UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

"PROPUESTA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE PILAS Y BATERÍAS (DISPOSITIVOS ELECTROQUÍMICOS GENERADORES DE ENERGÍA) FUERA DE USO EN EL SALVADOR"

PRESENTADO POR:

ANA ELENA ORTEZ SANDOVAL

KAREN ROCÍO PARADA ARÉVALO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2008.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL:

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO:

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DIRECTOR:

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QUÍMICO

Título

"PROPUESTA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE PILAS Y BATERÍAS (DISPOSITIVOS ELECTROQUÍMICOS GENERADORES DE ENERGÍA) FUERA DE USO EN EL SALVADOR"

Presentado por:

ANA ELENA ORTEZ SANDOVAL

KAREN ROCÍO PARADA ARÉVALO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directoras:

INGA. EUGENIA GAMERO DE AYALA

M.Sc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

San Salvador, Julio de 2008.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directoras:

INGA. EUGENIA GAMERO DE AYALA

M.Sc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

DEDICATORIA

A *Dios Todopoderoso* por permitirme culminar mi carrera, por darme la fuerza y ayudarme en todo momento.

A *mis Padres*, Denis Ortez y Dinora Sandoval de Ortez. Les estoy muy agradecida por su amor, ejemplo, sacrificio, apoyo incondicional, consejos y palabras de ánimo, ustedes han sido una parte fundamental en el logro de esta meta.

A *mis hermanas*, Joselyn y Denisse, por su amor, apoyo, paciencia, comprensión y palabras de ánimo.

A *mis amigos* que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo de graduación, mi agradecimiento.

A *toda mi familia* y personas que me apoyaron en el logro de esta meta.

A *mis profesores* por compartir sus conocimientos y a mis *asesoras* Inga. Delmy Rico e Inga. Eugenia de Ayala, que han contribuido directamente en la realización de este Trabajo de Graduación.

Ana Elena Ortez

DEDICATORIA

A *Dios Todopoderoso y la Virgencita de Guadalupe* por iluminar mi camino y permitirme concluir con éxito una etapa más en mi vida.

A *mis Padres*, Ramón Ernesto Parada y Carmen Arévalo de Parada, por toda la confianza, apoyo incondicional, amor, sacrificio, comprensión, pero sobre todo por su ejemplo de superación que me demuestran a diario, el cual siempre me ha ayudado a salir adelante para cumplir las metas que me propongo.

A *mis hermanos*, Rodrigo y Guillermo, por su apoyo, palabras de aliento y oraciones cuando más las necesitaba.

A *mis amigos*, Roberto, Silvia y Kli por estar conmigo siempre que los he necesitado y ayudarme a superar todas las adversidades que se presentaron durante mis estudios universitarios.

A *mis asesoras* M.Sc. Delmy Rico e Inga. Eugenia de Ayala, que contribuyeron directamente en la realización de este Trabajo de Graduación que hemos concluido con éxito.

Karen Rocío Parada

RESUMEN

Se presenta un informe acerca de la situación actual de pilas y baterías, exceptuando las de automotores, fuera de uso en El Salvador, en lo que concierne a su peligrosidad y a una propuesta para la gestión ambiental de estos dispositivos una vez que han completado su vida útil.

Se observa que hay falta de información objetiva acerca de este tema en medios de información y en organismos competentes así como también la preocupación por la inadecuada disposición final de las pilas y baterías. Estos residuos son generados en su mayoría por uso doméstico, industria y oficinas, la cual por la disposición final inadecuada puede ocasionar al medio ambiente y a la salud de la población graves problemas.

La investigación bibliográfica se hace consultando publicaciones sobre el tema de otros países ya que en El Salvador se carece de literatura relacionada. Con esta búsqueda de información bibliográfica se pretende cubrir aspectos como: *los diferentes tipos de pilas y baterías existentes, clasificación de pilas y baterías, sistemas químicos, cómo funcionan, efectos a la salud y al medio ambiente que provoca el acopio y disposición final no adecuada de pilas y baterías y las medidas aplicadas al respecto.*

Para conocer sobre el proceso de importación de pilas y baterías y los códigos arancelarios bajo el cual éstas se importan se realizó una investigación de campo en las aduanas del país, con lo cual se pudo observar que el ingreso de estos dispositivos no está regulado según la composición; para comprobar la no peligrosidad de estos productos, se propone exigir fichas técnicas durante la importación para tener un mayor control y así poder restringir el ingreso de aquellas pilas y baterías que contengan un contenido de metales por encima del límite que se estime conveniente.

En El Salvador no existe normativa específica de carácter ambiental concerniente a las pilas, a diferencia de países Europeos o de América del Sur y del Norte, ni estudios que comprueben que las pilas y baterías son peligrosas; únicamente se cuenta con La ley de Medio Ambiente y el Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos enmarcados en el Convenio de Basilea ratificado por El Salvador, en los cuales los residuos y desechos peligrosos son abordados de forma muy general.

En países como Chile y Argentina se cuenta con empresas que se encargan de recolectar las pilas y baterías las cuales son estabilizadas para luego llevarlas a un relleno de seguridad. Dichas empresas reciben pilas y baterías procedentes del extranjero, por lo cual el envío de las que se descartan en El Salvador sería muy viable para su disposición final adecuada.

Se analizaron los resultados y en base a una investigación bibliográfica sobre experiencias de disposición final a nivel mundial para conocer los diferentes tratamientos que existen y conociendo la situación del país detectada, se presentan propuestas alternativas factibles sobre manejo y disposición final de pilas y baterías fuera de uso; así mismo, se presenta una propuesta de Normativa Técnica para el Manejo de pilas y baterías, la cual tenga por objeto de una manera específica establecer las condiciones a que deberá someterse la importación, y una vez concluida su vida útil, la recolección, almacenamiento, transporte y disposición final adecuada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN *1*

1. FUNDAMENTOS SOBRE PILAS Y BATERIAS ELECTROQUÍMICAS *3*

1.1 HISTORIA DE LAS PILAS Y BATERÍAS 3
1.2 CONCEPTOS BÁSICOS 8
1.2.1 PILA Y BATERÍA 8
1.2.2 CÁTODO, ÁNODO Y ELECTROLITO 9
1.2.3 OPERACIÓN DE LA PILA 10
1.3 CLASIFICACIÓN DE PILAS Y BATERÍAS 14
1.3.1 PILAS PRIMARIAS: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y APLICACIÓN 14
1.3.2 PILAS SECUNDARIAS: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y APLICACIÓN 18
1.3.3 CLASIFICACIÓN POR ELECTROLITO 20
1.3.4 CLASIFICACIÓN POR FORMA EXTERNA 21
1.3.5 CLASIFICACIÓN POR FORMA INTERNA 22
1.3.6 CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO 22
1.4 ESTÁNDARES INTERNACIONALES PARA IDENTIFICACIÓN DE PILAS Y BATERÍAS 23
1.4.1 SISTEMAS DE NOMENCLATURA IEC Y ANSI 24
1.5 TOXICIDAD DE COMPONENTES DE PILAS Y BATERÍAS 26
1.5.1 COMPONENTES PRINCIPALES 26

2. TIPOS DE PILAS. SISTEMAS QUÍMICOS *34*

2.1 PILAS Y BATERÍAS ALCALINAS (LINDEN, REDDY, 2002) 34
2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES 34
2.1.2 REACCIONES QUÍMICAS 36
2.1.3 COMPONENTES Y MATERIALES DE LA CELDA 38
2.1.3.1 Componentes del cátodo 38
2.1.3.2 Componentes del Ánodo 39
2.1.3.3 Separadores 41
2.1.3.4 Envases, sellos, y finales 42
2.1.4 TIPOS Y TAMAÑOS (LINDEN, REDDY, 2002) 43
2.2 PILAS Y BATERÍAS DE ÓXIDO DE PLATA (LINDEN, REDDY, 2002) 45
2.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES 45
2.2.2 REACCIONES QUÍMICAS Y COMPONENTES 46
2.2.2.1 Ánodo de Cinc 46
2.2.2.2 Cátodo de Óxido de Plata 47
2.2.2.3 Electrolito 51
2.2.2.4 Barreras y Separadores 51
2.2.3 TAMAÑOS Y TIPOS DE CELDAS 52

2.3 PILAS Y BATERÍAS DE LITIO (LINDEN, REDDY, 2002) 53
2.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES 53
2.3.1.1 Ventajas de las celdas del litio 54
2.3.2 PILAS Y BATERÍAS DE IÓN LITIO 56
2.3.2.1 Características Generales (http://www.clubalarc.com/pages/ionlitio.htm) 56
2.3.2.2 Reacciones químicas (Linden, Reddy, 2002) 57
2.4 PILAS Y BATERIAS DE AIRE-CINC (LINDEN, REDDY, 2002) 60
2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES 60
2.4.2 REACCIONES QUÍMICAS 62
2.5 PILAS Y BATERÍAS DE NÍQUEL – CADMIO 63
2.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES 63
2.5.2 REACCIONES QUÍMICAS (ABREO, N., 2000) 64
2.5.3 CONSTRUCCIÓN (ABREO, N., 2000) 65
2.5.3.1 Celdas cilíndricas 65
2.5.3.2 Celdas prismáticas 66
2.6 PILAS Y BATERÍAS DE ÓXIDO DE MERCURIO (LINDEN, REDDY, 2002) 66
2.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES 66
2.6.2 REACCIONES QUÍMICAS 68
2.7 PILAS Y BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO DE METAL 69
2.7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES 70
2.7.2 REACCIONES QUÍMICAS (ABREO, N., 2000). 71

3. DISPOSICIÓN FINAL DE PILAS Y BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS 74

3.1 IMPORTANCIA DE LOS METALES PESADOS EN LA DISPOSICIÓN DE PILAS Y BATERÍAS 74
3.1.1 MERCURIO (KIEHNE, 2003) 74
3.1.2 CADMIO (KIEHNE, 2003) 75
3.1.3 PLOMO (KIEHNE, 2003) 76
3.2 TÉCNICAS EXISTENTES PARA LA DISPOSICIÓN ADECUADA DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO 76
3.2.1 DISPOSICIÓN FINAL EN RELLENOS DE SEGURIDAD (MARTÍNEZ, 2005) 76
3.2.2 TECNOLOGÍAS PARA INMOVILIZACIÓN DE CONSTITUYENTES DE PILAS Y BATERÍAS 82
3.2.2.1 Vitrificación 82
3.2.2.2 Cementación 85
3.2.2.3 Incineración 86
3.2.3 EXPORTACIÓN Y TRATAMIENTO EN EL EXTRANJERO 91
3.2.4 RECICLADO DE COMPONENTES DE PILAS Y BATERÍAS (RENTZ, 2001) 93
3.2.4.1 MERCURIO EN BATERÍAS ÁLCALI/MANGANESO, CINC/CARBÓN Y CINC/AIRE 94
3.2.5 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA EL RECICLAJE DE BATERÍAS QUE CONTIENEN ZN (RENTZ, 2001) 95

3.2.5.1 PROCESO IMPERIAL DE FUNDICIÓN (IMPERIAL-SMELTING PROCESS ISP) 97
3.2.5.2 PROCESO WÄLZ 98
3.2.5.3 PROCESO BATREC -SUMITOMO 99
3.2.5.4 PROCESO CON HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EJECUTADO POR VALDI 100
3.2.5.5 PROCESO DK 101
3.2.5.6 PROCESO CON HORNO DE ARCO ELÉCTRICO (ELECTRIC ARC FURNACE EAF) 102
3.2.5.7 OTROS PROCESOS 104
3.2.6 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE MEZCLAS DE BATERÍAS (RENTZ, 2001) 106
3.2.6.1 PROCESO OXIDACIÓN-REDUCCIÓN 107
3.2.6.2 OTROS PROCESOS 108
3.2.7 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE ACUMULADORES DE NI-CD (RENTZ, 2001) 109
3.2.7.1 PROCESO RVD 109
3.2.7.2 DESTILACIÓN DE CADMIO. 111
3.2.7.3 DESTILACIÓN DE CD. 112
3.2.7.4 PROCESO DE SOLERA GIRATORIA CON REDUCCIÓN DIRECTA 113
3.2.8 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA EL RECICLAJE DE ACUMULADORES DE NI-MH. (RENTZ, 2001) 115
3.2.8.1 PROCESO NIREC 115
3.2.8.2 PROCESO RVD 116
3.2.8.3 OTROS PROCESOS 116
3.2.9 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE HG (RENTZ, 2001) 117
3.2.9.1 PROCESO VTR 117
3.2.10 PROCESOS Y EMPRESAS PARA EL RECICLAJE DE BATERÍAS QUE CONTIENEN LI (RENTZ, 2001) 118
3.2.10.1 PROCESO TOXCO 118
3.2.10.2 OTROS PROCESOS 119
3.2.11 ELIMINACIÓN NO PERJUDICIAL DE BATERÍAS USADAS NO RECICLADAS (RENTZ, 2001) 120

4. MARCO LEGAL ACTUAL PARA PILAS Y BATERÍAS 121

4.1 NORMATIVA TÉCNICA AMBIENTAL (HERNÁNDEZ, 2002) 132
4.1.1 NORMA DE AGUA POTABLE (HERNÁNDEZ, 2002) 133
4.1.2 NORMA DE AGUAS RESIDUALES, DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR 133
4.2 POLÍTICAS DE INCENTIVOS AMBIENTALES HACIA EL SECTOR INDUSTRIAL (HERNÁNDEZ, 2002) 134
4.3 LIMITACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LA MEJORA AMBIENTAL (HERNÁNDEZ, 2002) 135
4.4 LA ISO 9000 Y 14000 (HERNÁNDEZ, 2002) 135
4.4.1. LA CREACIÓN DE LAS NORMAS ISO 9000 Y 14000 136

4.5 MARCO LEGAL, REGULACIÓN Y MANEJO DE LAS PILAS Y BATERÍAS USADAS EN DIFERENTES PAÍSES. 138
4.5.1 ARGENTINA 138
4.5.2 MÉXICO 141
4.5.3 BRASIL (SOLÓRZANO, 2003) 151
4.5.4 ESTADOS UNIDOS (RIHM, A., 2006) 156
4.5.5 EUROPA 156
5. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE PILAS Y BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS EN EL SALVADOR 160
5.1 ANTECEDENTES. ESTUDIO DE CASOS PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO EN LATINOAMÉRICA 160
5.1.1 MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL ACTUAL DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO EN EL SALVADOR 162
5.1.2 EFECTOS A LA SALUD Y MEDIO AMBIENTE OCASIONADO POR PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO SIN DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA. 165
5.2 CUANTIFICACIÓN DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO EN EL SALVADOR 166
5.2.1 CLASIFICACIÓN ARANCELARIA PARA PILAS Y BATERÍAS EN EL SALVADOR 166
5.2.1.1 Cantidades importadas 167
5.2.1.2 Baterías de Telefonía Celular en El Salvador 170
6. PROPUESTA PARA EL MANEJO DE PILAS Y BATERÍA FUERA DE USO EN EL SALVADOR 172
6.1 ASPECTOS LEGALES, MODIFICACIONES Y AGREGADOS A LA LEY EXISTENTE 173
6.2 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y ACOPIO DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO 176
6.2.1 SISTEMA DEPÓSITO-REEMBOLSO 176
6.2.2 SISTEMA DE ACOPIO PRIMARIO 177
6.3 PROPUESTA DE ALMACENAJE PARA SU POSTERIOR DISPOSICIÓN FINAL 182
6.3.1 CONDICIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD DE LOS LOCALES DE ALMACENAMIENTO 184
6.3.2 EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA E INDIVIDUAL 185
6.3.3 SEÑALIZACIÓN 185
6.4 DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA. TRATAMIENTO EN EL EXTRANJERO 186
OBSERVACIONES 192
CONCLUSIONES 194
RECOMENDACIONES 195

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS *196*

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS *198*

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. *Resumen de la Historia del Desarrollo de la Batería generadora de energía según Buchmann (2002)* 7
Cuadro 1.2. *Componentes de las pilas primarias (desechables) (Díaz y Arias 2004)* 17
Cuadro 1.3. *Componentes de las pilas secundarias (recargables) (Díaz y Arias, 2004)* 20
Cuadro 1.4. *Tipos de pila estandarizados. (Linden y Reddy, 2002)* 22
Cuadro 1.5. *Ejemplo de nomenclatura IEC para pilas primarias (Linden y Reddy, 2002)* 24
Cuadro 1.6. *Letra para designar la forma de la pila en nomenclatura IEC (Linden y Reddy, 2002)* 25
Cuadro 1.7. *Letras que denotan el sistema electroquímico para pilas primarias (Linden y Reddy, 2002)*.....25
Cuadro 2.1. *Ventajas y desventajas importantes de las baterías cilíndricas Alcalinas-Dióxido de Manganeso (comparadas a las baterías de Carbón-Cinc). (Linden, Reddy, 2002)* 35
Cuadro 2.2. *Comparación de la batería miniatura Alcalina-Dióxido de Manganeso con otros sistemas miniatura. (Linden, Reddy, 2002)* 35
Cuadro 2.3. *Composición del cátodo típico. (Linden, Reddy, 2002)*.....39
Cuadro 2.4. *Composición del ánodo alcalino típico. (Linden, Reddy, 2002)* 40
Cuadro 2.5. *Contenido de impureza del polvo típico de cinc grado Batería. (Linden, Reddy, 2002)* 40
Cuadro 2.6. *Características de las baterías estándares del dióxido de Manganeso-Alcalinas de 1.5-V* (Linden, Reddy, 2002)* 44
Cuadro 2.7. *Características de las baterías estándares de dióxido de Manganeso-Alcalina de la Celda Múltiple. (Linden, Reddy, 2002)* 44
Cuadro 2.8. *Ventajas y desventajas importantes de las baterías primarias de cinc/óxido de plata. (Linden, Reddy, 2002)*.....46
Cuadro 2.9. *Características de las baterías de Cinc/óxido de plata comercialmente disponibles. (Linden, Reddy, 2002)* 52
Cuadro 2.10. *Clasificación de las baterías primarias de Litio. (Linden, Reddy, 2002)* 55
Cuadro 2.11. *Ventajas y desventajas de las baterías de Ión Litio. (Linden, Reddy, 2002)* 57
Cuadro 2.12. *Importantes ventajas y desventajas de las baterías (botón) de Aire/Cinc. (Linden, Reddy, 2002)*.....61
Cuadro 2.13. *Ventajas y Desventajas importantes de las Baterías Industriales y Aeroespaciales de Níquel-Cadmio. (Linden, Reddy, 2002)* 64
Cuadro 2.14. *Características de las baterías de Cinc/Óxido de Mercurio y Cadmio/Óxido de Mercurio. (Linden, Reddy, 2002)*.....68
Cuadro 2.15. *Metas principales de la USABC a mitad del curso de funcionamiento de la atería de EV y el funcionamiento real de las*

baterías comerciales y avanzadas de NiMH. (Linden, Reddy, 2002) 70
Cuadro 3.1. *Ventajas y Desventajas de los Procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos (Rentz, 2001)*.....94
Cuadro 3.2. *Resumen de los procesos para el reciclaje de baterías (Rentz, 2001)* 96
Cuadro 4.1. *Regulaciones por recursos de la Ley de Medio Ambiente. Marzo, 1998 (Ley de Medio Ambiente, El Salvador, 1998)*.....129
Cuadro 4.2. *Responsabilidades Administrativas, Civiles y Penales (Hernández, 2002)*.....130
Cuadro 4.3. *Legislación ambiental salvadoreña, marco de mejora ambiental. (Hernández, 2002)*.....131
Cuadro 4.4. *Visión Estratégica de Normas de Sistemas Administrativos de Calidad Integrada (Hernández, 2002)*.....137
Cuadro 4.5. *Comparación de ISO 9000 e ISO 14000 (Hernández, R., 2002)* 137
Cuadro 4.6. *Identificación de los componentes peligrosos de las baterías en Argentina (Solórzano, 2003)*.....139
Cuadro 4.7. *Identificación y Control de los Residuos Peligrosos de acuerdo con la NOM- 052-ECOL-1993. (Solórzano, 2003)* 145
Cuadro 5.1. *Descripción según partida arancelaria de las pilas primarias y secundarias.* 166
Cuadro 5.2. *Resumen de Volúmenes de importación de las pilas primarias de 2001 a 2006.*.....168
Cuadro 5.3. *Resumen de Volúmenes de importación de las pilas secundarias de 2001 a 2006.*.....169
Cuadro 6.1. *Especificaciones del contenedor de sobremesa (Eco-Pil, 2008)* 178
Cuadro 6.2. *Especificaciones del contenedor de sobremesa de 4L (Eco-Pil, 2008)* 179
Cuadro 6.3. *Especificaciones del contenedor de 20L (Eco-Pil, 2008)* 179
Cuadro 6.4. *Especificaciones del contenedor de 35L (Eco-Pil, 2008)* 180
Cuadro 6.5. *Especificaciones del contenedor de pilas de 250L (Eco-Pil, 2008)*.180
Cuadro 6.6. *Especificaciones del contenedor Recicla Pilas (Eco-Pil, 2008)* 181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. *Artefacto que se supone es una batería que data alrededor del año 200 A.C. y se encuentra en el Museo de Baghdad (British Broadcasting Company, 2003).* 3
Figura 1.2. *Pila Voltaica. (Ramírez, 2003)* 4
Figura 1.3. *Operación electroquímica de una celda primaria. (Wikipedia, "La Pila Eléctrica", 2007)* 11
Figura 1.4. *Operación electroquímica de una celda (Carga). Linden y Reddy (2002).* 13
Figura 2.1. *Método de "doble tratamiento" para Óxido de Plata bivalente. (Linden, Reddy, 2002)* 49
Figura 2.2. *Diagrama esquemático del proceso electroquímico en una celda de ión Li. (Linden, Reddy, 2002).*.....59
Figura 2.3. *Batería típica de botón de cinc/aire (los componentes no están a escala). (Linden, Reddy, 2002).* 62
Figura 2.4. *Sección de corte transversal de las baterías de óxido de metal y de cinc/aire. (Linden, Reddy, 2002).* 62
Figura 2.5. *Batería de GM Ovonic de NiMH embalada para el carro de recolección de General Motors EV1 (30 KVH) y de Chevrolet S-10 (30 KVH). (Crompton, T.R., 2000).* 71
Figura 3.1. *Interdependencia del contenido-reciclaje del mercurio. (Kiehne, 2003)* 75
Figura 3.2. *Esquema de un relleno de seguridad. (Martínez, 2005).*.....77
Figura 3.3. *Esquema de un relleno de seguridad con sus elementos correspondientes. (Martínez, 2005).* 79
Figura 3.4. *Esquema de impermeabilización de la base y la cobertura de una celda en un relleno de seguridad. (Martínez, 2005).*.....79
Figura 3.5. *Esquema de impermeabilización de la cobertura. (Martínez, 2005).*..80
Figura 3.6. *Esquema proceso de vitrificación. (EPA, 2003)* 83
Figura 3.7. *Esquema representativo a las variables operativas referido frecuentemente como las 3T. (Martínez, 2005).* 87
Figura 3.8. *Esquema representativo de incineradores. (Martínez, 2005).* 88
Figura 6.1. *Diseño bolsas de polietileno de alta densidad. (iepe.org, 2003)* 182
Figura 6.2. *Diseño bloques de hormigón. (iepe.org, 2003)*.....183
Figura 6.3. *Ilustración de las primeras dos barreras. (iepe.org, 2003)* 183
Figura 6.4. *Producto final resultante de la microencapsulación de las pilas. (Hidronor, 2008)* 187
Figura 6.5. *Esquema de aislamiento del Depósito de Seguridad. (Hidronor, 2008)* 188
Figura 6.6. *Diagrama general de operaciones (IDM, 2008)*.....189
Figura 6.7. *Galpón de almacenamiento de pilas y baterías (IDM, 2008)*.....190
Figura 6.8. *Horno de vitrificación para la recuperación de metales (IDM, 2008)* 191

INTRODUCCIÓN

Las pilas y baterías se han utilizado desde el año 1800, han sido una herramienta básica que el hombre utiliza. Hoy en día es un producto energético, que en los equipos electrónicos, es indispensable para su buen funcionamiento, facilitando el desarrollo de las actividades cotidianas de quien la emplea.

El uso de pilas, junto a la comodidad que involucra, acarrea costos económicos y medioambientales; ello pese a la tendencia de la industria a minimizar el contenido de metales pesados, producto de que países desarrollados han impuesto severas restricciones al respecto.

En relación al costo medioambiental, debe tenerse presente que en mayor o menor medida todas las pilas desechadas representan uno de los mayores problemas en los residuos generados en casas habitación conocidos como domésticos o urbanos ya que sus componentes contienen elementos potencialmente contaminantes como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) por mencionar algunos. Estos residuos se depositan en el recolector de basura y posteriormente se vierten en tiraderos, vertederos o rellenos sanitarios en tanto no sean segregadas de la basura doméstica.

La preocupación por el tema obedece al hecho irrefutable de que las pilas no son inofensivas. Algunos de los componentes de éstas no sólo son contaminantes para el medio ambiente (ecotóxicos), sino que son nocivos para el ser humano. Esta circunstancia, unida al hecho de que con el desarrollo de la electrónica es creciente el número de pilas que ingresa al mercado, otorga suficiente mérito para que se adopten normas estrictas en cuanto al manejo y posterior eliminación.

En El Salvador, al igual que en la mayoría de los países de Latinoamérica, la disposición final de los residuos se realiza de manera no selectiva en rellenos sanitarios. En ellos se mezcla todo tipo de residuos, dado que hasta la fecha no existen requerimientos para la segregación de aquella parte que, por presentar alguna característica de peligrosidad, sería aconsejable tratar o disponer en forma separada del resto. Es el caso de las pilas y baterías en desuso, la problemática es entonces compleja, ya que el consumo de pilas tiene tanto ribetes económicos como medioambientales, e involucra responder al principio de corresponsabilidad de los proveedores de pilas y baterías en el mercado nacional sobre la gestión de los residuos derivados de estos productos una vez llegados al final de su vida útil, en colaboración con los demás agentes implicados, entre ellos el consumidor y las entidades encargadas de gestionar los residuos urbanos.

En El Salvador, no existe normativa específica de carácter ambiental concerniente a las pilas, ni el ingreso al país está normado según su composición, la información existente acerca de las pilas en El Salvador es poco clara respecto a su peligrosidad una vez que se vuelven residuos y tampoco se han realizado campañas de concientización y recolección.

En este marco, el presente estudio entrega una visión simplificada de las circunstancias que hacen de las pilas un residuo domiciliario peligroso, y la forma en que el consumidor puede asumir un rol activo en la mejora de esta situación siendo involucrado en campañas de concientización que le permita reconocer la toxicidad potencial que encierran estos productos y el riesgo que entrañan como residuos.

Pese a que los fabricantes de pilas se han visto presionados en los últimos años a realizar esfuerzos para reducir los componentes peligrosos de sus productos, existen en el mercado pilas que entrañan un alto riesgo; sin embargo se han hecho esfuerzos por introducir pilas de riesgo mucho menor que modelos anteriores y sin perder eficiencia. En muchos países se usan y con buenos resultados, diferentes tecnologías para recuperar los componentes químicos de las pilas en desuso y evitar la contaminación en los sitios de disposición de los residuos urbanos. En este trabajo se detallan varias de estas experiencias.

