

# CARACTERIZACIÓN Y ESTUDIO DEL RECICLAJE DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)

Velosa, Gerson Julián (1), (Dra.) González Rolón, Barbara (2)

1 [Ingeniería Mecánica, Universidad ECCI, Grupo GIDMyM] | [julian.velosa.jv@gmail.com]

2 [Ingeniería Mecánica, División Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [barbara@ugto.mx]

## Resumen

Se obtuvieron y caracterizaron grupos de componentes constitutivos de una unidad de procesamiento (CPU) de un ordenador convencional en desuso. Las muestras fueron sometidas a observación y pruebas de dureza para clasificarlas de acuerdo a su material de fabricación. Se cuantificaron los grupos porcentualmente para estimar su presencia dentro del sistema entero. Los resultados muestran que para la unidad estudiada, existe un porcentaje mayor a la mitad de sus partes que es potencialmente reciclable o reutilizable mediante los métodos de manufactura tradicionales. Se evidenció la falta de normativas y leyes que gestionen el manejo de los desechos eléctricos y electrónicos en América Latina; así mismo de infraestructura, equipos y maquinaria que permitan el aprovechamiento de los desechos evitando impactos negativos al medio ambiente y la salud humana.

## Abstract

In this work were obtained, and they characterized components from a processing unit (CPU) of a conventional computer disused. The samples were subjected to observation and hardness tests for classifying them according to their material of manufacture. Were quantified groups in percentage to estimate their presence within the entire system. The results show that for the unit studied, there are more than half of its parts that are potentially recyclable or reusable by traditional manufacturing methods. The lack of regulations and laws that control the handling of waste electric and electronic equipment, (WEEE) in Latin America was evident; as well as infrastructure equipment, and machinery that allow the management of waste for avoiding the negative impacts on the environment and human health.

## Palabras Clave

Caracterización; Manufactura; Medio Ambiente; RAEE; Reciclaje.

## INTRODUCCIÓN

La rápida expansión tecnológica en los últimos años ha venido acompañada de un importante avance en la producción de aparatos electrónicos que, si bien en un principio generan una gran demanda en su uso cotidiano, su vida útil se ve disminuida por la exigencia en su uso por parte del usuario y la creciente tendencia a adquirir nuevos productos de la siguiente generación aún cuando los actuales rindan de forma óptima.

La producción de basura electrónica para el año 2015 en América Latina fue el 9% del total de la generada en el mundo, donde países como Brasil y México lideran la producción de desechos de la región con una cifra cercana a los 2 mil millones de toneladas entre ellos anualmente, según un informe de la ONU, esto debido principalmente a los altos índices de población de estas naciones [1]. Otro factor relevante radica en las necesidades de innovación de varios sectores tanto académicos como industriales para la evolución económica y social, que al requerir el uso de tecnologías, en especial las TIC's (Tecnologías de la información y comunicación) para el desarrollo de sus procesos, dependen en gran medida del uso de aparatos electrónicos de tipo personal como laboral.

El poder de adquisición en Latinoamérica ha cambiado, debido a factores culturales, sociales y económicos, la población cada vez se ve más cercada a estar a la vanguardia en cuanto a tecnología refiere, con las facilidades de conexión a internet provistas en los últimos años, se permite al usuario conectarse desde casi cualquier dispositivo; en promedio para el 2014, el 60% de los hogares de los países con internet pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), se conectan por medio de smartphones, consolas de videojuegos o e-books, el 75% hace uso de laptops o tablets y el 53% lo hace desde computadores de escritorio [2].

Debido al crecimiento en la fabricación de dispositivos electrónicos, se han dispuesto de normativas y leyes para controlar el manejo de los equipos una vez acaba su vida útil, la incursión de

la investigación y desarrollo (I&D) en este aspecto ha permitido el estudio de alternativas y creación de campañas que aumenten los niveles de aprovechamiento de componentes obsoletos.

