencia de algunas sustancias peligrosas

La composición química del vidrio de la pantalla y del vidrio del cono se distingue por los diferentes requerimientos técnicos. El vidrio del cono contiene óxido de plomo con el fin de absorber la radiación de alta energía, que es generada dentro del cono. En el vidrio de la pantalla, el óxido de plomo se reemplaza por óxido de bario y óxido de estroncio ya que el vidrio con óxido de plomo cambiaría de color.

El contenido de plomo del vidrio del cono es relativamente alto. El porcentaje de plomo varía entre 13% y 23% (en promedio de 15%) dependiendo del ángulo de apertura y la receta de vidrio del productor. El vidrio de pantalla contiene aproximadamente 13% de bario y no contiene plomo (Tabla 20 en el Anexo).

En el vidrio del tubo de imagen el plomo está integrado en la matriz de vidrio y no representa un peligro inmediato. Al moler o triturar el vidrio en granulados finos, el plomo puede ser liberado y dispersado durante un procesamiento posterior (por ejemplo fundición de plomo o de cobre), es por eso que estos procedimientos deben realizarse dando cumplimiento a los estándares ambientales.

Durante la producción de los tubos de imagen de color, el recubrimiento de la pantalla se aplica en tres componentes individuales. Para los colores rojo, verde y azul se utiliza sulfuro de zinc, sulfuro de cadmio y compuestos de itrio y de europio. En los tubos de imagen blanco-negro se registra una gran parte de sulfuro de cadmio. El recubrimiento

de la pantalla es aplicado en capas muy finas, por tubo de imagen se estima un peso aproximado de 5 – 7g lo que corresponde aproximadamente a 200 – 300 ppm.

Los “getterpills” contienen bario y sus compuestos.

Materiales valiosos

El vidrio de los tubos de imagen puede ser reutilizado en la producción de nuevos tubos de imagen. Sin embargo hay dos problemas relacionados con este aprovechamiento. Primero, hoy en día ya no se están casi produciendo monitores con tubos de rayos catódicos. Segundo, no existen producciones de monitores en muchos países, por lo que el vidrio tendría que recorrer grandes distancias.

Otro material interesante es el níquel-acero de alta calidad de las partes metálicas del cañón de electrones. Se recomienda su separación y su tratamiento mecánico.

Recolección adecuada

Tanto el vidrio de la parte frontal (panel) del tubo y el vidrio de la parte posterior (cono) pueden ser almacenados en envases abiertos como contenedores para su transporte hacia los procesos de aprovechamiento y disposición posteriores.

El material del recubrimiento de la pantalla es recogido en envases después de la aspiración y debe ser almacenado, empacado de manera hermética hasta llegar al sitio de aprovechamiento o disposición final.

Los “getterpills” se almacenan aparte. Se debe evitar el contacto con el agua, ya que el bario encerrado reacciona intensamente con agua.

Alternativas de manejo

De ser posible los vidrios de los tubos de imagen deben ser transferidos a los procesos de aprovechamiento de los materiales (por ejemplo recuperación en la producción de tubos de imagen). Además se recomienda la utilización del vidrio de cono (con contenidos de plomo) en el procesamiento de plomo. Si eso no es posible (por ejemplo por falta de la industria correspondiente), el vidrio de cono puede ser usado como creador de escoria para otras tecnologías (por ejemplo en el procesamiento de cobre).

El material separado del recubrimiento de la pantalla puede ser depositado en rellenos de seguridad o ser eliminado térmicamente por incineración de alta temperatura en instalaciones que cuenten con los criterios técnicos y legales establecidos para tal fin.

Las siguientes aplicaciones tienen el potencial de usar cantidades significativas de vidrios de TRC (descripción más detallada en la Tabla 12 en el Anexo):

- Producción de nuevos monitores TRC (vidrio de pantalla y de cono).
- Agente fundente en fundiciones (vidrio de pantalla y de cono y mezclado).
- Producción de vidrio espumoso (vidrio de pantalla).



Pantallas de cristal líquido (LCD)

Información general

Utilizadas desde hace mucho tiempo en calculadoras y relojes digitales, hoy en día las pantallas de cristal líquido (LCD – inglés: liquid crystal display) también han reemplazado en su mayor parte los televisores y monitores de tubo de rayo catódico (TRC) y se utilizan también en portátiles.

En el futuro, dependiendo de la vida útil de los aparatos correspondientes, hay que contar con un número elevado de pantallas de cristal líquido en desuso.

¿En cuáles aparatos se encuentran?

Grandes pantallas de cristal líquido se utilizan en:

- Portátiles
- Pantallas planas de computadores y televisores
- Computadores de videojuegos y didácticos



Ilustración 70: Computador portátil.
Foto: MAVDT



Ilustración 71: Teléfonos celulares.
Foto: MAVDT

Adicionalmente se utilizan pequeñas pantallas de cristal líquido en varios aparatos de electrónica de consumo, en los equipos de procesamiento electrónico de datos, en dispositivos de la ofimática y en las TIC, y en parte en nuevos aparatos de hogar o de la cocina.



Ilustración 72: LCD en un microondas. Foto: MAVDT

Generalmente las pequeñas pantallas de cristal líquido se utilizan en casos en los cuales se necesitan pequeños visualizadores (displays) de baja potencia. Frecuentemente, éstas se encuentran en la parte delantera del aparato.

¿Cómo se reconoce?

Pantallas de cristal líquido representan el visualizador de portátiles y el componente principal de las pantallas planas. En otros RAEE estas son los visualizadores (displays) de fondo gris.

Desensamble adecuado

Las pantallas de cristal líquido deben ser recolectadas y manejadas por separado.

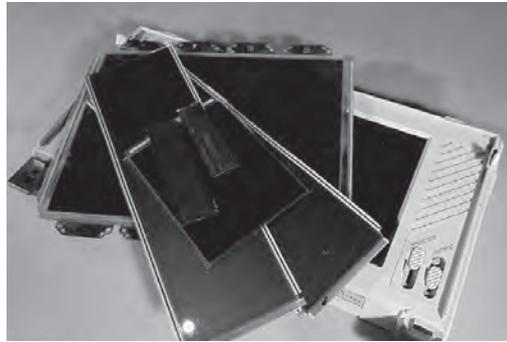


Ilustración 73: LCDs desmontadas. Foto: eag-leitfaden.

El desensamble de pequeñas pantallas de cristal líquido muchas veces representa un problema ya que estas pantallas están pegadas a la carcasa del aparato. Considerando que la capa de cristal líquido es solamente una capa muy fina del visualizador completo, se tiene que el desensamble de pantallas de cristal líquido de altura menor a 20 mm y de largo mayor a 30 mm, representa un gasto de trabajo excesivo y desproporcionado. Por lo anterior, en este documento se define que únicamente pantallas de cristal líquido de tamaño mayor a 20 x 30 mm deben ser desensambladas de los RAEE.

Los pasos principales del desensamble son: desensamblar la pantalla de cristal líquido del marco plástico y posteriormente quitar cuidadosamente los tubos fluorescentes. Estos tubos por lo general son largos, delgados y delicados. Los tubos fluorescentes deben ser manejados según lo indicado en la página 70.

Portátil: Después de haber separado la pantalla de cristal líquido del resto del portátil se tiene que desensamblar el marco plástico de la pantalla de cristal líquido. El desensamble de este marco es más demorado y difícil que el de las pantallas de cristal líquido normales.

Presencia de algunas sustancias peligrosas

En las pantallas de cristal líquido planas está montada una lámpara fluorescente con mercurio para la iluminación del fondo (véase tubos fluorescentes página 70).

Materiales valiosos

Cada pantalla plana de cristal líquido contiene aproximadamente 1g de indio. Este se utiliza entre los dos vidrios envolviendo los cristales líquidos con una capa transparente de óxido de indio y zinc. La producción mundial de indio puro, que es requerido para la fabricación de las LCD, es pequeña y vinculada a la minería de zinc. Probablemente, la demanda por indio superará la producción dentro de pocos años y la recuperación de indio se volverá más y más importante [26].

Recolección adecuada

Las pantallas de cristal líquido deben ser recogidas por separado y almacenadas en contenedores impermeables.

Alternativas de manejo

Para las pantallas LCD se ofrecen las siguientes alternativas de tratamiento:

- Recuperación de mercurio
- Fundición
- Incineración

Para información más detallada consulte la Tabla 13 en el Anexo.

Nota: Existen aproximadamente 20.000 sustancias de cristal líquido. Para las pantallas de cristal líquido ese número

se disminuye a aproximadamente 100 sustancias. Para lograr el más amplio ámbito posible de la temperatura de operación, normalmente se utilizan una mezcla de 8 a 10 sustancias [23].



Condensadores

Información general

Los condensadores son componentes que se encuentran en una gran variedad de dispositivos eléctricos y electrónicos. En la electricidad y la electrónica, un condensador o capacitor es un dispositivo que almacena energía eléctrica y por lo tanto es un componente pasivo.

Se recomienda clasificar y desensamblar todos los condensadores electrolíticos mayores a 25mm de diámetro o largo y aquellos que pueden tener contenidos de bifenilos policlorados (PCB).

Ubicación de los condensadores

Los condensadores se encuentran en los aparatos de casi todas las categorías, desde los electrodomésticos hasta las tecnologías de informática y comunicación. En la Ilustración 74 se muestra la gran variedad de condensadores pequeños utilizados en equipos electrónicos.

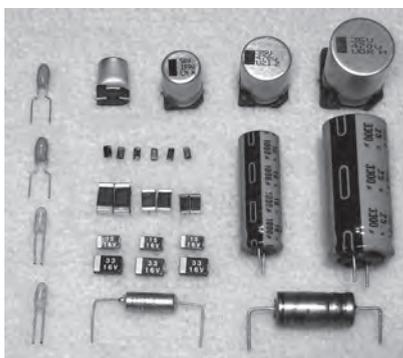


Ilustración 74: Diferentes tipos de condensadores. Foto: Elcap, Jens Both/ Wikipedia.

Composición de los condensadores y presencia de algunas sustancias peligrosas

Los condensadores electrolíticos contienen compuestos inorgánicos, ácidos orgánicos con diversos disolventes y aditivos anti-corrosivos (tales como lactonas y amidas) y por lo tanto sustancias que pueden contaminar el agua.

Los condensadores de papel anteriormente fueron denominados como “condensadores de clophen” porque frecuentemente utilizaban PCB como electrolito. En general, el dieléctrico de condensadores de papel consiste en sulfato de celulosa de papel, entre el cual está situado una lámina de aluminio, y un impregnante. Como impregnantes también se utilizaban ceras con base en naftalinas clorinadas y bifeniles. En comparación con otros líquidos aislantes, los PCB se caracterizan por su alta estabilidad térmica, su alta densidad, su alta viscosidad y su alta temperatura de autoinflamación; por lo tanto fueron utilizados con preferencia.

¿Cómo se reconocen?

Los campos de aplicación para condensadores de papel y por lo tanto para condensadores que posiblemente contienen PCBs, son los siguientes:

- Condensadores de alta potencia para lámparas fluorescentes.
- Condensadores de respaldo para la operación de algunas lámparas fluorescentes antiguas.

- Condensadores para filtrado de señales en dispositivos.
- Condensadores de motores usados como condensadores de aceleración o de operación que se utilizaron en electrodomésticos duraderos como lavadoras o lavaplatos.

La diferenciación según la forma muestra que para condensadores con cerraduras de metal y con cerraduras desparadas de resina plástica, el porcentaje de condensadores con posible contenido de PCB es más alto. Los condensadores con carcasas de plástico no pueden contener PCB.

Una investigación sobre la aplicación de condensadores con PCB según el tipo de aparato demuestra que los condensadores de aparatos como lámparas fluorescentes, secadoras y campanas extractoras de humos representan por lo general un riesgo más alto que los de aparatos como lavadoras y lavaplatos.

Posiblemente se encuentran condensadores con PCB en los siguientes aparatos entre otros:

- Computadores grandes
- Máquinas recreativas
- Fotocopiadoras grandes
- Televisores viejos
- Tubos fluorescentes
- Microondas
- Dispositivos de teléfono
- Impresoras viejas
- Fotocopiadoras pequeñas
- Instrumentos de laboratorio
- Radios
- Instrumentos analíticos

Desensamblado adecuado

Todos los condensadores con PCB y condensadores electrolíticos de diámetro o largo de canto > 25 mm deben ser desmontados. El procedimiento generalmente es el que se describe a continuación:

Destornillar los condensadores del anclaje o del collar de fijación, retirar los condensadores de las TCI y seguidamente quitar o separar los cables del condensador. Las ilustraciones 75 a 78 presentan algunas etapas del proceso general de desensamblado de los condensadores.



Ilustración 75: Sacar los cables del condensador.
Foto: eag-leitfaden.



Ilustración 76: Destornillar de un condensador.
Foto: MAVDT



Ilustración 77: Desmontar un condensador.
Foto: MAVDT



Ilustración 78: Cortar los cables de los condensadores. Foto: eag-leitfaden.

Recolección adecuada

Los condensadores con PCB deben ser recolectados y almacenados en contenedores acidorresistentes (por ejemplo barriles de plástico o de metal acidorresistentes).

