

Ensayos

Caracterización de pilas de desecho en la Universidad Tecnológica de la Mixteca y propuesta de pretratamiento mecánico

Resumen

No hay información respecto a si en México se está efectuando el reciclado de pilas de desecho de los tipos primarios o desechables. Hay una iniciativa de ley del gobierno mexicano que data de 1988 y una norma, la NTE-CRP-001/88, que las identifica y regulan su uso, pero no proponen ningún tratamiento. Los sistemas químicos de las pilas primarias son C-Zn (desechables) y Zn-MnO₂ (alcalinas), y los sistemas químicos de las pilas secundarias (recargables) son: Ni-Cd, Ni-MH, Ion-Li, Zn-MnO₂. Todo este desecho va a parar a los botaderos municipales y por lixiviación, principalmente, sus componentes tóxicos (Hg, Pb, Ni y Cd) van a depositarse a nuestros suelos y fuentes de agua. Este trabajo caracterizó las pilas de desecho acopiadas en la Universidad Tecnológica de la Mixteca y además, propone el Pretratamiento Mecánico de las pilas de desecho con el propósito de separar la fracción gruesa (papel, plástico y metales ferrosos y no ferrosos) de la fracción fina (contaminantes) como un primer paso para posteriores tratamientos hidrometalúrgicos o pirometalúrgicos para recuperación de materia prima (Fe, Mn, Zn).

Abstract

There is no information on whether the batteries that Mexico recycles are primary or disposable. There is a Mexican bill dating back to 1988 and a regulation, the NTE-CRP-001/88, which identify and regulate battery use, but they do not propose any treatment. Chemical systems of primary batteries are C-Zn (disposable) and Zn-MnO₂ (alkaline), and the chemical system of secondary batteries (rechargeable) are: Ni-Cd, Ni-MH, Ion-Li, Zn-MnO₂. All this waste goes to municipal dumps. Due to the leaching process, its toxic components (Hg, Pb, Ni and Cd) are deposited into our soil and water sources. This paper characterizes the disposed batteries collected at the Universidad Tecnológica de la Mixteca and proposes the mechanical pretreatment of disposed batteries in order to separate the coarse fraction (paper, plastic and ferrous and non-ferrous metals) from the fine fraction (pollutants) as a first step for further hydrometallurgical or pyrometallurgical treatments for raw material recovery (Fe, Mn, Zn).

Résumé

Il n'existe aucune information au Mexique concernant le recyclage des déchets de piles de type primaires ou jetables. Il y a bien une initiative de loi du gouvernement mexicain qui date de 1988 et une norme, la NTE-CRP-001/88, qui les identifient et régulent leur utilisation mais aucun traitement des piles n'est proposé. Les systèmes chimiques des piles primaires sont C-Zn (jetables) et Zn-MnO₂ (alcalines) et les systèmes chimiques des piles secondaires (rechargeables) sont : Ni-Cd, Ni-MH, Ion-Li, Zn-MnO₂. Tous ces déchets sont directement jetés dans les décharges municipales et par lixiviation, surtout leurs composés toxiques (Hg, Pb, Ni et Cd) qui s'infiltrent dans nos sols et nos sources d'eau. Ce travail a permis de caractériser les déchets de piles collectés à l'Université Technologique de la Mixtèque et en outre, il propose le Prétraitement Mécanique des déchets de piles dont l'objectif est la séparation de la partie épaisse (papier, hydrométallurgiques et pyrométallurgiques) afin de récupérer la matière première. (Fe, Mn, Zn)

Juan Espinoza Cuadra*;
Patricia Gallegos Acevedo*;
Angélica Bautista Vargas**;
Antonio Bautista Hernández**;
Luz María Castro López**

Palabras clave: Pilas de desecho, pretratamiento, sustancias peligrosas, RAEE

Introducción

Los Residuos de Aparatos Eléctricos/Electrónicos (RAEE) han sido establecidos como uno de los flujos de residuos de mayor crecimiento [1,2,3] y ambos, los RAEE y las pilas de desecho se conoce contienen sustancias peligrosas así como materiales reciclables. La importancia de los RAEE y las pilas de desecho como fuente de componentes peligrosos y de valiosa materia prima fue reconocida cuando la Unión Europea implementó la

*Instituto de Minería,

**Estudiantes de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de la Mixteca

Directiva Europea para el tratamiento de los RAEE [4], y la Directiva Europea para pilas [5]. Por lo tanto, es crucial que estos desperdicios sean eficientemente acopiados y reciclados.

