

Importancia del Tratamiento de las Pilas Descartadas

Nota de Divulgación

I.Q. Karla Iveth Camacho Aguilar

Depto. de Ingeniería Química y Bioquímica. Maestría en Ciencias en Ingeniería Química.

Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Av. López Mateos # 1801 Ote. Fracc. Bona Gens. Aguascalientes, Ags. C.P. 20256

Tel:01(449) 9 10 50 02 karla_ica@yahoo.com.mx

Resumen

Se mencionan los aspectos más importantes a tratar en lo que al tema pilas descartadas respecta. El funcionamiento, uso y composición de la pilas; la problemática, los efectos en la salud y el ambiente, así como la normatividad vigente en México, todo lo anterior con la finalidad de buscar una alternativa de solución para el grande problema que tenemos con de uno de los tantos residuos clasificados como peligrosos que no tienen ningún tipo de control.

Palabras clave

Pila, tratamiento, normas, residuo peligroso.

Introducción

Las pilas son un subproducto del uso de aparatos electrónicos portátiles, los cuales han ido incrementando su demanda debido a la comodidad y practicidad de los mismos. Una pila galvánica es un sistema que permite obtener energía a partir de una reacción llamada de oxidorreducción. Ésta es la resultante de dos reacciones parciales (hemirreacciones), en las cuales, un elemento químico es elevado a un estado de valencia superior (hemirreacción de oxidación), a la vez que otro elemento químico es reducido a un estado de valencia inferior (hemirreacción de reducción). Estos cambios de valencia implican transferencia de electrones del elemento que se oxida al elemento que se reduce [1].

El diseño constructivo en una pila determina que cada una de estas dos hemirreacciones transcurra en “compartimentos” independientes llamados electrodos, y el medio que posibilita el transporte interno de carga eléctrica entre ambos, es una sustancia conductora llamada electrolito [1].

Para obtener energía eléctrica es necesario conectar los electrodos de la pila, al aparato que se desee hacer funcionar mediante conductores eléctricos externos representados en la figura 1 [1].

En estas condiciones la pila descarga externamente su energía, la que es aprovechada por el aparato para su funcionamiento, mientras que

internamente se producen en los electrodos las hemirreacciones mencionadas [1].

La variedad en el mercado es tal que se pueden encontrar en diferentes capacidades, tamaños, formas y aplicaciones; pero su clasificación general se hace en dos tipos principales, primarias y secundarias y dentro de ellas además existen otras clasificaciones.

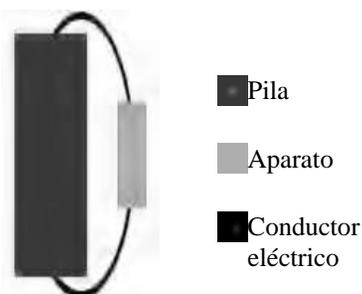


Figura 1. Diagrama del funcionamiento general de una pila.

Las *pilas primarias* se basan en una reacción química irreversible, y por lo tanto no se pueden recargar (posee un sólo ciclo de vida). En cambio, las *pilas secundarias* llevan a cabo una reacción química reversible y, por lo tanto, se pueden recargar, de esta manera sus elementos activos se regeneran pasando una corriente eléctrica en sentido contrario al de descarga [1].

Se venden cinco tipos de pilas “no recargables” compuestas por los siguientes minerales: carbón-zinc, alcalinas, cloruro de zinc, óxido de plata, óxido de mercurio. Las dos primeras son las más comunes; se usan para radios, linternas, etc. Ambas contienen diferentes porcentajes de mercurio. Las otras tres también se venden mucho y son las baterías botón de los relojes, calculadoras, cámara de fotos. El porcentaje de óxido de mercurio en estas puede llegar al 50% de su peso total, en ambos grupos existe un elemento altamente contaminante: el mercurio [2].

En los países precursores de esta tecnología, se han decretado leyes de control ambiental que regulan a las pilas como un residuo peligroso de acuerdo a sus características CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico y/o biológico infeccioso), así como también tecnologías que ayudan al tratamiento de éstos

dispositivos generadores de energía. De acuerdo a lo anterior, las pilas necesitan una urgente respuesta en nuestro país ante el impacto que éstas tienen en el ambiente después del término de su vida útil, el cual no ha sido regulado aún cuando se sabe las repercusiones que este residuo tiene.