Sin embargo, en los países donde se importa esta tecnología, como es el caso de El Salvador, el responsable de la disposición de estos productos una vez que se vuelven residuos domiciliarios es el consumidor, quien no cuenta con una información detallada y precisa respecto a la peligrosidad de pilas de uso doméstico. Por ello es urgente que importadores, fabricantes y comerciantes de productos que llevan pilas con elementos tóxicos, sean parte de la solución del problema demostrando voluntad e iniciativa para hacerse cargo de la basura peligrosa que generan, facilitando esquemas de retorno y asumiendo parte de los costos.

1. FUNDAMENTOS SOBRE PILAS Y BATERIAS ELECTROQUÍMICAS

1.1 HISTORIA DE LAS PILAS Y BATERÍAS

A inicios de los años 1900, muchos arqueólogos europeos excavaban sitios antiguos de Mesopotamia en busca de evidencia de relatos bíblicos. Por el año de 1938 en Khujut Rabu, a las afueras de Baghdad, el arqueólogo alemán Wilhelm Konig descubrió un pequeño frasco de arcilla de aproximadamente 6 pulgadas de alto, que se supone data de hace aproximadamente dos milenios y perteneció al Imperio Parto (250 a.C-226 d.C). El jarrón contenía un cilindro de cobre de 5 pulgadas por 1.5 pulgadas, la orilla del cilindro estaba soldada con una aleación de plomo y estaño comparable a la soldadura actual, en el fondo se encontraba tapado con un disco de cobre y sellado con betún o asfalto. Otra capa de asfalto sellaba la parte de arriba del cilindro y una barra de hierro estaba suspendida en el centro de éste. La barra mostraba evidencia de haber sido corroída con un agente ácido que pudo haber sido un ácido orgánico como ácido acético del vinagre, o zumo de frutas cítricas (***British Broadcasting Company News, 2003***).

Según *British Broadcasting Company (BBC)* las pruebas realizadas en réplicas del artefacto encontrado, mostraron que cuando se llenaba con un ácido líquido tal como vinagre, se podía producir desde 0.8 hasta 2 voltios. Aunque la mayoría de los arqueólogos concuerdan que el artefacto era una batería, todavía hay mucho que suponer en cuanto a cómo pudiera haber sido descubierta, y para lo que fue usada; algunos dicen que la batería se excavó, otros que Konig la encontró en el sótano del Museo de Baghdad cuando él asumió el poder como director, también se sospecha que esta batería primitiva, se puede haber usado para galvanizar oro en artefactos de plata. A la fecha no existe una figura definida de cuántas han sido encontradas, y su edad todavía se disputa.

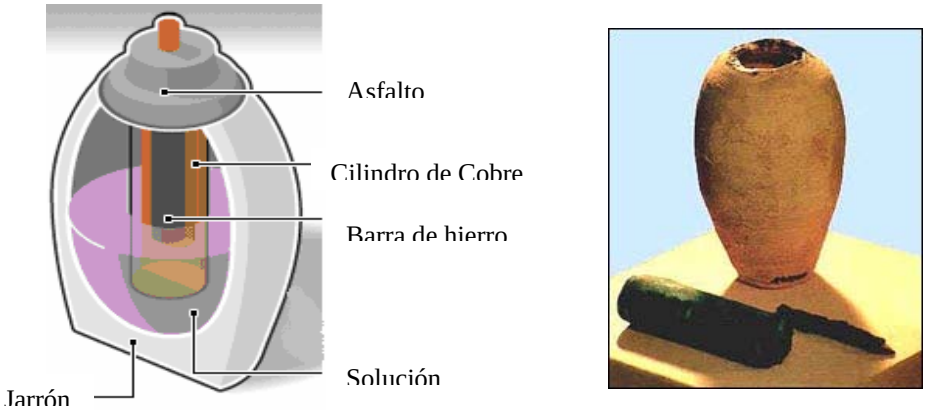

Figura 1.1. *Artefacto que se supone es una batería que data alrededor del año 200 A.C. y se encuentra en el Museo de Baghdad (British Broadcasting Company, 2003).*

En 1791 Luis Galvani, profesor de anatomía de la Universidad de Bolonia, Italia, al realizar un experimento, observó que las ancas de una rana recién muerta se crispaban y pataleaban al tocárselas con dos barras de metales diferentes, Él pensó que la reacción era debido a una propiedad de los tejidos y llamó al fenómeno "electricidad animal" un nombre equivocado que fue refutado posteriormente por la teoría (***Buchmann, 2002***).

A principios del siglo XIX se da un gran paso inventivo como consecuencia del hallazgo que se había realizado sobre la electricidad en el laboratorio de Galvani. Un profesor de física de la Universidad de Pavia, Italia, Alessandro Volta, en las reproducciones que realizó del experimento de Galvani encontró que los nervios de las ranas no son, precisamente, los causantes de producir los fenómenos eléctricos que se habían detectado y que la causa de tales movimientos crispantes de las ancas de la rana se hallaban en el paso de una corriente eléctrica producida por los dos metales diferentes. Ese descubrimiento primario de Volta lo llevó a remplazar con trapos mojados el contacto de los músculos de la rana y en 1800, después de una amplia experimentación, llegó a la invención de un dispositivo que se conoce como pila voltaica. Como se muestra en la Fig. 1.2a, colocó una serie de discos de Cinc y plata apilados, de ahí el nombre de "pila", de forma alternada, separados entre sí por una tela humedecida con agua salada. Descubrió entonces que un flujo continuo de fuerza eléctrica era posible cuando se usaban ciertos fluidos como conductores para promover una reacción química entre metales y que la tensión aumentaba cuando se acumulaban varias celdas voltaicas. El conjunto produjo una corriente eléctrica y fue este el origen de la primera batería eléctrica (***Ramírez, 2003***).

Figura 1.2. *Pila Voltaica. (Ramírez, 2003)*

a) *Volta apiló discos de igual tamaño de cobre y de cinc, intercalando entre cada uno de ellos un paño humedecido.*

b) *Otra variación de la pila voltaica*

Como se muestra en la Fig. 1.2b, otra disposición también utilizada y descrita por Volta para su pila estaba formada por una serie de vasos con líquido (unos junto a otros, en batería), en los que se sumergían las tiras de los metales, conectando externamente un metal con otro (***Buchmann, 2002***).

Pronto Volta la perfeccionó reemplazándola por una pila de dos elementos; cobre y cinc, sumergidos en una solución de ácido sulfúrico contenida en un recipiente. En esta sencilla forma de pila primaria, las placas de cinc y de cobre estaban separadas por el electrolito. Si se conectaban con un alambre, la corriente eléctrica fluía a través del conductor, pero tan pronto como el circuito se interrumpía porque el alambre se desconectaba, dejaba de fluir. Esta pila no duraba indefinidamente, ya que el ácido sulfúrico atacaba al cinc, y cuando éste se consumía, la pila se agotaba. Para reactivarla, era necesario reponer la placa de cinc y el ácido del electrolito. Debido a las reacciones químicas que tenían lugar dentro de la pila, se desprendía pequeñas burbujas de hidrógeno que se adherían al electrodo de cobre y formaban una capa aislante; cuando esto sucedía, la corriente no pasaba y se decía que la pila estaba polarizada. Para eliminar este inconveniente, se agregaban ciertas sustancias químicas que se combinaban con el hidrógeno y evitaba los efectos polarizantes (***Ramírez, 2003***).

Se hicieron nuevos descubrimientos cuando Sir Humphry Davy instaló la batería más grande y poderosa en las cúpulas del Royal Institution de Londres, Inglaterra. Se conectó la batería a electrodos de carbón y se produjo la primera luz eléctrica. Según lo reportado por testigos, el arco voltaico produjo "el arco de luz más brillante que se haya visto jamás" (***Buchmann, 2002***).

En el año de 1802, el Dr. William Cruickshank diseñó la primera batería eléctrica capaz de ser producida masivamente. Cruickshank colocó placas cuadradas de cobre soldadas en sus extremos, intermezcladas con placas de Cinc de igual tamaño. Estas placas se colocaban en cajas rectangulares de madera selladas con cemento. Unas canaletas en la caja sostenían las placas metálicas en su lugar. La caja se llenaba con agua salada o ácido diluido con agua, como electrolito (***Buchmann, 2002***).

Después de Volta, muchos experimentadores trabajaron en sus laboratorios para crear una pila mejor. Varios de los experimentos que se llevaron a cabo con ese fin se hicieron usando peligrosos ácidos como electrólitos, lo que implicaba que las pilas prácticamente debían estar empotradas por lo peligroso que resultaba moverlas. Por otra parte, su utilidad práctica era bastante discutible, ya que se descargaban con mucha rapidez. A causa de esos problemas, las pilas sólo tenían alguna utilidad en experimentaciones de laboratorio en gabinetes de física.

En 1836 se dio a conocer la pila de Daniell, de la que luego se han usado ampliamente determinadas variantes constructivas, estaba formada por un electrodo de Cinc sumergido en una disolución de sulfato de Cinc y otro electrodo de cobre sumergido en una disolución concentrada de sulfato de cobre. Ambos electrolitos estaban separados por una pared porosa para evitar su reacción

directa o contenidos en distintos recipientes pero con un puente salino conectando ambos depósitos. Como una alternativa al sulfato del Cinc se utilizó sulfato de magnesio algunas veces. Esta pila presentaba una diferencia de potencial de entre 1,07 y 1,14 V entre sus electrodos. Su gran ventaja respecto a otras de su tiempo fue la constancia del voltaje generado, debido a la elaborada disposición, que facilitaba la despolarización, y a la reserva de electrolito, que permitía mantener su concentración durante más tiempo. La pila de Daniell fue una de las primeras en incorporar mercurio, amalgamándolo con el ánodo de Cinc para reducir la corrosión cuando las baterías no estaban en uso. Las aplicaciones fueron todas inmóviles, porque el movimiento mezclaría los dos líquidos de electrolito (***Wikipedia, 2007***).

Hasta ese momento, todas las baterías eran fundamentalmente celdas primarias, lo que significa que no podían ser recargadas. En 1859, el físico francés Gaston Planté inventó la primera batería recargable. Esta batería secundaria se basaba en la química plomo - ácido, sistema usado hasta el día de hoy en los vehículos motorizados. Luego Camille Alfons Faure y Henry Owen Tudor realizaron investigaciones en el campo de la batería ácida de plomo (***Buchmann, 2002***).

En 1868 Georges Leclanché, con las modificaciones que introdujo en la fabricación de pilas, abrió el camino para que hoy podamos tener a nuestra disposición todos aquellos objetos que los hacemos funcionar con energía almacenada. Fue el primero en pensar en hacer electricidad portátil. En la pila de Leclanché el electrolito era una solución de cloruro amónico ($Cl\ NH_4$), siendo el electrodo negativo de Cinc y el positivo una placa de carbón rodeado de una mezcla de dióxido de manganeso y carbón pulverizado introducido en un vaso de paredes porosas. El dióxido de manganeso actuaba como despolarizante. Él mejoró luego la batería sustituyendo el electrolito por una pasta húmeda de cloruro amónico y la selló para que se pudiera usar en varias posiciones y en artefactos en movimiento. La batería resultante se conoció como una **pila seca** (***Ramírez, 2003***).

En 1899, Waldmar Jungner de Suecia inventó la **batería de níquel-cadmio**, que usó níquel para el electrodo positivo y cadmio para el negativo. Dos años después, Edison produjo un diseño alternativo reemplazando el cadmio con hierro. Debido a los altos costos de los materiales comparados con los de la pila seca y de las baterías ácidas de plomo, las aplicaciones prácticas de las baterías de níquel-cadmio y de las de hierro-níquel se limitaron. En 1947, Neumann logró completar el sellado de las baterías de níquel cadmio (***Buchmann, 2002***).

La investigación de los sistemas Níquel-Hidruro de metal (Ni-MH) comenzó en los años 70 pero las aleaciones de hidruro de metal eran inestables en el ambiente de celda. Las nuevas aleaciones de hidruros se desarrollaron en los años 80 y mejoraron la estabilidad. Las baterías Ni-MH se vendieron comercialmente a partir de 1990 (***Buchmann, 2002***).

Las primeras baterías primarias de litio aparecieron a principios de 1970. Los intentos de desarrollar baterías recargables de litio se continuaron en los años 1980 pero fallaron debido a problemas de seguridad. Debido a la estabilidad inherente de litio metálico, especialmente durante la carga, la investigación se enfocó hacia las baterías de litio no metálico usando iones de litio. A pesar de tener menor densidad de energía que las de litio metálico, las de Ion litio son seguras, siempre y cuando se cumplan ciertas precauciones al cargarlas y descargarlas. En 1991, Sony Corporation comercializó la primer batería Li-ion (***Buchmann, 2002***).

A pesar de lo raras y no confiables que puedan haber sido las primeras baterías, nuestros descendientes pueden llegar un día a mirar la tecnología de hoy de una manera similar a como vemos los experimentos rústicos de nuestros predecesores de hace 200 años (***Buchmann, 2002***). En el Cuadro 1.1 se presenta un resumen de la historia del desarrollo de la batería.

Cuadro 1.1 *Resumen de la Historia del Desarrollo de la Batería generadora de energía según Buchmann (2002)*

Época	***Investigador/Lugar***	***Suceso***
1600	Gilbert (Inglaterra)	Establecimiento de estudios electroquímicos
1971	Galvani (Italia)	Descubrimiento de 'electricidad animal'
1800	Volta (Italia)	Invención de la celda voltaica
1802	Cruickshank (Inglaterra)	Primera batería eléctrica capaz de ser producida masivamente
1820	Ampére (Francia)	Electricidad a través del magnetismo
1833	Faraday (Inglaterra)	Anuncio de la Ley de Faraday
1836	Daniell (Inglaterra)	Invención de la celda Daniell
1859	Planté (Francia)	Invención de la batería de plomo ácido
1868	Leclanché (Francia)	Invención de la celda Leclanché
1888	Gassner (EE.UU.)	Se completa la celda seca
1899	Jungner (Suecia)	Invención de la batería de níquel cadmio
1901	Edison (EE.UU.)	Invención de la batería níquel hierro
1932	Shlecht & Ackermann(Alemania)	Invención de la placa sinterizada
1947	Neumann (Francia)	Se sella exitosamente la batería de níquel cadmio
Med. 1960	Union Carbide (EE.UU.)	Desarrollo de la batería alcalina primaria
Med. 1970		Desarrollo de la batería de plomo y ácido regulada a válvula
1990		Comercialización de la batería níquel-metal hídrico
1992	Kordesch (Canadá)	Comercialización de la batería alcalina re-usable
1999		Comercialización de litio - ion y litio – polímero
2002		Producción limitada de celdas de membrana por intercambio de protones (PEM)

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS

1.2.1 PILA Y BATERÍA

Las pilas son dispositivos que convierten la energía química contenida en sus materiales activos directamente en energía eléctrica por medio de una reacción oxidación-reducción (redox). Este tipo de reacción implica la transferencia de electrones de una material a otro por un circuito eléctrico. Cuando los dispositivos electroquímicos convierten la energía química en energía eléctrica, no están sujetos, como en la combustión, a las limitaciones del ciclo de Carnot dictado por la segunda ley de termodinámica y por lo tanto, son capaces de tener eficiencias más altas en la conversión de energía (***Linden y Reddy, 2002***)

Mientras el término "batería" a menudo es usado, la unidad electroquímica básica es la "pila o celda". La celda se compone de un ensamble de electrodos, separador, electrolito, contenedor y terminales. Una batería se compone de una o más celdas electroquímicas, eléctricamente conectadas en un arreglo apropiado serie/paralelo para proporcionar los niveles de operación requeridos de voltaje y de corriente. El uso popular considera a la batería y no a la celda como el producto que se vende y es proporcionado al usuario por lo que el término celda se usa cuándo se desea describir la celda componente de la batería y su química. Mientras que el término batería se usa comúnmente cuando se presentan características de desempeño, etc. del producto (***Linden y Reddy, 2002***).

Erróneamente se cree que la diferencia entre pila eléctrica y batería eléctrica es que la pila no ha sido diseñada para ser recargada y, por el contrario, la batería sí es un dispositivo recargable, sin embargo realmente tanto *pila* como *batería* son términos provenientes de los primeros tiempos de la electricidad, en los que se juntaban varios elementos o celdas, en el primer caso uno encima de otro, "apilados", y en el segundo adosados lateralmente, "en batería", como se sigue haciendo actualmente, para así aumentar la magnitud de los fenómenos eléctricos y poder estudiarlos sistemáticamente (***Wikipedia, 2007***).

Como se ha mencionado, el elemento básico de cada batería es la celda, y el término "batería" a menudo se refiere a varias celdas conectadas en serie o en paralelo; pero según Kiehne (2003) las celdas solas a veces también se llaman "baterías". La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) ha decidido al respecto que oficialmente el término batería incluye también celdas solas si tienen arreglos finales tanto que puedan ser colocados en un compartimiento de batería y proporcionar el contacto adecuado; además la celda sola debe contener las especificaciones requeridas por el estándar del IEC para ser llamada batería. Según el IEC el término "celda" aplica todavía al referirse a las celdas componentes en el interior de una batería multicelda. Las baterías de una sola celda se llaman también "monocelda", mientras que baterías formadas por varias celdas dentro de un contenedor común se conocen como "monoblocs", especialmente en el campo de baterías ácidas de plomo. Las baterías multicelda

de níquel/cadmio y níquel/hidruro de metal se conocen como “battery packs” (batería paquete) llamada también “power packs” (paquete de poder), ésta combina varias celdas dentro de una envoltura común. Las celdas en tal paquete a menudo se escogen por tener la capacidad uniforme para prevenir el fracaso prematuro por la descarga profunda de las celdas solas. Las “battery packs”, en el campo de baterías de ion litio, y las celdas solas a menudo se equipan con artefactos de seguridad, como sensores de temperatura, como fusibles térmicos, o artefactos que aumentan la resistencia interna cuando una temperatura especificada se excede. Las conocidas “smart batteries” (batería inteligente) tiene incorporado un sistema de control, basado en un procesador, que proporciona información con respecto a la capacidad y envejecimiento de la batería, y, además, controla la carga apropiada y previene la descarga excesiva (***Kiehne, 2003***).

1.2.2 CÁTODO, ÁNODO Y ELECTROLITO

Según ***Linden y Reddy (2002)*** la celda o pila está formada por tres componentes principales:

1. *El ánodo o electrodo negativo:* proporciona electrones al circuito externo y se oxidada durante la reacción electroquímica.
2. *El cátodo o el electrodo positivo:* acepta electrones del circuito externo y se reduce durante la reacción de electroquímica.
3. *El electrolito:* es el conductor iónico que proporciona el medio para la transferencia de la carga, dentro de la celda entre el ánodo y el cátodo. El electrolito es típicamente un líquido, tal como agua u otros solventes, con sales disueltas, ácidos, o álcalis. Algunas baterías usan electrolitos sólidos, que son conductores iónicos a la temperatura de operación de la celda.

Las combinaciones más ventajosas de materiales para ánodo y cátodo son aquellos que sean más ligeros y den a la celda un voltaje y capacidad altos. Sin embargo, tales combinaciones no siempre pueden ser prácticas debido a la reactividad con otros componentes de la celda, la polarización, la dificultad en el manejo, el costo alto, y otras deficiencias. En un sistema práctico, el ánodo se escoge teniendo en consideración las propiedades siguientes: la eficiencia como un agente reductor, alta capacidad coulómbica, buena conductividad, estabilidad, fácil fabricación, y bajo costo. Prácticamente, los metales se usan principalmente como materiales para el ánodo. El Cinc ha sido un ánodo predominante porque tiene estas propiedades favorables. El litio, el metal de peso más ligero, con un valor alto de capacidad coulómbica (amperios-hora), ha llegado a ser un ánodo muy atractivo y se han desarrollado diseños de celdas con electrolitos compatibles para controlar su actividad (***Linden y Reddy, 2002***).

El cátodo debe ser un eficiente agente oxidante, estable cuando esté en contacto con el electrolito, y tener un voltaje de trabajo útil. El oxígeno se puede usar directamente del aire del ambiente para ser introducido en la celda, como en la

batería Cinc/aire. Sin embargo, la mayor parte de los materiales comunes para cátodo son óxidos metálicos. Otros materiales como halógenos, oxihaluros, azufre y sus óxidos, se usan para cátodos en sistemas especiales de batería (***Linden y Reddy, 2002***).

El electrolito debe tener una conductividad iónica buena, pero no ser electrónicamente conductivo, ya que esto causaría corto circuito interno. Otras características importantes que debe poseer son: no reactividad con los materiales de los electrodos, cambio pequeño en las propiedades con el cambio en la temperatura, la seguridad en el manejo, y en el costo bajo. La mayoría de los electrolitos son soluciones acuosas, pero hay excepciones importantes como, por ejemplo, las baterías de ánodo de litio, donde sal fundida y otros electrolitos no acuosos se usan para evitar la reacción del ánodo con el electrolito. Físicamente el ánodo y el cátodo se aíslan electrónicamente en la celda para prevenir corto circuito interno, pero están rodeados por el electrolito. En diseños prácticos de celdas un material separador se usa para separar el ánodo y el cátodo. El separador, sin embargo, es permeable al electrolito para mantener la conductividad iónica deseada. En algunos casos el electrolito se inmoviliza para un diseño sin derrame (***Linden y Reddy, 2002***).

Las celdas se puede construir en muchas formas y configuraciones—cilíndrica, botón, plana, y prismática—y los componentes de la celda se diseñan para acomodarlos a la forma particular de ésta. Las celdas se sellan de una gran variedad de maneras para prevenir derrames, algunas celdas están provistas con artefactos u otros medios para permitir que gases acumulados puedan escapar (***Linden y Reddy, 2002***).

1.2.3 OPERACIÓN DE LA PILA

El funcionamiento de una pila, consiste básicamente en introducir electrones en uno de los extremos de un alambre y extraerlos por el otro. La circulación de los electrones a lo largo del alambre constituye la corriente eléctrica. Para que se produzca, hay que conectar cada extremo del alambre a una placa o varilla metálica sumergida en un electrolito que suele ser una solución química de algún compuesto iónico.

En las pilas, los elementos están dispuestos de tal modo que la reacción química de óxido-reducción que se produce entre sus constituyentes cuando se cierra el circuito genere una diferencia de potencial en los electrodos, de modo que se pueda suministrar corriente eléctrica a una carga externa. El funcionamiento de una pila se basa en el potencial de contacto entre un metal y un electrolito, esto es, el potencial que se produce al poner en contacto un metal con un líquido (***Wikipedia, 2007***).

Para producir una corriente eléctrica a partir de una reacción química, es necesario tener un oxidante, es decir, una sustancia que gane electrones

fácilmente, y un reductor, es decir, una sustancia que pierda electrones fácilmente. Dicha reacción química es la resultante de 2 reacciones parciales (semirreacciones) en las cuales un elemento químico es elevado a un estado de oxidación superior (semirreacción de oxidación), a la vez que otro elemento es reducido a un estado de oxidación inferior (semirreacción de reducción). El diseño constructivo en una pila determina que cada una de estas 2 semirreacciones ocurra en "compartimentos" independientes llamados semiceldas. El medio que posibilita el transporte interno de carga eléctrica entre ambos compartimentos es una sustancia conductora llamada electrolito. A su vez, cada semicelda está constituida por un electrodo metálico y una solución de una de las sales del metal (***Fisicanet, 2007***).

Las reacciones de este tipo pueden entenderse con un ejemplo, el funcionamiento de un tipo sencillo de pila electroquímica como la que se muestra en la Fig. 1.3:

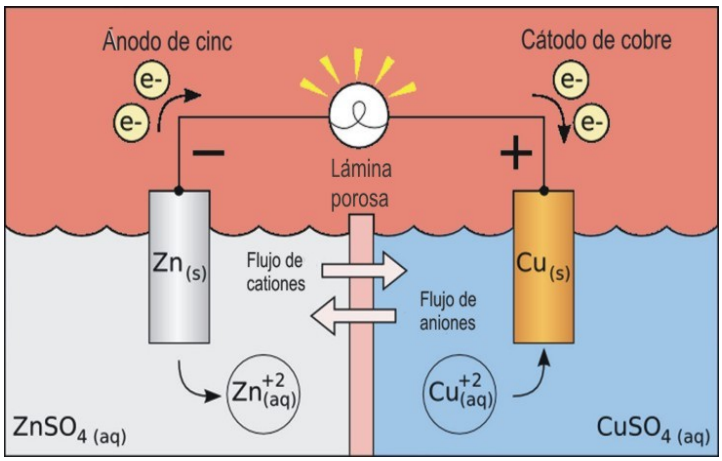

Figura 1.3. *Operación electroquímica de una celda primaria. (Wikipedia, "La Pila Eléctrica", 2007)*

Según ***Linden y Reddy (2002)***, la reacción entre cinc metálico y iones de cobre (II) en solución ilustra un cambio espontáneo en el cual se transfieren los electrones:

$$Zn_{(S)} + Cu^{2+}_{(AC)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(AC)} + Cu_{(S)}$$

Sin embargo, podemos representar la reacción anterior como una combinación de dos medias reacciones:

Electrodo negativo: reacción anódica (oxidación, pérdida de electrones)

$$Zn_{(S)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(AC)} + 2\,e^-$$

Electrodo positivo: reacción catódica (reducción, ganancia de electrones)

$$2\,e^- + Cu^{2+}_{(AC)} \longrightarrow Cu_{(S)}$$

Estas medias reacciones se realizan en electrodos diferentes de forma tal que la transferencia de electrones tiene lugar a través de un circuito eléctrico externo más bien que entre el cinc metálico y los iones de cobre (II).

La pila de la Fig. 1.3, está diseñada para usar esta reacción para producir una corriente eléctrica. La media pila de la izquierda contiene un electrodo de cinc metálico y solución de $ZnSO_4$. La media pila de la derecha consiste en un electrodo de cobre metálico en solución de $CuSO_4$. Las medias pilas están separadas por separador poroso que evita la mezcla mecánica de las soluciones pero permite el paso de iones bajo la influencia del flujo eléctrico.

Cuando los electrodos están unidos por un alambre metálico, los electrones fluyen del electrodo de cinc y cobre. En el electrodo de cinc, el cinc metálico se oxida a iones cinc. Este electrodo es el ánodo, y los electrones que son el producto de la oxidación abandonan la pila desde este polo. Los electrones se desplazan por el circuito externo hasta el electrodo de cobre, donde se utilizan en la reducción de los iones cobre (II) a cobre metálico. El cobre así producido se deposita sobre el electrodo. El electrodo de cobre es el cátodo. Aquí, los electrones entran a la celda y se realiza la reducción (***Fisicanet, 2007***).