Las sustancias tóxicas y peligrosas en los RAEE y las pilas de desecho son numerosas [6,7,8,9]. Comúnmente, las sustancias peligrosas encontradas en los RAEE son: plomo (Pb), bario (Ba), cadmio (Cd), mercurio (Hg), retardantes a la flama bromurados (BFRs, por sus siglas en inglés) y policloruro de vinilo (PVC). En las pilas de desecho, los principales compuestos peligrosos son el Cd, Pb y Hg, y en los toner el Cd es motivo de preocupación [10].

El tratamiento seguro y el reciclado de los RAEE y las pilas de desecho son necesarios para evitar que los compuestos peligrosos terminen en nuestro medio ambiente. Hay significativos beneficios cuando reciclamos en términos de evitar las emisiones y salvar y conservar nuestros recursos [11,12,13]. Especialmente, el beneficio medioambiental que conlleva la recuperación de metales preciosos y de tierras raras en vez de explotar las minas [11,14,15] y considerar el desperdicio sólido municipal como uno de los recursos potenciales más grandes para la recuperación y el reciclado de elementos escasos. Las pilas de desecho y los RAEE que no han sido clasificados para el reciclado y la recuperación, no sólo implica una pérdida de materiales y metales sino que puede conducir a la contaminación de otros flujos de desperdicios. Pocos estudios respecto a la composición de los desperdicios han incluido a los RAEE y a las pilas de desecho [16].

Por otro lado, la contaminación ambiental producida por la eliminación de pilas de desecho y acumuladores es una de las principales preocupaciones debido al rápido crecimiento de la industria de equipos electrónicos portables que genera miles de toneladas de residuos peligrosos por año. Basados en estudios de 1992 y 1998, las pilas de uso doméstico contabilizaron aproximadamente el 90% del Hg y el 52% del Cd de los residuos sólidos municipales en la Unión Americana, aunque este nivel se proyectó para declinar a medida que las manufactureras remuevan el mercurio de las pilas alcalinas [17,18]. En los Estados Unidos de Norteamérica, los riesgos medioambientales relacionados a la eliminación de desechos de las pilas a base Cd fue evaluado en el proyecto de

informe de evaluación específica de riesgo “Cadmio (óxido) como es usado en las pilas” [19]. De acuerdo al reporte, las emisiones de Cd de las pilas portátiles NiCd debido a su eliminación como desecho en el botadero fueron calculadas en 131-655 kg de Cd por año. En 2006, la Comisión Europea requirió de un sistema de círculo cerrado para todas las pilas de desecho [20] con el propósito de reducir las cantidades de pilas de desecho y establecer objetivos para el acopio y reciclado. El Departamento de Salud Norteamericano y la Agencia para Servicios Humanos para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades estableció que los metales en las pilas pueden tener serios efectos en la salud si no son manipuladas correctamente. El Hg a altos niveles puede dañar el cerebro, los riñones y el sistema reproductor. El Pb puede dañar el sistema nervioso, los riñones y el sistema reproductor. El Cd puede dañar los pulmones y los riñones, e irritar el tracto digestivo. Exposiciones a grandes cantidades de Zn puede causar calambres estomacales, anemia y cambios en los niveles de colesterol. Y cada metal puede tener un efecto dañino directo en el medioambiente [21].