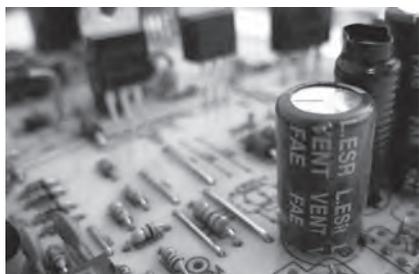
Es difícil realizar la distinción de condensadores según el contenido de PCB, lo cual conduce a su posible asignación como condensadores electrolíticos. Por este motivo, los condensadores electrolíticos también deben ser recolectados y almacenados en contenedores acidorresistentes.

Alternativas de manejo

Para los condensadores que contienen PCB se utilizan las siguientes alternativas de tratamiento (información más detallada en la Tabla 14 en el Anexo):

- Separación de condensadores con contenidos de PCB y condensadores electrolíticos
- Destilación al vacío
- Tratamiento térmico
- Incineración
- Relleno de seguridad
- Exportación

Para los condensadores electrolíticos existe además la separación de los electrolitos y recuperación mecánica.



Tarjetas de circuito impreso (TCI)

Información general

Las tarjetas de circuito impreso (TCI) se utilizan en una gran variedad de aparatos.

Las TCI son un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados desde hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor.

La mayoría de los circuitos impresos están compuestos por entre una a dieciséis capas conductoras, separadas y soportadas por capas de material aislante (sustrato) laminadas (pegadas) entre sí.

Las capas pueden conectarse a través de orificios, llamados vías. Los orificios pueden ser electrorecubiertos, o se pueden utilizar pequeños remaches. Los circuitos impresos de alta densidad pueden tener vías ciegas, que son visibles en sólo un lado de la tarjeta, o vías enterradas, que no son visibles en el exterior de la tarjeta.

Tipos de TCI

Multicapa: Es lo más habitual en productos comerciales. Suele tener entre 8 y 10 capas, de las cuales algunas están enterradas en el sustrato.

Doble faz con huecos metalizados: Es un diseño complicado de bajo costo con taladros metalizados que permiten hacer pasos de cara.

Una sola faz sin huecos metalizados: Es una TCI con agujeros sin metalizar. Se usa en diseños de bajo costo y sencillos.

Doble faz sin huecos metalizados: Diseño sencillo con taladros sin metalizar. Sustrato de fibras de vidrio y resina. Hay que soldar por los dos lados para que haya continuidad.

Gama de aparatos

Las tarjetas de circuito impreso están montadas principalmente en servidores, componentes de TIC y ofimática, computadores, pantallas y aparatos de electrónica de consumo.

Otros equipos como electrodomésticos pequeños y grandes también pueden contener TCI. Si los aparatos tienen la función de memorizar programaciones contienen probablemente TCI.

Componentes de las TCI

La Tabla 6 presenta los componentes de las tarjetas de circuito impreso y algunos contaminantes presentes en los mismos.

Tabla 6: Componentes de las TCI y posibles contaminantes.

Componente	Contenido
Pilas y baterías	Mercurio, cadmio, plomo
Condensadores	PCB (en aparatos viejos)
Elementos de alto rendimiento	Berilio
Semiconductores de galio y arseniuro	Galio, arsénico
Ensambladuras eléctricas	Cobre
Soldaduras blandas	Plomo, cadmio, estaño, plata, bismuto
Conductores y enchufes	Oro, plata, paladio
Material base de las tarjetas	Retardantes de llama halogenados
Interruptores (Switches) y relés de mercurio	Mercurio

Fuente: Adaptación de los autores.

Materiales valiosos

Las TCI contienen hierro y partes de metales no ferrosos como aluminio y cobre. Adicionalmente, las TCI de gran calidad pueden contener metales nobles como oro, plata, platino y paladio.

Estos materiales son separados de los residuos por un tratamiento mecánico (trituración) y posteriormente se concentran a fracciones puras de los metales correspondientes para el reuso.

Sin embargo, debido a que los aparatos en el sector de la electrónica son cada vez más pequeños, se utilizarán menores cantidades de metales no ferrosos y preciosos, de manera que el contenido de alto valor económico en estos dispositivos está disminuyendo constantemente.

Otros materiales

Otros materiales como papel duro (sobre todo de monitores viejos) o resinas epoxi (sobre todo de computadores) forman los materiales básicos de las TCI. Hay que tener en cuenta que estos materiales pueden también contener retardantes de llama con halógenos.

Desensamble adecuado

Se deben remover de las TCI los siguientes componentes:

- Componentes con mercurio
- Condensadores electrolíticos > 25mm (diámetro o largo)
- Pilas y baterías
- Pantallas LCD

Las Ilustraciones 79 a 83 presentan diferentes tipos de tarjetas de circuito impreso presentes en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

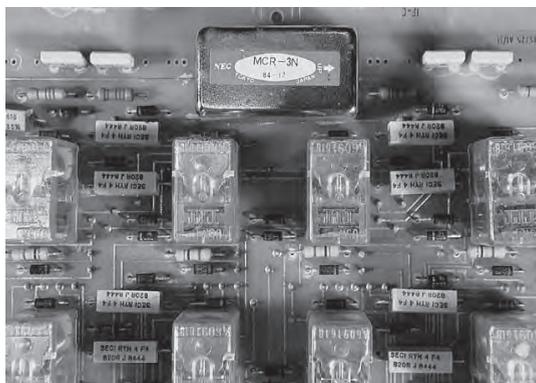


Ilustración 79: TCI con componente de mercurio.
Foto: eag-leitfaden.

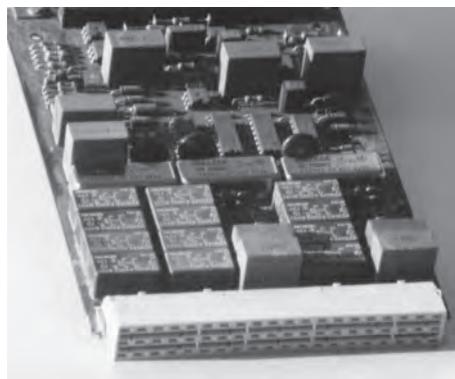


Ilustración 80: TCI con varios componentes de mercurio.
Foto: eag-leitfaden.

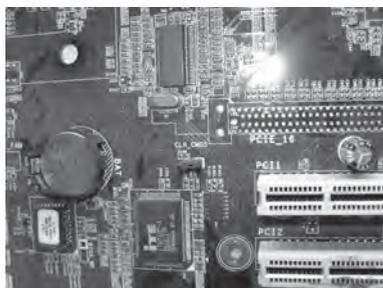


Ilustración 81: TCI con pila.
Foto: MAVDT

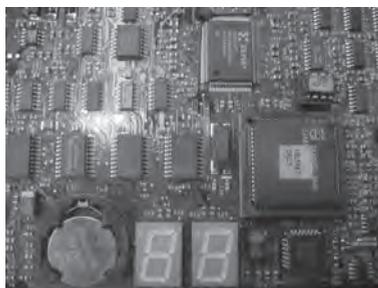


Ilustración 82: TCI con pantalla LED.
Foto: MAVDT

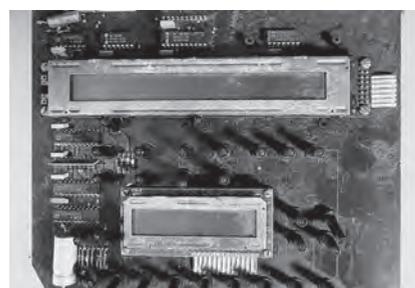


Ilustración 83: TCI con pantalla LCD.
Foto: eag-leitfaden.

Alternativas de gestión

Tratamiento mecánico:

Las tarjetas son trituradas mecánicamente (posiblemente en esta etapa todavía se pueden sacar componentes contaminantes). Las fracciones metálicas se separan a través de un proceso de gravedad. La fracción restante se tritura finamente. Del producto fino se separan las fracciones plásticas. Con un separador magnético se separan los metales ferrosos de los no ferrosos. El polvo fino resultante puede contener metales preciosos y por lo general se procesa en refinerías y fundiciones.

Tratamiento térmico en fundiciones:

Las tarjetas pueden ser aprovechadas por la industria metalúrgica, una vez se ha realizado el proceso de desensamble adecuado. La fracción plástica se utiliza como combustible, el vidrio, el hierro y el aluminio van a la escoria, los demás metales (especialmente el estaño, el plomo y el cobre) se separan a través de procesos metalúrgicos. La aleación de cobre contiene los metales preciosos que pueden ser recuperados en refinerías especializadas.

Tratamiento térmico y químico en refinerías:

La refinación de metales preciosos es la separación de metales preciosos de los metales nobles. La refinación de metales preciosos es un proceso muy costoso y complejo. Con el fin de aislar los metales preciosos, se utilizan como procesos la pirólisis, la hidrólisis o una combinación de ambas.

En la pirólisis, los metales nobles son separados de los otros materiales no nobles, a través de la fundición o la oxidación. En la hidrólisis, los metales nobles son disueltos en agua regia (compuesto de ácido clorhídrico y ácido nítrico) o mediante una solución de ácido clorhídrico y gas de cloro. Posteriormente, ciertos metales pueden ser precipitados

o reducidos directamente en relación con una sal o un gas orgánico. Después pasan por las etapas de limpieza o recristalización. El metal precioso se separa de la sal por calcinación. Los metales nobles primero son hidrolizados y pirolisados posteriormente.

También consultar la Tabla 16 en el Anexo de este documento.



Plásticos

Información general

En muchos casos, los plásticos representan un gran porcentaje en los componentes de los diferentes tipos de RAEE, y por lo tanto es importante que se reciclen estos materiales; aunque el gran número de diferentes tipos de plásticos es un gran desafío.

En el reciclaje de los plásticos, la calidad del material por lo general desmejora (down-cycling) y mucho más, si se mezclan varios tipos de plásticos; por lo tanto, el punto esencial del reciclaje es la identificación y separación de los diferentes plásticos según su composición, así como la remoción de aquellos que puedan contener sustancias peligrosas como retardantes de llama bromados.

¿En cuáles aparatos se encuentran?

Los plásticos se encuentran en todo tipo de RAEE, en muchos casos incluso representan la mayor parte del material usado.

Tipos de plástico

Se distinguen dos clases de plásticos: termoplásticos y termoestables. En general, un termoplástico se funde si es calentado y se endurece si se enfría; por el contrario, un plástico termoestable es un polímero infusible e insoluble (W). Lo importante en cuanto al reciclaje, es que los termoplásticos representan un material con alta demanda si se reciclan de manera adecuada, mientras que los plásticos termoestables sólo pueden ser triturados y utilizados para productos inferiores como aislantes, estibas, etc.

La mayoría de los plásticos que son utilizados en los RAEE son termoplásticos, con excepción de las resinas epoxi. Un código de reciclaje ayuda a diferenciar entre los diferentes termoplásticos más usados (ver Tabla 21 e Ilustración 103 en el Anexo).

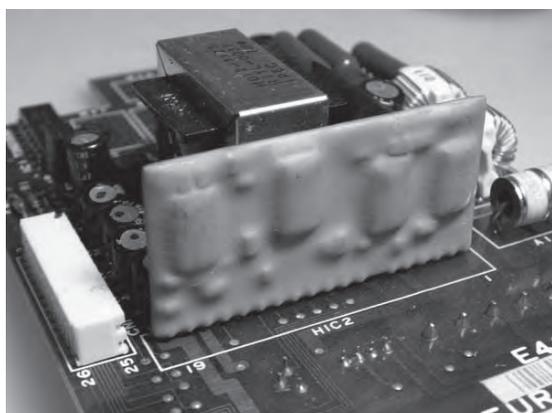


Ilustración 84: TCI con un circuito híbrido envuelto en plástico termoestable. Fuente: Wikipedia.

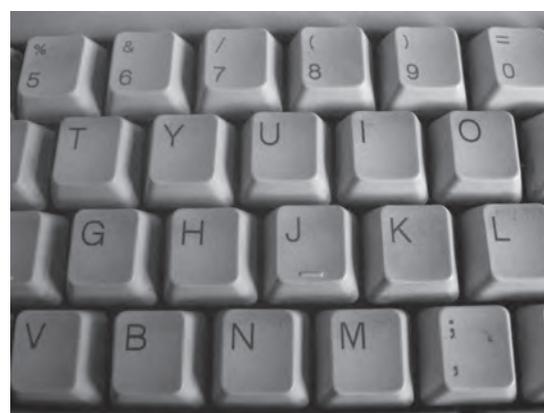


Ilustración 85: Termoplástico. Foto: MAVDT

Presencia de algunas sustancias peligrosas

Los plásticos por sí mismos no representan un riesgo de toxicidad. Pero varios aditivos que cambian las propiedades de los plásticos pueden causar un riesgo ambiental. La Tabla 7 muestra los aditivos más usados.

Tabla 7: Algunas sustancias peligrosas que se pueden encontrar en plásticos procedentes de los RAEE.