Puesto que los electrones se producen en el electrodo de cinc, este ánodo se designa como polo negativo. Los electrones se desplazan del polo negativo al polo positivo en el circuito externo de la pila cuando está en operación. El cátodo, donde los electrones se utilizan en el electrodo de reacción, es, por consiguiente, el polo positivo. Dentro de la pila, el movimiento de los iones completa el circuito eléctrico. A primera vista, es sorprendente que los aniones, se desplazan hacia el ánodo que es el electrodo negativo. En la misma forma, los cationes, que transportan una carga positiva, se desplazan hacia el cátodo que el polo positivo (***Fisicanet, 2007***).

Una cuidadosa consideración de las reacciones del electrodo provee la respuesta a esta situación. En el ánodo se producen los iones cinc y los electrones permanecen en el metal. La neutralidad de la solución se debe mantener en todo momento y en la solución que rodea el electrodo debe existir tanta carga negativa de los aniones como positiva de los cationes. Por esta razón, los iones $SO_4^{=}$ se desplazan hacia el ánodo para neutralizar el efecto de los iones Zn^{2+} que se producen. Al mismo tiempo, los iones cinc se alejan del ánodo hacia el cátodo. En el cátodo, los electrones se utilizan para reducir los iones Cu^{2+} a cobre metálico. Mientras que los iones Cu^{2+} se descargan, más iones Cu^{2+} se mueven hacia la región que rodea el cátodo para ocupar el lugar de los iones removidos. Si no ocurriera esto, se acumularía un exceso de iones $SO_4^{=}$ alrededor del cátodo (***Fisicanet, 2007***).

El separador poroso se agrega para evitar la mezcla mecánica de las soluciones de las dos medias pilas. Si los iones Cu^{2+} se pusieran en contacto con el electrodo del cinc metálico, Los electrones serían transferidos directamente en vez de pasar por el circuito. En la operación normal de la pila no ocurre este "cortocircuito"

debido a que los iones Cu^{2+} se mueven en dirección distinta del electrodo de cinc. Realmente, esta pila trabajaría si una solución de un electrolito diferente del $ZnSO_4$ fuese utilizado en el compartimiento del ánodo y si un metal diferente del cobre fuese utilizado para cátodo. Sin embargo, los constituyentes deben escogerse de tal forma que el electrolito en el compartimiento del ánodo no reaccione con el electrodo de cinc y el cátodo no reaccione con los iones Cu^{2+} (***Fisicanet, 2007***).

En la batería recargable, o acumulador (conocida comúnmente como pila secundaria), se proporciona energía eléctrica desde una fuente exterior, que se almacena en forma de energía química. La reacción química de una pila secundaria es reversible, es decir, se produce en un sentido cuando se carga la pila, y en sentido opuesto cuando se descarga.

Durante la carga de una celda recargable o de almacenamiento, la oxidación toma lugar en el electrodo positivo y la reducción en el electrodo negativo. Como el ánodo es por definición el electrodo donde ocurre la oxidación y el cátodo donde ocurre la reducción, el electrodo positivo es ahora el ánodo y el cátodo es el negativo (***Linden y Reddy, 2002***).

Utilizando como ejemplo una celda Zn/Cl_2 como la que se muestra en la Fig. 1.4, la reacción de carga es:

Electrodo negativo: reacción catódica (reducción, ganancia de electrones)

$$Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$$

Electrodo positivo: reacción anódica (oxidación, pérdida de electrones)

$$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$$

Reacción completa (Carga): $Zn^{2+} + 2Cl^- \longrightarrow Zn + Cl_2$

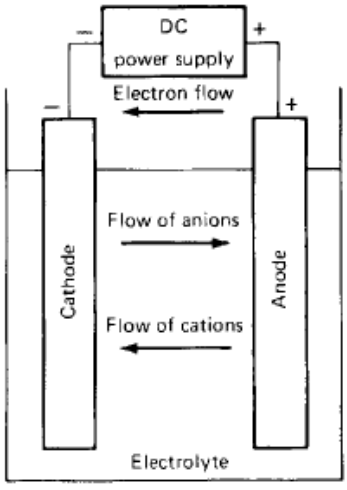

Figura 1.4. *Operación electroquímica de una celda (Carga). Linden y Reddy (2002).*

1.3 CLASIFICACIÓN DE PILAS Y BATERÍAS

1.3.1 PILAS PRIMARIAS: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y APLICACIÓN

Por su duración y de acuerdo con el tipo de manejo requerido, las pilas pueden agruparse en: *Primarias y Secundarias*. Una pila primaria produce energía eléctrica consumiendo los componentes químicos que contiene, éstos ya no pueden recuperarse por lo que las pilas primarias son desechables. Cuando este se agota, la pila ya no produce más energía y debe ser reemplazada (***Ramírez, 2003***).

La pila primaria más común es la pila Leclanché o pila seca. La pila seca que se utiliza hoy es muy similar al invento original: El electrolito es una pasta consistente en una mezcla de cloruro de amonio y cloruro de cinc. El electrodo negativo es de cinc, igual que la parte exterior de la pila, y el electrodo positivo es una varilla de carbono rodeada por una mezcla de carbono y dióxido de manganeso. Esta pila produce una fuerza electromotriz de unos 1,5 V (***Fisicanet, 2007***).

Según ***Díaz y Arias (2004)*** dentro de la categoría de pilas primarias se encuentran las pilas comunes y corrientes, generalmente de bajo precio denominadas Carbono-Cinc (C-Zn), que tienen poca duración y constituyen una gran parte del volumen generado, procedentes en su gran mayoría del mercado asiático. También, esta categoría de pilas primarias, incluye las alcalinas, cuya duración es tres o más veces mayor que las anteriores.

Según ***Ramírez (2003)*** entre los sistemas que se consideran como pilas primarias están:

a) *Sistema dióxido de Cinc-Manganeso:*

Este es el tipo más usado de pilas en el mundo. Sus usos típicos son, linternas, juguetes, walkmans, etc. Hay tres variantes para este tipo de pila: *la pila Leclanché, la pila de cloruro de Cinc, y la pila alcalina*. Todas entregan un voltaje inicial de 1.58 a 1.7 V, el cual declina con el uso hasta 0.8 V aproximadamente. La pila Leclanché es la más económica de éstas, fue inventada en 1866 por un ingeniero francés (la pila lleva su nombre Charles Leclanché). Se convirtió en un éxito instantáneo debido a sus constituyentes de bajo presupuesto. El ánodo de este tipo de pila es una hoja de aleación de Cinc, esta aleación contiene pequeñas cantidades de plomo, cadmio y mercurio. El electrolito consiste en una solución acuosa y saturada de cloruro de amonio conteniendo 20% de cloruro de Cinc. El cátodo está compuesto de dióxido de manganeso impuro, mezclado con carbón granulado.

Aunque fue patentada en 1899 la pila de cloruro de Cinc es realmente una adaptación moderna a la pila de Leclanché. La gran diferencia está en que gracias a sellados de plástico esta pila ha podido terminar con el uso de cloruro de amonio. Este tipo de pila tiene más larga duración que la pila de Leclanché.

También esta pila puede tener confiabilidad satisfactoria sin usar mercurio en la aleación de Cinc.

La más alta densidad energética de las pilas de Cinc-manganeso se puede encontrar en pilas con un electrolito alcalino el cual permite una construcción completamente distinta al resto de su tipo. Éstas estuvieron disponibles comercialmente durante la década de los 50. El cátodo de un dióxido-grafito de manganeso muy puro y un ánodo de una aleación de Cinc enriquecida son asociados con un electrolito de hidróxido de potasio y puesto en una lata de acero. Aunque el mercurio contenido en la aleación de Cinc solía ser de hasta un 6% a 8%, actualmente se ha logrado reducir este índice. Está de más decir que este tipo de pila es altamente superior a ambas de las descritas anteriormente.

b) Pilas de dióxido de Manganeso-Magnesio:

Este sistema funciona bien para aplicaciones especializadas. Se parece mucho a la pila de cloruro de Cinc pero tiene 0.3 volts mas por pila. Las pilas de dióxido de manganeso-magnesio tienen una larga vida, alta densidad energética, son livianas las cuales las hacen ideales para el uso en radiotransmisores de las radios militares. Una desventaja de este tipo de pila es su funcionamiento en bajas temperaturas.

c) Pilas de Óxido de Mercurio-Cinc:

Otro tipo de pila primaria es la de Cinc-óxido de mercurio, inventada a mediados del siglo XX. La pila consiste en un electrodo negativo de Cinc amalgamado ya sea en polvo o en láminas corrugadas. El electrodo positivo es una mezcla de óxido de mercurio y grafito, moldeado a presión, contenidos en un envase de acero. El electrolito es una solución de hidróxido de potasio y óxido de Cinc. Se utiliza material celulósico como separador y para empastar el electrolito.

El voltaje de esta pila cuando no se la utiliza es de 1.34 V, pero con un drenaje normal de corriente, esta tensión cae entre 1.31 y 1.24 V. Comparadas con la mayoría de los otros tipos de pilas primarias, las de Cinc-óxido de mercurio poseen ventajas. El voltaje durante su vida útil (ciclo de descarga) es prácticamente constante. Permite una corriente relativamente alta, que puede mantener durante un tiempo considerablemente largo. Estas condiciones se cumplen aún a temperaturas altas. Sin embargo las pilas Cinc-mercurio son relativamente caras y su aplicación se encuentra principalmente donde su reducido tamaño (12 a 25 mm de diámetro y cuanto más 25 mm de altura) constituye una ventaja. Algunas de sus aplicaciones son: aparatos para sordos, radios portátiles, equipos de comunicaciones, instrumentos eléctricos, instrumental científico, y en algunos casos como voltaje de referencia.

Una ventaja interesante de ésta pila, es su capacidad para mantener un voltaje constante durante toda su vida útil. En muchas aplicaciones, el voltaje de esta pila se usa como patrón con el cual se ajustan instrumentos de medida.

d) Pilas de Óxido de Plata -Cinc:

Otra pila de tipo alcalina. Esta pila exhibe un cátodo de óxido de plata y un ánodo de polvo de Cinc. Debido a que puede relativamente soportar altas cargas y tiene una producción casi constante de 1.5 V, es usada frecuentemente en relojes etc. También se puede encontrar en algunos torpedos de uso militar, debido a su gran fiabilidad y capacidad.

e) Pilas de Litio:

El área de investigación que ha atraído más la investigación en los últimos años ha sido el área de las pilas con un ánodo de litio. Debido a su alta actividad química se deben usar electrolitos no acuosos como por ejemplo sales cristalinas. Se han hecho pilas que no tienen separación alguna entre el ánodo y el cátodo, algo imposible con pilas de sistema acuoso. Una capa protectora se forma automáticamente en el litio, pero esta se rompe en la descarga permitiendo voltajes cercanos a los 3.6 V. Esto permite una gran densidad energética. Sus usos varían desde la aeronáutica, marcapasos a cámaras, celulares, etc.

f) Pilas de Cinc-Aire:

El diseño y principio de estas pilas es relativamente simple, pero su construcción no lo es, ya que el electrodo de aire debe ser extremadamente delgado. Se han hecho muchos estudios y grandes avances en el área del sellado y la optimización de este tipo de pilas.

Una manera muy practica de obtener alta densidad energética es usar el oxigeno del aire como “líquido” del material del cátodo. Si se junta con un ánodo tal como el Cinc, larga vida a bajo costo, pueden ser obtenidos. La pila, eso sí, debe ser construida de manera tal que el oxigeno no entre en contacto con el ánodo, el cual atacaría.

En la Cuadro 1.2 se muestran los componentes de algunos sistemas de pilas primarias con sus correspondientes aplicaciones.

Cuadro 1.2. *Componentes de las pilas primarias (desechables) (Díaz y Arias 2004)*

Tipos de Pilas	***Componentes***	***Usos***
Carbono-Cinc (C-Zn)	Cinc 17 % (Ánodo) Dióxido de Manganeso 29% (Cátodo) Carbono 7% Mercurio 0.01 % (electrolito, cátodo y ánodo) Cadmio 0.08 % Cloruro de Amonio (electrolito) Cloruro de Cinc (para las de alto rendimiento electrolito) Plástico y lámina 26 %	Linternas, radios, juguetes, toca casetes
Alcalinas	Cinc 14 % (Ánodo) Dióxido de Manganeso 22 % (Cátodo) Carbono 2 % Mercurio 0.5 – 1% (Ánodo) Hidróxido de Potasio (electrolito) Plástico y lámina 42%	Juguetes, tocacintas, cámaras fotográficas, grabadoras
Óxido de Mercurio	Mercurio 33 % Cinc 11 % (Ánodo) Hidróxido de Potasio o Hidróxido de Sodio (electrolito) Plástico y lámina 29 %	Aparatos para sordera, calculadoras, relojes e instrumentos de precisión
Cinc-Aire	Cinc 30 % (Ánodo) Oxígeno (del aire Cátodo) Mercurio 1 % Plata 1 % Plástico y lámina 67 % Cloruro de Sodio o Hidróxido de Sodio (electrolito)	Aparatos para sordera, marcapasos y equipos fotográficos
Óxido de Plata (Ag_2O)	Cinc 10 % (Ánodo) Óxido de Plata 27 % (Cátodo) Mercurio 1 % Cloruro de Sodio o Hidróxido de Sodio (electrolito) Plástico y lámina 29 %	Aparatos para sordera, calculadoras y relojes
Litio (Li)	Litio 10-30 % Dióxido de Manganeso (Cátodo) Plástico y lámina 29 %	Equipos de comunicación, radios portátiles, transmisores, instrumentos médicos, computadoras, celulares, calculadoras, cámaras fotográficas, agendas electrónicas

1.3.2 PILAS SECUNDARIAS: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y APLICACIÓN

Las pilas secundarias, o pilas de almacenamiento, obtienen su energía transformando alguno de sus químicos en otro tipo de químicos. Cuando el cambio es total, la pila ya no produce más energía. Sin embargo, esta puede ser recargada mandando una corriente eléctrica de otra fuente a través de ella para así poder volver a los químicos a su estado original (***Ramírez, 2003***)

Las pilas y baterías secundarias de uso doméstico se desechan proporcionalmente en menor volumen que las primarias por ser recargables, hay datos que indican que una pila de este tipo puede sustituir hasta 300 desechables pero, generalmente, contienen metales tóxicos como el plomo, cadmio y níquel. Las nuevas tecnologías tienden a utilizar elementos menos tóxicos, con tamaño y peso menor, sin embargo, los volúmenes de producción, han aumentado considerablemente, situación que hay que evaluar desde la perspectiva ambiental (***Díaz y Arias, 2004***).

Según ***Ramírez (2003)*** entre los sistemas que se consideran como secundarios están:

a) Níquel-Cadmio:

Son de las baterías secundarias más antiguas que hay y han encontrado considerable uso en equipos electrónicos portátiles. Es una pila que puede soportar sobrecargas ya sea en su régimen de descarga o de carga, o permanecer descargada durante mucho tiempo. Siendo una pila secundaria puede ser recargada. El electrodo positivo de la pila níquel-cadmio, es hidróxido de níquel, mientras el negativo es cadmio metálico. El electrolito es hidróxido de potasio. El voltaje medio de trabajo, bajo condiciones normales es de 1,2 V.

Los acumuladores de níquel-cadmio se fabrican en una amplia variedad de tamaños y formas, siendo los más populares de ellas los tipos rectangulares de cierre hermético y los cilíndricos. En el tipo de placa sintetizada, las placas están dispuestas en grupos y conectadas por cintas soldadas y separadas por distanciadores. Los grupos de placas positivas y negativas están entremezcladas y colocadas en un recipiente de plástico. Durante la carga y la descarga de un acumulador de níquel-cadmio, no hay prácticamente cambios en la densidad del electrolito. Éste actúa solamente como un conductor para transferir los iones hidróxido de un electrodo al otro, dependiendo esto de la condición de carga de la pila.

b) Acumuladores Ácidos de Plomo:

La más popular y ampliamente usada de las pilas secundarias, es el acumulador plomo-ácido, para automóviles. Cuando está totalmente cargado, este acumulador tiene un voltaje de salida aproximado de 2.2 V. Las baterías para automóviles generalmente contienen tres o seis de estos elementos. La pila plomo-ácido es capaz de dar corriente extremadamente alta, de varios cientos de amperios.

Los dos metales distintos de la pila plomo-ácido son plomo (Pb) en forma de una placa formada por metal finamente dividido, y peróxido de plomo (PbO_2). El plomo es el electrodo negativo y el peróxido el positivo. Estos materiales son relativamente blandos y se pasan por las aberturas de una rejilla que forma una placa corrugada. El electrolito es ácido sulfúrico (H_2SO_4) mezclado con agua destilada (H_2O). Una pila está formada por varias placas negativas y positivas, unidas y contenidas dentro de un recipiente, junto con el electrolito. Las condiciones en que se halla la pila puede ser medida con un densímetro, que determina la gravedad específica del electrolito. Cuando está totalmente cargada, su densidad puede ser de 1.25; cuando está descargada de 1.1.

c) Níquel-Hidruro de Metal:

Las baterías recargables de Ni-MH son relativamente una nueva tecnología con características similares a las baterías Ni-Cd recargables. La principal diferencia es que el Ni-MH utiliza hidrógeno absorbido en aleaciones de metales, reemplazando el material del electrodo negativo de cadmio en las baterías de Ni-Cd.

El electrodo de Hidruro de metal tiene una mayor densidad de energía que el cadmio como electrodo, por lo tanto la cantidad de material para el electrodo negativo es menor que en el caso de las baterías de Ni-Cd para la misma medida en el electrodo positivo.

Por otra parte como estas baterías están libres de cadmio, son consideradas más amigas del medio ambiente que las baterías de Ni-Cd y puede reducir los problemas de la disposición que presentan otros tipos de baterías recargables. Las características de operación de estas baterías son similares a las baterías de Ni-Cd, y comienzan a ser una fuerte competencia para las baterías de Ni-Cd en el uso. Se utilizan en computadoras, teléfonos celulares y otros equipos electrónicos portátiles donde las altas densidades de energía son necesarias.

El material activo del electrodo positivo en estas baterías en el estado de carga es hidróxido de níquel, el mismo que en las baterías Ni-Cd. El electrodo negativo, en el estado de carga, es hidrógeno en la forma de un hidruro de metal. Este metal es una aleación capaz de soportar la adsorción y deserción del hidrógeno en la batería en los estados de carga y descarga.

Una solución acuosa de hidróxido de potasio, es el principal componente del electrolito. Una mínima cantidad de electrolito es empleado en este diseño de baterías, y la mayoría del líquido es absorbido por el separador y los electrodos.

Un componente clave de las celdas de Ni-MH, es el hidrógeno captado por la aleación metálica. La composición de la aleación es formulada para obtener un material estable durante un gran número de ciclos de carga y descarga. Generalmente se emplean dos tipos de aleaciones metálicas. Una se conoce

como la aleación AB5 y se compone de Lantano-Níquel, y la segunda es la AB2 con titanio y circonio. En ambos casos algunos de los metales bases son reemplazados con otros metales para lograr las características de almacenamiento deseadas.

Las celdas de las baterías de Ni-MH son construidas en formas cilíndricas, prismáticas y botones, de manera similar a las usadas para las baterías de Ni-Cd; las baterías para teléfonos celulares utilizan celdas en forma cilíndrica y prismática.

En el cuadro 1.3 se muestran los componentes de algunos sistemas secundarios con sus correspondientes aplicaciones.

Cuadro 1.3. *Componentes de las pilas secundarias (recargables) (Díaz y Arias, 2004)*

Tipos de Pilas	***Componentes principales***	***Usos***
Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	*Cd 18 %* *Ni 20 %* *Hidróxido de Potasio o de Sodio*	*Juguetes, lámparas, artículos electrónicos, equipo electrónico portátil*
Níquel-Hidruro de metal (Ni MH)	*Ni 25 %* *Hidróxido de Potasio*	*Productos electrónicos portátiles*
Ión Litio (Ión Li)	*Óxido de Litio-Cobalto (cátodo)* *Carbono altamente cristalizado (Ánodo)* *Solvente orgânico (electrolito)*	*Telefonia celular, computadoras, cámaras fotográficas y de video*
Plomo	*Plomo* *Ácido sulfúrico*	*Uso automotriz, industrial y doméstico*

1.3.3 CLASIFICACIÓN POR ELECTROLITO

Según ***Ullmann (2004)*****,** por su electrolito, las pilas se pueden clasificar en secas y húmedas, o expresado de otra forma en pilas que poseen electrolito acuoso y pilas que poseen electrolito no acuoso.

Las baterías que emplean electrolito acuoso pueden ser divididas en los siguientes subgrupos.

1. Ácido fuerte como electrolito (por ejemplo baterías ácidas de plomo)
2. Ácido débil como electrolito (por ejemplo, baterías de Leclanché)
3. Electrolito neutro (por ejemplo sistemas activados con agua)
4. Electrolito alcalino (por ejemplo níquel - cadmio, dióxido de manganeso - Cinc). El electrolito predominante es hidróxido de potasio (KOH).

Las Batería que emplean un electrolito no acuoso puede ser dividido en:

1. Electrolito orgánico (por ejemplo, dióxido del manganeso - litio, ión litio)
2. Electrolitos con cátodo soluble (por ejemplo, cloruro de thionyl)

3. Electrolito polímero (por ejemplo, penta-óxido de vanadio - litio)
4. Electrolito sólido (por ejemplo, yodo - litio, azufre - sodio)

1.3.4 CLASIFICACIÓN POR FORMA EXTERNA

Según sea la apariencia exterior que presenten, las pilas se clasifican en (***Ullmann, 2004***):

a) Prismáticas: son caracterizados por dimensiones de longitud, anchura, y altura. Este diseño se usa principalmente para celdas secundarias más grande con electrodos en forma de platos. Pero también existen celdas prismáticas pequeñas también pequeñas e incluso miniaturas como las usadas en las tarjetas de crédito modernas. Las construcciones muy planas de la celda (por ejemplo, debajo de 1 mm en el espesor) puede ser aún posibles. Una ventaja del diseño prismático es la posibilidad de usar eficientemente el volumen rectangular.

b) Cilíndricas: son caracterizadas por dimensiones de diámetro D y altura H para H>D. Son en su mayoría celdas primarias como níquel-cadmio, níquel-hidruro de metal, y baterías de ión litio.

c) Botón: son llamadas así, las pilas de tamaño reducido, de forma chata y redonda. Tiene usos amplios como en pilas primarias, níquel-cadmio, níquel-hidruro de metal, y baterías de litio. El mercado de artículos electrónicos requiere cada vez más de ellas. Son imprescindibles para audífonos, marcapasos, relojes, calculadoras y aparatos médicos de precisión. Aunque hay de varios tipos las más frecuentes son las pilas botón de mercurio, que son las que contienen más mercurio por unidad. Las pilas botón de litio, en cambio, no contienen ni mercurio ni cadmio, o sea que son una alternativa interesante para evitar el consumo de los botones de mercurio.

d) Battery Packs (batería empacada) y Smart batteries (batería inteligente): se utiliza para muchas aplicaciones como herramientas, teléfonos móviles e inalámbricos, Las baterías empacadas están formadas por baterías recargables, también se conocen como “paquetes de poder” por su nombre en inglés “power packs” ya que combinan varias celdas dentro de una envoltura común. Las celdas en tal paquete o envoltura a menudo se escogen para asegurar una capacidad uniforme. Las baterías “listas” o las baterías "inteligentes" tienen un sistema incorporado que controla, basado en un procesador que proporciona al artefacto anfitrión información como la capacidad y envejecimiento de la batería.

1.3.5 CLASIFICACIÓN POR FORMA INTERNA

Según ***Ullman (2004)*****,** las características estructurales internas de las pilas son muchas, por lo menos cuando ellas son consideradas con todo detalle. La construcción interna está determinada principalmente por el diseño de los electrodos. Hay básicamente tres diseños diferentes de electrodo:

a) Electrodos con contacto directo a la pared del contenedor: por ejemplo, los electrodos de disco en pilas botón y los electrodos de anillos de bióxido de manganeso de la celda alcalina de bióxido de manganeso- Cinc.

b) El electrodo en forma de plato: es conectado generalmente en paralelo para ampliar el área de superficie y formar un grupo de platos. El espesor de los platos alcanza más de 1 cm a fracciones de un milímetro.

c) Electrodo en espiral: a menudo se usan en celdas cilíndricas. Generalmente un electrodo positivo y un electrodo negativo con el separador en medio son los que forman el "grupo electrodo".

1.3.6 CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO

Según ***Díaz y Arias (2004),*** tanto las pilas desechables como las recargables se consiguen en distintas formas y a su vez también es posible la diferenciación en tamaños, los cuales están estandarizados. Sus denominaciones son micro (AAA, LR03, R03, AM4, E92), mignon (AA, LR6, R06, AM3), baby (C, LR14, R14, AM2, E93), mono (D, LR20, R20, AM1), 9V (1604 D, 6LR61, 6AM6, 522), 4,5V (3LR12, 1203), Spezial (LR61, AAAA, E96) y Lady (LR1, N, E90).

En el Cuadro 1.4 se muestran los diferentes tamaños de pilas con su correspondiente medida

Cuadro 1.4. *Tipos de pila estandarizados. (Linden y Reddy, 2002)*

Tipo	***Código IEC***	***Código ANSI***	***Diámetro x altura (mm)***
Mono	R20	D	34.2 x 61.5
Baby	R14	C	26.2 x 50
Mignon	R6	AA	14.5 x 50.5
Lady	R1	N	12 x 30
Micro	R03	AAA	10.5 x 44.5

1.4 ESTÁNDARES INTERNACIONALES PARA IDENTIFICACIÓN DE PILAS Y BATERÍAS

Un estándar es una serie de parámetros considerados por el consentimiento general como una base de comparación y está de acuerdo con requisitos directrices y pautas pertinentes. Un estándar técnico puede relacionar, por ejemplo, la forma y las dimensiones. En el caso de una batería, el estándar se refiere también al sistema electroquímico empleado, sus características eléctricas de desempeño, sus arreglos terminales, y a su identificación sin ambigüedades, derivada de un sistema extraordinario de nomenclatura. Un estándar técnico sirve para fomentar el comercio internacional, proteger al consumidor, mejorar la seguridad y la salud, y/o proteger el ambiente *(**Ullman, 2004**).*

Antes que los Estándares Internacionales estuvieran disponibles, las Estándares Nacionales para sistemas de batería fueron establecidas por Comités Nacionales, trabajando independientemente unos de los otros. Entre los Estándares Nacionales se pueden mencionar: ANSI (en inglés American National Standards Institute), BSI (en inglés British Standards Institute), DIN (en inglés German Industrial Standard), JIS (en inglés Japanese Industrial Standard) *(**Ullman, 2004**)*

Con el crecimiento del comercio internacional hubo una necesidad de coordinar las actividades de estos Comités Nacionales. Dentro de la Comunidad europea esta coordinación fue hecha por el *Comité Europeo de Normalización Electrotécnica* CENELEC (en francés *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*). CENELEC trabaja de cerca con la Comisión Electrotécnica Internacional IEC (en inglés *International Electrotechnical Commission*) y espera llegar a ser la única Organización europea de Estándares, reemplazando todos los Comités Nacionales de la Comunidad europea *(**Ullman, 2004**).*

Según ***Linden y Reddy (2002)*** la estandarización de baterías comenzó en 1912, cuando un comité de la Sociedad Electroquímica Americana recomendó métodos estándares para probar las celdas secas. Ésta dirigió eventualmente en 1919 la primera publicación nacional como un apéndice de una circular del National Bureau of Standars. Después el actual Instituto Americano de Estándar Nacional (en ingles American National Standar Institute ANSI) desarrolló el actual Comité de Acreditación Estándar C18 para Pilas y Baterías Portátiles (en inglés Accredited Standards Committee C18). Desde entonces, otras sociedades de profesionales han desarrollado estándares relacionados a las baterías. Muchos estándares de baterías fueron publicados también por organizaciones internacionales, nacionales, militares y federales. Las asociaciones manufactureras, las asociaciones comerciales, y los fabricantes individuales publicaron también estándares.

