

Guía de Desmontaje

Resíduos de aparatos
eléctricos y electrónicos

Xavier, Lúcia Helena

Guía de desmontaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos / Lúcia Helena Xavier (org.);
Raíssa André de Araujo (trad.).

_ Rio de Janeiro: CETEM / MCTIC, 2020.

42p.

1. Reciclaje. 2. Residuos eléctricos y electrónicos.

I. Centro de Tecnología Mineral. II. Título

1. Reciclaje (PE). I. Título

Cómo hacer referencia a este trabajo:

XAVIER, L.H., OTTONI, M. S.O., GOMES, C. F., ARAUJO, R.A. Guía de desmontaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Rio de Janeiro: CETEM, 2020.

Equipo Técnico:

R3MINARE / CETEM

Lúcia Helena Xavier

Marianna Ottoni

Raíssa Araujo

Carlos Francisco Gomes

STI / USP

Marcos Nogueira

Neuci Bicov

LAREX/USP

Denise Espinosa

Jorge Tenório

Colaboradores:

Vertas

Instituto GEA

1

Presentación

2

Residuos eléctricos y electrónicos y sistemas de logística reversa

3

El desmontaje de residuos eléctricos y electrónicos

4

Consideraciones finales

5

Equipo Técnico

6

Referencias Bibliográficas

1

Presentación

La gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) representa un desafío para los gerentes y tomadores de decisiones. Esto se debe al hecho de que son residuos que pueden caracterizarse como peligrosos, debido a su composición con sustancias nocivas para la salud humana y el medio ambiente. Por otro lado, dichos residuos contienen elementos con alto valor de mercado y difícil prospección, como oro, plata, platino, entre otros, lo que justifica, de esta forma, una gestión especial de RAEE por medio de prácticas estratégicas de destino ambientalmente apropiado con la recuperación del valor a través de la minería urbana.

Como técnicas de desmontaje manual no destructivas, dos residuos eléctricos y electrónicos se consideran opciones más detalladas y efectivas para la recuperación de materiales valiosos, ya que se basan en la segregación visual y la experiencia del trabajador. Para garantizar el máximo grado de recuperación posible para los RAEE, se configuran técnicas de desmontaje no destructivas, según corresponda, para evitar que la mezcla de material, promoviendo la recuperación de materiales y contribuyendo a la inclusión social propuesta por la Política Nacional de Residuos Sólidos brasileña (PNRS). Por otro lado, la destrucción de estos residuos utilizando técnicas destructivas generaría una mezcla de componentes, luego aumentaría la dificultad de la separación de estos dos elementos valiosos con los de bajo valor de mercado en la industria.

Por lo tanto, esta guía tiene como objetivo orientar a las empresas, cooperativas y asociaciones de recicladores, profesionales de la educación ambiental, entre otros, con respecto a los procedimientos básicos y apropiados para el desmontaje manual de los RAEE, en particular, los equipos de tecnología de la información (TI) y telecomunicaciones. Para este fin, este manual se ha dividido en seis partes:

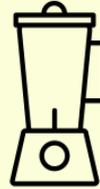
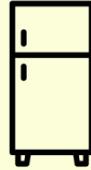
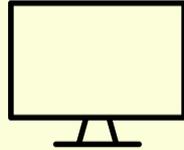
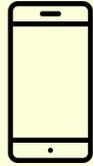
- i)** Presentación de la guía, con sus justificaciones y objetivos;
- ii)** Enfoque teórico con conceptos básicos sobre RAEE, así como la regulación de estos residuos en Brasil;
- iii)** Procedimientos generales de desmontaje de RAEE, señalando los casos particulares residuos de TI y telecomunicaciones, presentación de técnicas para recuperar materia prima secundaria;
- iv)** Consideraciones finales, presentando los desafíos del segmento RAEE en Brasil, además de las contribuciones de esta guía y los próximos pasos;
- v)** Presentación del equipo técnico responsable de preparar esta guía, y
- vi)** Referencias bibliográficas

2

Residuos eléctricos y electrónicos y Sistemas de Logística Reversa

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) son los que resultan del consumo de productos que requieren energía (corriente eléctrica o acumuladores - baterías) para su funcionamiento.



Debido a sus particularidades, como su composición multimaterial y sustancias que son nocivas y valiosas para el mercado, este tipo de residuo se considera especial y requiere un manejo diferenciado.