Uso	Elemento/Sustancia	Comentario
Colorante	Cd	Pigmentos amarillos ((Cd,Zn)S), naranjas, rojos (Cd(S,Se)) y verdes
	Cr(VI)	Pigmentos naranjas, amarillos (PbCrO4), rojos y verdes
	Pb	Pigmentos blancos (2 PbCO3 – Pb(OH)2), amarillos (Pb CrO4), naranjas y rojos
	Hg	No se utiliza desde hace muchos años
Retardante de llama	PBB (Bifenilos Polibromados)	-
	PBDE (Éteres Bifenilicos Polibromados)	-
Estabilizadores	Cd	Carboxilato con Cd para PVC
	Pb	Carboxilato con Pb para PVC

Fuente: Autores.

Retardantes de llama bromados (RLB):

- Por lo general los RLB se encuentran en componentes de HIPS, ABS y ABS/PC [29].
- Monitores, televisores y carcasas de aparatos de TIC de PPO/PS no contienen RLB [30, 31].
- En los PVC casi no se utilizan RLB.
- En menos de 1% de PP y PE de todos los RAEE se encuentran RLB.

HIPS: Poliestireno de alto impacto

ABS: Acrilonitrilo Butadieno Estireno

ABS/PC: ABS con policarbonato

PPO/PS: Poli(p-fenileno óxido) con poliestireno

PP: Prolipropileno

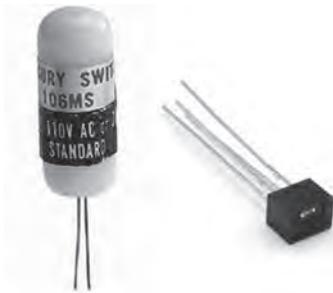
PE: Polietileno

Alternativas de manejo

Por lo general se ofrecen las siguientes alternativas de tratamiento:

- Reciclaje mecánico
- Reciclaje químico
- Incineración

Para más detalles sobre las alternativas consultar la Tabla 17 en el Anexo.



Componentes con mercurio

Información general

Los principales componentes con mercurio encontrados en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, son los interruptores de contacto de mercurio, relés de mercurio y algunas pocas lámparas de vapor de mercurio.

Campo de aplicación

Los interruptores de contacto de mercurio por lo general se encuentran en neveras y congeladores, en las TCI de aparatos de PED de alta calidad (servidores), en tarjetas de expansión de las telecomunicaciones y en otros aparatos, en sus diferentes formas

de construcción. Las ilustraciones 88 a 90 presentan algunos ejemplos de interruptores de mercurio.

Sin embargo, los interruptores de mercurio también pueden ser encontrados en otros RAEE. Como se ha mencionado anteriormente, estos aparatos son lavadoras, instrumentos de laboratorio e instrumentos analíticos, combinaciones de contestador automático/fax, faxes y otros.

En cuanto a la aplicación de interruptores de mercurio se puede resumir que estos se utilizan si:

- se requiere una alta seguridad del interruptor,
- se realizan circuitos frecuentes y
- pasan flujos de corriente altos.

¿Cómo se reconoce?

El mercurio es un metal argénteo que brilla, que se encuentra en forma líquida a temperatura ambiente. Otra característica marcada del mercurio es su alta densidad. En muchos interruptores el mercurio líquido se encuentra en pequeñas ampollas de vidrio y por lo tanto puede ser identificado fácilmente. Si se trata de interruptores de mercurio montados ya se vuelve más difícil la identificación.



Ilustración 86: Antiguos interruptores de mercurio. Fuente: Wikipedia.

En el caso de componentes pequeños con mercurio que están montados en aparatos o en las TCI (Ilustración 87), la experiencia del personal es decisiva para identificar los componentes de mercurio. Pocas veces estos componentes están marcados con un distintivo como "Mercurio", "Quecksilber" o "Mercury". Otros indicios son inscripciones como "Mercury wetted coated relay", "High speed module", "Danger, do not open" o desgloses con "HG" o "MC". Particularmente, los componentes de mercurio revestidos de metal en las TCI son identificables en parte por el nombre comercial.

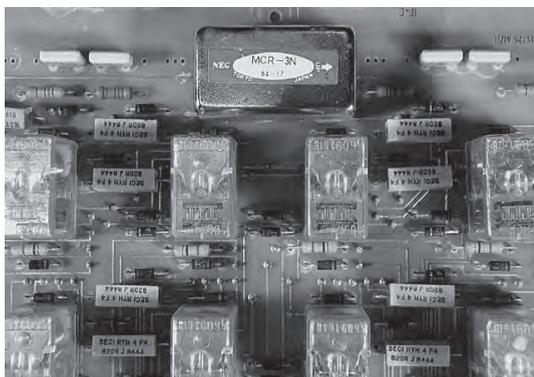


Ilustración 87: Componente de mercurio en una TCI.
Foto: eag-leitfaden.

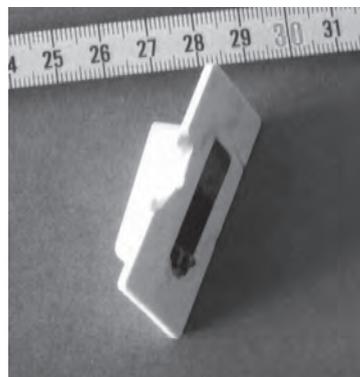


Ilustración 88: Interruptor de mercurio de un aparato refrigerador. Foto: eag-leitfaden.



Ilustración 89: Interruptor de mercurio.
Foto: MAVDT



Ilustración 90: Interruptor de mercurio.
Foto: eag-leitfaden.

Para una identificación segura de los componentes con mercurio se requiere la formación continua del personal. Una medida útil para este fin son tableros mostrando ejemplos de los componentes con contenido de mercurio.

Desensamble adecuado

Para el desensamble de los componentes con mercurio es muy importante que se preste especial atención a este proceso, ya que debe hacerse con cuidado y sin dañar los componentes. Los interruptores de mercurio, en los cuales el mercurio está encerrado en las ampollas de vidrio sin protección adicional, deben ser tratados con particular precaución. Otros componentes con mercurio no deben ser desensamblados con herramientas agudas para evitar el riesgo de dañar los componentes y con esto ocasionar la liberación del mercurio.

Recolección adecuada

Las ampollas de vidrio con mercurio deben ser empacadas de manera individual y ser almacenadas con precaución. Los interruptores de mercurio revestidos pueden ser empacados en pequeños envases o cajas adecuadas. La contaminación del suelo y del agua debe ser evitada. Los envases usados tienen que ser marcados según su contenido y es obligatorio que el sitio de almacenamiento esté cubierto.

Si mercurio es derramado debe ser recogido con adsorbentes especiales.

Alternativas de manejo

Para el tratamiento adecuado de los componentes contaminados con mercurio, a nivel internacional por lo general existen las siguientes alternativas:

- Pretratamiento manual (interruptores en tubitos de vidrio)

- Destilación al vacío
- Tratamiento térmico con recuperación de mercurio
- Relleno de seguridad

Una descripción y evaluación más detallada se encuentra en la Tabla 18 en el Anexo de este documento.



Tubos fluorescentes

Información general

También denominados luminarias fluorescentes, son una luminaria que cuenta con una lámpara de vapor de mercurio a baja presión y que se utiliza normalmente para la iluminación doméstica e industrial. Su gran ventaja frente a otro tipo de lámparas, como las incandescentes, es su eficiencia energética.

Están formadas por un tubo o bulbo fino de vidrio revestido interiormente con una sustancia que contiene fósforo y otros elementos que emiten luz al recibir una radiación ultravioleta de onda corta. El tubo contiene una pequeña cantidad de vapor de mercurio y un gas inerte, habitualmente argón o neón, sometidos a una presión ligeramente inferior a la presión atmosférica.

¿En cuáles aparatos se encuentran?

Los tubos fluorescentes se utilizan sobre todo para la iluminación de habitaciones, oficinas y otros espacios interiores. Sin embargo también se pueden encontrar en:



- Equipos de cocina
 - Equipos electrónicos periféricos y de oficina, como por ejemplo fotocopiadoras grandes y pequeñas, faxes, escáneres e impresoras láser.
 - Otros equipos electrónicos como solarium y lámparas solares
- Adicionalmente a los tubos fluorescentes tradicionales existen también lámparas fluorescentes de otras formas y lámparas ahorradoras de energía.

Otra aplicación de los tubos fluorescentes es la iluminación de fondo en pantallas planas de cristal líquido (LCD) de diferentes aparatos (p. ej. televisores, portátiles, monitores, celulares, etc.). Los tubos aplicados en estos aparatos son más delgados y por lo tanto su manejo más delicado.

Presencia de algunas sustancias peligrosas

Los tubos fluorescentes contienen componentes fluorescentes, mercurio y un cátodo de bario.

- Componentes fluorescentes: véase página 54 (recubrimiento de la pantalla).
- Mercurio: véase componentes con mercurio, página 68.
- Bario: véase página 74 (Getterpills).

Materiales valiosos

Como principal material valioso se considera el aluminio contenido en las capas de los tubos. Éstas, sin embargo, primero se deben separar por completo del vidrio.

El vidrio puede ser reutilizado en la producción de tubos fluorescentes.

Almacenamiento adecuado

El almacenamiento de los tubos debe impedir que los tubos se rompan y se libere vapor de mercurio. Para esto existen las estibas de Runge que impiden que los tubos se deslicen (ver ejemplo en las Ilustraciones 91 y 92). Las lámparas fluorescentes de otras formas se deben almacenar en contenedores correspondientes.

Tubos fluorescentes provenientes de pantallas planas de cristal líquido: Por la finura del vidrio de estos tubos fluorescentes su manejo requiere precaución especial. Particularmente tubos largos de televisores grandes requieren mucha experiencia para el desmontaje no destructivo.



Ilustración 91. Almacenamiento de tubos fluorescentes en estibas. Foto: MAVDT



Ilustración 92: Contenedor seguro para el transporte de tubos fluorescentes. Foto: MAVDT.

Alternativas de manejo

Por lo general existen las siguientes tecnologías para reciclar tubos fluorescentes (para más detalles consulte la Tabla 19 en el Anexo):

- Destilación al vacío
- Tratamiento térmico con recuperación de mercurio
- Relleno de seguridad.

Procesamiento de lámparas fluorescentes

Estos sistemas de procesamiento en seco por lo general separan y rompen todas las formas geométricas de lámparas fluorescentes en sus diferentes componentes: vidrio, aluminio, mercurio y un polvo con contenido de fósforo. Además utilizan filtros (de presión y de carbón) para asegurar que las emisiones atmosféricas estén libres de vapor de mercurio. Estos sistemas por lo general permiten procesar la mayoría de tipos de lámparas, incluidas las rectas, las en forma de U y las revestidas fluorescentes, así como de vapor de mercurio, sodio de alta presión, de halogenuros de metales, rayos ultravioleta, fluorescentes compactas y lámparas de descarga de alta intensidad HID.

Algunos modelos para el tratamiento de lámparas fluorescentes se presentan a continuación en las ilustraciones 93 a 95.



Ilustración 93: Modelo de planta pequeña de reciclaje de lámparas fluorescentes.
Foto: www.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_2/html/Doc_382.html



Ilustración 94: Modelo de planta mediana de reciclaje de lámparas fluorescentes.
Foto: www.mmhrecsys.co.uk/mrt

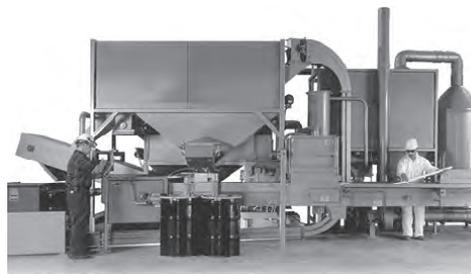


Ilustración 95: Planta procesadora de lámparas fluorescentes.
Foto: <http://www.lampequipment.com>

Tratamiento “in situ” - Bulbeater

El “Bulbeater” rompe y transforma lámparas fluorescentes usadas de cualquier longitud en material reciclable captando los vapores liberados. El sistema, que está montado en un contenedor, tiene una capacidad grande de almacenamiento y permite adecuar de manera eficaz los tubos para su posterior envío a una planta procesadora de tubos fluorescentes.



Ilustración 96: “Bulbeater”. Foto: MAVDT



Tambores fotoconductores

Información general

El cilindro o tambor fotoconductor puede ser un componente integrado al cartucho o un componente individual.

Composición de los tambres fotoconductores y presencia de algunas sustancias peligrosas

Los tambres fotoconductores por lo general son tambres OPC (organic photo conductor) que se reconocen por su superficie de colores (Ilustración 98). En las impresoras modernas de alto rendimiento se utilizan en parte tambres con base en silicio amorfo. Estos se destacan por su aspecto glauco y metálico, su superficie es dura y resistente.

En fotocopiadoras y faxes antiguos se encuentran tambres con una capa de selenio o sulfuro de cadmio. Los tambres con cadmio se reconocen por su color amarillo. Los tambres con selenio se caracterizan por su superficie entre gris y plateada y su mayor diámetro.



Ilustración 97: Tambor fotoconductor montado. Foto: MAVDT

Materiales valiosos

Los tambores por lo general son de aluminio el cual puede ser recuperado y reciclado.