El primer precedente legal para la regulación de las pilas de desecho y acumuladores en México surgió en 1988 con la ley general para el balance ecológico y la protección del medio ambiente (LGEEPA) y su respectivo reglamento en materia de residuos peligrosos, así como la norma NTE-CRP-001/88. Con ello, se establecieron las bases para hacer el seguimiento de estos residuos y determinar la dimensión de los mercados ambientales requeridos para su manejo adecuado. Los aspectos considerados para lograrlo fueron: a) contar con elementos para inventariar los residuos peligrosos a partir de un listado de los mismos y de un procedimiento para caracterizar los residuos no listados, tomando en cuenta sus propiedades corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas; b) determinar el universo de generadores de residuos peligrosos, a través de la obligación de éstos a darse de alta ante la autoridad competente; c) definir el universo de residuos peligrosos potenciales generados por dichas fuentes al registrarse, mediante la entrega de un manifiesto con la información correspondiente; d) implantar un sistema de autorizaciones a quienes se ocupen en forma privada o pública del manejo de residuos peligrosos a lo largo de su ciclo

de vida integral (acopio, almacenamiento, transporte, reutilización, reciclado, tratamiento o disposición final); y e) recabar información sobre la forma de manejo de los residuos peligrosos generados, mediante un sistema de manifiestos de entrega-transporte-recepción, de informes semestrales de los generadores y de reportes periódicos por parte de las empresas autorizadas a su manejo, para evaluar si se satisfacen las necesidades de infraestructura y se cumplen las políticas en la materia.

Esta ley clasificó las pilas de desecho y acumuladores como residuos potencialmente peligrosos dado el riesgo de toxicidad de algunos de sus componentes, aunque el manejo inadecuado de las pilas de desecho y acumuladores ha continuado siendo una práctica común.

Para 2004, se publicó en la Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología (INE) el artículo titulado “La contaminación por pilas y baterías en México” escrito por José Castro Díaz y María Luz Díaz Arias [22] y comunicaba que a esa fecha no se conocía ningún estudio que evaluara el impacto al ambiente ocasionado por la utilización y manejo inadecuado de pilas y baterías en México; se sabía que varios componentes usados en la fabricación de estos productos eran tóxicos y por tanto la contaminación ambiental y los riesgos de afectar la salud y los ecosistemas dependían de la forma, lugar y volumen en que se disponían o trataban este tipo de residuos. Informaban en su trabajo que se calculaba que en los últimos 43 años (2004), en el territorio nacional se habían liberado al ambiente aproximadamente 635,000 toneladas de pilas, cuyos contenidos incluían elementos inocuos al ambiente y a la salud, como carbón (C) o zinc (Zn), pero también elementos que podían representar un riesgo debido a los grandes volúmenes emitidos, como el caso de las 145,918 toneladas de dióxido de manganeso (MnO₂) y otros elementos tóxicos como las 1,232 toneladas de Hg; 22,063 toneladas de Ni; 20,169 toneladas de Cd y 77 toneladas de compuestos de Li. Dichas sustancias tóxicas representaban casi el 30% del volumen total de residuos, es decir, aproximadamente 189,382 toneladas de materiales tóxicos para el período comprendido entre 1960 y 2003.

En la Universidad Tecnológica de la Mixteca, a partir del año 2010 se vienen acopiando las pilas de desecho de todos los tipos. Inicialmente como una acción de protección al medioambiente y posteriormente,

para generar conocimiento a partir de ellas y elevar propuestas de procedimientos para su tratamiento. En el marco de la 20a Semana Nacional de Ciencia y Tecnología (21-25 Octubre de 2013), iniciamos este presente estudio para una muestra cuyo peso arrojó 200 kilogramos de pilas de todos los tipos.

Este trabajo persigue generar conocimiento, tomando como referencia lo que acontece en nuestro sistema universitario respecto al acopio de las pilas de desecho y a partir de las conclusiones de este estudio, concientizar a la comunidad universitaria y al público en general respecto a la toxicidad de los materiales con que se fabrican las pilas y el inadecuado manejo con el que tratamos actualmente este residuo. Instruirnos que las pilas de desecho son nocivas al medioambiente y a la salud y que debemos coludirnos para encontrar procedimientos amigables al ambiente y a nuestra salud con los cuales reciclar y/o disponer finalmente de este desperdicio.