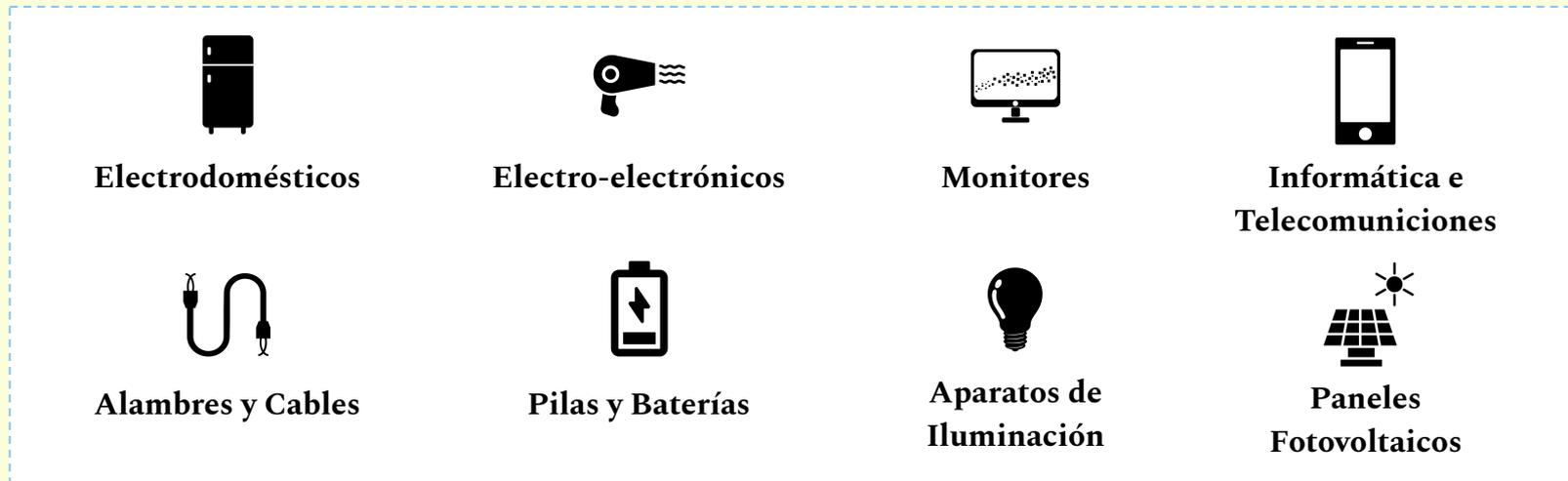
A pesar de la variedad de componentes, los RAEE, en general, consisten principalmente en metales ferrosos, aluminio, cobre y plásticos y, en metales pesados más en pequeñas cantidades, pero no menos impactantes (ARDI, 2016), sustancias que son altamente perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, cuando se descarta de manera inapropiada.

Los aparatos eléctricos y electrónicos también tienen elementos de alto valor agregado, como oro, plata, paladio, los llamados metales preciosos. Además de estos, ellos tienen en su composición metales de menor valor agregado, tales como cobre y aluminio, además de metales con potencial de riesgo ambiental como cromo, cadmio, mercurio y plomo.

De esta manera, se entiende que el manejo de RAEE no solo es necesario para evitar la contaminación y los impactos ambientales, sino también como una estrategia para recuperar estos valiosos elementos nuevamente en la cadena de producción. Los metales preciosos corresponden al 80% del valor intrínseco del equipo, sin embargo, no alcanzan el 1% del peso total (ABRACI, 2010 apud DE MORAES et al, 2014). La idea de utilizar RAEE como nuevas fuentes para la extracción de minerales estratégicos, como el oro y la plata, se ha fortalecido en el mercado productivo en los últimos años y se ha llamado minería urbana, una forma más sostenible de extraer materias primas. Conceptualmente, la minería urbana es la recirculación o el reciclaje de productos y materiales posteriores al consumo en forma de materia prima secundaria, como una forma de minimizar los impactos ambientales, valorar los residuos, y crear y optimizar beneficios económicos a favor de un medio ambiente sostenible. (XAVIER & LINS, 2018).

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Una propuesta para la clasificación de RAEE, adaptada de Xavier et al (2017), considera ocho categorías:



Esta propuesta para la clasificación de RAEE considera pilas, baterías y lámparas, además de destacar algunos componentes interesantes para los mercados de reacondicionamiento, remanufactura, recuperación y reciclaje, como alambres y cables, que son muy valiosos debido a la importante presencia de cobre en su composición. Los paneles fotovoltaicos también deberían incluirse pronto en esta categorización, debido a la mayor disposición de estos productos post-consumo.

[Ley de Crímenes Ambientales n° 9.605/1998](#)

[Política Nacional de Residuos Sólidos n° 12.305/10](#)

[Decreto n° 7.404/10 - Regula la Política Nacional de Residuos Sólidos](#)

[Decreto n° 9.177/2017 - Regula art. 33 de Ley n°12.305/10 y cambia Decreto n° 9177/2017](#)

[Decreto n° 9.373 / 2018 - Bienes muebles en el ámbito de la administración pública federal directa, autárquica y fundacional](#)

[Acuerdo sectorial para logística reversa de residuos eléctricos y electrónicos](#)

[Decreto No. 10.240 / 2020 - Regula la implementación de un sistema de logística reversa para productos eléctricos y electrónicos y sus componentes para uso doméstico](#)

Los Sistemas de Logística Reversa (SLR)