Almacenamiento adecuado

Se recomienda desmontar los tambores y almacenarlos en contenedores simples (preferiblemente plásticos). Los tambores con selenio se deben almacenar a oscuras (por ejemplo en contenedores cerrados) porque la capa de selenio se desprende bajo la influencia de luz.

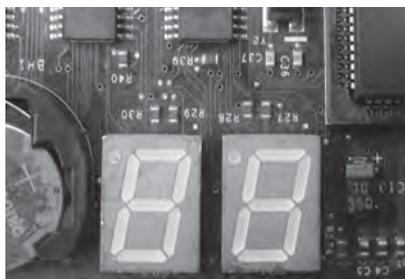


Ilustración 98. Tambores fotoconductores OPC. Foto: eag-leitfaden.

Alternativas de manejo

Los tambores fotoconductores son generalmente fabricados de aluminio. La recuperación de este cuerpo de aluminio en forma pura se realiza mediante un tratamiento de la superficie (por ejemplo el proceso de chorro de arena). El cuerpo después puede ser manejado por una fundición de aluminio. Es importante resaltar que el subproducto del proceso (arena) puede contener selenio y debe ser tratado de manera ambientalmente adecuada.

Otros componentes:



Visualizadores LED

Casi todos los pequeños aparatos que funcionan con electricidad están equipados con un mecanismo de control para confirmar su estado de encendido. Si bien para esto anteriormente se utilizaron lámparas de efluvios, ahora son casi exclusivamente diodos emisores de luz (LED) los que se utilizan.

En comparación con las lámparas convencionales los LED tienen la ventaja de consumir menos energía y producir más luz, además de ser muy baratos. El LED es un solo diodo o representa un segmento de una barra de luz.

Los LED contienen arseniuro de galio o fosfuro de arseniuro de galio.

Desensamblar diodos aislados (por ejemplo los controles de corriente) de los pequeños equipos electrónicos, no vale la pena según la literatura [40] por lo que representan un esfuerzo no justificable, sobre todo porque los LED muchas veces se encuentran aglutinados a las carcasas. Sin embargo se recomienda desensamblar los LED ubicados en las tarjetas de circuito impreso.



Getterpills

Los "Getterpills" de la pantalla TRC (ver página 54) contienen bario y compuestos con bario. Antes de un tratamiento mecánico del tubo de rayo catódico, los "getterpills" deben estar separados.

Los "getterpills" se deben almacenar por separado. Se debe evitar el contacto con agua, ya que el bario provoca una reacción violenta con el agua.



Cables y alambres aislados

Por lo general existen dos funciones para los cables presentes en los aparatos eléctricos y electrónicos: la transmisión de información (datos o sonido) o de electricidad.

Estos cables (o residuos de cables) pueden ser recuperados por las industrias especializadas en la separación del cobre y del plástico. Estas industrias separan los materiales con el fin de obtener fracciones perfectamente homogéneas de cobre y plástico.

Los conectores deben ser extraídos antes de la separación de los cables. Los conectores de plástico negro se recogen por separado, luego la fracción metálica es enviada a una refinera. De ser posible, los cables eléctricos aislados (por ejemplo cables de poder) deberían ser separados del equipo antes de que éste entre al proceso de reciclaje.

C.3 Otros residuos que se deben considerar

Si bien los cartuchos de tóner y de tinta, y las pilas y baterías no son considerados residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, se hace mención a estos debido a su presencia en algunos de estos residuos y a la importancia de darles un manejo ambientalmente adecuado al final de su vida útil.



Cartuchos de tóner y de tinta

Información general

El tóner (del inglés toner), también denominado tinta seca por analogía funcional con la tinta, es un polvo fino, normalmente de color negro, que se deposita en el papel que se pretende imprimir por medio de atracción electrostática.

La tinta es un líquido que contiene varios pigmentos o colorantes utilizados para colorear una superficie con el fin de crear imágenes o textos. La tinta es utilizada extensivamente en toda clase de impresiones.

¿En qué aparatos se encuentran?

Cartuchos de tóner (polvo) y de tinta de diferentes tamaños se encuentran en

- fotocopiadoras,
- máquinas de fax e
- impresoras.

Los elementos de un cartucho de tinta son los siguientes:

- Plástico. Es la estructura del cartucho de forma semi-rectangular.
- Tinta. El cartucho consta con un depósito de tinta dentro del contenedor plástico.

- Esponja de tinta. Contiene aproximadamente 20 gramos de tinta.
- Panel de circuitos impresos. Tarjeta con soporte de aluminio con contactos eléctricos los cuales forman burbujas cuando se aplica alto voltaje.
- Cabezal de impresión por sistema de inyección. Consiste en boquillas de inyección, filtros y válvulas de aire.
- Elemento calentador. Consiste de sensores de temperatura y calentadores de inicio.



Ilustración 99: Cartuchos de tinta intercambiable. Foto: MAVDT



Ilustración 100: Cartucho de tóner. Foto: MAVDT.

Alternativas de manejo

Los cartuchos de tóner y de tinta se deben recoger y almacenar de manera que no causen ningún tipo de emisiones del polvo y las tintas.

El reciclaje, la recarga y el reacondicionamiento de los cartuchos en desuso permite la recuperación o reutilización de los materiales contenidos en estos residuos.

Recarga

La recarga es una manera fácil y eficiente de reutilizar los cartuchos. Los cartuchos de tóner y de tinta no pueden ser recargados sin fin ya que ciertas partes se desgastan. Por ejemplo, un cartucho de tóner se puede recargar hasta 20 veces, dependiendo de calidad y manejo [37].

El procedimiento de la recarga varía mucho entre diferentes equipos y entre diferentes productores. Por eso sólo están descritos los pasos básicos y unas recomendaciones en cuanto a la recarga de cartuchos.

Tinta: La variedad de modelos de cartuchos es grande y por lo tanto también existen diferentes procedimientos de recarga. La selección de la tinta adecuada y la comprobación del funcionamiento del cartucho son los primeros pasos de la recarga. Normalmente la tinta es inyectada lentamente a través de una jeringa. Para realizar este paso correctamente y sin dañar el cartucho es muy útil tener conocimientos de la construcción del cartucho. Se tiene que considerar también que el cartucho no funciona sin dejar una pequeña salida para evitar hipotensión. Al final se realiza una prueba de la marcha correcta del cartucho [38].

Tóner: Dependiendo del productor de los cartuchos la composición del tóner varía y por eso se tiene que escoger el tóner adecuado para la recarga (según las indicaciones del productor). Adicionalmente, hay que comprobar el funcionamiento del cartucho y averiguar si la recarga debe ser realizada antes del vaciado completo del cartucho o al contrario hasta que el cartucho esté completamente vacío. La recarga misma se divide en 6 a 10 pasos que se distinguen según la accesibilidad del compartimento de tóner y la construcción general del cartucho. Al final se realiza una prueba del correcto funcionamiento del cartucho. Como medida mínima de seguridad se recomienda el uso de una máscara antipolvo [39].

Reacondicionamiento/Remanufactura

Antes del reacondicionamiento se debe comprobar si ciertas partes del cartucho todavía son aptas para el funcionamiento. En general, el reacondicionamiento de cartuchos de tóner es realizado a través de los siguientes pasos:

1. Recolección y revisión
2. Desarmado del "wasten bin" y del "hooper" en una cabina de succión
3. Llenado
4. Ensamblaje del "hooper" (también: "Dr. Blade", "mag roller") y del "wasten bin" (también: "wiper blade", "PCR" y "OPC Drum")
5. Test de prueba
6. Empaque

De forma similar, el reacondicionamiento de los cartuchos de tinta se realiza a través de los siguientes pasos:

1. Recolección y revisión. Durante la revisión también se controla la parte eléctrica del cartucho con una máquina especial
2. Limpieza interna
3. Succión del cartucho para asegurar que quede vacío
4. Esterilización del cartucho
5. Llenado
6. Test de prueba
7. Empaque

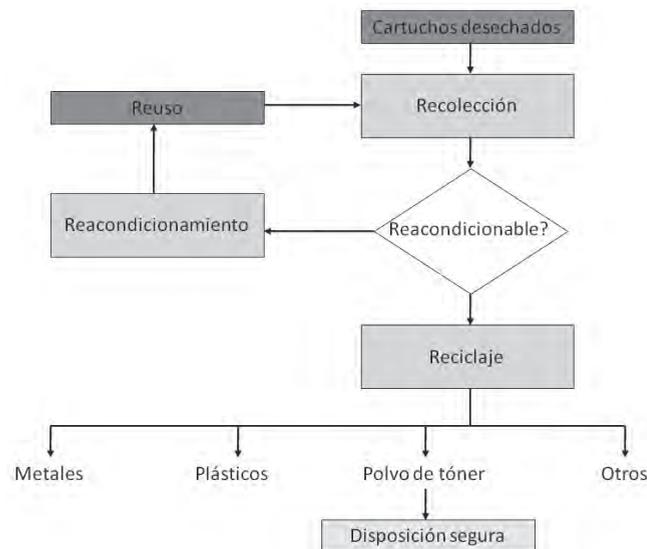


Ilustración 101: Esquema del manejo de cartuchos de tóner en desuso.

Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

Reciclaje

Por filtración y otros procesos se separa el polvo de tóner y el hierro de los demás materiales. Una clasificación anterior de los elementos del cartucho facilita la recuperación de materiales como plásticos y metales. El polvo es usado en la industria de concreto como aditivo de color.

Los productos del reciclaje son plásticos, polvo de tóner, residuales y metales como acero inoxidable, hierro y aluminio.

Comentarios y recomendaciones generales

De ser posible, los cartuchos de tóner y de tinta deben ser manejados por separado de sus aparatos debido al riesgo de emisión de las tintas y polvos hacia el medio ambiente.



Pilas o acumuladores

Información general

Una pila o acumulador es una fuente de energía eléctrica obtenida por transformación directa de energía química y constituida por uno o varios elementos primarios (no recargables) o por uno o varios elementos secundarios (recargables).

Se define como pila o acumulador portátil al elemento de esta naturaleza que esté sellado, pueda llevarse en la mano y no sea una pila o acumulador industrial ni una pila o acumulador de automóvil. Una pila botón es una pila o acumulador pequeño, redondo y portátil, cuyo diámetro es superior a su altura.

Tabla 8: Principales tipos de pilas y acumuladores portátiles.

Tipo	Diseño/Geometría	Tecnología
Primarias	Cilíndricas	Zinc Carbón Alcalina Otras
	Botón	Alcalina Óxido Plata Litio Otras
Secundarias	Cilíndricas	Níquel – Cadmio Litio Níquel Hidruro

Fuente: Adaptación de los autores.

¿Cómo se reconocen?

Las pilas o acumuladores pueden ser distinguidas por lo general por su forma y sus componentes. En el caso de las baterías pequeñas que se aplican por ejemplo como baterías de respaldo en las TCI, la identificación es más difícil. Es importante la capacitación del personal; así mismo la colocación de un tablero con ejemplos de las diferentes baterías puede resultar muy útil para facilitar la identificación de las diferentes baterías.

Ubicación de los componentes



- Las pilas de botón como las pilas de respaldo se encuentran en las TCI.
- El resto de las pilas y baterías frecuentemente se encuentra en un compartimento de pilas/baterías por separado.

Manejo adecuado

Generalmente, las pilas y baterías deben ser desmontadas, independientemente del tamaño. El procedimiento para los diferentes aparatos se resume como sigue:

- Sacar las baterías redondas del compartimento de baterías.
- Desmontar las baterías de respaldo de las TCI. Esto se puede realizar con un cortafío o con un alicate.



Ilustración 102: Separar la pila de respaldo. Foto: MAVDT

- Sacar o desmontar baterías que forman parte de un aparato (por ejemplo baterías enchufables).
- Clasificar las pilas y baterías de acuerdo al tipo y forma.
- Realizar el manejo de las mismas conforme a la normatividad vigente.

C.4 Resumen de las alternativas de tratamiento

C.4.1 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Tabla 9: Resumen de las alternativas de tratamiento para diferentes aparatos eléctricos y electrónicos en países desarrollados y en vía de desarrollo.

RAEE	Países en vía de desarrollo	Países desarrollados
Computadores	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Reacondicionamiento • Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares • Desensamble manual completo. Reciclaje, recuperación y/o exportación de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales
Periféricos de las TIC	<ul style="list-style-type: none"> • Reacondicionamiento • Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales

RAEE	Países en vía de desarrollo	Países desarrollados
Impresoras	<ul style="list-style-type: none"> • Reacondicionamiento • Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales
Fotocopiadoras	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales
Monitores con tubos	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Reacondicionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales
Pantallas planas	<ul style="list-style-type: none"> • Todavía no hay muchos equipos en desuso • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales
Celulares	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Reacondicionamiento • Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares • Desensamble manual. Reciclaje, recuperación y/o exportación de los residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales
Juegos eléctricos y electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano) • Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente • Trituración mecánica con separación automática de materiales

Fuente: Adaptación de los autores.

PARTE D – Anexos

D.1 Glosario

Con el fin de dar mayor claridad, a continuación se presentan algunos términos que deben ser entendidos en el contexto de este manual.