Materiales y Métodos

Se realizó una búsqueda por vía electrónica. Dicha búsqueda ubicó la problemática, efectos en la salud y el ambiente, tecnologías de tratamiento para pilas y normatividad, lo anterior dentro del país como en el extranjero. Lo que se pretendió fue explorar la mayor cantidad de alternativas de justificación para el desarrollo de un posterior proyecto dedicado al tratamiento de las pilas aunque en este artículo solo se manejan los aspectos de manera muy general y son los que se consideran más relevantes con respecto al tema.

Resultados

Problemática

Se calcula que en los últimos siete años, en México se han generado en promedio 35,500 toneladas de pilas y baterías por año; es decir, aproximadamente el 0.12% del total de los 3,598,315 toneladas/año de residuos municipales generados en nuestro país, según datos de SEDESOL de 1999, lo cual equivale a 10 pilas/habitante/año o aproximadamente 400 gramos/habitante/año de los cuales el 30% corresponde a materiales tóxicos. Si se les considera como residuos peligrosos, se puede establecer la relación que representa aproximadamente el 0.96% del total de dichos residuos generados en nuestro país, que según la SEMARNAT es de casi 4'000,000 de toneladas/año. Este volumen de pilas y baterías desechadas, tiende a incrementarse proporcionalmente con respecto a décadas anteriores debido al crecimiento de la población, al incremento en aplicaciones y a la mayor oferta [3].

En los últimos 43 años, en el territorio nacional se han liberado al ambiente aproximadamente 635,000 toneladas de pilas, cuyos contenidos incluyen elementos inocuos al ambiente y a la salud (en cantidades proporcionalmente adecuadas), como carbón (C) o zinc (Zn), pero también incluyen elementos que pueden representar un riesgo debido a los grandes volúmenes emitidos como es el caso de 145,918 toneladas de dióxido de manganeso (MnO_2) y otros elementos tóxicos como: 1,232 toneladas de mercurio (Hg); 22,063 toneladas de níquel (Ni); 20,169 toneladas de

cadmio (Cd) y 77 toneladas de compuestos de litio (Li). Dichas sustancias tóxicas representan casi el 30% del volumen total de residuos antes mencionado, o sea aproximadamente 189,382 toneladas de materiales tóxicos para el periodo de 1960 a 2003.[3] Como referencia, una sola pila común gastada, puede contaminar hasta 3,000 litros de agua, una pila alcalina 167,000 y una de botón (micropila o microbateria) 600,000 litros de agua [3].

Las pilas son arrojadas con el resto de los residuos, yendo a parar a los basureros que en nuestro país suelen ser solo vertederos incontrolados, ubicados en cualquier sitio, sin tener en cuenta estudios geológicos e hidrológicos en su instalación [4].

Las pilas, al dejar de proporcionar energía eléctrica, continúan produciendo reacciones químicas de las que resultan metales, todos ellos tóxicos para los seres vivos, en forma oxidada. Las pilas sufren la corrosión de sus carcasas afectadas internamente por sus componentes y externamente por la acción climática y por el proceso de fermentación de la basura, especialmente la orgánica, que al elevar su temperatura a los 70 °C, actúa como reactor de la contaminación [2].

El mecanismo de movilidad a través del suelo se ve favorecida al estar los metales en su forma oxidada, estos los hace mucho más rápidos en terrenos salinos o con un pH muy ácido. Los metales emitidos se hallan como cationes (iones con carga positiva) lo que hace que los suelos los absorban con mayor rapidez, no se degradan en forma espontánea, y casi todos no son biodisponibles [2].

Estos iones metálicos tienen como vehículo de salida al exterior el agua que contienen todas las pilas en un importante porcentaje de su peso. A ese líquido viscoso con una alta concentración metálica se le denomina lixiviado [2].

Si se colocan las pilas en contacto directo con cemento (sin material intermedio que neutralice el lixiviado), se producirá una alta corrosión. Esto es debido a que los diferentes metales contenidos en las distintas clases de pilas, alcalinas (manganeso), comunes (zinc), de botón (mercurio, plata y litio), recargables (níquel y cadmio), por sus variados potenciales de oxidación, favorecerán las reacciones de oxidación química produciendo metales en forma de iones positivos [2].