Metodología

Las pilas son dispositivos que convierten la energía química generada por la reacción de sus componentes en energía eléctrica. Sus partes internas esenciales son un electrodo positivo y un electrodo negativo (ánodo y cátodo). Dependiendo del tipo de pila, sus componentes están constituidos por sustancias tóxicas como el Hg, Pb, Ni y Cd; y otras veces por elementos no tóxicos como el Zn, que en cantidades balanceadas forman parte de nuestro organismo (oligoelemento). El tercer componente es un conductor iónico denominado electrolito.

Para este estudio propusimos una metodología bastante simple para la selección, clasificación y caracterización:

- Clasificación de las pilas de desecho según su tipo (AA, AAA, C, D, 9 Volts, de botón y 1,2,3).
- Pesaje unitario por tipo y pesaje colectivo por tipo.
- Etiquetado por tipo, y peso unitario.
- Colectado de datos y
- Tratamiento estadístico.

Para el pretratamiento mecánico proponemos:

- Separación por tipo
- Clasificación por tipo primarias (desechables y alcalinas) o secundarias (recargables).

- Trituración por tipo en el molino triturador para resinas termoplásticas M20
- Separación por vibración de la fracción gruesa (papel, plásticos y metales ferrosos y no ferrosos) de la fracción fina (contaminantes).

Resultados

La Figura 1 muestra la distribución en peso por tipo de pila de desecho. El peso total de la muestra es de 210.2 kilogramos. El 44% del peso total corresponde a las pilas de desecho del tipo AA; el 31% a las del tipo D; el 11% a las pilas de celular; el 7% al tipo AAA, el 4% al tipo 9-volt y el 3% al tipo C. El peso de las de botón y del tipo 123 es insignificante.

La Figura 2 presenta la distribución según el número de pilas de desecho según su tipo. Se contabilizaron un total de 8,296 pilas de desecho, de las cuales el 65% corresponde al tipo AA, esto es, 5,386 pilas de desecho de este tipo. El 17% al tipo AAA; 8% al tipo D; el 4% al tipo botón; 2% al tipo celular; 2% al tipo 9-volt; 2% al tipo C.

El país de donde provienen la mayor cantidad de marcas comerciales de pilas es China, con 13 marcas,

el 41% de la muestra de 32 marcas. El 19% corresponde a marcas provenientes de los Estados Unidos de Norteamérica. Le sigue con un 13% marcas provenientes de Indonesia; 9% de Japón; 9% de marcas desconocidas; 6% procedentes de Singapur y 3% de Alemania (Figura 3).

El idioma de las instrucciones más utilizado es el inglés, 37%. Le sigue el idioma español con un 26%. Luego, con 17%, marcas donde se combinan los idiomas español e inglés. Instrucciones en idiomas español, inglés y chino con un 11% y un 9% no se identifica (Figura 4).

Las pilas primarias (C-Zn) o “desechables” dominan el volumen con un 43%, presumiblemente proveniente de China (Fig.5). Le siguen las pilas alcalinas, también del sistema C—Zn, esto es, pilas primarias con un 25%. Seguidamente las etiquetadas como Zn-MnO₂ (alcalinas) con 21%. Entre estos sistemas, correspondientes los tres a pilas primarias o desechables totalizan el 89% del total de las pilas de desecho acopiadas. Son desechables debido a que sus componentes químicos, una vez que se convierten en energía eléctrica, ya no pueden recuperarse. Estas