- **Almacenamiento de residuos ordinarios:** Es la acción del usuario de colocar temporalmente los residuos sólidos en recipientes, depósitos contenedores retornables o desechables mientras se procesan para su aprovechamiento, transformación, comercialización o se presentan al servicio de recolección para su tratamiento o disposición final.
- **Almacenamiento de residuos peligrosos:** Es el depósito temporal de residuos o desechos peligrosos, en un espacio físico definido y por un tiempo determinado, con carácter previo a su aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final.
- **Aprovechamiento:** Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.
- **Aprovechamiento y/o valorización de residuos peligrosos:** Es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos o desechos peligrosos, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración.
- **Desensamble:** Se refiere al proceso de separar los principales componentes o partes de componentes que conforman los residuos de aparatos eléctricos o electrónicos (desensamble parcial), o el desensamble de los mismos en todos sus componentes y materiales (desensamble completo).
- **Disposición final de residuos ordinarios:** Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados, para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.
- **Disposición final de residuos peligrosos:** Es el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.
- **Electrodomésticos:** Los electrodomésticos abarcan las categorías 1 y 2 definidas por la Directiva de la Unión Europea sobre RAEE; los grandes electrodomésticos (refrigeradores, congeladores, etc.) y pequeños electrodomésticos (microondas, hornos, etc.). Las dos categorías requieren un tratamiento adecuado después de llegar al fin de su vida útil. Según otro sistema de clasificación se refiere con los electrodomésticos a la línea blanca.
- **Gestor de RAEE:** Persona natural o jurídica, pública o privada, que realiza cualquiera de las operaciones que componen la gestión de los residuos eléctricos y/o electrónicos (transporte, recolección, almacenamiento, desensamble, aprovechamiento o disposición final).
- **Línea blanca:** La línea blanca se refiere a todo tipo de electrodomésticos.
- **Línea gris:** La línea gris se refiere a los equipos informáticos (computadores y sus periféricos) y los equipos de telecomunicación (teléfonos móviles, etc.).
- **Línea marrón:** La línea marrón comprende todos los equipos electrónicos de consumo como por ejemplo televisores, videos o equipos de música.

- **Manejo:** Es el conjunto de actividades que se realizan desde la generación hasta la eliminación del residuos o desecho sólido. Comprende las actividades de separación en la fuente, presentación, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y/o la eliminación de los residuos o desechos sólidos.
- **Obsolescencia:** Es la caída en desuso de máquinas, equipos y tecnologías, motivada no por un mal funcionamiento del mismo, sino por un insuficiente desempeño de sus funciones en comparación con las nuevas máquinas, equipos y tecnologías introducidos en el mercado.
- **Palé:** Plataforma de tablas para almacenar y transportar mercancías.
- **Periféricos:** Conjunto de dispositivos hardware de una computadora que potencia la capacidad de éste y permite la entrada y/o salida de datos. Ejemplos: teclado, ratón, impresora, escáner, entre otros.
- **Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE):** Son los residuos que provienen de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) descartados o desechados, los cuales para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, incluidas las bombillas. También se consideran los residuos de aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos y que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1000 voltios en corriente alterna y 1500 voltios en corriente continua. Este término comprende todos aquellos componentes, consumibles y subconjuntos que forman parte del producto en el momento en que se desecha.
- **Reacondicionamiento:** Es un proceso técnico de renovación, en el cual se restablecen completamente las condiciones funcionales y estéticas de un equipo usado, de tal forma que pueda ser dispuesto para un nuevo ciclo de vida. Puede implicar además reparación, en caso de que el equipo tenga algún daño.
- **Reciclaje:** Es el proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje puede constar de varias etapas: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación, recolección selectiva, acopio, reutilización, transformación y comercialización.
- **Reparación:** Arreglo de averías concretas de un equipo.
- **Residuo o desecho peligroso:** Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.
- **Retoma:** Es recibir equipos electrónicos en desuso, con el fin de trasladarlos hacia los puntos de reacondicionamiento, desensamble, reciclaje o disposición final.
- **Reuso o reutilización:** El reuso de un equipo eléctrico o electrónico se refiere a cualquier utilización de un aparato o sus partes, después del primer usuario, en la misma función para la que el aparato o parte fueron diseñados.
- **Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC):** Comprende las tecnologías que se encargan del estudio, el diseño, el desarrollo, el fomento, el mantenimiento y la administración de la información por medio de sistemas informáticos. Esto incluye todos los sistemas informáticos no solamente el computador (este es sólo el medio más versátil), incluye los teléfonos celulares, televisores y radios, entre otros.
- **Vida útil:** La vida útil es la duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado. En el contexto de aparatos eléctricos y electrónicos; "vida útil" muchas veces también se usa, de manera incorrecta, para referirse a la obsolescencia del producto.

D.2 Marco Jurídico

A continuación se relacionan algunas de las normas legales y reglamentarias más relevantes en la materia.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA

Los artículos 8, 79 y 80 de la Constitución Política señalan que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, fomentar la educación para el logro de estos fines, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Que así mismo, el artículo 8 y el numeral 8 del artículo 95 de la Constitución Política disponen que sea obligación de los particulares proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Artículo 84, señala que cuando una actividad haya sido reglamentada de manera general, las autoridades públicas no podrán establecer ni exigir permisos, licencias o requisitos adicionales para su ejercicio.

Artículo 95, numeral 8 establece como deberes y derechos de las personas y los ciudadanos proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Artículo 209, sobre la función administrativa expresa que debe desarrollarse con fundamento en los principios de eficiencia y economía.

LEYES

LEY	TITULO
Decreto Ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 09 de 1979	Por la cual se dictan medidas sanitarias.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	Se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios.
Ley 253 de 1996	Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación
Ley 430 de 1998	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
Ley 1252 de 2008	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

DECRETOS

DECRETO	TITULO
Decreto 02 de 1982	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.
Decreto 948 de 1995	Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974, los artículos 41,42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979, y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

DECRETO	TITULO
Decreto 1713 de 2002 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Decreto 1609 de 2002	Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
Decreto 2820 de 2010	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

RESOLUCIONES

RESOLUCIÓN	TITULO
Resolución 619 de 1997	Por el cual se establecen los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica.
Resolución 415 de mayo 13 de 1998	Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma.
Resolución 1362 de 2007	Por la cual se establece los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.
Resolución 909 de 2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1297 de 2010	Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores.
Resolución 1511 de 2010	Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas.
Resolución 1512 de 2010	Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos.

D.3 Lista de aparatos eléctricos y electrónicos

Tabla 10: Lista de aparatos eléctricos y electrónicos

APARATO	
(Des-) Humificadores de aire	Aparatos electrónicos de diversión portátiles
Abrelatas eléctricos (fijos)	Armarios de distribución
Abrelatas eléctricos (portátiles)	Arrozeras
Afiladoras	Aspiradoras
Aireadores/ Ventiladores	Aspiradoras (fijas)
Amasadoras eléctricas	Aspiradoras (portátiles)
Amplificadores	Audioprótesis
Aparatos de soldadura	Auriculares
Aparatos de pantalla plana	Aviones radiocontrol
Aparatos de rayos X	Balanzas eléctricas de cocina
Aparatos electrónicos de diversión fijos	Barcos radiocontrol

APARATO

Básculas de baño	Domótica - equipos grandes
Batidoras fijas	Ecualizadores
Batidoras portátiles	Electrodomésticos grandes
Bigudí eléctrico	Electrodomésticos grandes de cocina
Bombas hidráulicas	Electrodomésticos pequeños (fijos)
Bombas sumergibles	Electrodomésticos pequeños de cocina (fijos)
Bombas térmicas	Electrodomésticos portátiles
Cafeteras automáticas	Engrapadoras eléctricas
Cafeteras eléctricas	Equipos con flash
Cajas registradoras	Equipos de aire acondicionado
Calculadoras	Equipos de laboratorio - instrumentos analíticos de gases y líquidos
Calculadoras (fijas)	Equipos de laboratorio y equipos médicos
Calefactores (convectores)	Equipos de minidisco (portátiles)
Calentadores de agua	Equipos de música
Calorímetros	Equipos de oficina y de comunicación (fijos)
Cámaras fotográficas	Equipos de oficina y de comunicación (portátiles)
Cámaras de video	Equipos de pantalla
Cámaras digitales	Equipos HIFI
Campanas extractoras de humo	Escáneres
Cargadores	Exprimidor de limones eléctrico
Cargadores para pilas y baterías	Extractores de jugo
Casetes	Esterilizadores
Cepillos de dientes eléctricos	Faxes
Cocinas eléctricas	Filmadoras
Colas termofusibles	Fondue eléctrico
Compresores	Fresadoras
Comprobadores de voltaje, de motor	Fresadoras (portátiles)
Computadores	Fuentes de alimentación
Computadores con pantalla plana	Fusibles automáticos
Computadores portátiles	Grabadoras de casetes (fijas)
Congeladores	Herramientas eléctricas (fijas)
Contestadores automáticos	Hervidores de agua
Contestadores automáticos / Fax	Hervidores de inmersión
Controles remotos	Hidrolimpiadores
Copiadoras grandes	Hornos de cocina - grande
Copiadoras pequeñas de escritorio	Hornos de raclette
Cortacéspedes de motor	Hornos pequeño de cocina
Cortacéspedes eléctricos	Impresoras
Cortadoras eléctricas de cocina	Impresoras de tinta
Cuchillos eléctricos (fijos)	Impresoras láser
Cuchillos eléctricos (portátiles)	Instrumentos musicales eléctricos
Despertadores	Juego de higiene dental
Destornilladores eléctricos (portátiles)	Juguetes con control remoto
Detectores de humo/fuego	Juguetes eléctricos y electrónicos
Detectores de movimiento	Lámparas solares
Dictáfonos / grabadoras	Lámparas fluorescentes rectas
Domótica	

APARATO

Lámparas fluorescentes compactas	Quemadores de CD
Lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de presión y las lámparas de haluros metálicos	Radiadores de aceite
Lámparas de sodio de baja presión	Radiocasetes (portátiles)
Luminarias para lámparas fluorescentes con exclusión de las luminarias de hogares particulares y otros aparatos de alumbrado utilizados para difundir o controlar luz con exclusión de las bombillas de filamentos	Radiodespertadores
Lavaplatos	Radios (fijos)
Lijadoras vibrantes	Radios (portátiles)
Limpiadores a vapor	Radios (radioteléfonos)
Linternas	Radios de carro (incl. CD)
Mantas eléctricas/ calentacamás eléctricos	Ratones de computador
Maquinas de coser	Receptores de satélite
Maquinas de escribir	Receptores de TV cable
Maquinas de lavar	Reflectores
Máquinas de planchar	Relojes
Máquinas de refrigeración	Relojes de pulsímetro
Máquinas de refrigeración y equipos de aire acondicionado	Relojes electrónicos
Máquinas depiladoras (portátiles)	Reproductores de CD (fijos)
Maquinas etiquetadoras	Reproductores de CD (portátiles)
Maquinas para direcciones	Secadoras centrífugas
Máquinas para franqueo	Secadoras de pelo
Maquinas tragamonedas	Secadoras de ropa
Medidores de consumo eléctrico	Sierras de cadena de motor
Medidores de presión de la sangre (digital)	Sierras de cadena eléctrica
Mensáfonos/ Dispositivos de radiobúsqueda o radiomensajería	Sierras de calar
Mesas de mezcla de audio/ de video	Sintonizadores
Microondas	Sistemas de alarmas
Módem	Solárium
Motor eléctrico	Soldadores
Pantalla de computador (tubo)	Taladros eléctricos (portátiles)
Pantalla plana de computador	Teclados
Parillas eléctricas	Teléfono móvil
Parlantes	Televisores de pantalla plana
PC (Computadora personal)	Televisores de tubos
PC (Fuente de alimentación)	Termómetros digitales
Periféricos de las TIC	Tocadiscos
Pistas de carritos eléctricos	Tostadora de pan
Pistolas rociadoras de pintura	Tren eléctrico de miniatura
Planchas	Tricotasas
Planchas a vapor	Trituradoras para archivos
Plantas telefónicas	Unidades de CD
Plóteres	Unidades de DVD
Podómetro	Vaporeras
Proyectores de video	Videoproyectores (Video beams)
Proyectores para diapositivas	Videocámaras
	Videos
	Walkie-talkies para bebés
	Walkmans
	Woks eléctricos

Fuente: R. Gabriel, Behandlungsmöglichkeiten für ausgewählte Bauteile aus Elektroaltgeräten - Endbericht. 2001, Umwelt Und Wasserwirtschaft Bundesministeriums Für Land- Und Forstwirtschaft.

D.4 Normatividades, responsabilidades y metas de recolección en distintos países europeos

Tabla 11: Panorama de la normatividad, responsabilidades y objetivos de recolección en algunos países europeos.