Un ejemplo de ello es la DRAEE (Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) acogida en países europeos desde el año 2005, la cual establece medidas de manejo desde la fabricación hasta el desecho (para controlar los residuos que representen amenazas para el ser humano y el ecosistema) de equipos electrónicos y los limita dentro de diez categorías para facilitar su tratamiento, y así se vea reflejado en la forma en que se almacena y aprovecha en el futuro [3] [4]; donde, de modo particular para las TIC's la categoría tres (Equipos de Informática y Telecomunicaciones) denota elementos de particular interés [5]. La tabla 1 muestra la clasificación general dictaminada por la directiva y algunos aparatos comunes representativos para cada categoría.

Los adelantos llevados en Latinoamérica para el manejo de desechos que no solo son provenientes del entorno local, sino también de países de otros continentes que hacen de la región un centro de depósito de elementos inútiles a primera vista [6], no han sido manejados de forma eficaz, debido a los matices que esta problemática en diferentes puntos de vista ofrece, generando efectos directos sobre la población, desde impactos a la salud hasta exponer escenarios de desigualdad en los que aun cuando existen cantidades considerables de aparatos apilados en montañas de basura, algunas personas de bajos recursos ni siquiera cuentan con acceso a tecnologías funcionales.

Un contraste notable entonces, radica en el tratamiento que le es dado a estos desechos por parte de países desarrollados frente a los que se consideran en desarrollo o de tercer mundo. Según cifras de la Universidad de la Naciones Unidas (UNU por sus siglas en inglés), la generación de e-waste (término que abarca varios aparatos eléctricos y electrónicos [7]) en el mundo para el 2014, fue de 41.8 millones de toneladas (Mt), en los que las regiones africanas tuvieron los menores índices a nivel global con solo 1.9 Mt siendo producidos 1,7 kilogramos de basura por habitante [8]. Es por esto que la inclusión de políticas locales e internacionales debe tener mayor protagonismo y soporte en planes de

gobierno, aun cuando existan normativas en distintas naciones acerca del manejo de la situación, fortalecer y generar una cultura de reciclaje, aprovechamiento y visión hacia el futuro tecnológico es fundamental.

Por medio del establecimiento de métodos de clasificación e identificación de materiales de fabricación de los componentes de los aparatos electrónicos convertidos en desechos, es posible

Entender e incursionar en métodos que favorezcan su aprovechamiento y den un enfoque nuevo a los estándares de uso de los equipos más típicos y representativos. En el presente escrito se documenta el proceso de desarme, clasificación y caracterización de una parte representativa y versátil de un computador de uso convencional así como una aproximación a la reutilización o reciclaje de sus componentes.

Tabla 1: Categorías para el manejo de desechos eléctricos y electrónicos (residuos-e) [3].

No.	Categoría
1.	Grandes electrodomésticos (lavadoras, hornos microondas, aire acondicionado, estufas eléctricas)
2.	Pequeños electrodomésticos (aspiradoras, relojes, planchas, tostadoras)
3.	Equipos de informática y telecomunicaciones (Ordenadores personales y portátiles, impresoras, teléfonos)
4.	Aparatos electrónicos de consumo (TV, radios, videocámaras)
5.	Aparatos de alumbrado (lámparas fluorescentes)
6.	Herramientas eléctricas y electrónicas (taladros, máquinas de coser, herramientas para máquinas herramientas)
7.	Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre (trenes y carros eléctricos, consolas portátiles, videojuegos)
8.	Aparatos médicos (cardiología, diálisis, ventiladores pulmonares)
9.	Instrumentos de vigilancia y control (detector de humo, paneles de control)
10.	Máquinas expendedoras

## METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de información acerca de control y manejo de desechos de aparatos eléctricos y electrónicos en desuso. El desarrollo de la investigación estuvo orientado a desarmar una unidad central (CPU) de un computador de escritorio, entendiendo que es una muestra representativa y versátil en sus componentes en lo que respecta el objetivo del estudio.

Se usó una nomenclatura específica para cada parte del sistema con el fin de facilitar su identificación en la etapa de caracterización y separación según tipo de material. Se determinaron cuatro grupos: carcaza, lectores de CD's, lector de disquete y Board, de los cuales se obtuvieron elementos más pequeños que los componen y por los cuales se procedió con su identificación bajo el criterio de si eran materiales poliméricos o metálicos. El último grupo, contiene

elementos conectados por medio de soldadura, por lo cual su extracción manual se dificultó debido a la cantidad de puntos existentes, debido a esto, se optó por separar solo muestras representativas de los elementos cuyos materiales son interés de estudio.