Como consecuencia de la necesidad creciente de coordinar las actividades de Comités Nacionales, dos Comités Técnicos en baterías fueron establecidos bajo los auspicios del IEC. El primer el Comité Técnico IEC para baterías que se estableció en 1931 era el Comité Técnico No. 21 (TC21) enfocándose únicamente

en baterías ácidas de plomo. En 1965 un Sub-comité SC21A fue agregado, tratando con "Celdas y Baterías Secundarias, con electrolito alcalino (por ejemplo baterías de Ni-Cd) u otros electrolitos no ácidos (como baterías de Ión Litio)". En 1949 un segundo Comité Técnico IEC fue establecido, tratando únicamente con baterías primarias: Comité Técnico No. 35 (TC35) *(**Ullman, 2004**)*

1.4.1 SISTEMAS DE NOMENCLATURA IEC Y ANSI

Desafortunadamente los estándares no comparten el mismo sistema de nomenclatura. Los sistemas independientes de nomenclatura de los fabricantes de batería empeoran aún esta situación.

El sistema de nomenclatura IEC para baterías primarias, que entró en vigencia en 1992, se basa en el sistema electroquímico, la forma y en el tamaño de la batería. Las letras designadas para el sistema electroquímico y para el tipo de pila permanecen igual que en el sistema previo de IEC para baterías primarias. Las designaciones numéricas nuevas se basan en un número de diámetro/altura en vez de la clasificación arbitraria de tamaño usada previamente. Los primeros dígitos especifican el diámetro de la pila en milímetros y el segundo la altura de la pila (milímetros * 10). Un ejemplo se muestra en el cuadro1.5. Los códigos para la forma y sistema electroquímico se muestran en el cuadro 1.6 y 1.7.

El sistema de nomenclatura ANSI no usa un código para designar la forma.

Cuadro 1.5. *Ejemplo de nomenclatura IEC para pilas primarias (Linden y Reddy, 2002)*

Nomenclatura	***# de celdas***	***Sistema Letra (cuadro 1.9)***	***Forma (cuadro 1.8)***	***Diámetro mm***	***Altura mm***	***Ejemplo***
CR2025	1	C	R	20	2.5	Una batería de una unidad cilíndrica con dimensiones mostradas y sistema electroquímico letra C tabla 1.9 (Li/MnO_2)

Cuadro 1.6. *Letra para designar la forma de la pila en nomenclatura IEC (Linden y Reddy, 2002)*

Designación Letra	Forma
R	Redonda-Cilíndrica
P	No Cilíndrica
F	Plana
S	Cuadrada, rectangular, prismática

Cuadro 1.7. *Letras que denotan el sistema electroquímico para pilas primarias (Linden y Reddy, 2002)*

ANSI	IEC	Ánodo	Electrolito	Cátodo	Voltaje Nominal (V)
(1)	----	Cinc	Cloruro de Amonio, Cloruro de Cinc	Dióxido de Manganeso	1.5
	A	Cinc	Cloruro de Amonio, Cloruro de Cinc	Oxígeno (Aire)	1.4
LB	B	Litio	Orgánico	Monofluoruro de Carbón	3
LC	C	Litio	Orgánico	Dióxido de Manganeso	3
	E	Litio	Inorgánico no acuoso	Cloruro de Tionil	3.6
LF	F	Litio	Orgánico	Sulfuro de Hierro	1.5
	G	Litio	Orgánico	Dióxido de Cobre	1.5
A(2)	L	Cinc	Hidróxido Metal Alcalino	Dióxido de Manganeso	1.5
Z(3)	P	Cinc	Hidróxido Metal Alcalino	Oxígeno (Aire)	1.4
SO(4)	S	Cinc	Hidróxido Metal Alcalino	Óxido de Plata	1.55

Notas:

(1)	Sin sufijo	Carbón-Cinc
	C	Carbón-Cinc industrial
	CD	Carbón-Cinc industrial heavy duty
	D	Carbón-Cinc heavy duty
	F	Carbón-Cinc propósito general
(2)	A	Alcalina
	AC	Alcalina industrial
	AP	Alcalina fotográfica
(3)	Z	Cinc/aire
	ZD	Cinc/aire heavy duty
(4)	SO	Óxido de Plata
	SOP	Óxido de Plata fotográfico

1.5 TOXICIDAD DE COMPONENTES DE PILAS Y BATERÍAS

1.5.1 COMPONENTES PRINCIPALES

Una evaluación de riesgos a la salud y al ambiente por la exposición a los contaminantes que contienen las baterías es difícil, ya que el ámbito geográfico donde se depositan las pilas es muy amplio así como la distribución temporal y poblacional; sin embargo aunque no se pueda cuantificar, es seguro que los componentes tóxicos de las pilas y baterías, desechadas en las últimas cuatro décadas, se encuentran en los tejidos de los organismos que integran los diferentes ecosistemas, incluido el organismo humano.

En términos generales, las pilas, al ser desechadas en la basura o en cualquier sitio, al paso del tiempo, se oxidan por el efecto del proceso de descomposición de sus elementos y de la materia orgánica que las circunda, lo cual provoca daños a la carcaza o envoltura y por consiguiente, la liberación al ambiente de sus componentes tóxicos a los suelos cercanos y a los cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Otras causas de considerable importancia que contribuyen a la liberación de esos componentes, son los incendios de los basureros o la quema intencional de basura lo cual representa un aporte significativo de esos contaminantes al aire. En los párrafos siguientes, se presentará información sobre las propiedades tóxicas de cada contaminante contenido en las pilas y baterías; las posibles rutas de exposición, así como los datos sobre las posibles cantidades liberadas que son algunos elementos para evaluar los riesgos correspondientes, esta información fue tomada principalmente de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés), la cual forma parte del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EUA.

a) Mercurio

La liberación del mercurio contenido en pilas, ha ocurrido a consecuencia del uso de tres tipos de pilas: las de óxido de mercurio, las de C-Zn y alcalinas. En el primer tipo mencionado, el contenido de dicho metal es del 33%, se usaron tanto en su presentación de botón como de otros tamaños a partir de 1955, teóricamente, se dejaron de producir en 1995, aunque hay fuentes de información que indican que se siguen produciendo en Asia y distribuyendo en el mercado internacional. Para el segundo y tercer tipo de pilas se sabe que durante varias décadas antes de los 90, se les agregaba mercurio (entre 0.5 a 1.2 %) para optimizar su funcionamiento, siendo las alcalinas las de mayor contenido, también el carbón algunas veces está contaminado con este metal de manera natural. En 1999, el Instituto Nacional de Ecología INE en México, solicitó un análisis de muestras de tres diferentes marcas de pilas del tipo “AA” de consumo usual en México, de las cuales, dos eran de procedencia asiática de C-Zn y una alcalina de procedencia europea, los resultados fueron los siguientes: para las de procedencia asiática, los valores obtenidos fueron de 0.18 mg/Kg y de 6.42 mg/Kg; en cuanto a la de procedencia europea el resultado fue de 0.66 mg/Kg; dichas cantidades

equivalentes a partes por millón, no rebasan los límites de 0.025% establecidos en el Protocolo sobre Metales Pesados, adoptado en 1998 en Aarhus, Dinamarca, por los países miembros de la ***Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas*** (***UNECE***).

La exposición humana dependerá de su forma química, la ruta de exposición y de la cantidad. El mercurio es un contaminante local y global, la química ambiental correspondiente a este metal tóxico es muy compleja; dadas sus propiedades, se evapora a temperatura ambiente y sus átomos viajan lejos, al ser depositado en los cuerpos de agua se transforma en mercurio orgánico (metilmercurio) debido a su contacto con el plancton, es así como se contaminan los alimentos como peces y mariscos. Otra forma de ingreso de mercurio es por inhalación, a través de los vapores emitidos por el mercurio en su forma metálica, en ambientes cerrados.

Las pilas de mercurio tipo botón pueden significar un peligro para los niños si las ingieren, no sólo porque pueden ahogarse con ellas, sino también porque el revestimiento de la batería puede disolverse con el ácido del estómago y liberar el mercurio contenido en la pila.

El metil mercurio puede atravesar la placenta, acumularse y provocar daño en el cerebro, asimismo en los tejidos de los neonatos, quienes son especialmente sensibles a esta sustancia. También puede existir exposición al mercurio a través de la leche materna, en este caso los efectos pueden provocar el decrecimiento en la inteligencia, retrasos en el andar, en el habla o mental, falta de coordinación, ceguera y convulsiones. En adultos, la exposición constante a través de la ingesta de alimentos contaminados, peces por lo general, puede provocar cambios de personalidad, pérdida de visión, memoria o coordinación, sordera, o problemas en los riñones y pulmones. La exposición a altos niveles de mercurio, orgánico, o inorgánico puede dañar en forma permanente los riñones, el cerebro y el feto. Los efectos sobre la función cerebral pueden manifestarse como irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones en la vista o la audición y problemas de la memoria. La exposición por corto tiempo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar lesiones en el pulmón, náusea, vómitos, diarrea, aumento de la presión sanguínea o del pulso, salpullidos e irritación en los ojos.

La Agencia de Protección Ambiental de EUA (EPA por sus siglas en inglés) ha establecido un límite de 2 partes de mercurio por mil millones de partes de agua potable (2 ppmm). La Administración de Alimentos y Drogas (FDA) ha establecido un nivel permisible máximo de 1 parte de metilmercurio por cada millón de partes de mariscos (1 ppm). La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido límites de 0.1 miligramos de mercurio orgánico por metro cúbico de aire (0.1 mg/m^3) en el área de trabajo y 0.05 mg/m^3 para vapor de mercurio metálico en jornadas de 8 horas diarias y 40 horas semanales.

b) Cadmio

Las baterías de Ni–Cd se empezaron a usar a partir de la segunda mitad de la década de los 60, en aparatos portátiles como en rasuradoras recargables, aspiradoras y en cualquier otro aparato doméstico. Su uso generalizado se da a partir de 1996 en la telefonía celular hasta el 2002 en que han sido sustituidas por otras tecnologías más eficientes, sin embargo aún son ampliamente usadas en herramientas y teléfonos inalámbricos domésticos.

Generalmente estas baterías cuentan con un recubrimiento fuerte de plástico que durante varios años puede impedir la liberación de los metales tóxicos, sin embargo los incendios en basureros o la quema de baterías es un riesgo importante para que el Cd y el Ni sean liberados al ambiente.

La exposición al cadmio ocurre principalmente al respirar aire contaminado en el ambiente laboral (fábrica de baterías, soldadura de metales). Otra vía importante es la ingesta de agua contaminada y de alimentos que contienen cadmio. En el nivel doméstico las baterías usadas en los teléfonos inalámbricos son una fuente importante de Cd debido a que tienen una envoltura relativamente frágil.

Respirar cadmio en altas dosis produce graves lesiones en los pulmones y generalmente se acumula en los riñones. Cuando se expone un individuo a altas dosis esto puede causar la muerte. Las intoxicaciones agudas a consecuencia de ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados producen seria irritación en el estómago e inducen vómitos y diarrea. En exposiciones crónicas con bajos niveles de este metal pueden producir enfermedades renales. Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. En animales de laboratorio a los que se les dio cadmio en la comida o en el agua se observó aumento de la presión sanguínea, déficit de hierro en la sangre, enfermedades en el hígado y lesiones en los nervios y el cerebro. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) de los EUA considera el cadmio como una sustancia carcinogénica. El contacto de la piel con el Cd no parece constituir un riesgo para la salud ya sea en animales o seres humanos. Según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera el cadmio y sus compuestos como cancerígenos para los humanos (Grupo 1).

Las actividades mineras o industriales, o el quemar carbón y desechos domésticos liberan en el aire partículas de cadmio que pueden viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo o en el agua. El cadmio entra al agua y al suelo de vertederos y de derrames o escapes en sitios de desechos peligrosos. Se adhiere fuertemente a partículas en la tierra. Parte del cadmio se disuelve en el agua. No se degrada en el medio ambiente, pero puede cambiar de forma. Las plantas, peces y otros animales asimilan cadmio del medio ambiente. El cadmio permanece en el organismo por largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición a bajos niveles. Límites sugeridos, La EPA ha establecido un límite de 5 partes de cadmio por cada billón de partes de agua potable (5 ppb). La

EPA no permite la presencia de cadmio en insecticidas. La Administración de Alimentos y Drogas (FDA por sus siglas en inglés) restringe la cantidad de cadmio en colorantes para alimentos a 15 partes de cadmio por cada millón de partes de colorante (15 ppm). La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés) limita la cantidad de cadmio en el aire del trabajo a 100 microgramos por metro cúbico (100 g/m³) en la forma de vapores de cadmio y a 200 g de cadmio/m³ para polvos de cadmio.

c) Níquel

Las aportaciones de níquel al ambiente corresponden al uso de baterías de nueva tecnología de Ni–Cd y Ni–MH que aparecieron en el mercado a finales de la década de los 90.

La ingesta de alimentos o agua contaminados con níquel, representa la fuente de exposición más importante para la mayoría de la gente. Por vía dérmica la exposición se puede dar a través del contacto de la piel con elementos u objetos que contienen níquel, como monedas, joyas y otras partes metálicas.

El efecto adverso más común de exposición al níquel en seres humanos es una reacción alérgica. Aproximadamente del 10 al 15% de la población es sensible al níquel. Las personas pueden sensibilizarse al níquel cuando hay contacto directo de la piel con objetos que lo contienen. Una vez que una persona se ha sensibilizado al níquel, el contacto adicional con el metal producirá una reacción. La reacción más común es un salpullido en el área de contacto. El salpullido también puede aparecer en un área lejos del sitio de contacto. Con menor frecuencia, algunas personas que son sensibles al níquel sufren ataques de asma luego de exposición al níquel. Algunas personas sensibilizadas reaccionan cuando ingieren níquel en los alimentos o el agua, o cuando respiran polvo que contiene níquel. Algunas personas que trabajan en refinerías de níquel o plantas que procesan níquel han experimentado bronquitis crónica y alteraciones del pulmón. Estas personas inhalaron cantidades de níquel mucho más altas que los niveles que se encuentran en el ambiente. Algunos trabajadores que tomaron agua que contenía altos niveles de níquel sufrieron dolores de estómago y efectos adversos en la sangre y los riñones. En ratas y ratones que respiraron compuestos de níquel se ha observado daño de los pulmones y de la cavidad nasal.

Comer o beber grandes cantidades de níquel ha producido enfermedad del pulmón en perros y ratas y ha afectado el estómago, la sangre, el hígado, los riñones y el sistema inmunitario en ratas y ratones, como también la reproducción y el desarrollo.

En personas que respiraron polvo que contenía altos niveles de compuestos de níquel durante el trabajo en refinerías de níquel o en plantas de procesamiento de níquel, se observó un aumento de cáncer de los pulmones y de los senos nasales. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que el níquel metálico es carcinogénico y que los compuestos

de níquel son sustancias reconocidas como carcinogénicas. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que algunos compuestos de níquel son carcinogénicos en seres humanos y que el níquel metálico es posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA ha determinado que los polvos de refinerías de níquel y el sulfuro de níquel son carcinogénicos en seres humanos.

El níquel es liberado a la atmósfera por industrias que manufacturan o usan níquel, sus aleaciones o compuestos. También es liberado a la atmósfera por plantas que queman petróleo o carbón, y por incineradores de basura. En el aire, se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas por el aire, por la lluvia; esto generalmente toma varios días. El níquel no parece acumularse en plantas o en animales. El níquel liberado en desagües industriales termina en el suelo o en el sedimento, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso. Aparentemente no se acumula en peces o en otros animales usados como alimentos. La EPA recomienda que el agua potable contenga no más de 0.7 miligramos de níquel por litro de agua (0.7 mg/L). Para proteger a los trabajadores, la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite de 1 miligramo de níquel por metro cúbico de aire (1 mg/m³) para níquel metálico y compuestos de níquel en el aire del trabajo, durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana.

d) Manganeso

El dióxido de manganeso está contenido en pilas alcalinas en proporción del 22% y en pilas C-Zn del 29% aproximadamente. En 1981 se reportó una intoxicación en una comunidad de Japón, debido a que cerca de un pozo de agua se enterraron aproximadamente 400 piezas de pilas a una distancia aproximada de dos metros lo cual provocó 16 casos de envenenamiento, 3 fueron fatales; los niveles de manganeso detectados en el agua de ese pozo, fueron de 14 miligramos por litro, mientras que en otros dos pozos, los niveles fueron de 8 y 11 miligramos por litro. Los sujetos de la comunidad exhibieron desordenes de tipo psicológico y neurológico asociados a la intoxicación por manganeso, la autopsia de los habitantes muertos, reveló altos niveles de manganeso y Cinc en sus órganos.

Todos los habitantes están expuestos a pequeñas cantidades de manganeso en el aire, el agua y los alimentos, en términos ocupacionales la exposición al manganeso se puede dar en minería o en lugares donde se utilice este elemento como materia prima. La exposición a niveles de manganeso muy altos por largo tiempo en el trabajo ocasiona perturbaciones mentales y emocionales, y provoca movimientos lentos y faltos de coordinación. Esta combinación de síntomas constituye una enfermedad llamada "manganismo" que afecta a la parte del cerebro que ayuda a controlar los movimientos. La exposición a altos niveles de manganeso en el aire, como puede ocurrir en una fundición de manganeso o una planta de baterías, puede afectar la habilidad motora tal como mantener una mano inmóvil, la ejecución de rápidos movimientos manuales, y mantener el equilibrio.

La exposición a altos niveles del metal también puede causar problemas respiratorios y alteración en la función sexual. No hay información disponible que relaciona el manganeso y cáncer en seres humanos. La exposición a altos niveles de manganeso en los alimentos produce un pequeño aumento en la tasa de tumores del páncreas en ratas machos y de tumores de la tiroides en ratones machos y hembras. La EPA ha determinado que el manganeso no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

Las fuentes de manganeso en aire se pueden dar debido a emisiones en plantas fundidoras de hierro; de centrales eléctricas; hornos de oque, y de polvo generado por operaciones de minería. Las plantas acuáticas pueden incorporar un poco de manganeso del agua y así concentrarlo. Las fuentes de manganeso en el agua, además del ya contenido naturalmente, se deben a depósitos naturales, por deposición desde el aire y a través de la disposición de residuos como pilas y batería gastadas. Límites sugeridos La EPA ha establecido una norma voluntaria para el nivel de manganeso en agua potable de 0.05 miligramos por litro (0.05 mg/L). La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite de 5 miligramos de manganeso por metro cúbico de aire (5 mg/m^3) en el aire del trabajo como promedio durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales. El Consejo Nacional de Investigación ha recomendado una ingesta diaria segura y adecuada de manganeso que fluctúa de 0.3 a 1 mg al día para niños de hasta 1 año, 1 a 2 mg al día para niños de hasta 10 años, y 2 a 5 mg al día para niños de 10 años y mayores.

e) Litio

Considerando que la tecnología de baterías lón-Li es la más eficiente disponible en el mercado, se espera un aumento relativamente alto (en caso de no iniciar programas de recolección-reciclado) en el ambiente, de este elemento y sus compuestos.

La población en general puede exponerse al litio respirando aire contaminado, bebiendo agua o ingiriendo alimentos que contengan este elemento. En ambientes ocupacionales como la minería, fundición, talleres de soldadura, la exposición se puede dar además por vía dérmica. Intoxicaciones agudas de litio presentan síntomas como: fallas respiratorias, depresión del miocardio y edema pulmonar y estupor profundo. Dado que el litio es usado también en medicamentos, se ha encontrado ser de alta toxicidad cuando se ha administrado erróneamente o usado en casos de suicidio, situaciones en que ha afectado seriamente el sistema nervioso, provocando anorexia, nausea, movimientos involuntarios musculares, apatía, confusión mental, visión borrosa, temblores, estado de coma y muerte. Experimentos en ratas, han sugerido que los compuestos de litio en combinación con compuestos de manganeso, pueden incrementar la toxicidad en caso de inhalación, por lo que puede representar un riesgo el mal manejo de baterías Ion-Li, ya que contienen ambos elementos.

Dada su baja adsorción, el litio puede lixiviarse fácilmente a los mantos acuíferos, por lo que existen evidencias que el litio se ha encontrado en pequeñas cantidades en diferentes especies de peces. El litio no es volátil y por lo tanto, el litio y sus compuestos se encuentran en el aire en forma particulada que puede regresar a la superficie a través de deposición húmeda o seca, el litio no se encuentra de manera natural en el aire.

f) Plomo

Este metal se encuentra sobre todo en las baterías utilizadas en los automóviles y de uso industrial y doméstico. Otro riesgo importante para la salud y el ambiente, lo representa el uso de baterías para respaldar corriente en computadoras, cuyo mercado es relativamente nuevo y ascendente ya que no existen programas de recolección debidamente establecidos, lo cual posibilita que se maneje este tipo de baterías sin las debidas precauciones.

En humanos, la exposición a este metal ocurre en gran parte por medio de ingestión o inhalación, ya sea comiendo alimentos o tomando agua contaminados con plomo; usando productos para la salud o remedios caseros que lo contienen, o en el caso de los niños al estar en contacto con suelos con plomo o en áreas donde se han usado pinturas a base de plomo y que están deteriorándose. Trabajando en ocupaciones en las que se usa el plomo, como la elaboración de vitrales emplomados. La absorción dérmica del plomo desempeña un papel de poca importancia. Efectos en la salud Los efectos negativos para la salud humana son, entre otros, funcionamiento deficiente o daños al cerebro, riñones, médula espinal y otros sistemas. Según la clasificación de la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), el plomo es una sustancia del Grupo 2B, o sea posible carcinógeno en humanos. Este metal y sus compuestos también pueden dañar el funcionamiento del aparato reproductivo, y la exposición a altas concentraciones de plomo puede ocasionar coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños son especialmente vulnerables a los efectos tóxicos del plomo. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del organismo. El más sensible es el sistema nervioso, especialmente en niños. También daña los riñones y el sistema reproductivo. Los efectos son los mismos ya sea al respirar o ingerir plomo. En altos niveles, el plomo puede disminuir el tiempo de reacción, puede causar debilitamiento de los dedos, muñecas, o tobillos y posiblemente afectar la memoria. El plomo puede producir anemia, un trastorno de la sangre. También puede dañar el sistema reproductivo masculino. La relación entre estos efectos y la exposición a bajos niveles de plomo es incierta.

El plomo es un grave contaminante del ambiente porque es tóxico, persistente y puede ser acumulado por los tejidos biológicos y almacenarse en ellos. Además, puede incorporarse a la cadena alimentaria cuando se deposita en el suelo, en aguas y en las plantas. El plomo puede viajar miles de kilómetros si las partículas son pequeñas o si los compuestos son volátiles. Es tóxico para toda la biota acuática, en especial para los peces. Los animales en los lugares más altos de la cadena alimentaria son más susceptibles a consumir alimentos contaminados con

plomo que otras especies. El plomo se bioacumula en los organismos. El plomo no se degrada, sin embargo compuestos de plomo son transformados por la luz solar, el aire y el agua. Cuando se libera al aire, puede ser transportado largas distancias antes de sedimentarse en el suelo. Una vez que cae en la tierra, generalmente se adhiere a partículas en el suelo. El movimiento del plomo desde el suelo a aguas subterráneas dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo. Límites sugeridos La EPA requiere que como promedio en un período de 3 meses la cantidad de plomo en el aire no sobrepase 1.5 microgramos por cada metro cúbico de aire (1.5 μg/m³). La EPA limita la cantidad de plomo en agua potable a 15 μg por litro. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) establece reglamentos para trabajadores expuestos a plomo. Las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1990 prohibieron la venta de gasolina con plomo. La Ley Federal de Sustancias Peligrosas prohíbe productos para niños que contengan cantidades de plomo peligrosas.

2. TIPOS DE PILAS. SISTEMAS QUÍMICOS

2.1 PILAS Y BATERÍAS ALCALINAS (LINDEN, REDDY, 2002)

2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Desde su introducción a principios de los años 60's, la batería alcalina-dióxido de manganeso (cinc/KOH/MnO_2), se ha convertido en el sistema de batería dominante en el mercado de baterías portátiles. Esto es debido a que el sistema alcalino se le reconoce que tiene varias ventajas sobre sus contrapartes del electrolito ácido, la batería de Leclanché o de cinc-carbón, el líder de mercado anterior con quien compite. El cuadro 2.1 resume las ventajas y las desventajas de las baterías alcalinas-dióxido de manganeso comparadas a las baterías de cinc-carbón.

El diseño de la batería alcalina-dióxido de manganeso está disponible en dos configuraciones: (1) *como baterías cilíndricas relativamente de gran tamaño y (2) como baterías miniatura de botón*.

Hay también baterías de celdas múltiples hechas de varios tamaños de unidades de celdas. Mientras que la celda alcalina todavía está experimentando el cambio, algunos progresos en la evolución de la actual tecnología cilíndrica de la celda son particularmente notables. Después de que los conceptos iniciales del cinc gelificado /amalgamado pulvericen el ánodo en un compartimiento central y el uso de sellos plásticos expresados había sido establecido, el primer avance principal era empalmar finalmente el metal con la celda que permitió que tuviera mayor volumen interno. Vino después el descubrimiento que los inhibidores orgánicos podrían reducir el índice de gasificación causado por los contaminantes en el ánodo de cinc, dando como resultado un producto con el bombeo y la salida disminuidos.

Otro desarrollo importante era la introducción del sello de plástico de la etiqueta y de un perfil más bajo, que permitió otro aumento grande en el volumen interno disponible para el material activo y un aumento sustancial en la capacidad de la batería. Quizás el cambio más significativo a la celda alcalina comenzó a principios de los años 80 con la reducción gradual de la cantidad de mercurio en el ánodo y del desarrollo de las celdas que no contenían ningún mercurio agregado. Esta tendencia, que fue ayudada por una mejora sustancial en la confiabilidad de los materiales de la celda resultando de niveles de impureza reducidos, fue conducida por la preocupación mundial por las consecuencias para el medio ambiente de los materiales usados en baterías después de su disposición.