País	Normatividad	Categorías	Responsabilidades establecidas por la Normatividad			Objetivos de reciclaje
			Fabricantes e importadores	Minoristas y distribuidores	Municipios	
Bélgica	Las tres normativas regionales para la gestión de RAEE entraron en vigor en todo el país en febrero de 2001 a través de tres Acuerdos de Política Medioambiental.	7 categorías: Aparatos de refrigeración y congelación; electrodomésticos grandes; electrodomésticos pequeños; electrodomésticos de línea marrón; aparatos domésticos pequeños; equipos de informática y telecomunicaciones (IC); herramientas de jardinería.	Tienen la responsabilidad individual de aceptar sus propios productos o productos semejantes que les sean devueltos.	Deben recoger los RAEE de manera gratuita cuando vendan un producto semejante.	Las autoridades locales y regionales ponen sus parques de reciclaje y estaciones de transferencia regionales a disposición del sistema de gestión de los productores.	Índices de reciclaje: Electrodomésticos de línea blanca 90% Aparatos de refrigeración y congelación 70% Televisores y monitores 70% Otros 70%
Países Bajos	Decreto de 21 de abril de 1998, parcialmente en vigor desde el 1 de junio de 1998 y en plena vigencia desde el 1 de enero de 1999.	Catorce categorías (incluidos productos con CFC), regulados en dos fases: los aparatos grandes desde el 1 de enero de 1999 y el resto de categorías un año después.	Tienen que recuperar y reciclar: - RAEE de su propia marca en los puntos de recolección de las autoridades locales. - RAEE de su propia marca que les haga llegar una empresa de reparaciones. - RAEE que les haga llegar un minorista tras la venta de un producto "similar".	Tienen que recoger los RAEE que les entreguen los consumidores al adquirir un aparato nuevo. (Se prohíbe conservar con fines comerciales las neveras o congeladores que hayan sido desechados tras su uso.)	Desde julio de 1999 las autoridades locales deben proporcionar medios para la recolección selectiva de RAEE de hogares particulares, además de crear y mantener las instalaciones municipales de recolección. Deben responsabilizarse de los productos huérfanos y de clasificar los RAEE por marca antes de ponerlos a disposición del fabricante.	Índices de reciclaje: Televisores 69% Electrodomésticos grandes de línea blanca 73% Neveras y congeladores 75% Electrodomésticos pequeños 53%
Suecia	La Ordenanza sobre la Responsabilidad del Productor en los Productos Eléctricos y Electrónicos (2000:208) entró en vigor el 1 de julio de 2001.	Diez categorías, de las que se excluyen los frigoríficos y congeladores, puesto que sobre estos electrodomésticos existe una responsabilidad municipal.	Fabricantes, importadores y minoristas poseen una responsabilidad conjunta. Con la compra de un producto nuevo, están obligados a llevar al proveedor o a otro lugar designado al efecto, un producto semejante que le hayan entregado con la venta y que sirva básicamente para lo mismo que el producto vendido. Dicha obligación pretende recuperar tantos productos como los vendidos. Los productores pueden designar puntos de recolección adecuados previa consulta a las autoridades municipales.	Aquellos particulares que deseen deshacerse de productos eléctricos y electrónicos sin comprar uno nuevo deberán entregarlos a las autoridades locales para que se ocupen de su adecuada eliminación.	No hay.	

LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

País	Normatividad	Categorías	Responsabilidades establecidas por la Normatividad			Objetivos de reciclaje
			Fabricantes e importadores	Minoristas y distribuidores	Municipios	
Dinamarca	Reglamento del Ministerio de Medio Ambiente y Energía N° 1067 del 22 de diciembre de 1998, sobre la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.	La normativa abarca, esencialmente, los electrodomésticos de línea blanca, las radios y televisores, los equipos informáticos, los equipos de oficina y aparatos de vigilancia y control.	Pueden solicitar licencia a los ayuntamientos para recoger de manera gratuita sus propios productos o productos semejantes.	Pueden ofrecer servicios de recolección incluidos dentro de los sistemas municipales de gestión de residuos.	Garantizan la recolección de los RAEE, así como su envío a diversas empresas de tratamiento homologadas. Los ayuntamientos tuvieron hasta el 1 de julio de 1999 para dictar ordenanzas en las que se detallasen las normas y tareas de recolección y manipulación de los RAEE.	La normativa debería conseguir enviar a plantas de reciclaje 25.000 toneladas de RAEE.
Suiza	Reglamento sobre la devolución, recolección y eliminación de aparatos eléctricos y electrónicos (ORDEA) en vigor desde el 1 de julio de 1998.	El Reglamento se aplica a los aparatos que necesitan suministro eléctrico, nombrando específicamente: los aparatos electrónicos de consumo, los equipos de oficina, información y telecomunicaciones y los electrodomésticos.	Tienen que recoger los aparatos de su marca o de las marcas que comercialicen.	Deben recibir al cliente final sin ningún costo los aparatos usados semejantes a los que venden.	No tienen la obligación legal de recoger los RAEE, por lo que no están obligados a facilitar puntos de recolección ni otras instalaciones. Si así lo desean, las autoridades locales pueden hacerlo voluntariamente	No hay.
Noruega	La normativa referente a Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos promulgada el 16 de marzo de 1998 entró en vigor el 1 de julio de 1999.	No se han establecido categorías.	Deberán garantizar que todo AEE que entre en el mercado noruego será recogido al final de su vida útil y se reciclará o, en su defecto, será manipulado correctamente. Tienen la obligación de organizar la recolección gratuita de RAEE en aquellas zonas geográficas que correspondan con las zonas de venta o distribución de los productos mediante sistemas de logística adecuados.	Sólo tienen que aceptar RAEE de los productos que comercialicen en el momento de la entrega. La práctica del "nuevo por viejo" sólo funciona para los residuos generados por empresas. Todos los distribuidores y minoristas deben recoger los RAEE entregados por los consumidores gratuitamente.	Están obligados a recibir todos los RAEE a través de instalaciones accesibles. Pueden exigir una tasa por generación de residuos, aunque los residuos generados por hogares particulares tienen que ser sufragados con impuestos municipales.	En 1998 el Ministerio de Medio Ambiente firmó un acuerdo con el sector mediante el cual se estableció un objetivo de recogida de RAEE del 80% para el 1 de julio de 2004.
			Son los responsables de la correcta manipulación de los RAEE que se encuentren en su poder. Eso significa que deben clasificar y tratar las sustancias peligrosas, sin reducir las posibilidades de reciclaje.			

Fuente: Adaptación propia de ACRR, La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - Guía dirigida a Autoridades Locales y Regionales. 2003.

D.5 Alternativas de tratamiento

Monitores de tubos de rayos catódicos (TRC)

Tabla 12: Alternativas de tratamiento para los monitores de tubos de rayos catódicos (TRC)		
Alternativa	Descripción	Observaciones
Reciclaje para la fabricación de nuevos TRC (vidrio)	Para esta práctica se requiere la remoción de todos los componentes de la pantalla TRC y la separación del vidrio con contenido de plomo del vidrio sin plomo. El vidrio además debe ser limpiado.	La producción de pantallas TRC se está disminuyendo. Se estima que en países en vía de desarrollo la producción todavía prolonga aprox. 5 años (a partir de 2008).
Utilización como agente fundente en las fundiciones de plomo (u otros metales)	Se requiere el desensamble preliminar, particularmente el retiro de la caja plástica del monitor, ya que generalmente los fundidores no tienen sistemas del control de emisiones para la combustión del plástico. El vidrio usado para la fundición del plomo puede ser el vidrio mezclado del TRC que no es aceptable por los fabricantes del vidrio del TRC. Es esencial asegurarse de que la composición química de la escoria resultante puede ser utilizada en nuevas aplicaciones (como agregado de la construcción por ejemplo), o se puede también inmovilizar y disponer en un relleno de seguridad. El vidrio también puede ser incluido en los procesos de fundición de cobre, de zinc y de metales preciosos.	Requiere la presencia de una industria de plomo (u otras industrias de metalurgia).
Reciclado para la producción de vidrio espumoso	El uso de vidrio reciclado ya es común en este proceso. Según el proceso aplicado es posible usar hasta 20% de vidrio de TRC. El vidrio espumoso sirve para el aislamiento térmico y acústico y la estabilización del suelo.	El vidrio de TRC no se puede utilizar en todas las producciones de vidrio espumoso (dependiendo del productor).
Disposición en celdas de seguridad	Actualmente, en algunos países sin opciones de reuso de TRC, estos se disponen en celdas de seguridad.	Pérdida de recursos.

Fuente: Adaptación de los autores.

Pantallas de cristal líquido (LCD)

Tabla 13: Panorama de las alternativas de tratamiento para pantallas de cristal líquido (LCD).		
Alternativa	Descripción	Observaciones
Recuperación de Mercurio	La unidad de iluminación que contiene el mercurio debe ir a una planta especializada para la recuperación del mercurio (véase tubos fluorescentes).	Recuperación del mercurio e impedimento de su liberación.
Destilación al vacío	Por una destilación al vacío de las pantallas LCD los cristales líquidos se separan de otros materiales. Los cristales líquidos son	Tecnología costosa. El vidrio puede ser recuperado. Los cristales líquidos son separados y eliminados.

Alternativa	Descripción	Observaciones
	descompuestos. Antes del proceso principal las pantallas requieren la remoción de todos los componentes fijados (partes electrónicas, etc.) y subsecuentemente una trituración. El vidrio restante puede ser reciclado.	
Fundición	La pantalla (compuesto de cristal) puede ser desensamblada y ser dispuesta térmicamente en un fundidor para la recuperación del metal. Para esto son necesarias temperaturas superiores a 800° C a fin de asegurar la combustión completa.	Pérdida de recursos.
Incineración	Tanto la pantalla como la unidad de iluminación que contiene el mercurio, pueden ir a un incinerador para residuos peligrosos con controles de emisión adecuados. Para la eliminación de los cristales líquidos se requieren temperaturas superiores a 800°C. La planta debe estar dotada con controles adecuados de emisiones y debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	Pérdida de recursos. Varios componentes (p. ej. silicatos) sirven como creadores de escoria.

Fuente: Adaptación de los autores.

Condensadores con PCB

Tabla 14: Alternativas de tratamiento para condensadores con PCB [41].

Alternativa	Descripción	Observaciones
Separación de condensadores PCB y condensadores electrolíticos	Por diferencias de la densidad entre los dos tipos estos se pueden separar magnético-hidroestáticamente en un líquido de separación (la fracción con PCB tiene una densidad más alta). Para alcanzar una fracción de condensadores sin PCB, antes de la separación se deben sacar los componentes fijados a los condensadores que alteran la densidad de estos.	Resulta una fracción sin PCB. De una mezcla de condensadores que proceden de diferentes aparatos, sólo 5% del insumo al proceso contenían PCB (estudio alemán). Los materiales restantes pueden ser reciclados (aprox. 50% Al) lo que requiere un tratamiento ulterior antes de llegar a la fundición de Al.
Destilación al vacío	Por un acaloramiento y una disminución de la presión de aire los PCB evaporan/subliman y son recapturados por condensación. De los materiales restantes, el aluminio purificado se puede recuperar. Los aceites con los contaminantes requieren una disposición adecuada.	En 2001 solamente existía una planta en Japón. Tecnología costosa. Ningún pre-tratamiento es necesario. Otros componentes orgánicos volátiles son oxidados. Los metales están purificados y disponibles para la recuperación.
Tratamiento térmico	Los condensadores son tratados térmicamente. En este proceso, los condensadores sirven como fuente de aluminio para controlar la calidad de la escoria.	Ningún pre-tratamiento ni separación es necesario. Pérdida del aluminio, pero al menos esto reemplaza otro aluminio necesario para alimentar el proceso. El proceso vuelve los componentes orgánicos inertes.

Alternativa	Descripción	Observaciones
Incineración	Los condensadores que contienen, o pueden contener PCB deben ser incinerados a temperaturas altas, en instalaciones dotadas para el manejo de residuos peligrosos, con controles adecuados de emisiones y dando cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	Pérdida de los recursos (Al). El proceso vuelve los componentes orgánicos inertes. Para destruir completamente los PCB en procesos térmicos se tiene que garantizar una permanencia de 2 segundos como mínimo a una temperatura de 1.200 °C.
Relleno de seguridad	Disposición de los materiales contaminados en celdas de seguridad.	Pérdida de los recursos.
Exportación	En países cuya tecnología no cuenta con las condiciones requeridas para la incineración de PCB, éstos se deben enviar hacia países en los cuales exista.	Es necesario controlar las exportaciones según la normativa vigente y tener conocimiento de la empresa receptora en el extranjero.

Fuente: R. Gabriel, Behandlungsmöglichkeiten für ausgewählte Bauteile aus Elektroaltgeräten - Endbericht. 2001, Umwelt Und Wasserwirtschaft Bundesministeriums Für Land- Und Forstwirtschaft.

Condensadores electrolíticos

Tabla 15: Alternativas de tratamiento para condensadores electrolíticos.

Alternativa	Descripción	Observaciones
Separación de los electrolitos y recuperación mecánica (condensadores electrolíticos)	Los condensadores son triturados y a continuación los electrolitos son retirados de los condensadores en una prensa de alta presión. Los materiales restantes se recuperan mecánicamente (un condensador contiene aprox. 50% Al). Los líquidos electrolíticos requieren una disposición adecuada (según su composición). Es necesaria la remoción de los electrolitos antes de la recuperación mecánica.	Sólo para condensadores sin PCB (pre-tratamiento necesario). Recuperación de Al y reducción de las cantidades para la disposición.