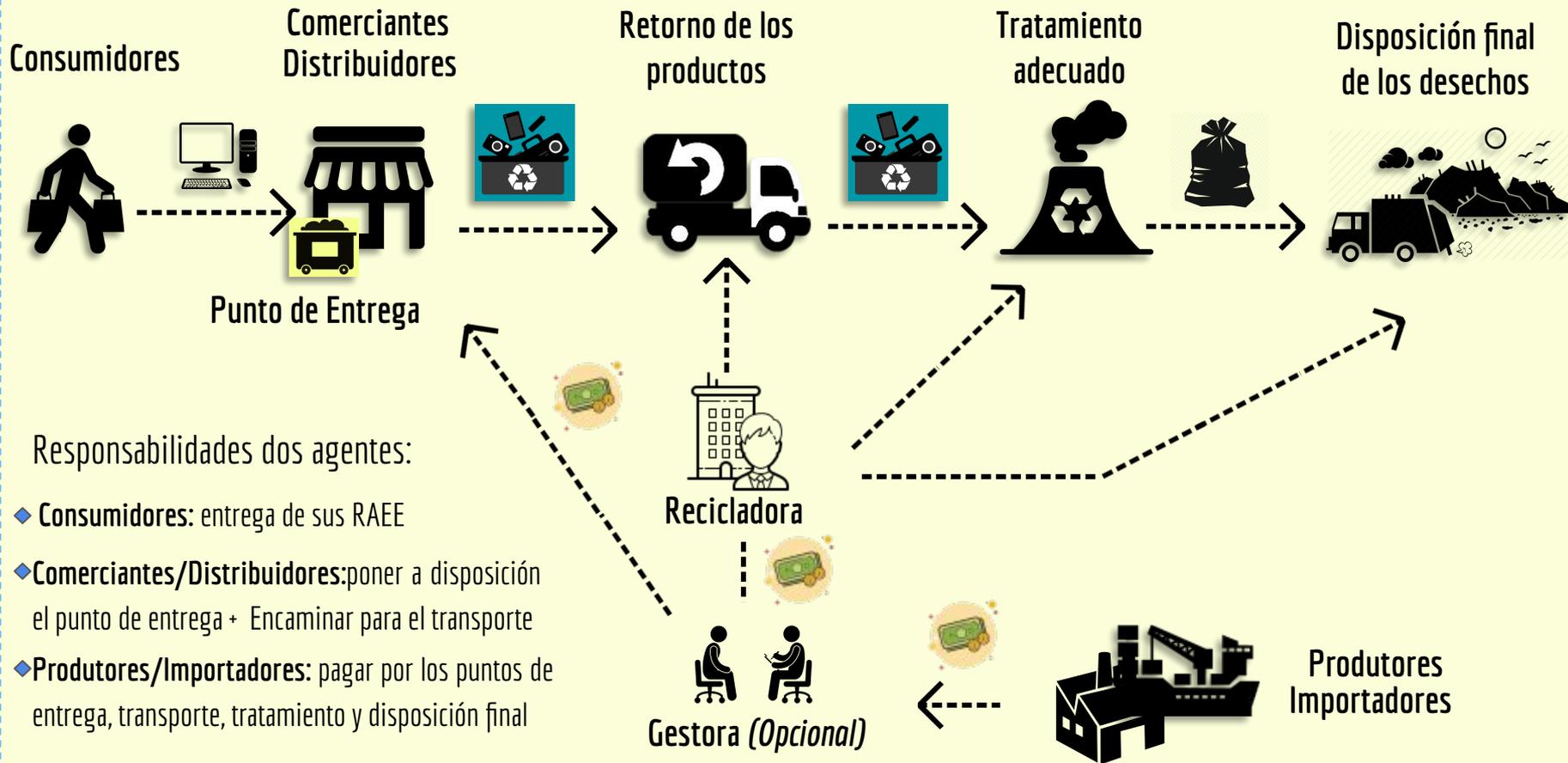
Basado en el concepto de [responsabilidad compartida por el ciclo de vida](#), establecido por el [PNRS](#), se entiende que, en logística reversa, cada agente tiene responsabilidades específicas. En general, los consumidores son responsables de desechar los residuos adecuadamente, segregar las categorías y desecharlos en un lugar apropiado o devolverlos al comerciante; mientras que los comerciantes, distribuidores, industrias productoras e importadores (cadena directa) son efectivamente responsables de la implementación de los sistemas de logística reversa (SLR) [\(Xavier et al.,2013\)](#).

Las SLR consisten en modelos estructurados para cada clase de materiales y productos post-consumo, con el fin de permitir la recolección, el embalaje, el transporte, el procesamiento y la destinación ambientalmente apropiados, como las opciones de reutilización, reparación, reacondicionamiento, remanufactura, manufactura inversa y reciclaje. (Xavier et al., 2017).

Extender la vida útil de los productos es la primera alternativa a considerar de acuerdo con el concepto de [Economía Circular](#) (URBINATI et al, 2017). Las otras alternativas, incluido el reciclaje, consisten en técnicas que requieren un mayor o menor grado de desmontaje de productos con el fin de reutilizar piezas, partes y componentes. El reciclaje, a su vez, requiere el desmontaje o destrucción de productos con el objetivo de reutilizar materiales a través de técnicas de minería urbana, un concepto que ha ido ganando fuerza desde la última década.

Después de la eliminación, en logística primaria, el transporte se realiza con el producto intacto. Sin embargo, para los pasos posteriores, el desmontaje contribuye a la eficiencia logística y la optimización de las rutas hacia el destino, en logística secundaria.

Los Sistemas de Logística Reversa (SLR)