Para la caracterización de los metales se tomó una muestra metálica la cual se pulió superficialmente con tres calibres de papel de lija para lograr una superficie libre de pintura y con buena calidad de rayado; a continuación se realizó ataque químico con dos reactivos (Cloruro Férrico y Nital) y se observó en microscopio óptico ZEISS Axio Imager 2 [9]; para los materiales poliméricos debido a su naturaleza, se realizaron pruebas de dureza que dentro de la escala Shore D y con las respectivas equivalencias, proporcionan información acerca del material característico de cada componente. Finalmente, para lograr una estimación aproximada de la proporción de materiales dentro del sistema se determinó el peso de los componentes individualmente y en conjunto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Material metálico

Mediante la búsqueda en literatura de materiales típicos en la fabricación de carcasas de computadores, se obtuvo una aproximación de los materiales que se espera se encuentren en la caracterización, siendo tres: plástico, acero galvanizado o aluminio [10]. El primero fue rápidamente descartado por su notable ausencia a simple vista. Para los demás, se tomó una muestra del metal para sumergirlo en hidróxido de amonio, si se notaba formación de hidróxido de aluminio, se trataba de aluminio, pero al no evidenciarse algún tipo de reacción o cambio, se descartó. Entonces, una nueva muestra fue pulida con lija de tres calibres gradualmente de áspera a fina, esto con el fin de retirar la pintura y preparar la superficie para ser observada; se hizo un ataque con cloruro férrico y nital (ácido nítrico y alcohol), para revelar la microestructura del material, que por las demás pruebas se empezó a confirmar en gran medida como acero. La observación en el microscopio metalográfico confirmó la presencia de un acero de bajo carbono, característico por

tener menos de 0,3% de este elemento, la verificación de las propiedades de un acero galvanizado según la ASTM A525 corroboran el resultado al mostrar para este tipo de metal un contenido de 0,15% en Carbono [11].

### Materiales poliméricos

El método de dureza Shore es uno de los más usados para el análisis de elastómeros para la escala A y pertenece a un ensayo dinámico por rebote [12], a valores mayores a 90 dentro de esta medición, es necesario usar la escala complementaria Shore D para materiales que denoten mayor dureza y para los cuales no se hace necesario un ensayo dinámico [13] [14], por lo cual se hizo uso de un medidor de dureza portátil ELECTROMATIC HPSA-R. Los valores de dureza obtenidos experimentalmente para distintos componentes mantuvieron relación dentro de rangos para cuatro tipos de polímeros: Polipropileno (PP), Polietileno de alta densidad (HDPE), Poliuretano (PE) y Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), según Sociedad Americana de Metales (ASM) [15].

### Determinación de peso

Todos los componentes fueron dispuestos en una balanza en la que se encontró como 6100 g el valor total de la unidad (CPU). Como se mencionó, se distinguieron 4 grupos para el pesaje, y además se incluyó uno nuevo denominado como “varios” donde se incluyen componentes que no fueron desmantelados o que no hacían parte de algún otro. Para el primero “Lectores de CD”, se contó con dos unidades de disco óptico, una se mantuvo íntegro y su par se desarmó, con el fin de conocer a detalle su interior y verificar diferentes tipos de materiales y elementos reutilizables o reciclables. El valor obtenido para ambos fue 1390,3 g, en los que se distinguieron polímeros y elementos íntegros que no necesariamente tiene que ser destruidos para su aprovechamiento, es el caso del sistema de lectura de CD's, que debido a su tecnología es especial por el lector láser, puede ser utilizado en ambientes científicos para sensores biológicos, aplicaciones de perfilometría o microscopía [16]. El siguiente grupo “Lector de Disquettes” entregó un valor de 788,7 g en total; el

tercero, la carcasa, con una masa de 2947,2 g,

contiene tres tipos de polímeros y un

Tabla 2: Medidas porcentuales de materiales reciclables estudiados.