Fuente: Adaptación de los autores.

Tarjetas de circuito impreso

Tabla 16: Alternativas de tratamiento para las Tarjetas de circuito impreso TCI.

Alternativa	Descripción	Observaciones
Separación mecánica	En el proceso mecánico se pulverizan los tableros y las fracciones materiales se separan por tipo por medio de varios métodos de proceso (separación magnética, separación de la corriente de Foucault, etc.). Generalmente no es posible quitar o sustituir algunos contaminantes (por ejemplo retardantes de llama en la materia prima de las tarjetas de circuitos) contenidas en el material.	<ul style="list-style-type: none"> No se generan escapes de gases contaminantes No es posible remover todos los contaminantes
Procesos de fundición	La ventaja de los procesos de fundición es que maximizan las producciones del metal. Después de la pulverización, las tarjetas se	<ul style="list-style-type: none"> Se produce un aprovechamiento térmico (energético) de los plásticos; solución ideal ya que un reciclaje es imposible debido a

Alternativa	Descripción	Observaciones
	calientan alrededor de 1250°C. Esto incinera todos los plásticos y una parte de los contaminantes. Los metales se funden y se pueden recuperar por separado por el refinamiento del metal específico. Este proceso debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	<p>la posible presencia de retardantes de llama</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se lleva a cabo una buena recuperación de metales • Los metales sin plástico se pueden transferir a plantas de fundición de cobre para recuperar los metales preciosos. • El proceso genera emisiones atmosféricas • Alto consumo de energía
Pirólisis	El objetivo de la pirólisis también es destruir la tarjeta para tener acceso a los metales para derretirse. Este proceso debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	<ul style="list-style-type: none"> • Se produce un aprovechamiento térmico (energético) de los plásticos; solución ideal ya que un reciclaje es imposible debido a la posible presencia de retardantes de llama • Se lleva a cabo una buena recuperación de metales • El proceso genera emisiones atmosféricas • Alto consumo de energía
Recuperación con procesos químicos	Los procesos de hidrometalurgia apuntan a separar fracciones del metal por medio de varios solventes (por ejemplo ácido nítrico, ácido sulfúrico, etc.) o corrosivos subsecuentes a la pulverización. Los metales pueden ser recuperados posteriormente por precipitación, extracción, filtración, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Es una manera rápida y fácil de recuperar valor de las tarjetas • El retorno económico es directo • Eficiencia relativamente baja • Requiere la disposición final adecuada de ácidos • Se logra la recuperación de pocos metales, pérdida del resto • La parte plástica de la tarjeta sigue por disponer
Recuperación en paneles de circuitos impresos	Daimler-Benz-Research ha desarrollado un método de recuperación por frío: El acero, al igual que los polímeros, se rompe cuando se enfría a -70 °C o menos, mientras que el cobre y el aluminio incrementan su dureza. Por eso, los paneles de circuitos impresos, cortados en piezas de 20 x 20 mm., se enfrían con nitrógeno líquido y se muelen en porciones aún más pequeñas con un molino de martillo, separándose los polímeros de las piezas metálicas. Además de enfriar, el nitrógeno impide que los polímeros se oxiden. La separación de las diferentes fracciones de recursos se efectúa por métodos convencionales, como imanes o separadores de corriente de Foucault, etc. El metal secundario se presenta de tal modo, que se puede separar relativamente fácil, y entonces se recicla.	<ul style="list-style-type: none"> • Separación relativamente fácil del metal secundario • Es necesario disponer los plásticos
Exportación	En países de Europa y Norteamérica, existen fundiciones especializadas para extraer el oro, el iridio y el resto de metales preciosos.	<ul style="list-style-type: none"> • Probablemente se realiza una recuperación más eficiente de recursos

Fuente: Adaptación de los autores.

Plásticos

Tabla 17: Alternativas de tratamiento para los plásticos.

Alternativa	Descripción	Observaciones
Reciclaje mecánico (Plásticos en general)	Trituración de los plásticos y posterior calentamiento para la peletización.	El reciclaje de plásticos para hacer nuevos productos, implica el uso del calor. Es importante aclarar que esta alternativa no es viable cuando se trata de plásticos con contenidos de retardantes de llama bromados.
Reciclaje químico (Plásticos en general)	Es el tratamiento de residuos plásticos mediante procesos fisicoquímicos, en los cuales las moléculas de los plásticos se rompen con el fin de obtener de ellos monómeros o productos con algún valor para la industria petroquímica y convertirlos nuevamente en materias primas. El reciclaje químico puede llevarse a cabo por diferentes procesos: pirólisis, hidrogenación, gasificación, extrusión degradativa y metanólisis. Algunos procesos de reciclaje químico, como la pirólisis, ofrecen la enorme ventaja de que no requieren de una separación por tipo de resina plástica, lo que permite aprovechar residuos plásticos mixtos. Entre los procesos químicos utilizados para el reciclaje de los plásticos, se encuentra también la metanólisis (un proceso de depolimeración), que reduce los plásticos viejos a sus componentes originales mediante la aplicación de calor y presión en presencia del metanol. Esta combinación no sólo ocasiona que las cadenas de los polímeros se rompan, dejando solamente monómeros, los cuales son purificados y re polimerizados en resina nueva; sino que permite la destrucción de contaminantes.	
Incineración con recuperación energética (Plásticos en general)	Es el proceso que mediante combustión controlada, aprovecha el alto contenido energético de los residuos plásticos como combustible alternativo. Aunque algunos plásticos puedan reciclarse, con ventajas para el medio ambiente, podría haber residuos del proceso de reciclaje que no puedan ser reciclados. En caso de que el reciclaje no pueda justificarse, la recuperación energética tal vez sea una forma eficaz en función de los costos de recuperar un valor intrínseco de los residuos plásticos. En este caso, la planta debe estar dotada con controles adecuados de emisiones y debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	
Incineración	En los países desarrollados los plásticos tienen que ser incinerados. Se puede considerar la	

Alternativa	Descripción	Observaciones
	posibilidad de incinerar el plástico que contenga retardantes de llama bromados teniendo en cuenta algunas especificaciones, como la combustión por encima de los 600 °C. La planta debe estar dotada con controles adecuados de emisiones y debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	

Fuente: Adaptación de los autores.

Componentes con mercurio

Tabla 18: Alternativas de tratamiento a nivel internacional para componentes con mercurio [41].

Alternativa	Descripción	Observaciones
Pretratamiento manual (interruptores en tubitos de vidrio)	En interruptores de contacto en los cuales el mercurio líquido está en ampollas de vidrio, el mercurio se vacía en un recipiente de plástico (con baja altura de caída). Juntar las gotas de mercurio con un pincel y recoger en un vaso recolector. El vidrio debe ser manejado como componente contaminado (p. ej. transferir a la destilación al vacío). Se debe cumplir con reglamentos de seguridad.	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación fácil y eficiente del mercurio • Costos relativamente bajos • Quedan residuos que requieren un tratamiento posterior
Destilación al vacío	A través de un calentamiento y una disminución de la presión de aire el mercurio evapora/sublima y es recapturado por condensación. Para la disgregación de mercurio revestido, tales componentes deben ser taladrados o hendidos. De acuerdo a las instalaciones: (1) sólo son tratados componentes de mercurio sin materiales orgánicos y (2) tubos fluorescentes también pueden ser manejados.	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación completa del mercurio • Tecnología costosa • Pre-tratamiento necesario
Tratamiento térmico con recuperación de mercurio	Los componentes con mercurio son tratados térmicamente. Disgregación de los componentes por acaloramiento, ningún pre-tratamiento es requerido (sólo para interruptores gruesamente revestidos). La planta debe ser dotada con controles adecuados de emisiones y debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación alta o completa del mercurio (dependiendo de la planta de tratamiento) • Ningún pre-tratamiento requerido • Tecnología costosa
Relleno de seguridad	Disposición de los materiales contaminados con mercurio en celdas de un relleno de seguridad. Dependiendo del relleno se debe cumplir con estándares en cuanto a empaque y calidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de todos los recursos • Costos de disposición

Fuente: R. Gabriel, Behandlungsmöglichkeiten für ausgewählte Bauteile aus Elektroaltgeräten - Endbericht. 2001, Umwelt Und Wasserwirtschaft Bundesministeriums Für Land- Und Forstwirtschaft.

Tubos fluorescentes

Tabla 19: Alternativas de tratamiento para los tubos fluorescentes [41].

Alternativa	Descripción	Observaciones
Destilación al vacío	Por calentamiento y disminución de la presión de aire el mercurio evapora/sublima y es recapturado por condensación.	<ul style="list-style-type: none"> Permite el reciclaje de materiales sin contaminación. Recuperación completa del mercurio Tecnología costosa
Tratamiento térmico con recuperación de mercurio	Los tubos fluorescentes pueden ser tratados térmicamente, para esto las instalaciones deben estar dotadas de sistemas adecuados para el control de emisiones y debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación alta o completa del mercurio (dependiendo de la planta de tratamiento) Posible reciclaje de otros materiales (dependiendo de la planta de tratamiento) Ningún pre-tratamiento requerido Tecnología costosa
Relleno de seguridad	Disposición de los tubos fluorescentes en celdas de un relleno de seguridad. Dependiendo del relleno se debe cumplir con ciertos estándares en cuanto a empaque y calidad.	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de los recursos Costos de disposición

Fuente: R. Gabriel, Behandlungsmöglichkeiten für ausgewählte Bauteile aus Elektroaltgeräten - Endbericht. 2001, Umwelt Und Wasserwirtschaft Bundesministeriums Für Land- Und Forstwirtschaft.

D.6 Información técnica adicional

Tubos de imagen

Tabla 20: Comparación de la composición de los vidrios de pantalla y vidrio de cono [42].

en % Óxido	Vidrio de pantalla			Vidrio de cono			Vidrio normal
	mín.	máx.	Variación	mín.	máx.	Variación	
SiO ₂	58,9	65,4	6,5	51,2	63,5	12,3	72,0
Al ₂ O ₃	1,2	3,7	2,5	1,1	5,0	3,9	2,0
Na ₂ O	6,2	9,8	3,6	5,3	8,1	2,8	14,0
K ₂ O	6,0	9,0	3,0	7,2	10,3	3,1	1,0
Li ₂ O	0,0	0,5	0,5	-	-	-	-
F	0,0	0,8	0,8	-	-	-	-
BaO	1,9	14,2	12,3	0,0	3,0	3,0	-
SrO	0,0	11,6	11,6	0,2	0,7	0,5	-
CaO	0,0	4,6	4,6	1,6	4,5	2,9	10,0
MgO	0,0	2,0	2,0	0,9	3,0	2,1	-
As ₂ O ₃	0,0	0,3	0,3	0,0	0,2	0,2	-
Sb ₂ O ₃	0,2	0,7	0,5	0,0	0,4	0,4	-
TiO ₂	0,0	0,6	0,6	-	-	-	-
CeO ₂	0,0	0,6	0,6	-	-	-	-
PbO	0,0	3,3	3,3	11,6	24,6	13,0	-
ZrO ₂	0,0	3,5	3,5	0,2	0,2	0,0	-
ZnO	0,0	0,7	0,7	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0,0	0,1	0,1	-	-	-	-

Fuente: Adaptación de los autores. Fuente principal: Wikipedia.

Tipos de plásticos

Tabla 21: Resumen de los diferentes tipos de plásticos y su código de reciclaje correspondiente.

	Nombre	Descripción	CR	Aplicación
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene / Acrilonitrilo Butadieno Estireno (TP)	Como los HIPS, el ABS también es un copolímero. Los polímeros del ABS son el copolímero de acrilonitrilo y estireno endurecido por el polibutadieno. Resistente a altos impactos. Aspecto y propiedades variables según los aditivos.	7	Línea marrón, TIC (carcasa y partes interiores), La mayoría de carcasas de televisores, radios, computadoras, ratones, impresoras
PVC	Polyvinylchloride / Cloruro de polivinilo (TP)	En forma pura: blanco, duro y quebradizo. Buena resistencia eléctrica y a la llama. Propiedades totalmente variables según los numerosos aditivos aplicables.	3	Conducto y envoltura de cables
HIPS	High Impact Polystyrene / Poliestireno de alto impacto (TP)	Copolímero con poliestireno y polibutadieno. Duro y rígido. Resistente a altos impactos. Aspecto y propiedades variables según los aditivos.	6	Carcasas de aparatos electrónicos
PP	Polypropylene / Polipropileno (TP)	En forma pura: blanco-incoloro. Ligero, semi-rígido, buena dureza, buena resistencia al calor, buenas propiedades eléctricas, superficie dura y lustrosa. Aspecto y propiedades variables según los aditivos.	5	Línea marrón, TIC
PPO	Poly(p-phenylene oxide) / Poli(p-fenileno óxido) (TP)	Quebradizo, por eso a menudo en mezcla con HIPS.	7	
EP resins	Epoxy Resins (Polyether) / Resina Epoxi o poliepóxido (TE)	Aislador. Claro, rígido, muy duro, resistente a químicos	-	Capas aislantes del TCI, transistores, circuitos integrados (chip)
PC	Polycarbonate / Policarbonato (TP)	Transparente, resistente a altos impactos, buenas propiedades eléctricas. Aspecto y propiedades variables según los aditivos.	7	Carcasas de aparatos TIC
PA	Polyamid / Poliamida (TP)	En forma pura: blanco o ligeramente amarillo. Alta dureza, rigidez y tenacidad. Resistente al calor, a químicos y a la abrasión. Aspecto y propiedades variables según los aditivos. Identificable quemándolo: llama azul con margen amarillo, mientras el material forma espuma y márgenes marrones-negros.	7	
HDPE (PEAD)	High Density Polyethylene / Polietileno de Alta Densidad (TP)	Duro, tenaz y opaco. Más rígido que el PE de baja densidad. Muy buena resistencia a alto impacto. Aspecto y propiedades variables según los aditivos.	2	
PUR	Polyurethane / Poliuretano (TP)		7	
PC/ABS	(TP)	Combina las propiedades de PC y ABS: resistente a altos impactos, superficie resistente al rayado, de aspecto opaco, rigidez y dureza.	7	

TP = termoplástico
TE = termoestable

Fuente: Adaptación de los autores. Fuente principal: Wikipedia.