Cuadro 2.1. *Ventajas y desventajas importantes de las baterías cilíndricas Alcalinas-Dióxido de Manganeso (comparadas a las baterías de Carbón-Cinc). (Linden, Reddy, 2002)*

Ventajas	***Desventajas***
Energía de alta densidad	Mayores costos iniciales
Funcionamiento mejor del sistema: Continuo e intermitente Tarifa alta y baja Temperatura baja y ambiente	
Resistencia Interna baja	
Vida útil más larga	
Mayor resistencia a la salida	
Estabilidad dimensional mejor	

Los progresos tales como éstos han permitido a la batería alcalina-MnO_2 ganar tanto como un aumento del 60% en la energía específica hecha salir puesto que su introducción para guardar paso con las necesidades del consumidor. Su posición de la dirección debe apoyar otras mejoras tecnológicas, que asegurarán la dominación continuada del mercado. Más recientemente, el esfuerzo del desarrollo se ha centrado en realzar el funcionamiento de la batería en las altas tarifas de la descarga para resolver las demandas de la energía de equipos electrónicos portátiles nuevos, tales como cámaras fotográficas digitales, videocámaras (camcorders), teléfonos celulares y de PDAs. Las baterías superiores, que tienen funcionamiento perceptiblemente superior en estos usos de alta-tarifa comparado con las baterías estándares alcalina-dióxido de manganeso, se han introducido recientemente al mercado.

Las baterías tipo botón miniatura, usan la misma química que las celdas cilíndricas de las de cinc /alcalina-dióxido de manganeso, que compite con otros sistemas de batería miniatura tales como óxido mercúrico, óxido de plata, y cinc/aire. El cuadro 2.2 demuestra las ventajas y las desventajas principales de las baterías miniatura alcalina-dióxido de manganeso en la comparación a otras baterías miniatura.

Cuadro 2.2. *Comparación de la batería miniatura Alcalina-Dióxido de Manganeso con otros sistemas miniatura. (Linden, Reddy, 2002)*

Ventajas	***Desventajas***
Bajo costo	La curva de la descarga que se inclina previene su uso en algunos dispositivos
Resistencia interna baja	Baja densidad de energía
Mejor funcionamiento a baja temperatura	
Resistencia equivalente de la salida	

2.1.2 REACCIONES QUÍMICAS

Los materiales activos en la celda alcalina-dióxido de manganeso son dióxido electrolítico producido del manganeso, un electrolito alcalino acuoso, y metal pulverizado de cinc. El electrolito de MnO_2 se utiliza en vez del producto químico MnO_2 o del mineral natural debido a su contenido más alto de manganeso, su reactividad creciente, y su mayor pureza. El electrolito es soda cáustica concentrada, generalmente KOH en la gama de 35 al 52%, que produce mayor conductividad y una tarifa reducida del gasificado de hidrógeno comparado al electrolito ácido de la celda de Leclanché. El cinc pulverizado se utiliza en el ánodo para proporcionar un área superficial grande para la capacidad de la tarifa alta (es decir, para reducir densidad de corriente) y la distribución homogénea de la fase sólida y líquida (para reducir al mínimo la polarización del transporte de masa del reactivo y del producto).

En descarga, el cátodo del dióxido de manganeso experimenta al principio una reducción del primer electrón a oxihidróxido,

$$MnO_2 + H_2O + e^- \longrightarrow MnOOH + OH^- \quad (2.1)$$

El producto de MnOOH forma una solución sólida con el reactivo, dando lugar a la curva característica de la descarga que se inclina. De las muchas formas estructurales del MnO_2 que existen, sólo la forma gamma funciona bien como un cátodo alcalino porque su superficie no es propensa a bloquearse por el producto de la reacción. En la formación de MnOOH, el cátodo amplía cerca del 17% en volumen. El MnOOH puede experimentar algunas reacciones químicas indeseables también. En la presencia del ión de cinc, MnOOH, con su equilibrio con Mn (III) soluble, puede formar el compuesto complejo, $ZnMn_2O_4$ (heterolita). Aunque es electroactivo, el "heterolita" no se descarga tan fácilmente como el MnOOH, por lo tanto la impedancia de la celda aumenta. Además, el $MnOOH/MnO_2$ que la solución sólida puede experimentar la recristalización en una forma menos activa, dando por resultado una pérdida sensible en voltaje de la celda bajo ciertas condiciones de descarga muy lenta. En un voltaje más bajo, el MnOOH se puede entonces descargar más lentamente, como en la reacción siguiente:

$$3MnOOH + e \longrightarrow Mn_3O_4 + OH^- + H_2O \quad (2.2)$$

Esta reacción produce una curva plana de la descarga, pero es también más lenta que el primer paso de la reducción y por lo tanto es útil solamente bajo condiciones de baja tarifa de la descarga. Ningún cambio de volumen adicional ocurre en el cátodo para esta reacción. Es de observar que este paso proporciona solamente la mitad de la capacidad de la primera reacción basada en MnO_2. Incluso la reducción adicional a $Mn(OH)_2$ es posible pero no práctica.

En sus primeros tiempos, la reacción de la descarga del ánodo en electrolito altamente cáustico produce el ión soluble del cincato

$$Zn + 4OH^- = Zn(OH)_4^= + 2e \quad (2.3)$$

En un punto dependiendo de la composición inicial del ánodo y de la tarifa y la profundidad de la descarga; sin embargo, el electrolito se satura con el cincato, haciendo el producto de la reacción cambiar a $Zn(OH)_2$. En el ambiente acuoso del ánodo alcalino, el hidróxido del cinc entonces deshidrata lentamente a ZnO en la secuencia siguiente:

$$Zn + 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2 + 2e \quad (2.4)$$

$$Zn(OH)_2 \rightleftharpoons ZnO + H_2O \quad (2.5)$$

Estas formas de cinc oxidado son todas los estados equivalentes de la oxidación que son pequeños distinguido en potencial. La transición a partir de una forma a otra no se puede detectar generalmente en la curva de la descarga. Bajo algunas condiciones, donde el producto de la descarga es demasiado denso y se une a la superficie, la pasivación del cinc puede ocurrir. Tales condiciones incluyen descarga de alta tarifa, baja temperatura, y los factores que limitan la solubilidad de ZnO tal como KOH bajo y alta concentración del cincato. La pasivación no es probable que ocurra con los ánodos altos del área superficial como éstas. Mientras que la oxidación del cinc es una reacción fácil en sus propios ánodos, contribuyendo poco a la impedancia de la celda, la adición del mercurio metálico realza la tarifa de la reacción aún más. La función del mercurio en cantidades sobre 0.5% es promover la adsorción electrónica del ión OH^- con la facilitación de la adsorción del agua.

Por lo tanto la reacción total de la celda en descarga continua a la profundidad de un electrón por mol de MnO_2 es:

$$2MnO_2 + Zn + 2H_2O \rightleftharpoons 2MnOOH + Zn(OH)_2 \quad (2.6)$$

Puesto que el agua es un reactivo en esta expresión, su disponibilidad en un ambiente acuoso es crucial en descargas de alta tarifa. Para evitar limitaciones del servicio, el cuidado se debe tomar para manejar el intercambio del abastecimiento de agua a partir de una región de la celda a otra sobre corto plazo.

Algunos fabricantes de baterías han incluido aditivos a la celda (ejemplo, TiO_2 y $BaSO_4$) para asistir al manejo del agua para los altos usos de drenaje. Aunque los mecanismos reales de estos aditivos son desconocidos, se cree que para asistir a la polarización de la concentración dentro de la celda como evidente en la mejora en el funcionamiento hecho en estos altos usos del drenaje.

En contraste, la reacción total de la celda para los drenajes ligeros o intermitentes a 1.33 electrones por mol puede ser escrita:

$$3MnO_2 + 2Zn \rightleftharpoons Mn_3O_4 + 2ZnO \quad (2.7)$$

Bajo estas condiciones, no hay problema de manejo del agua.

El potencial inicial del circuito abierto de la celda del cinc /alcalino-MnO_2 es cerca de 1.5 a 1.65 V, dependiendo de la pureza y de la actividad del material del cátodo y del contenido de ZnO del ánodo. El voltaje medio durante descarga al voltaje funcional del final de 0.75V es cerca de 1.2V.

Además de las reacciones previstas en la celda alcalina, el ánodo puede experimentar reacciones de generación de gas indeseables también. El cinc metálico es tan activo que puede reducir el agua al gas de hidrógeno del producto. La gasificación puede ocurrir en el almacenamiento de larga duración de ambos antes de que la celda se utilice así como después de la descarga parcial en proporción con la profundidad y el índice de la descarga. Además de la acumulación de la presión de gas, que causa la distorsión dimensional y la salida eventual de la celda, esta corrosión del cinc causa la pérdida de capacidad del ánodo y la autodescarga del producto químico del cátodo por el gas de hidrógeno. El índice de la gasificación del cinc puro es absolutamente bajo, pero la presencia de impurezas de metales pesados en trazas promueve la tarifa de la gasificación dramáticamente actuando como sitios catódicos para la evolución del hidrógeno. La gasificación se puede reducir de varias maneras: (1) adición de ZnO al ánodo para reducir la fuerza impulsora del cinc por la acción total; (2) adición al ánodo de inhibidores inorgánicos tales como ciertos óxidos de metal, o uso de los inhibidores orgánicos, compuestos generalmente extremo-sustituidos del óxido del polietileno; (3) reducción de los niveles de impureza en componentes de la celda; (4) “aleaciones” de cinc con ciertos elementos inhibidores metálicos tales como plomo o indio; y (5) amalgamación del cinc con mercurio. (Esta alternativa está disminuyendo agudamente en prácticas actuales.)

Finalmente, la reacción (2.3) es importante para el funcionamiento del ánodo de otra manera también. La expresión representa un equilibrio dinámico entre el cinc y sus iones, e indica que el cinc continuamente se disuelve y que vuelve a chapar a través del ánodo en el circuito abierto. Las ventajas siguientes ocurren como resultado de esta acción: *(1) Los excedentes de impurezas quedan en la superficie del cinc, así disminuyen su actividad; (2) el contacto de partícula a partícula de cinc es mantenido y mejorado por los puentes de cinc metálico entre ellos; y (3) la superficie de promoción del colector de gas desprotegido de metal está cubierta con cinc, así reduce su actividad.* Puesto que muchas de estas funciones fueron realizadas una vez por el mercurio, la importancia de la reacción del cinc rechapado aumenta la eliminación del mercurio.

2.1.3 COMPONENTES Y MATERIALES DE LA CELDA

2.1.3.1 Componentes del cátodo

La composición de un cátodo alcalino típico y el propósito de cada componente se enumeran en el cuadro 2.3. El cátodo se hace de una mezcla de dióxido de manganeso y de carbón. Otros materiales se pueden también agregar, por ejemplo carpetas (ayuda al asimiento del cátodo) y la solución del agua o del electrolito (ayuda en la formación del cátodo).

a) Dióxido de Manganeso. El dióxido del manganeso es el componente que oxida en la celda. Para producir una celda alcalina de la energía satisfactoria y de vida útil larga, el dióxido de manganeso debe ser altamente activo y muy

puro. El único tipo de dióxido de manganeso que se utiliza en celdas alcalinas comerciales es el dióxido electrolítico de manganeso (EMD, por sus siglas en inglés).

Cuadro 2.3. *Composición del cátodo típico. (Linden, Reddy, 2002)*

Componente	***Rango,%***	***Función***
Dióxido de Manganeso	79 – 90	Reactante
Carbón	2 – 10	Conductor Electrónico
35 - 52 % KOH acuoso	7 – 10	Reactante, conductor iónico
Agente Astringente	0 – 1	Integridad del cátodo (opcional)

b) Carbón. Puesto que el dióxido de manganeso en sí mismo es un conductor pobre, el carbón se utiliza en el cátodo para proporcionar conductividad electrónica. El carbón está generalmente en forma de grafito, aunque un cierto acetileno negro puede también ser utilizado. El carbón debe tener niveles bajos de esas impurezas que pudieron conducir a la corrosión en la celda. Algunos grafitos naturales se han utilizado en celdas alcalinas. Sin embargo, con la tendencia hacia la fabricación de celdas con niveles ultra bajos de mercurio, se ha estado aumentando el uso de grafitos sintéticos muy puros. En algunas mejoras recientes, tratamientos termales y/o químicos del grafito han mejorado la conductividad de los grafitos sintéticos y naturales que conducían a una conductividad más alta de la mezcla del cátodo. Esta mejora es el resultado de reducir el número de los planos del carbón dentro de las partículas individuales del carbón. Los acercamientos tradicionales han mejorado a menudo los servicio aumentando el volumen interno de la batería disponible para los ingredientes activos; sin embargo, el tratamiento del grafito para mejorar conductividad ha permitido que los fabricantes de la batería lleven a cabo mejoras del servicio a la celda dentro de las mismas dimensiones de la celda. Con el aumento en conductividad del grafito, una disminución del contenido del grafito puede ser hecha la cual permite un aumento en el contenido activo del dióxido de manganeso mientras que mantiene la conductividad del cátodo.

c) Otros Componentes. El uso de otros materiales (carpetas, añadidos, electrolito) dependerá del proceso de fabricación particular usado por el fabricante de la batería. La última meta es producir un cátodo denso, estable, que tenga buena conductividad electrónica e iónica, y descarga eficientemente incluso en altas descargas.

2.1.3.2 Componentes del Ánodo

La composición de un ánodo alcalino típico y el propósito de cada componente se enumeran en el cuadro 2.4. Los tres ingredientes finales en el cuadro son opcionales. Los agentes de gelificación se utilizan en casi todos los tipos de celdas alcalinas, aunque ha habido tentativas de utilizar polvo comprimido o aglomerantes para formar la masa del ánodo también. Niveles de amalgamación

concernientes al cinc van desde 0 al casi 6%, pero la mayoría de las celdas producidas en los países “industrializados”' no se les agrega mercurio.

Cuadro 2.4. *Composición del ánodo alcalino típico. (Linden, Reddy, 2002)*

Componente	***Rango, %***	***Función***
Cinc en polvo	55 – 70	Reactante, conductor electrónico
35 – 52% KOH acuoso	25 – 35	Reactante, conductor iónico
Agente gelificante	0.4 – 2	Distribución e inmovilización del electrolito, procesabilidad de la mezcla
ZnO	0 – 2	Supresor de gases, agente cinc-chapeado
Inhibidor	0 – 0.05	Supresor de gases
Mercurio	0 – 4	Supresor de gases, conductor electrónico, acelerador de descarga, mezcla procesable

a) Cinc en polvo. El cinc puro es obtenido comercialmente por un proceso de destilación termal o electrochapando una solución acuosa. Este cinc es convertido a polvo grado batería atomizando una corriente fina del metal fundido con los chorros de aire comprimido. Una gama de partículas en forma de “patatas” a “huesos de perro”, y de tamaño desde 20 a 820 μm en una distribución log-normal. El diámetro medio de la partícula se extiende desde 155 a 255 μm, mientras que el promedio del área superficial es cerca de 0.02 m^2/g. A excepción de los metales aleados intencionalmente agregados, la pureza del cinc grado batería es muy alto. Una lista de impurezas típicas se da en el cuadro 2.5. Esencialmente todo el cinc grado batería contiene cerca de 500 ppm de plomo. Otros añadidos metálicos han sido aleados para la inhibición de gases o para mejorar la distribución del mercurio, indio, bismuto, y aluminio. El cinc preamalgamado está también disponible.

Cuadro 2.5. *Contenido de impureza del polvo típico de cinc grado Batería. (Linden, Reddy, 2002)*

Elemento	***Nivel típico, * ppm***	***Nivel máximo, † ppm***	***Elemento***	***Nivel típico, * ppm***	***Nivel máximo, † ppm***
Cd	4.4	21	Sn	0.10	0.44
Fe	4.2	14	Sb	0.090	0.26
Ag	1.6	5.4	Co	0.058	0.18
Cu	1.5	4.3	Mo	0.037	0.13
Ca	0.21	0.85	Mg	0.030	0.12
Si	0.21	0.73	As	0.010	0.044
Ni	0.20	0.58	Hg	0.007	0.025
Al	0.15	0.66	V	0.001	0.0025
Cr	0.12	0.48			

***** Basado en el análisis de 25 muestras de 7 fabricantes (1990 datos)

† Basado en un nivel de confiabilidad de 99.7% (3σ)

b) Ánodo Gel. Almidón o derivados celulósicos, los poliacrilatos, o los copolímeros maleicos del anhídrido del etileno se utilizan como agentes de gelificación. La cavidad del ánodo se llena de la mezcla completa del ánodo, o de los ingredientes secos (usar cinc preamalgamado si el mercurio es

necesario) al cual el electrolito se agrega más adelante. Mientras que los niveles del mercurio se reducen a través de la industria, la pureza del electrolito (y agua) pasa a tener mayor importancia. El cuidado se debe tomar para reducir al mínimo el carbonato, el cloruro, y la contaminación del hierro en detalle. Las fracciones del volumen de cinc se extienden desde 18 hasta 33%. El límite inferior de este rango se requiere para mantener la conductividad electrónica del ánodo, mientras que el límite superior es para evitar la condición donde la acumulación del producto de la reacción pueda bloquear caminos iónicos. Las densidades de las mezclas del ánodo están típicamente en el rango de 2.5 a 3.2 g/cm^3, mientras que las capacidades de volumen varían desde 1.2 a 1.8 Ah/cm^3 (Amperio-hora/cm^3). La máxima eficiencia de descarga que se puede observar del cinc se extiende a partir de 84 hasta 94%, dependiendo del tamaño de la celda y del tipo de funcionamiento. Para evitar los gases de hidrógeno del cátodo, que ocurriría si su capacidad fuese agotada primero, el servicio de la celda se diseña normalmente para ser ánodo limitado. Como resultado de todos estos factores, la capacidad de la entrada del ánodo se establece generalmente en 96 a 105% del cátodo que experimenta un cambio de 1.33-electrón.

c) Eliminación de metales pesados. Hasta épocas recientes, la adición mercurio metálico al ánodo se ha utilizado extensamente para realizar varias funciones en la mezcla así como en el colector. Éstos se enumeran en el cuadro 2.5. Sin embargo, la industria ha reducido o eliminado los metales pesados de la batería. La ausencia de mercurio en el ánodo puede conducir a servicio reducido, a la sensibilidad creciente al choque mecánico, y al crecimiento de gases en el almacenaje inicial y después de la descarga parcial. Ha sido necesario encontrar los sustitutos para cada una de las funciones del mercurio. En general, sin embargo, la eliminación acertada del mercurio ha sido ayudada por la reducción de impurezas, particularmente hierro, en materiales grado batería. [El hierro de la lata no es normalmente un problema porque es hecho pasivo e insoluble por el contacto con el cátodo altamente oxidante EMD (dióxido electrolítico de manganeso)] Además, el proveer gas es controlado más a fondo usando las aleaciones de cinc que contienen cantidades pequeñas de indio, bismuto, aluminio o calcio. Otras medidas incluyen modificaciones a la distribución de tamaño de partícula y a las formulaciones de la mezcla del ánodo para reducir resistencia del ánodo y para mejorar la cinética de la reacción de la descarga del cinc. Incluso más a futuro, algún polvo de cinc y fabricantes de la batería están desarrollando las aleaciones sin plomo también para proporcionar una alternativa a la práctica de usar otro añadido de metales pesados, plomo, para la inhibición de gases.

2.1.3.3 Separadores

Se requieren características especiales de los materiales usados como separadores en las celdas alcalinas-MnO_2. El material debe ser iónicamente conductor pero electrónicamente aislador; químicamente estable en álcali

concentrado bajo condiciones de oxidación y reducción; fuerte, flexible, y uniforme; libre de impureza; y rápidamente absorbente. Los materiales que satisfacen estos requisitos se pueden moldear, tejer, o enlazar, pero los más frecuentes son de estructura no tejida o de fieltro. Por consiguiente, los materiales más comúnmente usados son formas fibrosas de celulosa, polímeros de vinilo, poliolefinas, o combinaciones regeneradas de eso. Los otros tipos tales como gelificado, inorgánico, e injertos separadores de radiación se han intentado pero no han ganado mucho uso práctico. La película de la celulosa tal como celofán también se utiliza, particularmente donde hay un potencial para el crecimiento de la dendrita del ánodo.

2.1.3.4 Envases, sellos, y finales

a) Celda Cilíndrica. La celda cilíndrica del dióxido de manganeso-alcalina se diferencia de la celda de Leclanché en que el envase de la celda no es un material activo en la descarga de la celda. Es simplemente un envase inerte que permite el contacto eléctrico a los materiales de la producción de energía en el interior. El envase es generalmente lata hecha de un acero suave. Es lo suficientemente denso para proporcionar la fuerza adecuada, sin tomar un espacio excesivo. Es producido por el bosquejo profundo de la acción de la tira de acero, y debe ser de alta calidad (ausencia de inclusiones o de otras imperfecciones).

La superficie interior de las marcas de acero del envase entran en contacto con al cátodo. Para que la celda descargue bien, debe ser un contacto muy bueno. Dependiendo de la construcción de la celda, el contacto al acero llano puede o puede no ser adecuado. La superficie interna de la lata necesita a veces ser tratada para mejorar el contacto. En algunos casos el acero es enchapado con níquel. Alternativamente, las capas conductoras que contienen el carbón se pueden colocar en la superficie. El enchapado de níquel puede también estar presente en la superficie exterior del envase, para los propósitos de contacto o para el aspecto.

El sello es típicamente un material plástico, tal como nylon o polipropileno, combinado con algunas piezas de metal, incluyendo el colector del ánodo, para hacer un montaje del asiento. Se cierra del extremo abierto de la lata cilíndrica, previniendo la salida del electrolito de la celda, y proporcionando el aislamiento eléctrico entre el colector del cátodo (lata) y el contacto del colector del ánodo.

La celda alcalina cilíndrica tiene algunas piezas adicionales, designadas colectivamente al final. Hay generalmente pedazos de metal en cada extremo para el contacto positivo y negativo. Éstos pueden ser de níquel o estaño para la resistencia al aspecto y a la corrosión. Puede haber una chaqueta de metal alrededor de la celda, con una etiqueta impresa en ella. En muchos diseños recientes el final es justo una chaqueta plástica fina o una etiqueta impresa. En el último tipo de celda, el uso del plástico fino permite que el envase de la celda sea

hecho levemente más grande en el diámetro, que da lugar a un aumento significativo en capacidad de la celda.

b) Celda Miniatura. El envase, el sello, y los materiales del final para la celda miniatura de botón alcalina - dióxido de manganeso son esencialmente igual que ésos para otras celdas miniatura. La lata (colector del envase y del cátodo) se hace de acero suave enchapado en ambos lados con el níquel. El asiento es una junta plástica fina. La taza del ánodo hace para arriba el resto del exterior de la celda. Las superficies externas de la taza de la lata y del ánodo se finalizan, con la identificación del fabricante y el número de la celda inscritos en la lata. No hay final adicional necesario.

2.1.4 TIPOS Y TAMAÑOS (Linden, Reddy, 2002)

Las celdas primarias y las baterías de dióxido de manganeso-Alcalinas están disponibles en una variedad de tamaños, en configuraciones cilíndricas y miniatura (de botón), según lo enumerado en el cuadro 2.6. Algunos de los tamaños de celda de la unidad enumerados no están disponibles como celdas, sino se utilizan como componentes en baterías de múltiple celda.

Las baterías cilíndricas son conocidas generalmente por la nomenclatura de D, C, AA, etc. Además, los fabricantes de la batería tienen a menudo sus propios códigos de identificación para estas baterías. Para las baterías miniatura, los fabricantes tienden a tener sus propios códigos. Para ambos tipos de baterías hay también códigos de nomenclatura que han sido establecidos por diversas agencias de estándares, tales como el IEC y el ANSI.

Las baterías de Múltiple celda (Cuadro 2.7) se hacen usando las celdas miniatura o cilíndricas. Además, se hacen algunas baterías especiales de multicelda usando las celdas planas de un tipo no usado en las baterías unicelulares.

Cuadro 2.6. *Características de las baterías estándares del dióxido de Manganeso-Alcalinas de 1.5-V* (Linden, Reddy, 2002)*

Tamaño	***IEC***	***ANSI***	***Capacidad,† Ah***	***Dimensiones Nominales***			
				Diámetro, mm	***Altura, mm***	***Peso, g***	***Volumen, cm^3***
Tipos Cilíndricos							
AAAA	LR61‡	25A	0.56	8	42	65	2.2
N	LR1	910A	0.8	12	29	9	3.3
	LR50		0.56	16	16	11	3.6
AAA	LR03	24A	1.1 – 1.25	10	44	11	3.8
AA	LR6	15A	2.5 – 2.85	14	50	23	7.5
C	LR14	14A	7.1 – 8.4	26	50	66	26
D	LR20	13A	14.3 - 18	34	61	138	54.4
F	LR25		22	33	91	200	80
Tipo Botón							
	LR41		0.035	7.9	3.6	0.6	0.2
	LR43	1167A	0.100	11.6	4.2	1.4	0.3
	LR44	1166A	0.145	11.6	5.4	1.3	0.5
	LR48		0.060	7.9	5.4	0.9	0.3
	LR53	1129AP	0.160	23.0	5.9	6.8	2.3
	LR54	1168A	0.072	11.6	3.1	1.1	0.3
	LR55	1169A	0.040	11.6	2.1	0.9	0.2

* Los valores son figuras típicas basadas en datos de diversos fabricantes.
† Los valores de la capacidad basados en salida típica en el grado drenan; las baterías de una capacidad más alta son puestas por algunos fabricantes.
‡ Nomenclatura Propuesta del IEC: LR8D425

Cuadro 2.7. *Características de las baterías estándares de dióxido de Manganeso-Alcalina de la Celda Múltiple. (Linden, Reddy, 2002)*

Voltaje	***IEC***	***ANSI***	***Dimensiones Nominales***			
			Dimensiones, mm	***Peso, g***	***Volumen, cm^3***	***Capacidad, Ah***
3	2LR53	1202AP	24d, 12h	14	5.4	0.16
3	2LR50	1308AP	17d, 42.5h	22	7.4	0.56
4.5		1313AP	41, 17, 11.5	12.2	7.4	0.17
4.5	3LR50	1306AP	17d, 50h	31	11	0.55
4.5	3LR50	1307AP*	17d, 58h	32.5	11.5	0.55
6	4LR44	1414A	13d, 25h	11	3.3	0.15
6	4LR61	1412AP	48, 35.6, 9	32	15	0.57
6	4LR25Y	915A‡	110, 67, 67	885	434	22
6	4LR25X	908A‖	105, 67, 67	885	434	22
				612	434	13
6		918A‖	137, 125, 73	1900	1123	44
				1270	1123	27
6	4LR20-2	930A	140, 118, 67	1120	883	22
9	6LR61	1604A	49, 26, 17.5	46	21	0.58
12			10.3d, 28.5h	7.4	2.37	0.034

* Similar a la batería arriba, pero tiene contactos rápidos.
† Contactos del tornillo.
‡ Contactos del resorte.
‖ Baterías comercialmente producidas usando las celdas de la unidad de tamaño D o F. Los valores más grandes para la capacidad y el peso están para las baterías que contienen las celdas más grandes de la unidad.