Procedimientos Logísticos

15

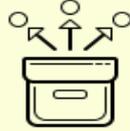
Recibimiento



Almacenamiento



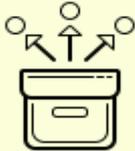
Segregación de materiais



Venta



Segregación de equipos



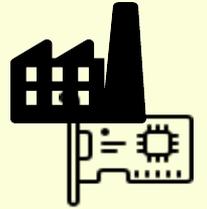
DESMONTAJE



Almacenamiento



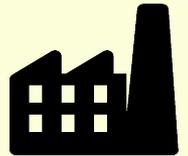
Destinación final



Trituración



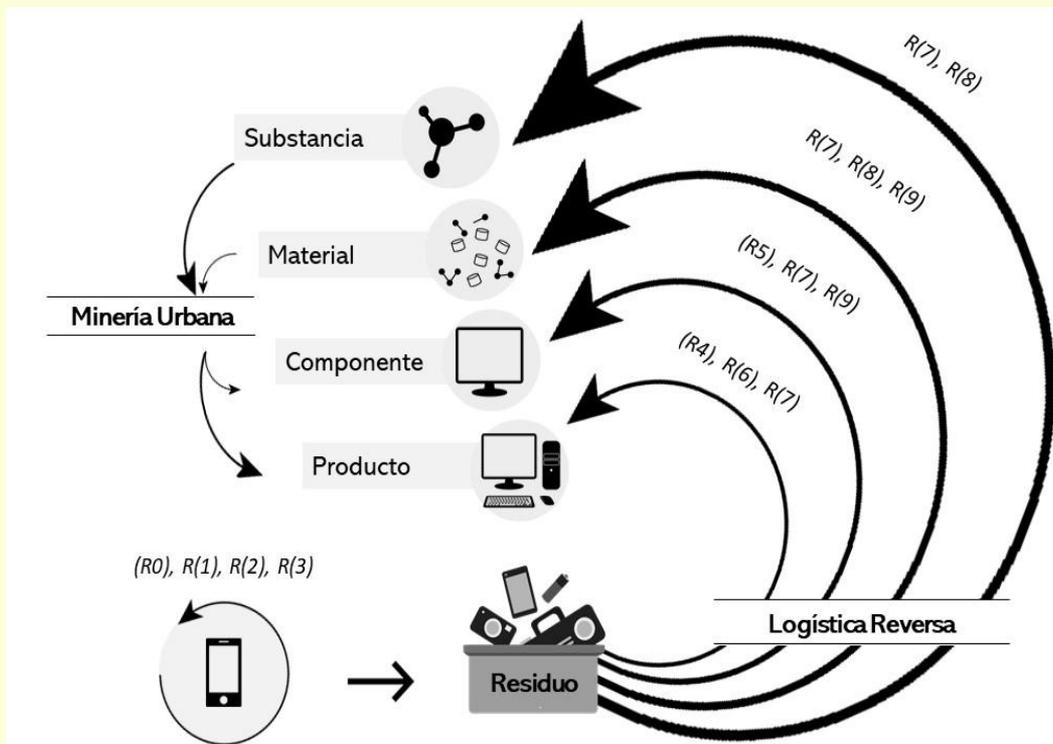
Segregación de materiais



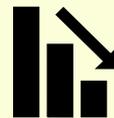
Destinación final

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

16



R0: RECHAZAR



R1: REDUCIR



R2: REUTILIZAR



R3: REPARACIÓN



R4: RECONDICIONAR



R5: REMANUFACTURAR



R6: REPROPONER



R7: RECICLAR



R8: RECUPERAR (ENERGÍA)



R9: REMINAR

FONTE: OTTONI ET AL., 2020

16

3

El Desmontaje de los Residuos

¿Por qué desmontar RAEE?

Debido a la composición heterogénea (multimaterial) de cada RAEE, se entiende el potencial para agregar valor separando las diferentes partes de este desecho. El desmontaje es pensado para separar las partes que se pueden usar, con el propósito de comercialización, además de facilitar el destino final correcto de cada tipo de material para su futura reutilización / reciclaje.

Tipos de desmontaje

El desmontaje para la compactación de la carga y la destinación ambientalmente adecuada puede ser:

- a) *Destructivo*: sin considerar la preservación de partes y componentes, o la necesidad de segregación de materiales;
- b) *No destructivo*: considera el procedimiento de desmontaje inverso para preservar materiales y componentes.

Costo de desmontaje

Es difícil estimar el costo de desmantelar el equipo debido a los diferentes materiales. Además, para la composición del costo, se debe considerar el transporte del producto postconsumo, la mano de obra y el almacenamiento.

Regulación de desmontaje

No existe una regulación específica sobre el desmantelamiento de RAEE. Sin embargo, deben observarse las normas de seguridad laboral, así como las sanciones derivadas de una logística inadecuada en toda el destino ([Ley de Crímenes Ambientales– Artículo n° 56](#)).

¿Cómo deshacerse de los RAEE?

De acuerdo con el [Acuerdo Sectorial](#), los aparatos eléctricos y electrónicos posteriores al consumo deben ser descartados por el consumidor, siempre apagados y sin datos personales. En el caso de pilas, baterías y lámparas, deséchelas por separado.

En caso de contratar el servicio de destino, puede haber un servicio conjunto de destrucción de datos o un acuerdo para restringir el uso de RAEE.

4.1. Criterios para el desmontaje no destructivo

El método de desmontaje no destructivo de RAEE adoptado por CETEM utilizó algunos criterios:

- **Categoría RAEE**
- **Entorno de desmontaje**
- **Herramientas**
- **Condiciones para el trabajador**

4.1.1. Categoría de RAEE

Los productos post-consumo deben estar segregados por categorías, para optimizar el proceso de desmontaje, ya que cada categoría, debido a sus particularidades, requiere diferentes métodos y herramientas.

Por lo tanto, debido al mayor valor agregado y mayor disponibilidad en el mercado, las categorías consideradas en esta guía se refieren a las tipologías de:

- **Monitores (CRT y LCD)**
- **Informática y Telecomunicaciones (gabinetes e impresoras)**
- **Alambres y cables**

4.1.2. Entorno de Desmontaje

Ciertos criterios capaces de proporcionar seguridad al trabajador y mejorar su desempeño deben considerarse durante la preparación del sitio de desmantelamiento. El entorno de desmontaje debe estar cerrado debido a intempéries y debe evaluarse los siguientes parámetros:

- **Iluminación adecuada**
- **Ventilación adecuada**
- **Bancada alargada para desmontaje (cubierta con láminas de EVA u otros aislantes)**

Por lo tanto, es necesario tener un ambiente ventilado, ya que algunas partes del equipo, cuando se desmantelan y/o dañan/rompen, pueden liberar gases tóxicos u malos olores, además de la necesidad de una buena iluminación, ya que algunas partes tienen tamaños muy grandes, colores reducidos y oscuros que, en ausencia de una claridad adecuada, pueden comprometer el producto final del desmontaje.