Código de reciclaje

Con el fin de facilitar y posibilitar el reciclaje de materiales plásticos, la asociación de la industria plástica (inglés: Society of the Plastics Industry⁵ – SPI) en el año 1988 desarrolló el código de reciclaje (CR). La idea es que los materiales en un producto lleven el símbolo correspondiente para que puedan ser identificados y separados fácilmente. Este código de reciclaje cubre, además de muchos otros materiales, también los termoplásticos y los clasifica en 7 categorías. La razón por la cual los termoestables no son incluidos es porque estos no se consideran reciclables. Los símbolos, las abreviaciones y los nombres de los diferentes termoplásticos se pueden observar en la siguiente gráfica.

Ilustración 103: Código de reciclaje. Fuente: www.wikipedia.com



D.7 Bibliografía

- [1] Oecd, OECD Information Technology Outlook. 2004,
- [2] M. Cobbing, Toxic Tech: Not in our backyard, Uncovering the Hidden Flows of e-Waste. 2008, Greenpeace.
- [3] J. Huisman, et al., 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - Final Report. 2007, Aea Technology United Nations University, Gaiker, Regional Environmental Centre for Central and Eastern Europe, Delft University of Technology, for the European Commission.
- [4] J. Puckett and T. Smith, Exporting Harm: The high-tech trashing of Asia. 2002, Silicon Valley Toxics Coalition.
- [5] S. Schwarzer, et al., E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use. 2005, Unep.
- [6] B. Steubing, e-Waste generation in Chile, situation analysis and estimation of actual and future computer waste quantities using material flow analysis. 2007, Federal Institute of Technology (EPFL) / Federal Institute for Material Testing and Research (EMPA): Lausanne / St.Gallen, Switzerland.
- [7] H. Boeni, U. Silva, and D. Ott, E-Waste Recycling in Latin America: Overview, Challenges and Potential, in REWAS. 2008: Cancún.
- [8] K. Ripley, Reaching critical mass - A movement toward addressing electronic waste in Latin America and the Caribbean has been slowly but steady, as more countries look for a common policy. 2008, Resource Recycling.
- [9] D. Ott, Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia: Diagnóstico de Computadores y Teléfonos Celulares. 2008, Federal Institute for Material Science and Research (Empa).
- [10] Cim, Estudio de Hábitos de Uso y Manejo de Aparatos y Equipos Electrónicos y sus Partes. 2008, Centro De Investigación De Mercados.
- [11] Oecd, Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments. 2001, Oecd.
- [12] Swico, Jahresbericht 2007. 2007, Swico.
- [13] S. Gmuender, Recycling - From waste to Resource: Assessment of optimal manual dismantling depth of a desktop PC in China based on eco-efficiency calculations. 2007, Federal Institute of Technology (ETH) / Federal Institute for Material Science and Research (Empa).
- [14] H. Aguirre and J. Fitzgerald, Un Manual para la Gestión de Residuos y Componentes Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe. Manual para el Emprendedor - Parte 1. 2007, Idrc.
- [15] R. Widmer, et al., Global perspectives on e-waste. Environmental Impact Assessment Review, 2005. 25(5): p. 436-458.

⁵ Society of the Plastics Industry: www.plasticsindustry.org

- [16] K. Bridgen, Recycling of Electronic Wastes in China & India: Workplace and Environmental Contamination. 2006, Greenpeace.
- [17] C. Hagelüken, The Challenge of Open Cycles – Barriers to a Closed Loop Economy Demonstrated for Consumer Electronics and Cars, in R'07 World Congress Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency. 2007.
- [18] T. Lindqvist, Extended Producer Responsibility in Cleaner Production: Policy Principles to Promote Environmental Improvements of Product Systems. 2000, IEEE Lund University.
- [19] P. Manomaivibool, T. Lindqvist, and N. Tojo, Extended Producer Responsibility in a non-OECD context: The management of waste electrical and electronic equipment in India. 2008, Greenpeace.
- [20] ACRR, La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - Guía dirigida a Autoridades Locales y Regionales. 2003,
- [21] C. Marthaler, Computadores para Escuelas: Análisis de sostenibilidad de las estrategias de suministro en países en vía de desarrollo. 2008, Federal Institute for Material Science and Research (EMPA) / Federal Institute for Technology (ETH). (Summarized and translated into Spanish by D. Ott)
- [22] H. Boeni, et al., Computer for schools in developing countries - Decision making tool for sustainable supply strategies, in Electronic Goes Green. 2008: Berlin.
- [23] R. Gabriel, Leitfaden für die Behandlung von Elektro- und Elektronikgeräten. 2000, Umwelt Und Wasserwirtschaft Bundesministerium Für Land- Und Forstwirtschaft.
- [24] J. Macgibbon and L. Zwimpfer, e-Waste in New Zealand - Taking Responsibility for End-of-Life Computers and TVs. 2006,
- [25] B. Blum, Schadstoffe in elektrischen und elektronischen Geräten. Emissionsquellen, Toxikologie, Entsorgung und Verwertung. 1996, Heidelberg: Springer Verlag, Berlin.
- [26] U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook 2006 - Indium. 2008,
- [27] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt Auva, Maximale Arbeitsplatzkonzentration gesundheitsschädlicher Stoffe. 1995, Wien.
- [28] M. Barghoom, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben PCB-Kleinkondensatoren, im Auftrag des Senators für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin. 1988.
- [29] K. Freegard, G. Tan, and R. Morton, Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers - Final Report. 2006, The Waste & Resources Action Programme (Wrap).
- [30] M. Schlummer, et al., Characterisation of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management. Chemosphere 67, 2007: p. 1866–1876.
- [31] M. Wolf, Flammschutzmittel und Schwermetalle in Kunststoffen, in Umweltrelevante Inhaltsstoffe elektrischer und elektronischer Altgeräte (EAG) bzw. Bauteile und Hinweise zu deren fachgerechten Entsorgung. 2005.
- [32] M. Schlögl, Recycling von Elektro- und Elektronikschrott. 1995, Würzburg: Vogel Buchverlag.
- [33] M. Hieber and M. Homberger, Entwicklung von Handlungshilfen für Kommunen zur Elektro- und Elektronik-Altgeräteentsorgung. Luft Boden Abfall. Vol. Band 53. 1998: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg.
- [34] Laga, Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten. 1998,
- [35] Wikipedia. Batterierecycling. 2009 [cited 2009 27 de enero]; Available from: http://de.wikipedia.org/wiki/Batterierecycling#Techniken_des_Batterierecyclings.
- [36] H. Von Blottnitz, What to do with end-of-life batteries in Cape Town? - Identification of suitable technology. 2002, University of Cape Town Department of Chemical Engineering, Sa.
- [37] Recycling Magazin. Verbessertes Recycling von Tonerkartuschen. 2008 [cited 2009 29 de enero]; Available from: http://www.recyclingmagazin.de/rm/news_detail.asp?ID=8895&MODE=3&NS=1.
- [38] Druckerchannel. Workshops Drucker Refill. 2009 [cited 2009 11 de febrero]; Available from: .
- [39] Artikel Online. Was bei Toner-Refill zu beachten ist. 2005 [cited 2009 10 de febrero]; Available from: <http://www.artikel-online.de/Artikel/Computer/toner-refill.aspx>.
- [40] F. Seddigh, U. Büll, and T. Rödiger, Stand der Entsorgung von elektrischen und elektronischen Kleingeräten in der Bundesrepublik Deutschland, Texte61/96. 1996, Umweltbundesamt Berlin.
- [41] R. Gabriel, Behandlungsmöglichkeiten für ausgewählte Bauteile aus Elektroaltgeräten - Endbericht. 2001, Umwelt Und Wasserwirtschaft Bundesministeriums Für Land- Und Forstwirtschaft.
- [42] Icer, Materials recovery from waste cathode ray tubes (CRTs). 2004, The Waste & Resources Action Programme Wrap.

Sitios web de interés

Organizaciones e Instituciones internacionales

- Agencia Ambiental de Estados Unidos
www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/recycle/ecycling/index.htm
- Agencia Ambiental Europea
www.eea.europa.eu
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
www.atsdr.cdc.gov
- Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje y la Gestión Sostenible de los Recursos
www.acrplus.org/technical-reports
- Asociación Sudafricana de e-Waste (eWASA)
www.ewasa.org
- Basel Action Network
www.ban.org
- Iniciativa StEP Naciones Unidas
www.step-initiative.org
- Cátedra RELEC – Electrónica, Comunicaciones y Sostenibilidad
www.relec.es
- Convenio de Basilea
www.basel.int
- Convenio de Estocolmo
www.pops.int
- Electronic Product Environmental Assessment Tool – EPEAT
www.epeat.net
- EMPA – Materials Science and Technology
www.empa.ch/sustec
- E-Waste Guide “Swiss e-waste Programme”
www.ewasteguide.info
- Green Electronics Council
www.greenelectronicscouncil.org
- Individual Producer Responsibility Works
www.iprworks.org
- International Association of Electronics Recyclers
www.iaer.org
- Plataforma RELAC de SUR/IDRC
www.residuoselectronicos.net
- Programa de la UE ENERGY STAR
www.eu-energystar.eu
- Protocolo de Montreal
www.ozone.unep.org
- Reciclemos (Fundación Quipus)
www.reciclemos.net
- Swiss e-waste Competence Network
www.e-waste.ch
- The Association of Collective WEEE take back systems in Europe
www.weee-forum.org
- Recycling Trainer
www.recycling-trainer.de

Entidades Gubernamentales Colombianas

- Comisión de Regulación de Telecomunicaciones – CRT

- www.crt.gov.co
- Computadores para Educar
www.computadoresparaeducar.gov.co
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE
www.dane.gov.co
- Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN
www.dian.gov.co
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT
www.minambiente.gov.co
- Ministerio de Comunicaciones
www.mincomunicaciones.gov.co
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
www.ideam.gov.co

Organizaciones y Asociaciones Colombianas

Asociación de la Industria Celular en Colombia – ASOCEL
www.asocel.org.co

- Asociación Nacional de Empresarios – ANDI
www.andi.com.co
- Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones – CCIT
www.ccit.org.co
- Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales – CNPMLTA
www.cnpml.org
- Desechos.net
www.desechos.net
- Federación Nacional de Comerciantes – FENALCO
www.fenalco.com.co
- Iniciativa RAEE Colombia
www.raee.org.co
- Parque Tecnológico de Antioquia – PTA
www.parquepta.org

Siglas, Abreviaturas y Acrónimos

AEE	Aparatos eléctricos y electrónicos	OPC	Organic photo conductor (Fotoconductor orgánico)
BAN	Basel Action Network o Red de Acción de Basilea	PC	Personal computer (Computador personal)
CIM	Centro de investigación de mercados	PCB	Policloruros de bifenilo
CPE	Computadores para Educar	PED	Procesamiento electrónico de datos
CPU	Central processing unit (Unidad de procesamiento central)	PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
EMPA	Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research	RAEE	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (equivale a WEEE o e-waste)
GEEP	Global Electric Electronic Processing	SWICO	Asociación Suiza de la Tecnología de Información y Telecomunicación
LAC	Latinoamérica y el Caribe	TCI	Tarjeta de circuito impreso
LCD	Liquid crystal display (Pantalla de cristal líquido)	TIC	Tecnologías de la información y las comunicaciones
LED	Light emitting diode (Diodo emisor de luz)	TRC	Cathode ray tube (Tubo de rayos catódicos)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico	UNU	Universidad de las Naciones Unidas
OEM	Original equipment manufacturer (Fabricante de equipo original)	WEEE	Waste electric and electronical equipment (equivale a RAEE o e-waste)
ONU	Organización de las Naciones Unidas		



Libertad y Orden

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Viceministerio de Ambiente
Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible

República de Colombia

2 0 1 1