Estos metales, conjuntamente con los electrolitos de las pilas, formarán diversos tipos de sales, como por ejemplo: sulfatos ferrosos, férricos, mercurio, cloruros de magnesio y de amonio (electrolito común en pilas); que son ampliamente conocidos como inconvenientes para la utilización con cemento de silicatos por su alto nivel corrosivo hacia el material [2].

La corrosión en este caso aumenta rápidamente con la velocidad de emisión del lixiviado, siendo aproximadamente la penetración a través del cemento de 0,25 mm/ mes; especialmente cuando no solo forman

parte del lixiviado las sales disueltas, sino también partículas de metales en suspensión [2].

Como se mencionó con anterioridad, hay una gran variedad de combinaciones entre los componentes de las pilas, por lo que el problema que se enfrenta con las pilas es difícil y la realización de una técnica de tratamiento para cada una de ellas representa un arduo trabajo. La clasificación y composición de las pilas primarias se presenta en la Tabla 1[4]:

Tipo de pila	Componentes
Carbón-zinc (c-Zn)	<ul style="list-style-type: none"> • Zn 17% (ánodo) • Dióxido de manganeso 29% (cátodo) • Carbón 7% • Mercurio 0.01% (electrolito, cátodo y ánodo) • Cadmio 0.08% • Cloruro de amonio (electrolito) • Cloruro de zinc (electrolito) • Plástico y lamina 26%
Alcalinas	<ul style="list-style-type: none"> • Zn 14% (ánodo) • Dióxido de manganeso 22% (cátodo) • Carbón 2% • Mercurio 0.5 a 1% (ánodo) • Hidróxido de potasio (electrolito) • Plástico y lamina 42%
Oxido de mercurio (HgO) (1)	<ul style="list-style-type: none"> • Oxido de mercurio (Hg) 33% (cátodo) • Zn 11% (ánodo) • Hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (electrolito) • Plástico y lamina 29%
Zinc-aire (Zn-aire)	<ul style="list-style-type: none"> • Zn 30% (ánodo) • Oxígeno (del aire, cátodo) • Mercurio 1% • Plata 1% • Plástico y lamina 67% • Cloruro de sodio o hidróxido de sodio (electrolito)
Oxido de plata (Ag ₂ O)	<ul style="list-style-type: none"> • Zn 10% (ánodo) • Oxido de plata 27% (cátodo) • Mercurio 1% • Cloruro de sodio o hidróxido de sodio (electrolito) • Plástico y lamina 29%
Litio (li)	<ul style="list-style-type: none"> • Litio del 10 al 30% • Dióxido de manganeso (cátodo) • Plástico y lamina 29%

Tabla 1. Componentes principales de las pilas primarias (desechables)[4]

(1) Aparentemente ya no se fabrican desde principios de la década de los 90.

En la Tabla 2 se menciona cuales son los componentes de las los diferentes tipos de pilas secundarias [4].

Tipos de pila	Componentes principales
Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	<ul style="list-style-type: none"> • Cd 18% • Ni 20% • Hidróxido de potasio o de sodio
Níquel-metalhidruro (Ni-Mh)	<ul style="list-style-type: none"> • Ni 25% • Hidróxido de potasio
Ion-litio (ion-Li)	<ul style="list-style-type: none"> • Oxido de litio-cobalto (cátodo) • Carbón altamente cristalizado (ánodo) • Solvente orgánico
Plomo (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo • Acido sulfúrico

Tabla 2. Componentes principales de las pilas secundarias (recargables)[4]

Normatividad

Las pilas son arrojadas con el resto de los residuos, yendo a parar a los basureros que en nuestro país suelen ser sólo vertederos incontrolados, ubicados en cualquier sitio, sin tener en cuenta estudios geológicos e hidrológicos en su instalación [4]. en general la mayoría de las pilas contienen elementos que repercuten a la salud y al medio ambiente, la exposición prolongada de este tipo de residuos a las condiciones ambientales a las que son expuestas una vez que son desechadas, provocan la liberación de los materiales contaminantes contenidos en la pila en forma de lixiviados[4].

Las pilas se encuentran en el número 14 del anexo de la NOM-052-ECOL-1993 relativa a la clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso. Debe considerarse también el anexo 5 de la NOM que establece las características del lixiviado según su toxicidad al ambiente, donde se encuentran listados el cadmio y el níquel [1].