El almacenamiento de los materiales previos al desmontaje debe realizarse con cierto cuidado, para evitar la mezcla de materiales con potencial tóxico, contacto con agua, rotura de equipos delicados y riesgo de caídas. Si el equipo viene con baterías, es necesario retirarlo previamente.

4.1.3. Herramientas

Cada tipo de equipo requiere ciertas herramientas para su desmontaje. Por lo tanto, las herramientas sugeridas para el procedimiento de desmontaje de RAEE son las siguientes:



- Destornilladores de diferentes tamaños (tornillos)
- Alicates universales (corte de alambre y cable)
- Llaves Philips
- Estilete
- Báscula

4.1.4. Seguridad del trabajador

Para que el trabajo se lleve a cabo bajo condiciones de seguridad, es necesario que el operador use el equipo de protección personal (EPP) necesario.



En este caso, se recomienda la presencia de gafas y un par de guantes.

- **Uso de EPP (guantes antideslizantes, gafas, máscara desechable)**
- **Pantalones**
- **Zapatos cerrados**

Para el desmontaje de RAEE, la provisión de espacio para la recepción y el envasado de productos postconsumo, alojamiento de estaciones de trabajo (estaciones de trabajo) y herramientas, además de un espacio para la asignación de diferentes materiales obtenidos durante el desmontaje.

Los productos post-consumo deben acomodarse por categorías, para optimizar el proceso de desmontaje. Equipos similares requieren las mismas herramientas y procedimientos.

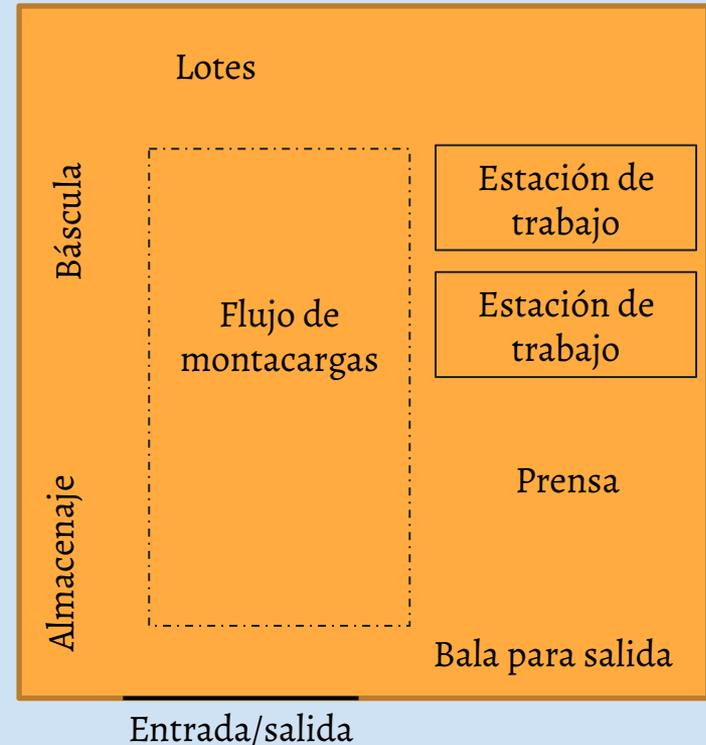
Para montar la estación de trabajo, las herramientas deben estar disponibles de acuerdo con las categorías de productos desmantelados.

Es importante tener en cuenta que las áreas siempre deben estar cubiertas, con pisos impermeabilizados y ventilación.

Para el desmontaje, se deben considerar inicialmente los siguientes parámetros:

- Diseño del espacio
- Diseño del producto postconsumo
- Montaje de la estación de trabajo
- Movimiento de personas, equipos y materiales.

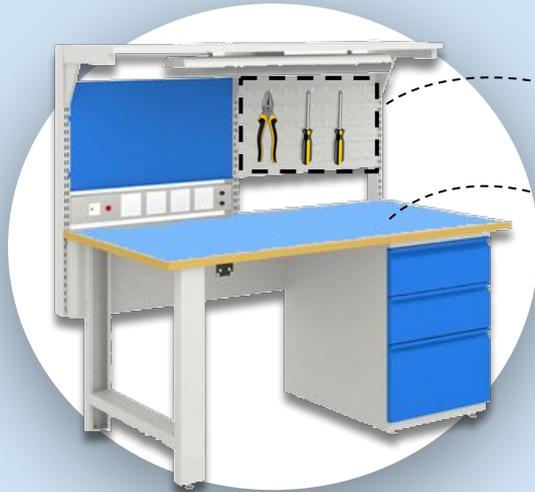
Diseño sugerido para el entorno de desmontaje de RAEE.



Preparación de la estación de trabajo de desmontaje

La estación de trabajo de desmontaje debe tener una bancada de longitud alargada, cubierta por placas delgadas de EVA (espuma de vinilo satinada) yuxtapuestas, pegadas sobre la mesa mediante una cinta adhesiva con doble cara y utilizadas para evitar el origen del daño en la superficie y protección contra posibles cargas electrostáticas. La estación de trabajo debe tener la altura adecuada para el trabajador a fin de evitar problemas de postura a largo plazo.