2.2 PILAS Y BATERÍAS DE ÓXIDO DE PLATA (Linden, Reddy, 2002)

2.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La densidad de energía del sistema cinc/ óxido de plata (cinc/electrolito alcalino/óxido de plata) está entre el más alto de todos los sistemas de batería que lo hacen ideal para el uso en pequeño, finas baterías "botón". La batería de óxido de plata monovalente descargará en un voltaje plano, constante en las tarifas altas y de poca intensidad. La batería tiene vida de almacenaje largo, conservando más del 95% de su capacidad inicial después de 1 año a temperatura ambiente. También tiene buenas capacidades de descarga de baja temperatura, entregando cerca del 70% de su capacidad nominal a 0ºC y 35% a -20ºC. Estas características han permitido a la batería de cinc/óxido de plata ser una fuente importante de microfuerza para los dispositivos y equipo electrónico, tal como relojes, calculadoras, ayuda auditiva, glucómetros, cámaras fotográficas, y otros usos que requieren baterías pequeñas, finas, de gran capacidad, de larga vida que descargan en un voltaje constante. El uso de este sistema de batería en tamaños más grandes es limitado por el alto costo de plata.

Las baterías primarias de cinc/ óxido de plata se fabrica principalmente en la configuración de la celda de botón en una amplia gama de tamaños a partir de 5 a 250 mAh. La mayoría de estas baterías ahora están preparadas de óxido de plata monovalente (Ag_2O).

El óxido de plata bivalente (AgO) tiene la ventaja de tener una capacidad teórica más alta y la capacidad de entregar alrededor del 40% de capacidad más alta en el mismo tamaño de batería que el óxido de plata monovalente, pero tiene las desventajas de las curvas duales de la descarga de voltaje y mayor inestabilidad en soluciones alcalinas. El aumento de más horas de servicio para el mismo peso de plata, la ventaja del costo sobre el óxido de plata monovalente, trajo al óxido bivalente a un uso comercial limitado desde hace una década o más. Fueron puestas como baterías "Ditronic" o "Plumbato" usando metales pesados para estabilizar la reactividad del óxido bivalente. Sin embargo, a principios de los años 90, estas baterías fueron retiradas del mercado debido a las restricciones ambientales que fueron impuestas ante el uso de estos metales.

Las ventajas y las desventajas principales de la batería de cinc/óxido de plata monovalente se resumen en el cuadro 2.8.

Cuadro 2.8. *Ventajas y desventajas importantes de las baterías primarias de cinc/óxido de plata. (Linden, Reddy, 2002)*

Ventajas	***Desventajas***
Alta densidad de energía	Uso limitado de las celda miniatura y botón debido a su alto costo
Buena regulación de voltaje, Alto rango de capacidad	
La curva plana de la descarga se puede utilizar como voltaje de referencia	
Funcionamiento a baja temperatura comparativamente bueno	
Rebalse y formación de sales insignificantes	
Buena resistencia al choque y a la vibración	
Buena vida útil	

2.2.2 REACCIONES QUÍMICAS Y COMPONENTES

La celda de cinc/óxido de plata consiste en tres componentes activos: *un ánodo pulverizado de metal de cinc, un cátodo de óxido de plata comprimido, y una solución acuosa del electrolito de hidróxido de potasio o de sodio con los cincatos disue*ltos. Los componentes activos se contienen en una tapa del ánodo, lata del cátodo, separados por una barrera y sellada con una junta.

La reacción electroquímica total de la celda de cinc/óxido de plata monovalente es

$$Zn + Ag_2O \longrightarrow 2Ag + ZnO \quad (1.59\ V) \qquad (2.8)$$

La celda de cinc/óxido de plata divalente tiene una reacción electroquímica de dos etapas:

$$\text{Paso 1: } Zn + AgO \longrightarrow Ag_2O + ZnO \quad (1.86\ V) \qquad (2.9)$$

$$\text{Paso 2: } Zn + Ag_2O \longrightarrow 2Ag + ZnO \quad (1.59\ V) \qquad (2.10)$$

2.2.2.1 Ánodo de Cinc

El cinc se utiliza para el electrodo negativo en acumuladores alcalinos acuosos debido a su alto potencial de media celda, polarización baja, y altos límites de densidad de corriente (hasta 40 mA/cm^2 en un electrodo de molde). Su peso equivalente es bastante bajo, así da por resultado una alta capacidad teórica de 820 mAh/g. La polarización baja del cinc permite una alta eficacia de descarga de 85 hasta 95% (el cociente de la capacidad útil a la capacidad teórica).

La pureza del cinc es muy importante. El cinc es termodinámicamente inestable en el álcali acuoso, reduciendo el agua a hidrógeno:

$$Zn + H_2O \longrightarrow ZnO + H_2 \qquad (2.11)$$

Las aleaciones de cinc que contienen cobre, hierro, antimonio, arsénico, o lata se sabe que aumentan la tasa de corrosión del cinc, mientras que las aleaciones de cinc con cadmio, aluminio, o plomo reducirán la tasa de corrosión. Si se genera bastante presión de gas, el botón sellado de la celda podría escaparse o

romperse. En uso comercial, la alta área superficial del cinc se une con cantidades pequeñas de mercurio (3 a 6%) para traer la tasa de corrosión dentro de un límite tolerable.

La oxidación del cinc en el ánodo es un fenómeno complicado. Se acepta generalmente que las reacciones negativas totales son:

$$Zn + 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2 + 2e \quad E^o = +1.249\ V \qquad (2.12)$$

$$Zn + 4OH^- \longrightarrow ZnO_2^{2-} + 2H_2O + 2e \quad E^o = +1.215\ V \qquad (2.13)$$

Los agentes de gelificación del electrolito tales como ácido poliacrílico, poliacrilato de potasio o sodio, celulosa carboximetil de sodio o varias gomas se mezclan generalmente en el cinc en polvo para mejorar la accesibilidad del electrolito durante la descarga.

2.2.2.2 Cátodo de Óxido de Plata

El óxido de plata se puede preparar en tres estados de oxidación: *monovalente (Ag_2O), bivalente (AgO), y trivalente (Ag_2O_3).* El óxido de plata trivalente es muy inestable y no se utiliza para las baterías. La forma bivalente había sido utilizada en las celdas de botón, mezcladas generalmente con otros óxidos de metal. El óxido de plata monovalente es el más estable y es el que está ahora siendo usado para las baterías primarias comerciales.

El óxido de plata monovalente es un conductor muy pobre de electricidad. Sin ningunos aditivos, un cátodo monovalente de óxido de plata exhibiría una impedancia muy alta de la celda y un voltaje a circuito cerrado inaceptable bajo (CCV, por sus siglas en inglés: *closed-circuit voltage*). Para mejorar el CCV inicial, el óxido de plata monovalente se mezcla generalmente con grafito pulverizado de 1 al 5%. Sin embargo, a medida que el cátodo continúa descargando, la plata metálica producida ayuda a la reacción a mantener la resistencia interna de la celda baja y el CCV bajo:

$$Ag_2O + H_2O + 2e \longrightarrow 2Ag + 2OH^- \qquad E^o = +0.342\ V \qquad (2.14)$$

La capacidad teórica del óxido de plata monovalente es 231 mAh/g por peso o 1640 Ah/L por volumen. La adición del grafito reduce la capacidad del cátodo debido a una densidad de embalaje más baja y a un contenido de óxido de plata más bajo.

Comparado a los otros óxidos de plata, el óxido de plata monovalente es estable a la descomposición en soluciones alcalinas. Una cierta descomposición de la plata metálica puede ocurrir debido a las impurezas traídas en el material del cátodo por el grafito. La tasa de descomposición depende de la fuente del grafito, la cantidad de grafito mezclada en el cátodo, y la temperatura del almacenaje de la celda. Mayores impurezas del grafito y temperaturas más altas de almacenaje de la celda dan lugar a mayores tasas de descomposición del óxido de plata.

Para reducir la cantidad de plata en la celda o para alterar el aspecto de la curva de la descarga, otros aditivos activos del cátodo se pueden mezclar en la mezcla de óxido de plata monovalente. Un añadido común es el dióxido del manganeso (MnO_2). Con el aumento de cantidades de MnO_2 agregado al cátodo, la curva del voltaje puede ser alterada de ser constante a través de la descarga donde el voltaje disminuirá gradualmente a medida el cátodo se acerca al agotamiento. Este goteo gradual en voltaje puede servir como un indicador del agotamiento del óxido de plata a medida la celda se está acercando a su final de vida.

Otro añadido que puede servir una función dual es el óxido de plata y níquel ($AgNiO_2$). El óxido de plata y níquel es producido por la reacción del oxihidróxido de níquel (NiOOH) con el óxido de plata monovalente en la solución alcalina acuosa caliente:

$$Ag_2O + 2NiOOH \longrightarrow 2AgNiO_2 + H_2O \qquad (2.15)$$

La característica dual del óxido de plata y níquel es que es eléctricamente conductora, como el grafito, así como el cátodo activo, como el MnO_2. El óxido de plata y níquel tiene una capacidad coulombiométrica (263 mAh/ g), mayor que la del Ag_2O, y descargará contra el cinc en 1.5 V. El óxido de plata y níquel puede sustituir el grafito y la parte del óxido de plata monovalente, reduciendo el costo de la celda.

Aunque el óxido de plata bivalente tiene una capacidad teórica más alta (432 mAh/g por peso o 3200 Ah/L por volumen) que el óxido de plata monovalente, el uso de la forma bivalente en baterías de botón se ha limitado comercialmente. Esto es debido sobre todo a su inestabilidad en soluciones alcalinas y el hecho de que exhibe una descarga de dos etapas.

El óxido de plata bivalente es inestable en soluciones alcalinas, descomponiéndose en óxido de plata monovalente gaseoso y oxígeno:

$$4AgO \longrightarrow 2Ag_2O + O_2 \qquad (2.16)$$

Esta inestabilidad se puede mejorar mediante la adición de plomo o de compuestos de cadmio o mediante la adición de oro al óxido de plata bivalente.

La batería cinc /óxido de plata bivalente exhibe una curva de dos etapas de la descarga. El primero ocurre a 1.8 V, correspondiendo a la reducción de AgO a Ag_2O:

$$2AgO + H_2O + 2e \longrightarrow Ag_2O + 2OH^- \qquad E^o = +0.607\ V \qquad (2.17)$$

A medida que la descarga continúa, el voltaje cae a 1.6 V, correspondiendo a la reducción de Ag_2O a Ag:

$$Ag_2O + H_2O + 2e \longrightarrow 2Ag + 2OH^- \qquad E^o = +0.342\ V \qquad (2.18)$$

La reacción electroquímica total de la celda de Zn/AgO es:

$$Zn + AgO \longrightarrow Ag + ZnO \qquad (2.19)$$

Esta descarga de dos etapas no es deseable para muchos usos electrónicos donde se requiere la regulación ajustada del voltaje.

La eliminación de la descarga de dos etapas ha sido resuelta por varios métodos. Un acercamiento comercial previamente usado, demostrado esquemáticamente en la fig. 2.1, era tratar un pellet comprimido de AgO con un agente de reducción suave tal como metanol. El tratamiento forma una capa externa fina de Ag_2O alrededor de una base de AgO. El pellet tratado se consolida en la lata y después se reacciona con un agente de reducción más fuerte tal como hidracina. La hidracina reduce una capa delgada de plata metalizada a través de la superficie del pellet. El cátodo producido por este proceso tiene solamente plata metalizada y Ag_2O en contacto con el terminal del cátodo. La capa de Ag_2O enmascara el alto potencial del AgO, mientras que la capa de plata fina conductora, reduce la impedancia de la celda ya que el Ag_2O es resistente. En uso, solamente se observa el voltaje del óxido de plata monovalente hasta que la celda entrega la mayor capacidad del óxido de plata bivalente. Incluso con los tratamientos superficiales, las celdas entregaron de 20 a 40% más horas de servicio con el mismo peso de plata que las celdas estándares de cinc / óxido de plata monovalente.

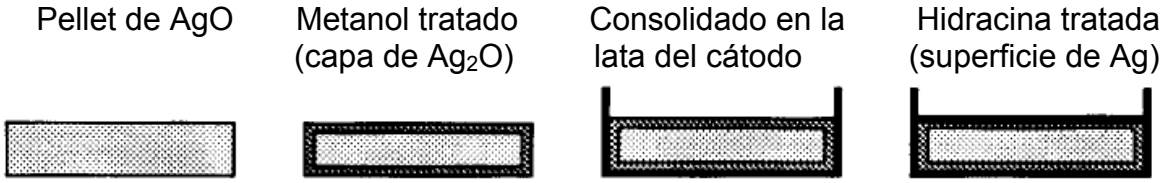

Figura 2.1. *Método de "doble tratamiento" para Óxido de Plata bivalente. (Linden, Reddy, 2002)*

Un segundo acercamiento para eliminar la descarga de dos etapas estaba con el uso de "Plumbato de Plata" como material aditivo del cátodo. El material Plumbato de plata del cátodo fue preparado reaccionando un exceso de óxido de plata bivalente en polvo con sulfuro de plomo (PbS) en una solución alcalina caliente. El producto de la reacción es una mezcla de óxido de plata bivalente remanente (AgO), óxido de plata monovalente (Ag_2O), y Plumbato de Plata ($Ag_5Pb_2O_6$). El sulfuro se oxida al sulfato y se lava del producto de la reacción:

$$2PbS + 19AgO + 4NaOH \longrightarrow Ag_5Pb_2O_6 + 7Ag_2O + 2Na_2SO_4 + 2H_2O \qquad (2.20)$$

Las partículas de AgO después de la reacción conservan una base de AgO pero tiene una capa externa de Plumbato de Palta y de óxido de plata monovalente. El compuesto de Plumbato de Plata es conductor, estable, y de cátodo activo. El Ag_2O sirve para enmascarar el AgO mientras que el $Ag_5Pb_2O_6$ conductor mejora la impedancia de la celda. Ya que el Plumbato de Plata no es oxidado por AgO, al igual que la plata, la impedancia del cátodo sigue siendo baja a través de la vida de la celda.

El material del cátodo preparado por el proceso de Plumbato de Plata descargará con las reacciones siguientes:

$$2AgO + H_2O + 2e \longrightarrow Ag_2O + 2OH^- \quad E^o = +0.607\ V \quad (2.21)$$

$$Ag_2O + H_2O + 2e \longrightarrow 2Ag + 2OH^- \quad E^o = +0.342\ V \quad (2.22)$$

$$Ag_5Pb_2O_6 + 4H_2O + 8e \longrightarrow 5Ag + 2PbO + 8OH^- \quad E^o = +0.2\ V \quad (2.23)$$

$$PbO + H_2O + 2e \longrightarrow Pb + 2OH^- \quad E^o = -0.580\ V \quad (2.24)$$

No todos estos pasos se observan cuando el material del cátodo de Plumbato de Plata se utiliza en las celdas. Los voltajes del circuito abierto (OCV, de las siglas en inglés “open-circuit voltajes”) de estas celdas se encuentran para ser estables en cerca de 1.75 V. Sin embargo, colocado una vez en descarga, el voltaje de la celda cae rápidamente al voltaje de funcionamiento del óxido de plata monovalente cerca de 1.6 V, eliminación de la película de AgO. Ya que las celdas de botón son ánodos limitados, la celda se agota en capacidad del cinc antes de que las reacciones de reducción de $Ag_5Pb_2O_6$ y de PbO puedan ocurrir.

El acercamiento del Plumbato de Plata tiene ventajas sobre el proceso de tratamiento dual, pues el tratamiento es más simple mientras conserve la ventaja de la capacidad sobre el óxido de plata monovalente. El producto de la reacción de Plumbato de Plata (sulfuro del plomo al 8%) tiene una capacidad coulombiométrica de 345 a 360 mAh/g.

El proceso de Plumbato de Plata tiene la desventaja que las celdas de botón contienen una cantidad pequeña de plomo, 1 al 4% del peso de la celda. Un método alterno es utilizar el sulfuro de bismuto en lugar del sulfuro de plomo como material de preparación en la reacción. El producto de la reacción tiene las ventajas del material de Plumbato de Plata pero sin la toxicidad del plomo. El bismuto no se considera tóxico y tiene muchos usos médicos y cosméticos, siendo utilizado externamente e internamente en el cuerpo.

El producto de la reacción del sulfuro del bismuto con el óxido de plata bivalente se crea para ser el bismutato de plata ($AgBiO_3$):

$$Bi_2S_3 + 28AgO + 6NaOH \longrightarrow 2AgBiO_3 + 13Ag_2O + 3Na_2SO_4 + 3H_2O \quad (2.25)$$

Como el compuesto de Plumbato de Plata, el compuesto de bismuto de plata es conductor y cátodo activo. El óxido de plata monovalente es producido por la reacción de capas de las partículas de óxido de plata bivalentes mientras que el bismutato de plata conductor reduce la impedancia de la celda, manteniendo una alta celda CCV. El bismutato de plata descargará contra el cinc en soluciones alcalinas en cerca de 1.5 V. Por lo tanto, en celdas de botón ánodo-limitadas solamente se observa el voltaje del óxido de plata monovalente.

En contraste a los sistemas de óxido de plata monovalentes, los aditivos tales como grafito o dióxido de manganeso no se pueden agregar al óxido de plata bivalente. El grafito realza la descomposición del AgO a Ag_2O y oxígeno. El dióxido del manganeso se oxida fácilmente por el AgO a compuestos de manganato solubles en álcali.

2.2.2.3 Electrolito

Los electrólitos usados para las celdas de cinc/óxido de plata se basan sobre soluciones acuosas de 20 a 45% de hidróxido del potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH). El óxido de cinc (ZnO) se disuelve en el electrolito como el cincato para ayudar al control d la gasificación del cinc. La concentración del óxido del cinc varía de n pequeño porcentaje a una solución saturada.

El electrolito preferido para las celdas de botón es el hidróxido de potasio (KOH). Su alta conductividad eléctrica permite que las celdas descarguen sobre una amplia gama de demandas actuales. El hidróxido de sodio (NaOH) se utiliza principalmente para las celdas de larga duración que no requieren una descarga de alta tarifa. El hidróxido de sodio exhibe menos arrastre y tales celdas son menos propensas a rebalsarse que las celdas de hidróxido de potasio. El rebalse se evidencia como nevado o depósitos de sales alrededor del sello. Sin embargo, esta característica de las soluciones del hidróxido de potasio ha sido corregida en años recientes debido a las mejoras en tecnología del sello por la mayoría de los fabricantes.

2.2.2.4 Barreras y Separadores

Una barrera física se requiere para mantener separado el cátodo de plata del ánodo y los apremios apretados del volumen de una celda de botón. La falta de la barrera dará lugar a un cortocircuito interno y fallas de la celda. Una celda de óxido de plata requiere una barrera con las características siguientes:

1. *Permeable al agua y a los iones oxhidrilo*
2. *Estable en soluciones alcalinas fuertes*
3. *No oxidado por el óxido de plata sólido o los iones de plata disueltos*
4. *Retarda la migración de iones de plata disueltos al ánodo*

Debido a la baja solubilidad de los óxidos de plata en electrolito alcalino, poco trabajo fue hecho con celdas de cinc/óxido de plata hasta 1941 en que André sugirió el uso de una barrera del celofán. El celofán evita que los iones de plata de la migración alcancen el ánodo reduciéndolos a plata metálica insoluble. El celofán se oxida y se destruye en el proceso, haciéndolo menos efectivo para las celdas de larga duración.

Muchos tipos de membranas laminadas están actualmente disponibles. Un material alterno comúnmente usado como barrera es preparado de un injerto de la radiación del ácido metacrílico sobre una membrana de polietileno. El injerto hace la película humedecible y permeable al electrolito. Estudios han demostrado que la barrera de baja resistencia de polietileno es conveniente para las celdas de KOH de alta capacidad mientras que un polietileno de alta resistencia es conveniente para las celdas NaOH de baja capacidad. El celofán se utiliza conjuntamente con la membrana injertada como barrera de sacrificio. La laminación del celofán a

cualquier lado de la membrana del polietileno da lugar a una acción sinérgica para parar la migración de plata.

Un separador se utiliza comúnmente en conjunto con una capa de la membrana de la barrera como protección agregada a la barrera. Está situado entre la barrera y la cavidad del ánodo y ambos son de funcionamientos múltiples durante la fabricación de la celda y en funcionamiento. Los separadores en celdas de cinc/plata son polímeros tejidos o no tejidos típicamente fibrosos tales como alcohol polivinílico (PVA). La naturaleza fibrosa del separador le da estabilidad y fuerza que protege las capas de la barrera más frágiles contra falta de compresión durante el encierro de la celda o la penetración de las partículas del cinc a través de las membranas de ellos mismos. El separador también actúa en el control de la tensión dimensional en las capas de la barrera que se deriva a menudo durante el enrollamiento original del celofán o en la laminación con las membranas del polietileno. Como la barrera de las membranas libera la humedad, la tensión es liberada. La hinchazón diferenciada puede entonces ocurrir lo cual podría dar lugar a un boquete que permitiría la migración del ión de plata al ánodo. El separador actúa para prevenir la formación de estos boquetes.

2.2.3 TAMAÑOS Y TIPOS DE CELDAS

Las características de las baterías del botón de cinc/óxido de plata monovalente comercialmente disponibles se resumen en el cuadro 2.9.

Cuadro 2.9. *Características de las baterías de Cinc/óxido de plata comercialmente disponibles. (Linden, Reddy, 2002)*

Número de modelo Rayovac	*ANSI **	*IEC †*	*Consumo*	*Clasificación de la carga, KΩ*	*Capacidad nominal, (mAh)*	*Volumen aprox., (cm^3)*	*Dimensiones máximas milímetros, d x h*	*Peso aprox., (g)*
376	1196SO	SR626	Alto	47	26	0,09	6,8 x 2,6	0,40
361	1173SO	SR58	Alto	30	22	0,10	7,9 x 2,1	0,44
396	1163SO	SR59	Alto	45	35	0,13	7,9 x 2,7	0,56
392 ‡	1135SO	SR41	Alto	15	35	0,17	7,8 x 3,6	0,61
393	1137SO	SR48	Alto	15	90	0,26	7,8 x 5,4	1,04
370	1188SO	SR69	Alto	45	35	0,15	9,5 x 2,1	0,60
399	1165SO	SR57	Alto	20	53	0,19	9,5 x 2,7	0,79
391	1160SO	SR55	Alto	15	43	0,22	11,6 x 2,1	0,83
389	1138SO	SR54	Alto	15	85	0,32	11,6 x 3,0	1,21
386	1133SO	SR43	Alto	6,5	120	0,44	11,6 x 4,2	1,56
357	1131SO	SSR44	Alto	6,5	190	0,57	11,6 x 5,35	2,22
357XP	1184SO	SR44	Ultra alto	0,62	190	0,57	11,6 x 5,35	2,22
337	NA	SR416	bajo	100	8,3	0,02	4,8 x 1,65	0,13
335	1193SO	SR512	bajo	150	6	0,03	5,8 x 1,25	0,13
317	1185SO	NA	bajo	70	11	0,04	5,8 x 1,65	0,18

… Continuación Cuadro 2.9. *Características de las baterías de Cinc/óxido de plata comercialmente disponibles. (Linden, Reddy, 2002)*

Número de modelo Rayovac	*ANSI **	*IEC †*	*Consumo*	*Clasificación de la carga, KΩ*	*Capacidad nominal, (mAh)*	*Volumen aprox., (cm^3)*	*Dimensiones máximas milímetros, d x h*	*Peso aprox., (g)*
379	1191SO	NA	bajo	70	14	0,06	5,8 x 2,15	0,23
319	1186SO	NA	bajo	70	16	0,07	5,8 x 2,7	0,26
321	1174SO	SR65	bajo	70	14	0,06	6,8 x 1,65	0,24
364	1175SO	SR60	bajo	70	19	0,08	6,8 x 2,15	0,33
377	1176SO	SR66	bajo	45	26	0,09	6,8 x 2,6	0,40
346	1164SO	SR721	bajo	100	9,5	0,06	7,9 x 1,25	0,23
341	1192SO	SR714	bajo	68	13	0,07	7,9 x 1,45	0,30
315	1187SO	SR67	bajo	70	16	0,08	7,9 x 1,65	0,32
362	1158SO	SR58	bajo	70	22	0,10	7,9 x 2,1	0,44
397	1164SO	SR59	bajo	45	35	0,13	7,9 x 2,7	0,56
329	NA	NA	bajo	20	36	0,15	7,9 x 3,1	0,60
384	1134SO	SR41	bajo	15	35	0,17	7,8 x 3,6	0,61
373	1172SO	SR68	bajo	45	24	0,12	9,5 x 1,65	0,44
371	1171SO	SR69	bajo	45	35	0,15	9,5 x 2,1	0,61
395	1162SO	SR57	bajo	20	53	0,19	9,5 x 2,7	0,81
394	1161SO	SR45	bajo	15	64	0,26	9,5 x 3,6	0,96
366	1177SO	SR1116	bajo	30	30	0,17	11,6 x 1,65	0,70
381	1170SO	SR55	bajo	20	43	0,22	11,6 x 2,1	0,80
390	1159SO	SR54	bajo	15	85	0,32	11,6 x 3,0	1,21
344	1139SO	SR42	bajo	15	105	0,38	11,6 x 3,6	1,35
301	1132SO	SR43	bajo	6,8	110	0,44	11,6 x 4,2	1,68

*ANSI: American National Standards Institute.
† IEC: International Electrotechnical Commission.
‡ Disponible como cátodos mezclados Ag_2O/MnO_2 híbridos de la formulación.

2.3 PILAS Y BATERÍAS DE LITIO (Linden, Reddy, 2002)

2.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El metal de litio es atractivo como material del ánodo de la batería debido a su peso ligero, alta equivalencia electroquímica, alto voltaje y buena conductividad. Debido a estas características excepcionales, el uso del litio ha dominado el desarrollo de baterías primarias y secundarias de alto rendimiento durante las dos décadas pasadas.

El desarrollo serio de los sistemas de baterías de la alta densidad de energía inició en los años 60 y concentrado en las baterías primarias no acuosas usando el litio como ánodo. Las baterías de litio comenzaron a usarse a principios de los años 70 en aplicaciones militares seleccionadas, pero su uso fue limitado como estructuras convenientes de la celda, formulaciones, y las consideraciones de seguridad tuvieron que ser resueltas. Las celdas y baterías primarias de litio se han diseñado desde entonces, usando un número de diversas químicas, en variedad de tamaños y configuraciones.

Las baterías primarias de litio, con su funcionamiento y características excepcionales, se están utilizando en cantidades crecientes en una variedad de aplicaciones, incluyendo cámaras fotográficas, circuitos de reserva de memoria, dispositivos de seguridad, calculadoras, relojes, etc. Sin embargo, las baterías primarias de litio no han logrado una parte importante del mercado en base a lo que fue anticipado, debido a su alto costo inicial, las preocupaciones con seguridad, los avances hechos con los sistemas competitivos y la rentabilidad de la batería alcalina/manganeso.