Material / Categoría	Polipropileno (PP)	Poliuretano (PE)	Poliuretano (PE)	Acero	Aluminio	ABS	Otros	Total (gramos)
Lectores de CD	19,4			530,8			840,1	1390,3
Lector de Disquettes	0,5			200,4			587,8	788,7
Carcasa	29,4	16,8		2502,1		360,1	38,8	2947,2
Board	61,8				143,4		247	452,2
Varios	4,1		24				493,5	521,6
Total material por (gramos)	115,2	16,8	24	3233,3	143,4	360,1	2207,2	6100 g
Cantidad porcentual (%)	1,88	0,275	0,393	53,0	2,35	5,9	36,183 %	100 %
	63,798 % - Material potencialmente reciclable							

alto porcentaje de material metálico con respecto a los demás. Destaca un componente íntegro, el ventilador, que no fue destruido debido a que para su reutilización solo basta con conectarlo en otro dispositivo. El grupo "Board" encierra lo más versátil en elementos, si bien contiene elementos de menor tamaño comparado con los demás, dentro de los 452,2 g registrados destacan circuitos y sistemas de conexión de elementos que sirven como pilar fundamental para el

funcionamiento del equipo entero, también se destacan materiales que se salen de la tendencia

de los vistos anteriormente, estos son Aluminio para los disipadores de calor, Oro para las terminales que interconectan demás elementos y algunas cantidades de Cobre, que a nivel global, anualmente, son desechados en altas cantidades, por lo cual su aprovechamiento es estrictamente necesario [8]. Del grupo que se adicionó ("Varios"), se obtuvo una masa de 493,5 g. De esta manera

se logró desglosar de forma más detallada el peso total de la unidad CPU medido inicialmente.

## Porcentaje

Con los datos de masa obtenidos para cada una de las categorías, polímeros y metales representan dentro de las mediciones porcentuales una cifra de poco más del 60% de material reciclable. La tabla 2 muestra la distinción entre los materiales característicos manejados, donde destaca la alta cantidad de acero bajo carbono empleado. Las aplicaciones de los polímeros incluyen fabricación de telas, fibras, alfombras, películas delgadas, partes de autos, tuberías a presión, láminas y aplicación en elementos de uso médico y farmacéutico [17] [18] [19]. Los metales por su parte, poseen la característica de ser reutilizados de forma efectiva y sufrir el proceso de reciclaje casi de forma ilimitada. Los resultados obtenidos dan muestra que los equipos que se encuentran fuera de uso, son altamente susceptibles a ser transformados en materias primas o componentes útiles. El porcentaje restante pertenece a elementos propios de circuitos que debido a la manera en que están fijados por medio de soldadura, recuperarlos sin un sistema óptimo de extracción los hace obsoletos.

## CONCLUSIONES

Se clasificaron diversos materiales de componentes de una unidad CPU de una computadora convencional en desuso, los resultados de la caracterización y pesaje mostraron un porcentaje de mínimo 60% de material potencialmente reciclable, lo cual, como una primera aproximación y entendiendo que los métodos de fabricación de los equipos hacen que existan en cantidades considerables con similares

características, da muestra de las proporciones que involucra el manejo de este tipo de residuos.

En la actualidad existe una discrepancia en la interpretación de lo que realmente significa el fin de la vida útil en los aparatos electrónicos, si bien, en muchos casos existen pérdidas que los hacen inservibles para la interfaz directa de los usuarios, dentro de un análisis más detallado de componentes, existen muchos que al no tener relación directa con la zona descompuesta, siguen en funcionamiento; la cultura de desechar está mal determinada en el hecho de que no se debe prescindir de un sistema total cuando en la mayoría de situaciones la falla se produce en puntos específicos.

Los métodos de disección de partes fueron realizados de forma manual, para aplicaciones a gran escala, es necesario diseñar sistemas que ayuden la labor del personal, siempre que se obtengan los materiales con el mayor grado de integridad posible. Uno de los puntos de mayor interés está en el desarrollo de un método para desprender los puntos de soldadura de circuitos y así clasificar sus elementos de forma óptima.