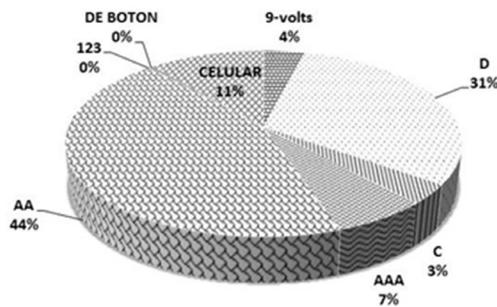


Fig. 1. Tipos de pilas de desecho según su peso

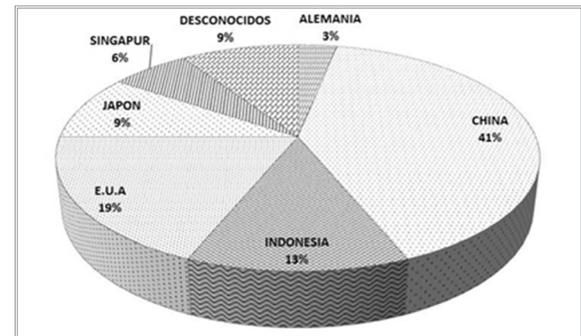


Fig. 3. País de origen de las pilas

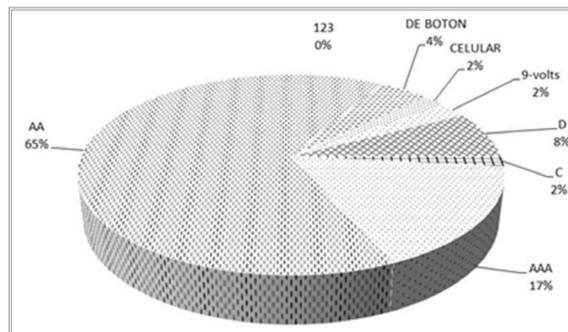


Fig. 2. Porcentaje del número de pilas de desecho

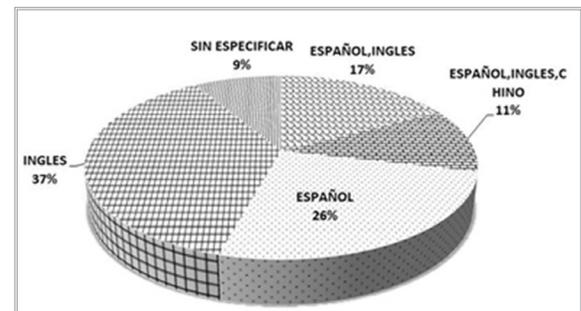


Fig. 4. Idioma utilizado en las instrucciones por marca de pila

pilas primarias tienen poca duración y constituyen una gran parte del volumen generado. Entre las pilas primarias desechadas acumulan el 68% del volumen total. Las pilas secundarias (recargables) son las de los sistemas químicos Ni-Cd, Ni-MH, Ion-Li, Zn-MnO₂. El 11% corresponde a las pilas de desecho de estos sistemas químicos.

Discusión

El estudio realizado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) concuerda con los resultados presentados hace 10 años (2004) por José Castro Díaz y María Luz Díaz Arias [22] respecto a que las pilas primarias o desechables, del tipo AA, presentan el mayor peso con un 44% de los 210.2 kilos colectados en la UTM. Las pilas primarias de desecho son la mayoría debido a que sus componentes químicos, una vez que se convierten en energía eléctrica no se recuperan. Este desperdicio pertenece al sistema carbón-zinc (C-Zn). Estas pilas tienen un vida útil muy corta y constituyen la mayor parte del volumen generado (Figura 1), procedentes principalmente del mercado asiático. En este sistema C-Zn el electrolito es el hidróxido de potasio (KOH). Están compuestas de zinc metálico, cloruro de amonio (NH₄Cl) y dióxido de manganeso o pirolusita (MnO₂). Son las llamadas pilas comunes, que se utilizan en dispositivos sencillos y de poco consumo. Del total de 8296 pilas de todos los tipos, las del tipo AA suman 5386.

En este sistema, los contaminantes son el manganeso (Mn) y el zinc (Zn). La exposición a altos niveles de Mn ocasiona perturbaciones mentales y emocionales y provoca movimientos lentos y faltos de coordinación. La combinación de síntomas ocasiona la enfermedad llamada “manganismo” que afecta a la