En relación con el marco jurídico aplicable al procedimiento de recolección y reciclaje de pilas, cabe señalar que se encuentran reguladas por lo dispuesto en el capítulo VI del título cuarto de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente [4].

Las pilas son consideradas actualmente como residuos peligrosos en virtud de lo cual les son aplicables las disposiciones relativas, especialmente por lo que a pilas que contienen níquel y cadmio se refiere [5].

Efectos en la salud y el medio ambiente.

Los efectos en la salud y al medio ambiente por la exposición a algunos de los componentes de las pilas se mencionan a continuación:

Mercurio: La exposición a altas dosis de Hg⁺⁺ provoca las siguientes situaciones:

- Agudas: dermatitis, ulceraciones de conjuntiva y córnea (ceguera), en forma oral colapso del aparato digestivo mortal en horas, insuficiencia renal.

- Subagudas: alucinaciones, diarreas, hemorragias, excitabilidad, las alteraciones por contacto vía oral, mientras que por contacto dérmico: trastornos mentales, insomnio, fenómenos vinculares periféricos, trastornos sensoriales en las extremidades, acrodia infantil (enfermedad rosa).
- Crónicas: todas las alteraciones más delirio y psicosis maniaco depresiva. En exposiciones continuas pero en bajas dosis, en forma crónica: debilidad, anorexia, pérdida de peso, insomnio, diarrea, pérdida de dientes, gingivitis (inflamación de encías), irritabilidad, temblores musculares suaves, y sacudidas repentinas, sialorrea (salivación profunda) [2].

Cadmio: La tasa de mortalidad por exposición al cadmio es de 15% y provoca daños sistemáticos renales, con anemia y presencia anormal de proteínas en la orina. Produce lesiones en el hígado, malformaciones congénitas (anancefalia-nacen sin cerebro-, anoftalmía, sin ojos: microftalmía (globos oculares pequeños). Puede producir abortos en etapas tempranas del embarazo y algo más tarde las malformaciones ya mencionadas. Provoca una enfermedad denominada itai-itai, caracterizada por intensos dolores óseos, a veces con fracturas espontáneas debido al ablandamiento de los huesos [2].

Plomo. Los niños y en especial las embarazadas son especialmente sensibles al plomo, más que otros grupos. Entre algunos de sus efectos, altera la hemoglobina sanguínea, pero cabe aclarar que sus síntomas son tan inespecíficos que se ha llamado en algunas oportunidades al plomo, "el gran simulador". Como síntomas precoces encontramos: fatiga, dolores de cabeza, dolores óseos, dolores abdominales, irritabilidad, trastornos del sueño, dolores musculares, síntomas abdominales vagos.

Mientras que entre los síntomas avanzados están: anemias, cólicos intensos, náuseas, vómitos, enfermedad renal, impotencia sexual, intensas cefaleas, delirio, esterilidad, daños al feto, hipertensión arterial, líneas de plomo en las encías, estreñimiento agudo, afectación de los nervios, enfermedad ósea, temblores, convulsiones, cuadros psiquiátricos graves, parálisis nerviosas, trastornos menstruales, probablemente cáncer y muerte [2].

Plata. Tóxica, no esencial para la vida [2].

Níquel. Con relación a este metal hay numerosas referencias de dermatitis y otros efectos dermatológicos por exposición al mismo. Contribuye también con enfermedades respiratorias como asma bronquial, bronquitis y neumoconiosis, pudiendo también desarrollar una rinitis hipertrófica, poliposis nasal, anemia, todo esto en el caso de inhalar polvos y aerosoles irritantes de

níquel. Han sido notados los incrementos en el riesgo de desarrollar tumores malignos, incluyendo carcinomas de laringe, riñón, próstata, estómago y también de tejidos blandos. Hay más de un compuesto de níquel que puede dar lugar a cáncer de pulmón y nasal. Cabe destacar que el níquel es un oligoelemento esencial en pequeñas dosis, en altas dosis es tóxico e incluso fatal, su requerimiento de ingesta no se ha establecido aún [2].

Cromo. En su estado de oxidación ⁺³, es esencial en pequeñas dosis, mientras que como cromo ⁺⁶, es sumamente tóxico aún en bajas dosis. Su acción sobre la piel y mucosas oculares y nasofaríngeas provoca efectos irritativos crónicos intensos ante su contacto prolongado. Es posible que cause conjuntivitis con lagrimeo y dolor, dermatitis del tipo eczematoso con úlceras características poco dolorosas o sintomáticas o de localización en dedos, manos, y antebrazos. Provoca alteraciones en el olfato, rinitis, faringitis y perforaciones en el tabique nasal [2].