En el proceso de evaluación de algunos componentes surgió una diferencia entre la utilidad que puede tener cada parte una vez es separada de su conjunto, encasillada dentro de dos definiciones que a la hora del tratamiento de residuos cobran importancia; la primera, se refiere a aquellos que no fueron afectados por los puntos que fallaron e hicieron que el sistema fuera obsoleto y por tanto desechado, estos pueden tener un uso funcional dentro de otros sistemas con solo instalarlos; aquí se hace referencia al término reutilización. El otro caso, se evidencia en elementos que convenientemente pueden ser transformados en materias primas para procesos de fabricación de tecnologías afines, o bien de cualquier otro tipo de producto que lo requiera; este tiene una mayor relación con el reciclaje.

## REFERENCIAS

- [1] O. ( d. l. N. unidas), «Centro de noticias ONU,» 03 Diciembre 2015. [En línea]. Available: [http://www.un.org/spanish/News/story.asp?NewsID=33975#.V2C5i\\_nhC00](http://www.un.org/spanish/News/story.asp?NewsID=33975#.V2C5i_nhC00). [Último acceso: 14 Junio 2016].
- [2] O. f. E. C. a. D. (OECD), «OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2015 - Innovation for growth and society,» 2015.
- [3] P. E. y. C. d. I. U. Europea, «DIRECTIVA 2002/96/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO SOBRE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE),» 2003.
- [4] L. V. T. P. H. V. C. M. Oscar Espinoza, Diagnóstico del manejo de los residuos electrónicos en el Perú, Lima, 2011.
- [5] U. S. D. O. Heinz Boeni, E-Waste Recycling in Latin America: Overview, Challenges and Potential.
- [6] U. Silva, Tercer Taller Internacional: Del reacondicionamiento al reciclaje de PC, una oportunidad para LAC, San José de Costa Rica, 2006.
- [7] H. O.-K. D. S.-K. M. S. H. B. Rolf Widmer, «Global perspectives on e-waste,» Environmental Impact Assessment Review, n° 25, pp. 436-458, 2005.
- [8] F. W. J. H. R. K. J. W. Kess Baldé, The Global E-waste Monitor 2014 - Quantities, flows and resources, Bonn, 2015.
- [9] C. Z. M. GmbH, «ZEISS,» [En línea]. Available: [http://www.zeiss.com/microscopy/en\\_de/products/light-microscopes/axio-imager-2-for-materials.html](http://www.zeiss.com/microscopy/en_de/products/light-microscopes/axio-imager-2-for-materials.html). [Último acceso: 12 07 2016].
- [10] A. Monchamp, «The Evolution of Materials Used in Personal Computers,» Electronic Industries Alliance , 2000.
- [11] L. MatWeb, «MatWeb MATERIAL PROPERTY DATA,» [En línea]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abbf07b7f93a4c358a0ddd194f5c18be>. [Último acceso: 5 07 2016].
- [12] J. Y. D. O. R. L. V. R. U. Eulogio Santos, «ACERCA DEL ENSAYO DE DUREZA,» INDUSTRIAL DATA 2001, vol. 4, pp. 73-80.
- [13] A. Ciesielski, An Introduction to Rubber Technology, Rapra Technology LTD, 1999.
- [14] R. Brown, Handbook of Polymer Testing: Physical Methods, Marcel Dekker, Inc, 1999.
- [15] A. ( S. o. Metals), ASM Handbook Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation, 2000.
- [16] P. O. A. R. Lorena Cardona, «Reciclaje Tecnológico al Servicio de la Ciencia,» Tecnológicas-Edición Especial, 2010.
- [17] H. Karian, Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, Revised and Expanded, Michigan: MARCEL DEKKER, INC., 2003.
- [18] S. K. R. Manas Chanda, Industrial Polymers, Specialty Polymers, and Their Applications, London: Taylor & Francis Group, 2008.
- [19] K. A. W. S. L. C. Nina M.K. Lamba, Polyurethanes in Biomedical Applications, London: CRC PRESS, 1997.