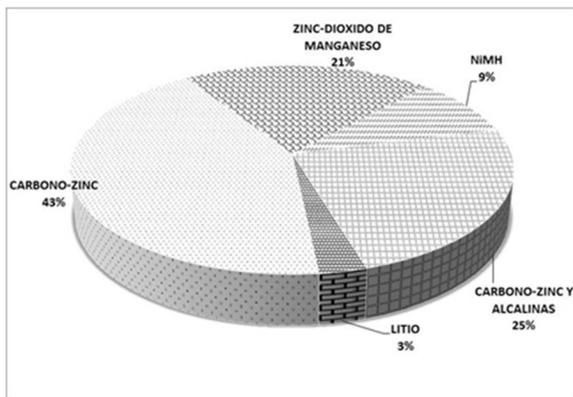


Fig. 5. Composición química de las pilas de desecho

parte del cerebro que controla los movimientos. En los suelos provoca esterilidad. El Zn provoca intoxicaciones severas al ingresar grandes cantidades al cuerpo. También provoca esterilidad en los suelos. Las pilas alcalinas, incluidas en las pilas primarias o desechables, generan también energía a partir de la reacción química entre el Zn y el MnO₂ (sistema químico Zn/MnO₂). Emplean KOH como electrolito. Otra sustancia presente es el NH₄Cl que se descompone al elevar su temperatura, produciendo humos tóxicos e irritantes óxidos de N, NH₃ (amoníaco) y HCl (cloruro de hidrógeno). Su disolución en agua produce un ácido débil.

Las pilas secundarias o recargables de uso doméstico, se desechan proporcionalmente en menores cantidades que las primarias. Datos indican que una pila secundaria puede sustituir hasta 300 pilas primarias. La desventaja consiste que generalmente contienen metales tóxicos como Pb, Cd y Ni. Nuevos diseños presentan este tipo de pilas con menores tamaños y pesos, sin embargo, los volúmenes de producción han aumentado. Las pilas de desecho provenientes de los celulares representan el 11% de los 210.2 kilos y 2% respecto a las 8296 pilas en total, esto es, 166 pilas desechadas de celular. Este tipo de desecho pertenece a los sistemas químicos Ni-Cd, NiMH (hidrato metálico de Ni) y al Li-Ion (iones de Li). Esto significa que 166 pilas pesan 23.2 kilos. La exposición al Ni produce reacción alérgica. El Ni metálico y sus compuestos son cancerígenos. Respirar altas dosis de Cd produce graves lesiones en los pulmones y generalmente se acumula en los riñones. Cuando el ser humano se expone a altas concentraciones de Cd le produce la muerte. La intoxicación a consecuencia de ingerir alimentos o agua con altas concentraciones de Cd produce una seria irritación del estómago e induce vómito y diarrea. Exposición a bajas concentraciones produce enfermedades renales. El Cd es cancerígeno. Es bioacumulable y biopersistente. La intoxicación por Li provoca falla respiratoria, depresión al miocardio y edema pulmonar. Dado que el Li se usa como medicamento, se ha encontrado ser de alta toxicidad. Afecta seriamente al sistema nervioso, provoca anorexia, visión borrosa, temblores, estado de coma y finalmente la muerte.

Destaca el volumen de pilas primarias (89%) respecto al volumen de pilas secundarias (11%) en el total de pilas acopiadas. Entonces, es necesario

un sistema de acopio selectivo para los sistemas químicos C-Zn y Zn-MnO₂ (alcalino) de acuerdo a la Ley General para el Balance Ecológico y la Protección del Medio Ambiente (LGEEPA) y su respectivo reglamento en materia de residuos peligrosos, así como la norma NTE-CRP-001/88.

Las pilas primarias de los sistemas químicos C-Zn y Zn-MnO₂ contienen cantidades considerables de Zn, Mn y Fe. El reciclado metálico es el principal objetivo de las opciones de tratamientos disponibles. El reciclado puede ser hecho por procesos hidrometalúrgicos o procesos pirometalúrgicos. Otra opción, es el pretratamiento mecánico de la fracción gruesa, compuesta básicamente de papel, plásticos y metales ferrosos y no ferrosos.

Conclusiones

- La Universidad Tecnológica de la Mixteca ha iniciado la tarea de acopiar y almacenar las pilas de desecho, entre la comunidad universitaria, tanto pilas primarias como pilas secundarias con el objetivo de proponer procesos que conlleven al reciclaje y tratamiento de recuperación de materia prima, principalmente, de las pilas primarias (C-Zn; Zn-MnO₂).
- Conscientes de los riesgos a la salud de la población que conlleva depositar este tipo de desperdicio en los botaderos municipales, la Universidad Tecnológica de la Mixteca propone ser el Centro de Acopio Estatal para este tipo de desechos.
- Con el conocimiento generado por este trabajo de caracterización de las pilas de desecho, también proponemos el Pretratamiento Mecánico para recuperación de materias primas 