Tecnologías

Varias son las alternativas tecnológicas para el adecuado tratamiento o disposición final de las pilas y baterías usadas entre las que podemos nombrar [2]:

- *Disposición final, sin ninguna modificación, en relleno de seguridad:* es la más cercana a las posibilidades actuales, pero se halla limitada por la escasa cantidad disponible de tales rellenos. [2]. En México la empresa RIMSA, cuenta con los permisos pertinentes para la disposición de pilas y baterías.
- *Tecnologías para la inmovilización de los constituyentes peligrosos:* vitrificación, cementación y ceramización, son algunas de las tecnologías que se han propuesto, las cuales presentan diversas variantes técnicas [2]; pero todas utilizan la estabilización de componentes peligrosos como base para su posterior proceso. No se requiere de la clasificación de pilas para llevar a cabo ninguna de estas tecnologías.
- *Reciclado de componentes:* existen a nivel mundial tecnologías para todo tipo de pilas y baterías[2]. Se sugiere que, para su posterior reciclado, las pilas deberían separarse en [6]:
 - ✓ Baterías de plomo (industriales, arrancadores, micropilas, baterías de automóviles).
 - ✓ Baterías de Níquel/Cadmio (grandes pilas abiertas, pilas cilíndricas selladas, pilas botón).
 - ✓ Pilas botón primarias con ánodo de cinc (Zn/HgO, Zn/Ag₂O, Zn/MnO₂, Zn/O₂).

Las pilas botón primarias con ánodos de zinc pueden ser reprocesadas juntas o clasificadas por su tipo. Existen equipos que recuperan mercurio o plata desde unidades separadas, o bien desde una unidad donde están mezcladas [6].

Los métodos en uso para la recuperación de mercurio (MRT, proceso VOEST, etc.) trabajan por destilación. La viabilidad comercial de recuperar plata y mercurio

depende fundamentalmente de los precios del metal primario. Mientras el reciclado de plata ciertamente cubre los costos, el reciclado de mercurio requiere un subsidio considerable [6].

Para las pilas Níquel/Cadmio, se sabe que existen diferentes tipos de baterías, pilas abiertas y selladas (cilíndricas y botón). Según el tipo y el tamaño de la pila, el Cd que contienen varía entre un 6 y 20 % de su peso total. El reciclado de estas baterías en Europa, se basa alternativamente en un proceso térmico (pirometalúrgico) o hidrometalúrgico [6].

- El proceso hidrometalúrgico utiliza sustancias químicas para la recuperación de metales, se aplica si los *materiales de alimentación* son minerales oxidados, concentrados minerales sulfurados pretratados que se pueden disgregar hidrometalúrgicamente, o concentrados sulfurados que han sido sometidos a una lixiviación oxidante [7].
- En proceso pirometalúrgico, utiliza altas temperaturas para su funcionamiento, es decir, se hace una desulfuración parcial o completa (calcinación total) del material de alimentación; que en este caso pueden ser las pilas [7].

El proceso NIFE es principalmente para las pilas abiertas Ni/Cd con placas tipo bolsillo [6].

Desde hace muchos años existen métodos de reciclado técnicamente ensayados y comprobados en la práctica para la recuperación de metales para casi todos los electroquímicos significativos almacenados en los sistemas (Pb/PbO₂, Ni/Cd, Zn/Ag₂O, Zn/HgO). Algunos se extienden también para los electrolitos (como ácido sulfúrico) y para la utilización térmica de las partes combustibles del recubrimiento (plástico, papel, carbón, etc.) [8].

Todavía no se ha utilizado a escala comercial la tecnología para las pilas comunes y alcalinas. El CJC (Clean Japan Center) opera una planta piloto en Hokkaido. Se conocen otros procesos desarrollados por VOEST, RECYTEC, SUMITOMO y otros. Tampoco se dispone de tecnología de reciclado para las pilas pequeñas de litio [8].