Esquema de Estación de Trabajo de Desmontaje



RAEE

Herramientas

**Bancada cubierta
con EVA**



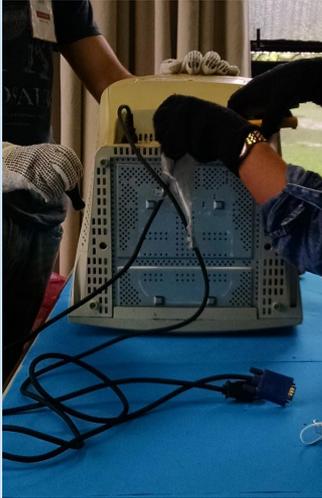
El proceso de desmontaje

El equipo se debe organizar y separar en grupos de acuerdo con su clasificación (electrodomésticos, electrónica, informática, monitores), para facilitar el trabajo del operador durante el desmontaje y garantizar un grado máximo de recuperación.

El equipo debe segregarse con la ayuda de herramientas, para obtener grupos de materiales (plástico, metal, vidrio, caucho) y componentes (alambres y cables, placas de circuito impreso, fuente, YUGO) que tengan valor de mercado. Por lo tanto, al desmontar equipos, materiales y componentes se pesan por separado.

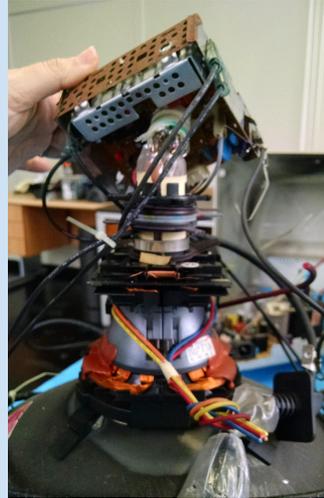
El grado de separación de materiales / componentes requiere el conocimiento de las necesidades del comprador. Por ejemplo, algunos compradores de materiales o componentes pueden requerir un mayor o menor grado de segregación según los destinos previstos, evitando así la pérdida de tiempo.

Desmontaje de Monitores CRT

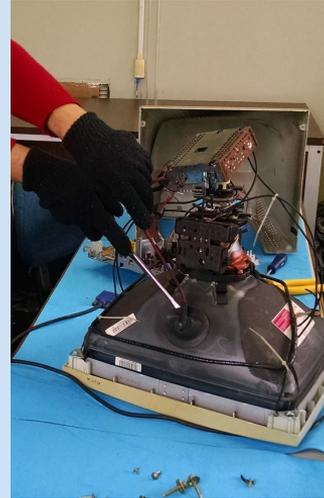


Comience el procedimiento quitando los cables y la base.

No rompa el cristal de la pantalla.



Es importante prestar atención a la rotura de la lámpara durante la separación de las partes.



Con la ayuda de un destornillador, retire la cubierta de goma para evitar la pérdida de vacío.

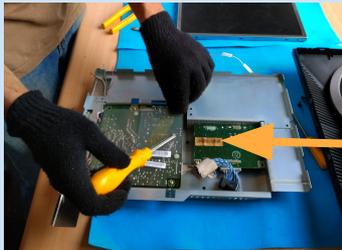
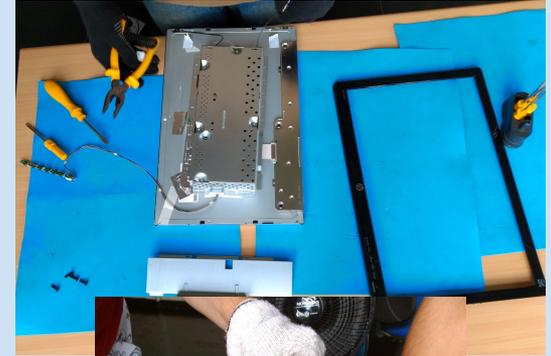
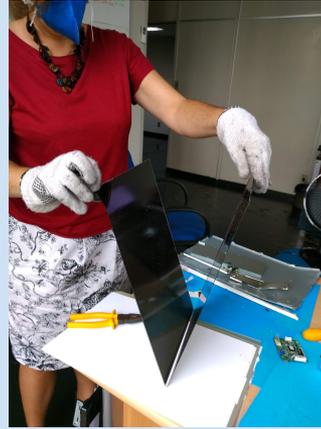
Tenga cuidado de no perforar el tubo CRT detrás de la pantalla.



Las partes principales son las placas, los cables, la carcasa de plástico, los metales, el yugo (cobre) y la pantalla junto al tubo CRT.

La pantalla con el tubo debe usarse como desecho peligroso.