2.3.1.1 Ventajas de las celdas del litio

Las celdas primarias que usan los ánodos de litio tienen muchas ventajas sobre las baterías convencionales. Las características ventajosas incluyen lo siguiente:

a) Alto voltaje: Las baterías de litio tienen voltajes hasta cerca de 4 V, dependiendo del material del cátodo, comparado con 1.5 V para la mayoría de los otros sistemas de batería primarios. El voltaje más alto reduce el número de celdas en el paquete de la batería por un factor de por lo menos 2.

b) Altas energía específica y densidad de energía: La entrega de energía de una batería de litio (por encima de 200 Wh/kg y 400 Wh/L) es de 2 a 4 o más veces mejor que el de las baterías convencionales de ánodo de cinc.

c) Operación sobre una gama de temperaturas amplia: Muchas de las baterías de litio se realizarán sobre una gama de temperaturas de cerca de 70 a -40 ºC, con alguno capaz de funcionar a 150ºC o tan lento como -80ºC.

d) Buena densidad de energía: Algunas de las baterías de litio se diseñan con la capacidad para entregar su energía a niveles de gran intensidad y poder.

e) Características planas de la descarga: Una curva plana de la descarga (voltaje y resistencia constantes con la mayoría de la descarga) es típica para muchas baterías de litio.

f) Vida útil superior: Las baterías de litio se pueden almacenar por períodos largos, incluso a temperaturas elevadas. El almacenaje de hasta 10 años a temperatura ambiente ha sido demostrado, archivándolas y almacenándolas por 1 año a 70ºC. La vida útil por encima de los 20 años se ha proyectado de estudios de confiabilidad.

Cuadro 2.10. *Clasificación de las baterías primarias de Litio. (Linden, Reddy, 2002)*

Clasificación de la celda	***Electrolito típico***	***Capacidad de poder***	***Tamaño, Ah***	***Rango de operación, ºC***	***Vida útil, años***	***Cátodos típicos***	***Voltaje nominal de la celda, V***	***Características clave***
Cátodo soluble (líquido o gas)	Orgánico o Inorgánico (con el soluto)	Energía de alta a moderada W	0,5 a 10,000	-80 a 70	5 – 20	SO_2 $SOCl_2$ SO_2Cl_2	3,0 3,6 3,9	Alta salida de energía, alta salida de poder, operación a baja temperatura larga vida útil
Cátodo Sólido	Orgánico (con el soluto)	Energía de baja a moderada mW - W	0,03 a 33	-40 a 50	5 – 8	V_2O_5 $AgV_2O_{5.5}$ Ag_2CrO_4 MnO2 $Cu_4O(PO_4)_2$ $(CF)_n$ CuS FeS_2 FeS CuO	3.3 3.2 3.1 3.0 3.0 2.6 1.7 1.5 1.5 1.5	Salida de energía alta para moderar los requerimientos de poder, celdas no presurizadas
Electrolito sólido	Estado sólido	Energía muy baja, µW	0,003 0,5	0 a 100	10 – 25	PbI_2/PbS/Pb I_2 (P_2VP)	1.9 2.8	Excelente vida útil, estado sólido - sin salida, descarga a largo plazo del microamperio

2.3.2 PILAS Y BATERÍAS DE IÓN LITIO

2.3.2.1 Características Generales (http://www.clubalarc.com/pages/ionlitio.htm)

Los primeros trabajos para crear una batería de litio se desarrollaron en el año 1912 por G.N. Lewis, pero no fue hasta los años 70 cuando la primera batería de litio apareció comercialmente.

El litio (***Li***) es el metal más ligero que existe, ya que al tener únicamente tres protones, su peso atómico es muy bajo, permitiendo un gran potencial químico para crear baterías de gran capacidad con poco peso.

Los primeros intentos de crear una batería de Litio metálico fallaron debido a problemas de seguridad por la inherente inestabilidad química del Litio, especialmente durante su carga. Los investigadores decidieron utilizar una forma química del Litio que no fuera metálico usando ciertos Iones de Litio. Aunque ligeramente inferiores en capacidad de almacenar energía, estos Iones de Litio son seguros si se tratan con unas mínimas precauciones cuando se cargan y descargan. En 1991 la compañía Sony comercializó la primera batería de Ion-Litio y después otros fabricantes le siguieron.

La densidad de energía de una batería de Ión-Litio es aproximadamente el doble que en una batería de Níquel-Cadmio, es decir al mismo peso puede almacenarse el doble de energía. Los investigadores aseguran que la batería de litio puede alcanzar un potencial muy superior al actual.

Las características de carga de una batería de Ión-Litio son razonablemente buenas y se comportan de manera similar a las baterías de Níquel-Cadmio durante la descarga. El voltaje de una célula de Ión-Litio es de 3.7 Voltios lo que permite diseñar baterías de una célula que se utilizan especialmente en teléfonos o aeromodelos de vuelo indoor. Recordemos que para alcanzar el voltaje de 3.7 Voltios con una batería de Níquel-Cadmio sería necesario utilizar tres celdas conectadas en serie.

Las baterías de Ión-Litio no requieren mantenimiento, cosa que no puede decirse de otras baterías. No tienen memoria de carga y no es necesario realizar un reciclado cada cierto número de cargas. Además, el ratio de descarga de una batería almacenada es menos de la mitad de otros tipos de batería.

Pero las baterías de Ión-Litio también tienen defectos. Su estructura es frágil y requieren de un circuito de seguridad. El circuito que se integra en cada Pack de células limita el voltaje máximo que puede alcanzar cada célula durante la carga, y también limita el voltaje mínimo de cada célula durante la descarga. También la temperatura se comprueba para limitar su máximo. Aproximadamente el factor de carga de una batería es de 1C o 2C (1 ó 2 Veces la capacidad de la batería)

NUNCA debe perforarse una batería de Litio, ya que se produce una reacción química que puede provocar una explosión.
Los fabricantes están constantemente mejorando las baterías de Litio, lo que abre un futuro prometedor ante este problema de la degradación química.

Para mejorar la duración de estas baterías debería tenerse en cuenta una serie de recomendaciones en su almacenamiento y uso:

- ✓ Almacenar a una temperatura de 15 grados.
- ✓ Almacenar con una carga de aproximadamente el 40%.
- ✓ No exceder las capacidades de descarga (Amperios).
- ✓ No sobrepasar limites de voltaje máximo y mínimo por célula.
- ✓ Evitar descargas completas de la batería. Es mejor realizar descargas parciales.
- ✓ Evitar la compra de baterías fabricadas hace más de un año. Huir de las "gangas"

A continuación se presenta un cuadro con las ventajas y desventajas de las baterías de Ión Litio.

Cuadro 2.11. *Ventajas y desventajas de las baterías de Ión Litio. (Linden, Reddy, 2002)*

Ventajas	***Desventajas***
Alta densidad de energía	Requiere un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje máximo y mínimo
Poco Peso	Se degradan con el tiempo
No necesitan de mantenimiento, sin memoria	Capacidad de descarga moderada
Baja descarga durante su almacenamiento	Limitaciones en su transporte
	Precio superior a otras baterías Tecnología en desarrollo

2.3.2.2 Reacciones químicas (Linden, Reddy, 2002)

Los materiales electroquímico activos del electrodo en baterías de ión Li son un óxido de metal de litio para el electrodo positivo y grafito para el electrodo negativo. Estos materiales se adhieren a un colector de corriente de la hoja de metal con un aglomerante, típicamente fluoruro del polivinilideno (PVDF, por sus siglas en inglés Polyvinylidene Fluoride) o el copolímero polivinilideno de fluoruro-hexafluroropropileno (PVDF-HFP), y un diluyente conductor, típicamente un área de superficie grande de carbón negro o grafito. Los electrodos positivos y negativos son aislados eléctricamente con una película microporosa del separador de polietileno o polipropileno en los productos que emplean un electrolito líquido, una capa de electrolito de polímero gelificado en baterías del gel-polímero, o una capa del electrolito sólido en baterías de estado sólido.

Desde la comercialización de las baterías de ión Li de Sony en 1990, un amplio arsenal de variantes se ha introducido. Un tipo, baterías de ión Li de gel-polímero, utiliza los mismos materiales activos que los productos que emplean los electrolitos líquidos, pero en una diversa construcción que permita la fabricación de celdas con un factor fino de forma. Las baterías de Gel-polímero, también designadas baterías de polímero de ión Li en el mercado, son los productos donde la película microporosa del separador usada en baterías convencionales es substituida por una capa de PVDF-HFP, o el otro polímero, impregnado con el electrolito líquido y la hoja sólida del colector actual se sustituye típicamente con una rejilla ampliada abierta del colector actual del metal. En celdas de gel-polímero, el positivo, el separador y las capas negativas son limitados por el polímero, típicamente PVDF-HFP, y se pueden laminar juntos para formar un dispositivo monolítico. A pesar de estas diferencias, la química activa de la celda puede seguir siendo idéntica a ésa en baterías cilíndricas o prismáticas del ión Li.

a) Proceso de Intercalación

Los materiales activos en celdas de ión Li funcionan reversiblemente incorporando el litio en un proceso de intercalación, una reacción topotáctica donde los iones de litio se quitan o se insertan reversiblemente en un anfitrión sin un cambio estructural significativo al anfitrión. El material positivo en una celda de ión Li es un óxido de metal, con una estructura acodada o atunelada. Los materiales negativos del carbón grafítico tienen una estructura acodada similar al grafito. Así el óxido de metal, el grafito, y otros materiales actúan como anfitriones, incorporando iones de litio, huéspedes, reversiblemente para formar una estructura tipo “emparedado”.

Los materiales de intercalación, descubiertos originalmente por los chinos hace 2700 años, han sido el tema de investigación química contemporánea para solamente la mitad del siglo pasado. Hoy, los componentes de la intercalación forman la base para un anfitrión de tecnologías que se extienden de superconductores a catálisis. Los materiales de intercalación en uso común incluyen el grafito, los silicatos acodados tales como talco ($Mg_3(OH)_2(Si_4O_{10})$), las arcillas, etc. La intercalación de una variedad de donantes del electrón, incluyendo el litio, y los aceptadores del electrón, tales como halógenos, en el grafito se ha estudiado. El campo de los compuestos de intercalación del grafito es especialmente rico, en la diversidad de la química y profundidad del estudio. De interés particular para el campo de las baterías de ión Li es el trabajo sobre la intercalación del metal alcalino del grafito y de carbonos relacionados, en particular el Li_xC_6 ($0 < x < 1$). Cuando se carga una celda de ión Li, se oxida el material positivo y se reduce el material negativo. En este proceso, los iones de litio son de-intercalados del material positivo y se intercalan en el material negativo, según lo ilustrado en las siguientes reacciones:

Positivo:
$$LiMO_2 \underset{\text{descarga}}{\overset{\text{carga}}{\rightleftharpoons}} Li_{1-x}MO2 + xLi^+ + xe^- \qquad (2.26)$$

Negativo: $C + xLi^+ + xe^- \underset{\text{descarga}}{\overset{\text{carga}}{\rightleftharpoons}} Li_xC$ (2.27)

Total: $LiMO_2 + C \underset{\text{descarga}}{\overset{\text{carga}}{\rightleftharpoons}} Li_xC + Li_{1-x}MO_2$ (2.28)

En este esquema, el $LiMO_2$ representa el material positivo del óxido de metal, tal como $LiCoO_2$, y C el material negativo carbonoso, como el grafito. El revés sucede en descarga. Pues el litio metálico no está presente en la celda, las baterías de ión Li son químicamente menos reactivas, más seguras, y ofrecen una vida más larga de ciclo de lo posibles con las baterías recargables de litio que emplean el metal de litio como el material negativo del electrodo. El proceso de carga-descarga en una celda de ión Li se ilustra más a fondo gráficamente en la fig. 2.2. En la figura, los materiales activos acodados se demuestran en los colectores actuales metálicos.

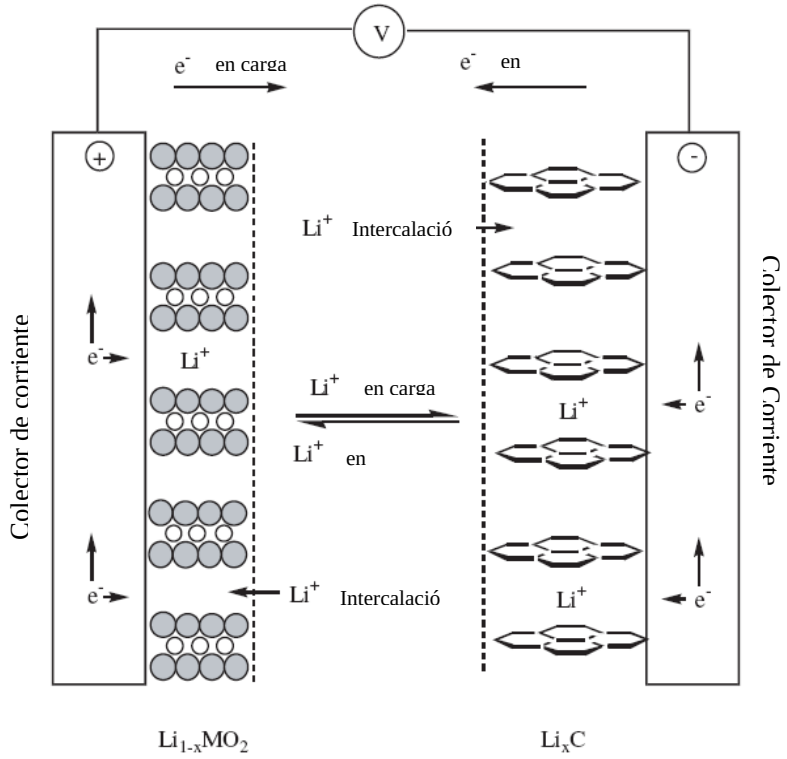

Figura 2.2. *Diagrama esquemático del proceso electroquímico en una celda de ión Li. (Linden, Reddy, 2002).*

2.4 PILAS Y BATERIAS DE AIRE-CINC (Linden, Reddy, 2002)

2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las baterías de Aire/Cinc utilizan el oxígeno de la atmósfera para producir energía electroquímica. Al exponer la batería al aire, el oxígeno se difunde en la celda y se utiliza como el reactivo del cátodo. El aire pasa a través del cátodo a la superficie activa del cátodo interior en contacto con el electrolito de la celda. En la superficie activa, el cátodo catalítico del aire promueve la reducción del oxígeno en presencia de un electrolito alcalino acuoso. El electrodo catalítico del aire no se consume ni se cambia en el proceso. Puesto que un material activo se orienta fuera de la celda, la mayoría del volumen de la celda está contenido en el otro componente activo (cinc), así sobre la base del volumen de la unidad, las baterías de cinc/aire tienen una densidad de energía muy alta.

Para muchas aplicaciones la tecnología cinc/aire ofrece la densidad disponible más alta de energía de cualquier sistema de batería primario. Otras ventajas incluyen un voltaje de descarga uniforme, una vida útil larga, seguridad y ventajas ecológicas, y un costo energético bajo. Puesto que las baterías están expuestas al ambiente, un factor que limita los usos universales de la tecnología del cinc/aire es la compensación entre la vida de servicio larga (alta tolerancia ambiental) y la capacidad máxima de energía (una tolerancia ambiental más baja). Las ventajas y las desventajas principales de este tipo de batería se resumen en el cuadro 2.12.

El efecto del oxígeno atmosférico como agente de despolarización en sistemas electroquímicos fue observado por primera vez a principios del siglo diecinueve. Sin embargo, no era hasta 1878 que una batería fuera diseñada, en la cual el dióxido de manganeso de la famosa batería de Leclanché fue sustituido por un electrodo platinado poroso de carbón/aire. Las limitaciones en tecnología previnieron la comercialización de las baterías de cinc/aire hasta los años 30. En 1932, Heise y Schumacher construyeron el electrolito alcalino de las baterías de cinc/aire que tenían cátodos porosos de aire carbón impregnados con cera para prevenir rebalses. Este diseño todavía se utiliza casi sin cambios para la fabricación de las baterías industriales grandes de cinc/aire. Estas baterías se distinguen por su alta densidad de energía pero capacidad baja de salida de potencia. Se utilizan como fuentes de potencia para las señales remotas de ferrocarril y sistemas de ayuda de navegación. Un uso más amplio es imposibilitado por la capacidad y volumen actuales bajos.

Cuadro 2.12. *Importantes ventajas y desventajas de las baterías (botón) de Aire/Cinc. (Linden, Reddy, 2002)*

Ventajas	***Desventajas***
Alta densidad de energía	No independiente de condiciones ecológicas: El "secado" limita la vida útil una vez expuesta al aire El "rebalse" limita la salida de potencia
Voltaje plano de descarga	
Larga vida útil (sellada)	
Sin problemas ecológicos	
Bajo costo	Salida de potencia limitada
Capacidad independiente de carga y temperatura cuando se encuentra en el rango de operación	Vida activa corta

El fino, eficiente cátodo de aire usado en las baterías de botón de cinc/aire de hoy es el resultado de la investigación de las celdas combustibles y fue hecho posible con la aparición de los fluorocarbonos como una clase de polímero. Las características superficiales únicas de estos materiales, la hidrofobia combinado con la porosidad del gas, hicieron posible el desarrollo de los electrodos finos, de alto rendimiento del gas usando una estructura catalizadora de Teflón ligado y un compuesto hidrofóbico del cátodo. Un método para la fabricación continua de este compuesto fue desarrollado a principios de los años 70.

Los primeros esfuerzos de aplicar la tecnología de la batería de cinc/aire fueron centrados en usos militares portátiles. Después del desarrollo adicional, la tecnología fue comercializada para los usos del consumidor, y ésta dio lugar al desarrollo de baterías con factores de forma pequeños que se utilizan sobre todo hoy. Los usos más acertados para las baterías de cinc/aire han estado en usos médicos y de telecomunicación. Las baterías de aire/cinc ahora son la fuente de energía principal para las prótesis de oído miniatura. En hospitales, monitores cardiacos de telemetría de energía con baterías de cinc/aire de 9 volt son usados para la supervisión continua de los pacientes. Otras baterías de celdas múltiples de cinc/aire se utilizan para accionar los estimuladores del crecimiento del hueso para reparar huesos rotos. En el área de la telecomunicación las baterías de cinc-aire se utilizan para los receptores de comunicación tales como paginadores, dispositivos de E-mail, y dispositivos de mensajería sin cables. Recientemente, las baterías tipo botón de cinc/aire fueron empleadas en los receptores de cabeza sin hilos que utilizan el Bluetooth, protocolo sin cables digital de baja energía. Baterías de tamaño más grande se están desarrollando para los teléfonos móviles y las computadoras portátiles.

Una representación esquemática de una batería típica de botón de cinc/aire se da en la Fig. 2.4. La razón del aumento de la densidad de energía en la batería de cinc/aire es ilustrada gráficamente comparando los volúmenes del compartimiento del ánodo. El cátodo muy fino de la batería de cinc/aire (cerca de 0.5 mm.) permite el uso de dos

veces más cinc en el compartimiento del ánodo a como puede ser utilizado en el equivalente del óxido de metal. Puesto que el cátodo de aire tiene teóricamente vida infinita, la capacidad eléctrica de la batería es determinada solamente por la capacidad del ánodo, dando por resultado por lo menos el doble de la densidad de energía.

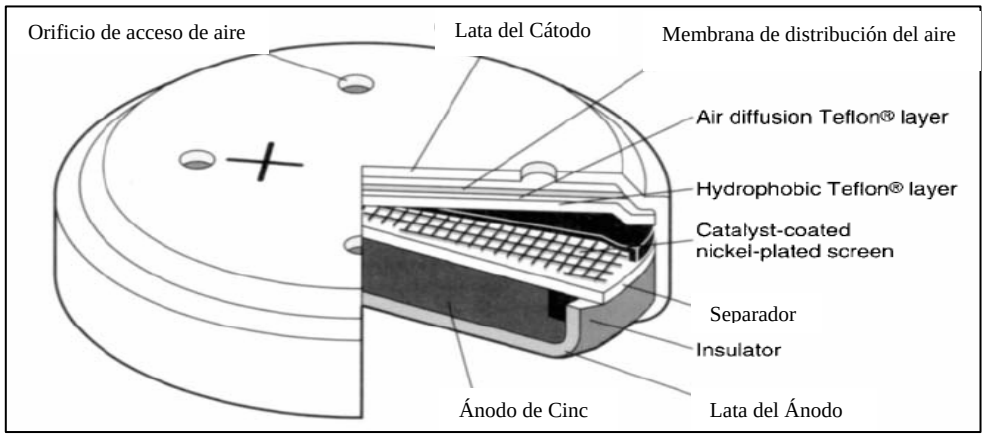

Figura 2.3. *Batería típica de botón de cinc/aire (los componentes no están a escala). (Linden, Reddy, 2002).*

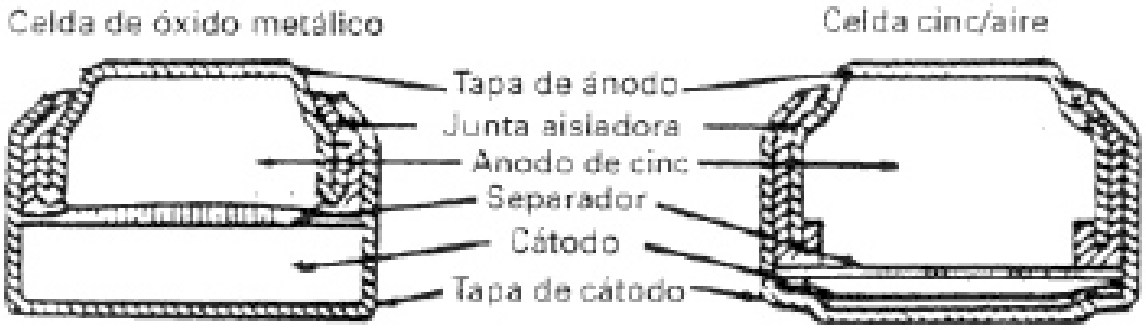

Figura 2.4. *Sección de corte transversal de las baterías de óxido de metal y de cinc/aire. (Linden, Reddy, 2002).*

2.4.2 REACCIONES QUÍMICAS

Los tipos más familiares de sistemas alcalinos primarios son los de baterías de cinc /dióxido de manganeso, cinc/óxido de mercúrico, y cinc/óxido de plata. Éstos, utilizan típicamente los hidróxidos de potasio o de sodio, en concentraciones desde 25 hasta 40% por el peso, como el electrolito, que funciona sobre todo como un conductor iónico y no se consume en el proceso de la descarga. En forma simple, la reacción total de la descarga para estas celdas de óxido de metal se puede indicar como

$$MO + Zn \longrightarrow M + ZnO \qquad (2.29)$$

Durante la descarga, el óxido de metal (MO) se reduce, al metal según lo demostrado o a una forma más baja de un óxido. El cinc se oxida y, en el electrolito alcalino, reacciona generalmente a la forma ZnO. Así puede ser visto que, al 100% de eficiencia, las cantidades electroquímicas equivalentes del óxido de metal y cinc deben estar presentes. Por lo tanto, un aumento en capacidad de cualquier celda se debe acompañar por un aumento equivalente en materiales catódicos y anódicos.

En el par de cinc/oxígeno, que también utiliza un electrolito alcalino, es necesario aumentar solamente la cantidad de cinc presente para aumentar la capacidad de la celda. El oxígeno se provee del aire exterior que se difunde en la celda mientras es necesario. El cátodo del aire actúa solamente como sitio de la reacción y no se consume. Teóricamente, el cátodo de aire tiene una vida útil infinita y sus características físicas de tamaño y electroquímicas permanecen sin cambios durante la descarga. Las reacciones del cátodo del aire son complejas pero se pueden simplificar para demostrar las reacciones de la celda como sigue:

Cátodo: $\frac{1}{2}O2 + H2O + 2e \longrightarrow 2OH^-$ $E^\circ = 0.40$ V

Ánodo $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e$

$Zn^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2$ $E^\circ = 1.25$ V

$Zn(OH)_2 \longrightarrow ZnO + H_2O$

Reacción total: $Zn + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow ZnO$ $E^\circ = 1.65$ V (2.30)

La química de la reacción tiene un paso limitador de tarifa que afecta la cinética de la reacción y por lo tanto el funcionamiento. Este paso se relaciona con el proceso de la reducción de oxígeno, en donde ocurre la formación del radical de peróxido-libre (O_2H^-):

Paso 1: $O_2 + H_2O + 2e \longrightarrow O_2H + OH$ (2.31)

Paso 2: $O_2H \longrightarrow OH + \frac{1}{2}O_2$ (2.32)

La descomposición del peróxido al hidróxido y al oxígeno es un paso limitador de tarifa dominante en la secuencia de la reacción. Acelera la reducción de las especies del peróxido y la rapidez total de la reacción, el cátodo de aire es formulado usando los compuestos catalíticos que promueven la reacción en el paso 2. Estos catalizadores son típicamente compuestos o complejos del metal tales como plata elemental, óxido de cobalto, metales nobles y sus compuestos, compuestos mezclados del metal incluyendo los metales de las tierras raras, y metal macrocíclicos de transición, rubíes sintéticos, dióxido de manganeso, phtalocianinas o perovsquitas (Titanato de Sodio, $CaTiO_2$).

2.5 PILAS Y BATERÍAS DE NÍQUEL – CADMIO

2.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las baterías de Níquel-Cadmio son de las baterías más antiguas que hay, y disponibles en un sin número de diseños. Estas baterías no necesitan

mantenimiento, y tienen un ciclo favorable (***Abreo, N., 2000***). Es una batería muy confiable, resistente, duradera, que puede funcionar con eficacia a una relativamente alta rapidez de descarga sobre una amplia gama de temperaturas. Tiene características muy buenas de retención de carga, y puede ser almacenado por largos períodos de tiempo en cualquier condición sin deteriorarse. Estas baterías pueden soportar abuso mecánico severo y el maltrato eléctrico tal como sobrecarga, cambio de polaridad, y cortocircuitos, gracias a su diseño especial. Poco mantenimiento es necesario en esta batería. El costo es más bajo que para cualquier otra clase de batería de almacenaje alcalina; no obstante, es más alto que el de una batería Ácida de Plomo por la base de Watt-hora; debido a esto su uso está tan difundido en aparatos electrónicos. Las ventajas y las desventajas principales de este tipo de batería se enumeran en el cuadro 2.13 (***Linden, Reddy, 2002***).

Se utilizan para descarga de alta capacidad. Los diseños de baja capacidad utilizan las placas gruesas para obtener el volumen máximo de material activo por superficie expuesta de la placa. Estos tipos se utilizan para la descarga a largo plazo. Los diseños de capacidad media utilizan las placas de mediano espesor y se satisfacen para los usos entre, o combinaciones de, alta capacidad y descarga de largo plazo.