Bibliografía

- [1] Crowe, M., Elser, A., Gopfert, B., Mertins, L., Meyer, T., Schmid, J., Spillner, A., Strobel, R., 2003. Waste from Electric and Electronic Equipment (WEEE) – Quantities, Dangerous Substances and Treatment Methods. European Topic Centre on Waste. European Environment Agency.
- [2] Morf, L., Tremp, J., Gloor, R., Schuppisser, F., Stengele, M., Taverna, R., 2007. Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste – actual levels in Switzerland. *Waste Manage.* 27, 1306-1316.
- [3] Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., Boni, H., 2005. Global perspectives on e-waste. *Environ. Impact Assess. Rev.* 25, 436-458.
- [4] Commission of the European Communities (CEC), 2003. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).
- [5] Commission of the European Communities (CEC), 2006. Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September on Batteries and Accumulators and Repealing Directive 91/157/EEC.
- [6] AEA Technology, 2004. WEEE and Hazardous Waste. A Report Produced for DEFRA. Report Number AEAT/ENV/R/1688, Issue 1.
- [7] Gross, R., Bunke, D., Gensch, C., Zangl, S., Manhart, A., 2008. Study on Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, not Regulated by the RoHS Directive, *Oko-Institut e.V.*, Institute for applied ecology, Freiburg, Germany.
- [8] Onwughara, N.I., Nnorom, I.C., Kanno, O.C., Chukwuma, R.C., 2010. Disposal methods and heavy metals released from certain electrical and electronic equipment wastes in Nigeria: adoption of environmental sound recycling system. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 1 {4}.
- [9] Robinson, B., 2009. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Sci. Total. Environ.* 408, 183-191.
- [10] Tsydenova, O., Bengtsson, M., 2011. Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. *Waste Manage.* 31, 45-58.
- [11] Bigum, M., Brogaard, L., Christensen, T.H., 2012. Metal recovery from high-grade WEEE: a life cycle assessment. *J. Hazard. Mater.* 207-208, 8-14.
- [12] Hischer, R., Wager, P., Gauglhofer, J., 2005. Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). *Environ. Impact Assess. Rev.* 25, 525-539.

- [13] Wager, P.A., Hirschier, R., Eugster, M., 2011. Environmental impacts of the Swiss collection and recovery systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): a follow up. *Sci. Total Environ.* 409, 1746-1756.
- [14] European Commission Enterprise and Industry (ECEI), 2010. Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Version of 30 July 2010.
- [15] Schuler, D., Buchert, M., Liu, R., Dittrich, S., Merz, Cornelia, M., 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament. Oko-Institut e.V.- Institute for Applied Ecology, Freiburg, Germany.
- [16] Riber, C., Petersen, C., Christensen, T.H., 2009. Chemical composition of material fractions in Danish household waste. *Waste Manage.* 29, 1251-1257.
- [17] Richard, T.L., Woodbury, P.B., 1992. The impact of separation on heavy metal contaminants in municipal solid waste composts. *Biomass and Bioenergy* 3 (3-4), 195-211.
- [18] Richard, T.L., Woodbury, P.B., 1998. Municipal Solid Waste Composting: Strategies for Separating Contaminants. Fact Sheet 3 of 7. Cornell Waste Management Institute, Center for the Environment, 425 Hollister Hall, Ithaca, NY 14853-3501.
- [19] Targeted Risk Assessment Report on the Use of Cadmium Oxide in Batteries, 2003. <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/batteries/index.html>
- [20] Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 8, 2006. Official Journal of the European Union.
- [21] ATSDR, 2010. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [http://www.atsdr.cdc.gov/4770 Buford Hwy NE, Atlanta, GA 30341](http://www.atsdr.cdc.gov/4770/Buford/Hwy%20NE/Atlanta%20GA%2030341).
- [22] Castro-Díaz, J., Díaz-Arias, M.L., 2004. La contaminación por pilas y baterías en México, *Gaceta Ecológica*, Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), #72, 54-75.