Las plantas de reciclado para las baterías de plomo y pilas botón de plata trabajan económicamente. El proceso de reciclado para las pilas botón de mercurio requiere altos subsidios de financiamiento, como para las de Zn/MnO₂. Las considerables fluctuaciones en los precios del níquel y el cadmio, conducen a que el reciclado de las baterías de Ni/Cd oscile entre pequeñas ganancias y grandes pérdidas [8].

Para la recolección separada de los tres tipos reciclables (baterías de plomo y Ni/Cd, y

micropilas) se producen costos y dificultades adicionales. Para los consumidores es difícil distinguir entre las micropilas de mercurio, plata y Ni/Cd. Podría ayudar el hecho que fuesen identificadas con un símbolo [8].

Un método ensayado y eficaz de separación de pilas botón de otros formatos de pilas, consiste en utilizar un tamiz vibrador con una base ranurada. Por el contrario, la clasificación de baterías con el mismo formato, pero de sistemas diferentes (como sería la separación de las pilas botón primarias de las micropilas de Ni/Cd), hasta el momento solo ha sido ensayado en prototipos [8].

Los metales reciclados (Pb, Cd, Hg, Ag) pueden usarse directamente para fabricar baterías o bien después de una etapa de purificación adicional. El hierro y el níquel pueden usarse en metalurgia, el ácido sulfúrico en plantas para limpieza de metales. Sin embargo aún no ha sido posible la reutilización del Zn y MnO₂ reciclado experimentalmente [8].

Para que un proceso de reciclado resulte viable, deben cumplirse determinadas condiciones [6]:

- Cantidad suficiente de productos usados.
- Que los productos usados contengan una alta concentración de las sustancias a ser recicladas.
- Existencia de un adecuado sistema de recolección con un alto grado de retorno.
- Requerimientos energéticos justificables, bajo consumo de material adicional, y un proceso de reciclado que genere bajas emisiones y residuos.
- Materiales secundarios reusables.
- Que los materiales recuperados tengan un valor comercial significativo.
- Viabilidad económica del reciclado en comparación con la producción de materiales primarios, en algunos casos teniendo en cuenta la reducción parcial de costos de disposición.

Conclusiones

Es de suma importancia la concientización de la población para llevar a cabo un programa de recolección y posteriormente poder reciclar las pilas procedentes del mismo, por medio de una tecnología aplicable al país.

Las alternativas de solución para el tratamiento de las pilas aplicables a nuestro país, pueden desarrollarse por medio de un proyecto dedicado exclusivamente al desarrollo de una logística de recolección, acopio y disposición final que incluya una tecnología de tratamiento y/o recuperación de metales.

Los elementos más peligrosos en las pilas son níquel, cadmio y mercurio, su recuperación puede ser económicamente factible y sus beneficios sobre el ambiente podrán ser enormemente contabilizados.

Es necesario el fomento a la revisión de la legislación en materia de residuos peligrosos, incluyendo en ella un control de importaciones de productos extranjeros en especial, aquellos en los que no se sabe qué tipo de

componentes incluyen dichos productos para evitar problemas ambientales posteriores.

Referencias

- [1] Anónimo. “*Pilas y Baterías: Terminología básica*”, <http://www.eco2site.com/trash/pilas.asp>. Visitado el 23 de marzo de 2006
- [2] Anónimo. Programa “*Ponte las pilas por Formosa*”. Instituto de Asistencia Social. Gobierno de la provincia de Formosa. <http://www.iasfsa.gov.ar/pilas/pilas.asp>. Visitado el 20 de marzo de 2006
- [3] Castro J. , Díaz M.L. (2004) *Contaminación por pilas y baterías en México*. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global.

- | | |
|-----|--|
| [4] | Diario Oficial 28-i-88, reformada en diario oficial el 13-XII-96 |
|-----|--|
- [5] Castro J. , Díaz M.L. (2004). *Gaceta Ecológica*. INE-SEMARNAT. No.72.
 - [6] 4to.Informe Técnico de la Campaña "Poné las pilas en el Taller Ecologista" <http://www.taller.org.ar/ciudades/Informe%20Pilas%20IV.pdf>. Visitado el 15 de abril de 2006
 - [7] Impactos Ambientales y Actividades Productivas. “Etapas del proceso hidrometalúrgico”. www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=168. Visitado el 15 de abril de 2006
 - [8] EUROPILE/EUROBAT Position Paper "Realized and Projected Recycling Processes for used Batteries" (Junio 1991).