Desmontaje de Monitores LCD



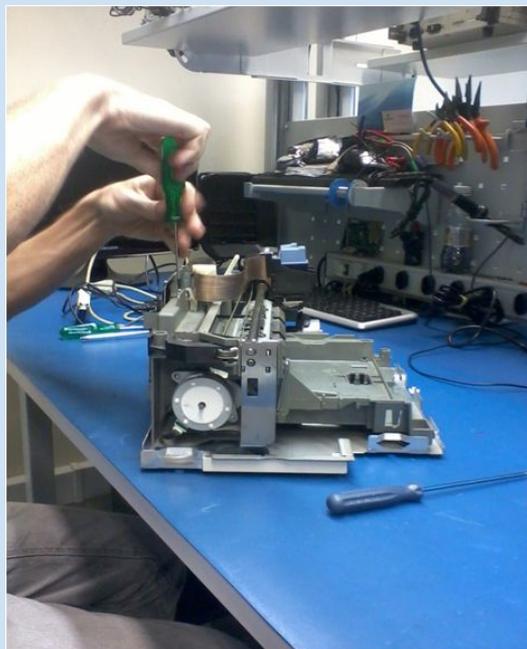
Placa de
circuito
impreso y
procesador



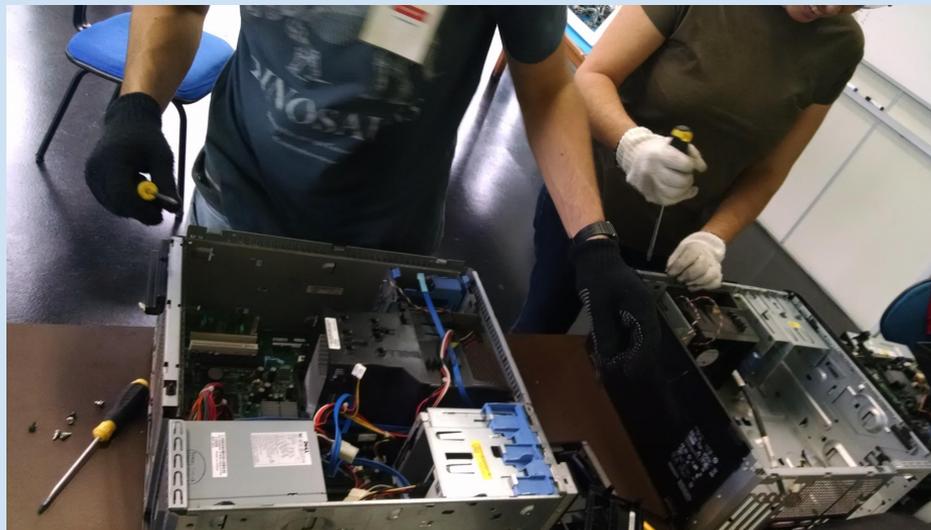
Lámpara



Desmontaje de Impresoras



Desmontaje de Gabinetes



En equipos donde hay almacenamiento de datos personales como computadoras de escritorio, teléfonos celulares, pen drives, HD externo, terminales de procesamiento de datos de tarjetas de crédito ("máquina de tarjetas"), computadoras portátiles, computadoras portátiles, tabletas, Ipods, Kindle, entre otros, puede ser necesaria la destrucción de las partes responsables del almacenamiento de datos, como HD, tarjeta de memoria y memorias.

Este procedimiento es extremadamente importante para la protección de los datos personales y profesionales de los usuarios, y puede evitar el acceso y el mal uso de la información.



Útil para negociar los valores de compra de material, las ganancias obtenidas y el tiempo requerido con el desmontaje, el uso de hojas de control para realizar presupuestos y calcular el tiempo que se reservará para un lote de equipos es esencial para las finanzas de una organización en el segmento.

Para esto, es necesario conocer la composición de cada equipo (plástico, metal, vidrio, etc.), si hay un comprador para cada material o causará un costo con la destinación, valor de venta / costo de cada material (siempre actualizado), además de un tiempo estimado necesario para el desmontaje basado en prácticas reales.

Modelo de Hoja



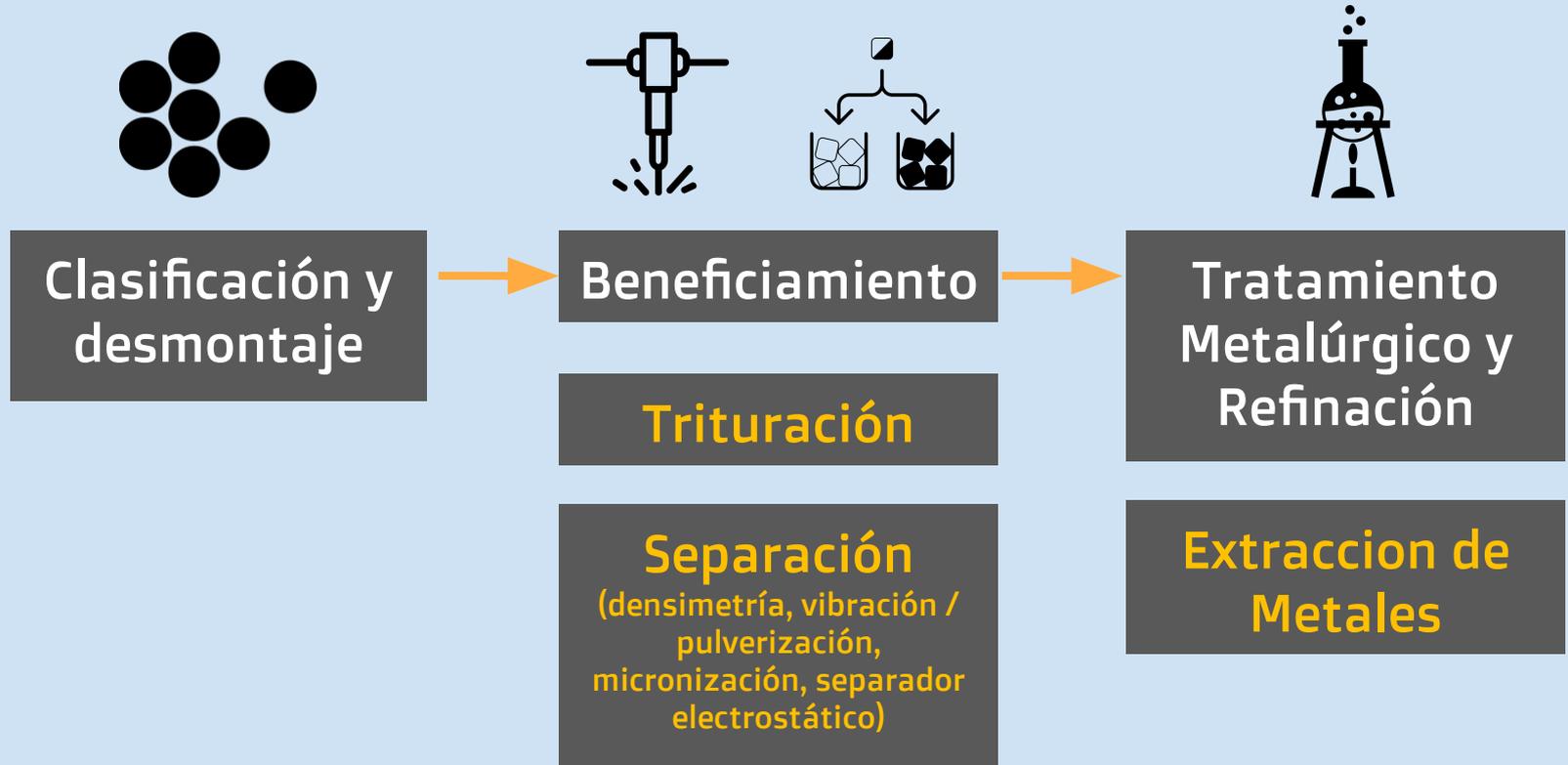
Los pasos posteriores al desmontaje tienen como objetivo recuperar el valor contenido en los residuos.

En el caso de los RAEE, dichos materiales se desarman, luego se benefician y, finalmente, se refinan.

La cuestión del almacenamiento de materiales posteriores al desmontaje es crucial para garantizar la calidad de dichos equipos, evitando que estos materiales se dañen antes del procesamiento.

En beneficio, los materiales se procesan por trituración y separación, que puede ser magnética, por densidad, por cargas eléctricas, etc. Este paso tiene como objetivo segregar el producto final del desmontaje, concentrando las sustancias de interés. Por lo tanto, es de gran importancia en la viabilidad económica del proceso de tratamiento de los RAEEs.

Después del beneficiamiento, los materiales resultantes pasan por la etapa de refinación, responsables de la extracción real de los metales y polímeros de interés.



4

Consideraciones Finales

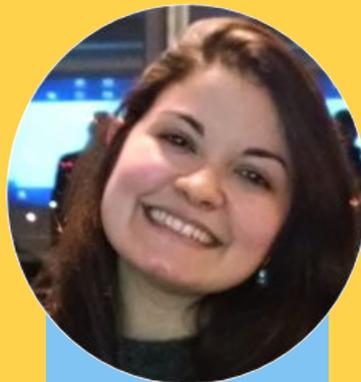
En comparación con las opciones destructivas, como la molienda, el desmantelamiento manual de RAEE, a pesar de requerir un tiempo de procesamiento más prolongado, agrega un valor considerablemente mayor a los residuos, ya que evita la mezcla de diferentes materiales para facilitar su tratamiento.

Sin embargo, todas las técnicas de desmontaje requieren que llegue un volumen considerable y continuo de RAEE para su procesamiento al final de su vida útil por medio de sistemas de logística reversa.



**Lúcia Helena
Xavier**

Investigadora Titular
CETEM



**Marianna
Ottoni**

Gerente de Proyectos
R3MINARE



**Raíssa André
de Araujo**

Becaria PIBIC CETEM



**Carlos Francisco
Gomes**

Pasante CETEM

5

Equipo Técnico - USP



**Marcos
Nogueira**

Técnico de
Mantenimiento
Electrónico STI-USP



**Neuci
Bicov**

Consultora técnica
en el área de medio
ambiente y residuos.



**Denise
Espinosa**

Profesora Asociada
USP



**Jorge
Tenório**

Profesor Titular USP

ARDI, R. Waste Electrical And Electronic Equipment Waste Electrical And Electronic Equipment (Weee) Management Systems (Weee) Management Systems In The Developed And The Developing Countries: In The Developed And The Developing Countries: A Comparative Structural A Comparative Structural Structural Study. Tese de Doutorado, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering and Process Engineering, Universität Duisburg-Essen. Alemanha, 2016.

XAVIER, L. H. e LINS, F. A. F. (2018): Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. *Brasil Mineral*, v. 379, p. 22-26

XAVIER, Lúcia Helena; CORRÊA, Henrique Luiz. *Sistemas de Logística Reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis*. São Paulo: Atlas, 2013.

Xavier, L.H., Lins, F.A.F., Nascimento, H.F.F., Bellan, I. O., Ribeiro, F., Caldas, M.B., Silva, L.O.S., Zomer, B., Araujo, R.A., Filho, O.O.D., Reinol, P.C., Fagundes, R.L., Gusmão, A.C.F., (2017). *Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Cetem.

Urbinati A., Chiaroni D, & Chiesa V. (2017). Towards a new taxonomy of circular economy business models, *Journal of Cleaner Production*, 168, 487-498. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.047>.

Otoni, M.S.O., Dias, P., Xavier, L.H., 2020. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. Approved to be published in *Journal of Cleaner Production*.



CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

UNIDADE DE PESQUISA VINCULADA AO
MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

USP



INSTITUTO
GEA



Gerenciamento e Transformação
de Resíduos Tecnológicos

SITE: www.cetem.gov.br/reminare

E-MAIL: r3minare@cetem.gov.br

TEL: +55 21 3865-7336