Cuadro 2.13. *Ventajas y Desventajas importantes de las Baterías Industriales y Aeroespaciales de Níquel-Cadmio. (Linden, Reddy, 2002)*

Ventajas	***Desventajas***
Larga vida de ciclo	Baja densidad de energía
Rugoso; puede soportar abuso eléctrico y físico	Mayores costos que las baterías ácidas de plomo
Confiable; sin muerte repentina	Problemas ambientales debido a la toxicidad del cadmio
Recarga rápida	Mala retención de la carga
Excelente almacenamiento de larga duración	
Bajo mantenimiento	

2.5.2 REACCIONES QUÍMICAS (Abreo, N., 2000)

En el estado de carga, el electrodo negativo es cadmio y el positivo es oxihidróxido de níquel, y una solución de hidróxido de potasio como electrolito. En el estado de descarga, hidróxido de níquel es el material positivo e hidróxido de cadmio como negativo.

Durante la descarga el hidróxido de níquel es oxidado como se describe a continuación:

$$Ni(OH)_2 + OH^- \longrightarrow NiOOH + H_2O + e \qquad (2.33)$$

En el electrodo negativo el hidróxido de cadmio es reducido a cadmio:

$$Cd(OH)_2 + 2e \longrightarrow Cd + 2OH^- \qquad (2.34)$$

$$2NiOOH + 2H_2O + Cd \underset{\text{Carga}}{\overset{\text{descarga}}{\rightleftharpoons}} 2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2 \qquad (2.35)$$

Durante la operación, el material activo puede sufrir cambios a otros estados de oxidación y pequeños cambios en su estado físico. Los materiales activos de ambos electrodos; en estado de carga y descarga, son relativamente insolubles en el electrolito alcalino, y no se disuelven mientras soportan otros estados de oxidación; por esta característica entre otras, las celdas de Ni-Cd se caracterizan por larga vida de ambos ciclos y en operaciones interrumpidas y por tener voltajes constantes durante el proceso de descarga.

La operación de este diseño de baterías se basa en tener una mayor capacidad efectiva en el electrodo negativo, que el electrodo positivo. Durante la descarga el electrodo positivo alcanza primero una mayor carga que el electrodo negativo y comienza a producir oxígeno, este por su parte empieza a inmigrar hacia el electrodo negativo, donde reacciona con el cadmio para producir hidróxido de cadmio:

$$Cd + \tfrac{1}{2}O_2 + H_2O \longrightarrow Cd(OH)_2 \qquad (2.36)$$

Un separador permeable al oxígeno es utilizado para que el oxígeno pueda pasar a través del separador del electrodo negativo. También una pequeña cantidad de electrolitos es usada para facilitar la transferencia de oxígeno.

2.5.3 CONSTRUCCIÓN (Abreo, N., 2000)

Las baterías de celular de Ni-Cd disponibles en el mercado se constituyen de 5 celdas organizadas en serie dentro de una caja plástica, cada una de ellas de 1.2 V para un total de 6 V. Aparte se tienen los contactos, circuitos controladores de carga y pegante.

Las baterías de Níquel – Cadmio están disponibles en varios tipos de construcción; a su vez las celdas de las baterías tienen varios tipos de diseños. Las celdas más comunes son las celdas de forma cilíndrica, con rangos de capacidad desde 0.005 a 35 Ah, formas rectangulares de celdas también son fabricadas, pero en tamaños limitados.

2.5.3.1 Celdas cilíndricas

Las celdas con este diseño son las más populares, porque en esta disposición las características de almacenaje eléctrico son muy buenas, y tienen un excelente mecanismo.

El electrodo positivo en las celdas cilíndricas es un material altamente poroso, dentro de una espuma o fibra de níquel, que es introducido por impregnación con una sal de níquel fundida, seguido por la precipitación del hidróxido de níquel por inmersión o

deposición electroquímica en una solución alcalina. Los electrodos negativos (cadmio) son hechos de distintas maneras, por patillaje o presión del material negativo sobre el sustrato, o por una continua electrodeposición.

Después del proceso los electrodos son cortados en pedazos y ambos colocados como una jalea en un material que los separa, en forma de rollo. El material que separa los electrodos es Nylon o polipropileno, que absorbe muy eficazmente el hidróxido de potasio y es permeable. El rollo es insertado dentro de una lámina de níquel blindado que es la cubierta, junto con las conexiones eléctricas. El electrodo negativo es soldado a la cubierta y el positivo a la tapa. La pequeña cantidad de electrolito es absorbida por el separador. Al anterior ensamblaje es adicionado un mecanismo de seguridad para prevenir una posible ruptura debido a una excesiva presión, o en el caso de una extrema sobrecarga o descarga.

2.5.3.2 Celdas prismáticas

Este diseño de celdas es un desarrollo reciente, buscando suplir las necesidades de baterías de pesos ligeros y equipos compactos. Esta forma rectangular permite tener una mayor eficiencia a la hora de ensamblar, porque se eliminan los espacios vacíos presentes en las celdas cilíndricas.

Los platos son fabricados de manera similar que en el caso de forma cilíndrica, con excepción que la parte terminal de los electrodos es cortado en dimensiones predeterminadas y aseguradas en el metal y son herméticamente selladas. Todos los lados de la celda son soldados con láser para prevenir escapes del electrolito. Un dispositivo de seguridad es adicionado para evitar una sobre presión, de igual manera que en el caso de las celdas cilíndricas. La cantidad de densidad de energía puede ser un 20% mayor que en el anterior diseño de celda.

2.6 PILAS Y BATERÍAS DE ÓXIDO DE MERCURIO (Linden, Reddy, 2002)

2.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La batería alcalina de cinc/óxido de mercurio se observa por su alta capacidad por unidad de volumen, salida constante de voltaje, y buenas características de almacenaje. El sistema ha conocido por más de un siglo, pero no era hasta la Segunda Guerra Mundial que una batería práctica fue desarrollada por Samuel Ruben en respuesta a un requisito para una batería con un alto cociente de capacidad-a-volumen que soportaría almacenaje bajo condiciones tropicales.

Desde ese tiempo, la batería cinc/óxido de mercurio se ha utilizado en muchas aplicaciones donde el voltaje estable, la vida de almacenaje largo o los altos cocientes de energía-a-volumen fueron requeridos. Las características de este

sistema de batería eran particularmente ventajosas en usos tales como prótesis de oído, relojes, cámaras fotográficas, algunos marcapasos cercanos y equipo electrónico pequeño donde fue utilizada extensamente. La batería también se ha utilizado como fuente de referencia de voltaje y en instrumentos eléctricos y equipo electrónico, tal como radares marítimos, faros de emergencia, transmisores-receptores de rescate, sistemas de radio y vigilancia, minas distribuibles pequeñas y los satélites cercanos. Estos usos, sin embargo, no llegaron a ser extensos, a excepción de aplicaciones militares y especiales, debido al costo relativamente más alto del sistema de óxido de mercúrico.

El uso del cadmio en lugar del cinc da lugar a una batería muy estable con almacenaje y funcionamiento excelentes a temperaturas extremas debido a la baja solubilidad del cadmio en álcali cáustico sobre un amplio rango de temperaturas. Sin embargo, el costo del material es alto y el voltaje de la celda es bajo, menos de 1.0 V. Por lo tanto, las baterías de cadmio/mercurio fueron utilizadas, pero en menor grado, en aplicaciones especiales que requerían capacidades particulares de funcionamiento del sistema. Éstos incluyen la pozos de registro de gas y petróleo, telemetría de los motores y de otras fuentes de calor, sistemas de alarma, y para la operación del equipo alejado tal como base de monitoreo, boyas de vigilancia, estaciones meteorológicas y equipo de emergencia.

Durante los últimos años, el mercado para las baterías de óxido de mercurio se ha evaporado casi totalmente, debido principalmente a los problemas ambientales asociados al mercurio y el cadmio y pocas son manufacturadas. Se han quitado de la Comisión electrotécnica internacional (IEC, por sus siglas en ingles International Electrotechnical Commission) y de los estándares del American National Standards Institute (ANSI). En aplicaciones, han sido sustituidos por las baterías alcalinas-dióxido de manganeso, de cinc/ aire, de óxido de plata y de litio.

Las características principales de estos sistemas de batería se resumen en el cuadro 2.14.

Cuadro 2.14. *Características de las baterías de Cinc/Óxido de Mercurio y Cadmio/Óxido de Mercurio. (Linden, Reddy, 2002)*

Ventajas	***Desventajas***
Baterías de Cinc/Óxido de Mercurio	
Alta relación de energía a volumen, 450 Wh/L Vida útil larga bajo condiciones de almacenaje Adversas Sobre una amplia gama de corrientes de desagüe los periodos recuperativos no son necesarios para obtener una alta capacidad en la batería Alta eficiencia electroquímica Alta resistencia al impacto, aceleración y vibración Voltaje de circuito abierto muy estable, 1.35 V Curva de descarga plana sobre un amplio rango de Corrientes de desagüe	Las baterías eran costosas; aunque está utilizado extensamente en tamaños miniatura, pero solamente para los usos especiales en los tamaños más grandes Después de períodos largos de almacenaje, el electrolito de la celda tiende a filtrar fuera del sello que es evidente por el depósito blanco de carbonato en el forro aislante del sello Coeficiente moderado de energía a peso Funcionamiento a baja temperatura pobre La disposición de cantidades de baterías gastadas crea problemas ambientales
Baterías de Cadmio/Óxido de Mercurio	
Vida útil larga bajo condiciones de almacenaje Adversas Curva de descarga plana sobre un amplio rango de Corrientes de desagüe Capacidad de funcionar sobre un amplio rango de temperaturas, incluso a altas y bajas temperaturas extremas Puede ser sellado hermético debido al inherentemente bajo nivel de evolución del gas	Estas baterías son más costosas que las de Cinc/ Óxido de Mercurio, debido al alto costo del cadmio El sistema tiene bajo voltaje de salida (Voltaje de circuito abierto = 0.90 V) Coeficiente moderado de energía a volumen Coeficiente bajo de energía a peso La disposición de baterías gastadas crea problema ambiental, con el cadmio y el mercurio siendo tóxicos

2.6.2 REACCIONES QUÍMICAS

Se acepta generalmente que la reacción básica de la celda para la celda de cinc/ óxido de mercurio es:

$$Zn + HgO \longrightarrow ZnO + Hg \qquad (2.37)$$

Para la reacción total, ΔG^o = 259.7 KJ. Esto da un valor termodinámico para E^o a 25ºC de 1.35 V, que está en buen acuerdo con los valores observados de 1.34 a 1.36 V para el voltaje del circuito abierto de las celdas comerciales. De la ecuación básica de la reacción puede ser calculado que 1 g de cinc proporciona 819 mAh y 1 g de óxido de mercurio proporciona 247 mAh.

Algunos tipos de celdas de cinc/ óxido de mercurio exhiben voltajes de circuito abierto entre 1.40 y 1.55 V. Estas celdas contienen un porcentaje pequeño de dióxido de manganeso en el cátodo y se utilizan donde la estabilidad del voltaje no es de mayor importancia para el uso.
La reacción básica de la celda para la celda de cadmio/óxido de mercurio es:

$$Cd + HgO + H_2O \longrightarrow Cd(OH)_2 + Hg \qquad (2.38)$$

Para la reacción total, ΔG^o = 174.8 KJ. Esto da un valor termodinámico para E^o a 25ºC de 0.91 V, que está en buen acuerdo con los valores observados de 0.89 a 0.93

V. De la reacción básica puede ser calculado que 1 g de cadmio debe proporcionar 477 mAh.

2.7 PILAS Y BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO DE METAL

Las baterías de Níquel-Hidruro de metal (NiMH, por sus siglas en inglés Níckel-Metal Hydride) ahora están en producción comercial de alto volumen para usos de baterías portátiles pequeñas. Las fuerzas impulsoras dominantes para el crecimiento rápido de NiMH son ventajas ambientales y de energía sobre las de níquel-cadmio y el crecimiento acelerado de dispositivos electrónicos portátiles tales como equipo de comunicación y computadoras portátiles. Debido a sus ventajas técnicas sobre otros sistemas recargables, este sistema se está desarrollando actualmente para las baterías grandes, incluyendo usos industriales y eléctricos de vehículos *(**Linden, Reddy, 2002**).*

Según lo expresado por **Linden y Reddy** la introducción de vehículos eléctricos comenzó a finales del siglo, pero fue de breve duración después de perder la competición contra el motor de combustión interna (ICE, de las siglas en inglés Internal Combustion Engine). A mediados de los años 70, los vehículos eléctricos emergieron otra vez debido a la escasez temporal de la gasolina. A principios de los años 90, los vehículos eléctricos re-emergieron debido a las preocupaciones ambientales de la calidad del aire en áreas urbanas. En particular, el tablero de recursos de aire de California (CARB, The California Air Resources Borrad) dio a vehículos eléctricos una enorme atención asignando que por mandato el 2% de todos los vehículos vendidos en California deben ser vehículos con cero emisiones antes de 1998 y el 10% de todos los vehículos antes de 2003. Mientras que el mandato original de CARB ha cambiado, los vehículos de baja y cero emisiones siguen siendo un alto foco en el perfil de desarrollo para los fabricantes del vehículo.

El mandato de California condujo a la formación del Consorcio Avanzado de Batería de Estados Unidos (USABC, United State Advanced Battery Consortium), a una cooperación sin precedente entre los “automakers” principales de EEUU, al Ministerio de EEUU de Energía, y a las compañías de electricidad. Además de proporcionar una fuente de financiamiento central para una multiplicidad de organizaciones competentes del desarrollo de la tecnología, USABC proporcionó los blancos de funcionamiento de la batería demostradas en el cuadro 2.15 junto con una comparación al estado actual de NiMH *(**Linden, Reddy, 2002**).*

Más recientemente, ha habido una cambio significativa por los fabricantes automotores de los vehículos eléctricos (EV, electric vehicles) hacia los vehículos eléctricos híbridos (HEVs) debido a varios factores incluyendo la atenuación del mandato de CARB a partir de cero a bajas emisiones, la reacción del cliente a la inicial gama baja de vehículos con baterías ácidas de plomo eléctricas, y la carencia generalizada geográficamente de EV cargado y las estaciones de carga rápida *(**Linden, Reddy, 2002**).*

Cuadro 2.15. *Metas principales de la USABC a mitad del curso de funcionamiento de la batería de EV y el funcionamiento real de las baterías comerciales y avanzadas de NiMH. (Linden, Reddy, 2002)*

Propiedades	***USABC***	***NiMH***	
		Comercial	***Prototipo***
Energía Específica (Wh/Kg)	80 (100 deseado)	63 - 75	85 - 90
Densidad de Energía (WH/L)	135	220	250
Densidad de Potencia (W/L)	250	850	1000
Potencia Específica (W/Kg) (80% DOD en 30 s)	150 (>200 deseado)	220	240
Ciclo de vida (ciclos) (80% DOD)	600	600 - 1200	600 - 1200
Vida (años)	5	10	10
Temperatura de funcionamiento Ambiental	-30º a 65ºC	-30º a 65ºC	-30º a 65ºC
Tiempo de recarga	< 6 horas	15 min (60%)	15 min (60%)
Auto descarga	< 15% en 48 horas	< 1 hora (100%)	< 1 hora (100%)
Último precio proyectado ($/kWh) (10,000 unidades a 40 kWh)	< $150	< 10% en 48 horas $220 - 400	< 10% en 48 horas $150

2.7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las baterías de NiMH se han convertido en la tecnología avanzada dominante de las baterías para los usos de EV y HEV teniendo el mejor funcionamiento total para resolver los requisitos fijados por la USABC. Además de los blancos esenciales del funcionamiento de energía, potencia, vida del ciclo y temperatura de funcionamiento, las características siguientes del NiMH han establecido esta tecnología en este mercado *(Linden, Reddy, 2002):*

- ✓ Tamaños de celda flexibles desde 0.3 a 250 Ah
- ✓ Operación segura a alto voltaje (320+ V)
- ✓ Energía y potencia volumétrica excelente, empaquetado flexible del vehículo
- ✓ Fácilmente aplicable a las secuencia serie y serie/paralelo
- ✓ Opción de celdas cilíndricas o prismáticas
- ✓ Seguridad en carga y descarga, incluyendo tolerancia a la carga y descarga excesiva
- ✓ Libre de Mantenimiento
- ✓ Propiedades térmicas excelentes
- ✓ Capacidad para utilizar energía regenerativa al frenar
- ✓ Circuitos de carga simple y barata y de control electrónico
- ✓ Materiales ambientalmente aceptables y reciclables

Ejemplos de los paquetes de la batería de EV NiMH para los EV1 de General Motors y pickup S-10 se demuestran en la Fig. 2.5. Además, las baterías de NiMH se están utilizando en usos industriales, sustituyendo las baterías de níquel-cadmio y se están considerando como reemplazo para las baterías ácidas de plomo en usos de SLI *(Linden, Reddy, 2002).*

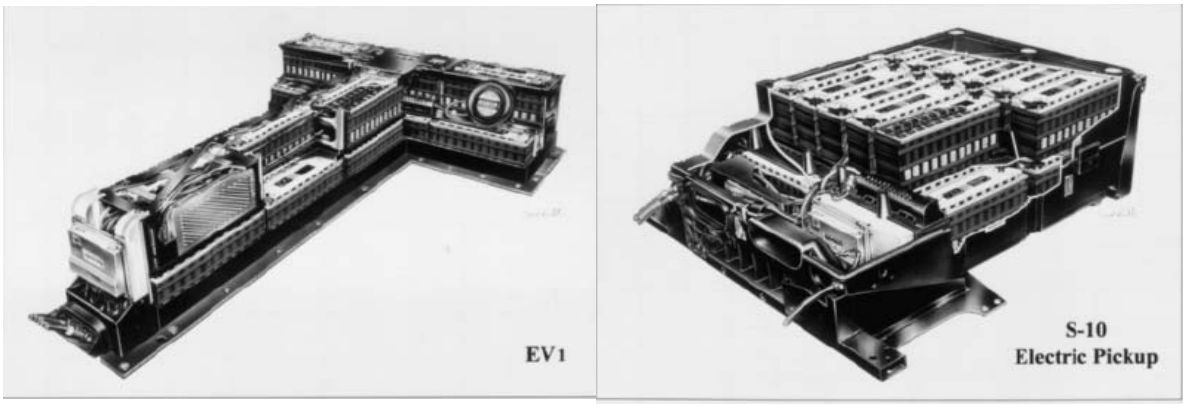

Figura 2.5. *Batería de GM Ovonic de NiMH embalada para el carro de recolección de General Motors EV1 (30 KVH) y de Chevrolet S-10 (30 KVH). (Crompton, T.R., 2000).*

Estas baterías están bajo evaluación para el uso en vehículos de tracción eléctricos. El objetivo de la densidad de energía para este uso de 70 Wh/Kg^{-1} y de 80 W h/Kg^{-1} se ha alcanzado ya en ensayos. El objetivo de la densidad de potencia es 200 W h/kg^{-1} y el objetivo de la vida del ciclo es 1000 ciclos más. Otros usos incluyen las videocámaras, los teléfonos portátiles y las computadoras. Esta batería puede alcanzar los tipos de níquel-cadmio en las salidas y usos antes de fin de siglo. *(**Crompton, T.R., 2000**)*.

2.7.2 REACCIONES QUÍMICAS (Abreo, N., 2000).

El material activo del electrodo en estas baterías en el estado de carga es oxihidróxido de níquel, el mismo que en las baterías de Ni-Cd. El electrodo negativo, en el estado de carga, es hidrógeno en la forma de un metal hidruro. Este metal es una aleación capaz de soportar la adsorción y deserción del hidrógeno en la batería en los estados de carga y descarga.

Una solución acuosa de hidróxido de potasio, es el principal componente del electrolito. Una mínima cantidad de electrolito es empleado en este diseño, y la mayoría del líquido es absorbido por el separador y los electrodos.

Este diseño de escaso electrolito, similar a las baterías de Ni-Cd, facilita la inmigración de oxígeno hacia el electrodo negativo, en el final de la carga, por la reacción de recombinación de oxígeno. Esto sucede en la construcción y la celda es capaz de operar en cualquier situación.

El oxihidróxido de níquel durante la descarga, es reducido a hidróxido de níquel:

$$NiOOH + H_2O + e^- \longrightarrow Ni(OH)_2 + OH^- \qquad E^o = 0.52V \quad (2.39)$$

El metal es oxidado, a la aleación metálica M.

$$MH + OH^- \longrightarrow M + H_2O + e^- \qquad E^o = 0.83\ V \quad (2.40)$$

La reacción global de la descarga es:

$$MH + NiOOH \longrightarrow M + Ni(OH)_2 \qquad E^o = 1.35\ V \qquad (2.41)$$

El proceso durante la carga es revertido.

Las celdas de la batería utilizan un mecanismo de recombinación de oxígeno para evitar el aumento de presión que se puede presentar por la generación de gases hacia el final del proceso de carga, esto es basado en el empleo del material del electrodo negativo, que tiene una alta capacidad efectiva, más que el electrodo positivo. En la carga el electrodo positivo alcanza la carga más alta, antes que el electrodo positivo y comienza a producir oxígeno:

$$2OH^- \longrightarrow H_2O + \tfrac{1}{2}O_2 + 2e \qquad (2.42)$$

El oxígeno gaseoso se difunde del separador hacia el electrodo negativo; la difusión es ayudada con el diseño de poco electrolito, además de la selección de un apropiado sistema de separación. Sobre el electrodo negativo el oxígeno reacciona con este para producir agua y la presión así no aumenta.

Además, el electrodo no será cargado hasta el máximo, así se previene la formación de oxígeno; sin embargo, la corriente de carga va a ser controlada al final de la carga y durante la sobrecarga, hasta el límite de la formación de oxígeno, por debajo de la rata de producción de oxígeno, para prevenir la sobreproducción de gases y con esto el aumento de la presión.

La celda de estas baterías es diseñada con una reserva de recarga para minimizar gasificación y degradación de la celda, en el suceso de la sobrecarga. La capacidad de la batería, está determinada por el electrodo positivo.

Un componente clave de las celdas de Ni-MH, es el hidrógeno captado por la aleación metálica. La composición de la aleación es formulada para obtener un material estable durante un gran número de ciclos de carga y descarga. Otras propiedades importantes de la aleación son:

- ✓ Buen almacenador de hidrógeno para lograr una buena densidad de energía almacenada, de esta forma una alta capacidad de la batería.
- ✓ Propiedades termodinámicas favorables para el proceso de absorción y desorción.
- ✓ Baja presión de hidrógeno en equilibrio.
- ✓ Alta reactividad electroquímica
- ✓ Propiedades cinéticas adecuadas para una alta velocidad de carga
- ✓ Alta resistencia a la oxidación.
- ✓ Estabilidad a repetidos ciclos de carga y descarga en el electrolito alcalino.

Generalmente se emplean dos tipos de aleaciones metálicas. Una se conoce como la aleación AB5, y se compone de Lantano-Níquel, y la segunda es la AB2 con Titanio y Circonio. En ambos casos algunos de los metales bases son reemplazados con otros metales para lograr las características de almacenamiento deseadas. La aleación AB5 es basada en $LaNi_5$, con varios sustituyentes del lantano y níquel para

estabilizar la aleación durante los ciclos de carga y descarga, reduciendo la absorción interno y/o formando películas superficiales protectoras. Por ejemplo, la expansión volumétrica es reducida sustituyendo parcialmente níquel por cobalto, y las propiedades interfaciales mejoran con una pequeña cantidad de aluminio o silicio. El ciclo de vida de la aleación AB2 ha sido mejorado por el uso de aleaciones basadas en vanadio, circonio, titanio, cromo; las funciones de estos metales son:

- ✓ ***Vanadio:*** asegura una buena absorción de hidrógeno.
- ✓ ***Circonio:*** asegura una buena absorción de hidrógeno (ZrH_2), excelentes características metalúrgicas.
- ✓ ***Titanio:*** asegura una buena absorción de hidrógeno (TiH_2)
- ✓ ***Cromo:*** inhibe la corrosión del vanadio.

3. DISPOSICIÓN FINAL DE PILAS Y BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

3.1 IMPORTANCIA DE LOS METALES PESADOS EN LA DISPOSICIÓN DE PILAS Y BATERÍAS

Sin entrar en detalle con respecto a la toxicidad y ecotoxicidad de los metales pesados contenidos en baterías, está claro que las cantidades grandes de mercurio, cadmio, o plomo no se deben disponer en las instalaciones de disposición de basura doméstica pues la contaminación de los alrededores no puede ser prevenida definitivamente.

Los principios básicos de la industria de las baterías europeas y, particularmente, alemana conocidas por evitar sustancias ambientalmente dañinas en sistemas de batería o, donde es inevitable esto, la separación y reciclaje de estas baterías. Evitarlo no es siempre posible.

El plomo y el cadmio se utilizan como sustancias activas en baterías de plomo con plomo hasta de 65% peso y las baterías de níquel/cadmio con cadmio hasta de 15% peso. El mercurio se utiliza como componente pasivo en las celdas redondas R9 con hasta 2% peso.

3.1.1 MERCURIO (Kiehne, 2003)

En diciembre de 1998 (98/101/EU directivo de 22.12.1998), como parte de una enmienda al directorio de baterías existente de 1991 (91/157/EEC), la Comisión de las Comunidades Europeas prohibió la comercialización de baterías y acumuladores con un contenido de mercurio mayor a 5 PPM (partes por millón) efectivo a partir del 1 de enero de 2000. La prohibición incluye las baterías y acumuladores construidos en los dispositivos. Solamente las baterías de celda redonda y las baterías construidas de baterías de celda redonda con un contenido de mercurio de no mayor al 2 por ciento por peso se excluyen de esta prohibición. Este directriz todavía aguarda puesta en práctica como derecho nacional.

La adición de mercurio ha estado total y satisfactoriamente eliminada de las baterías portátiles no-recargables (baterías primarias). Los proveedores principales de baterías en Europa (cubren el aproximadamente 95% del mercado) han estado ofreciendo la baterías libres de mercurio desde 1994. El gasto financiero para el desarrollo y los gastos de operación para la producción libre de mercurio eran y siguen siendo considerables.

La corriente de desecho, sin embargo, también continuará conteniendo cierta cantidad de mercurio por un cierto tiempo después de la prohibición del mercurio. Esto tiene consecuencias para el proceso de reciclaje (Fig. 3.1)

Como otra contribución importante a la reducción de sustancias peligrosas, los fabricantes europeos de baterías habían decidido a mediados de 1999 cesar las ventas de las baterías redondas con celdas de óxido de mercurio, que se utilizan principalmente en prótesis de oído. Como alternativa, las baterías de cinc/aire con un contenido bajo del mercurio (lejos de menos de 1% de peso de Hg) se utilizan. Los avances hechos en prótesis de oído y la tecnología de la batería ahora permiten utilizar estas baterías uniformes en las prótesis de oído para problemas auditivos extremadamente duros. Las baterías de Cinc/aire han estado en oferta para las prótesis de oído ordinarias por más de una década.

Como parte de la puesta en práctica ya mencionada del directorio de la UE (Unión Europea), la comercialización de las baterías de óxido de mercurio debe también ser prohibido efectivamente desde el 1 de enero de 2000. Esta directiva todavía aguarda la puesta en práctica en derecho nacional.

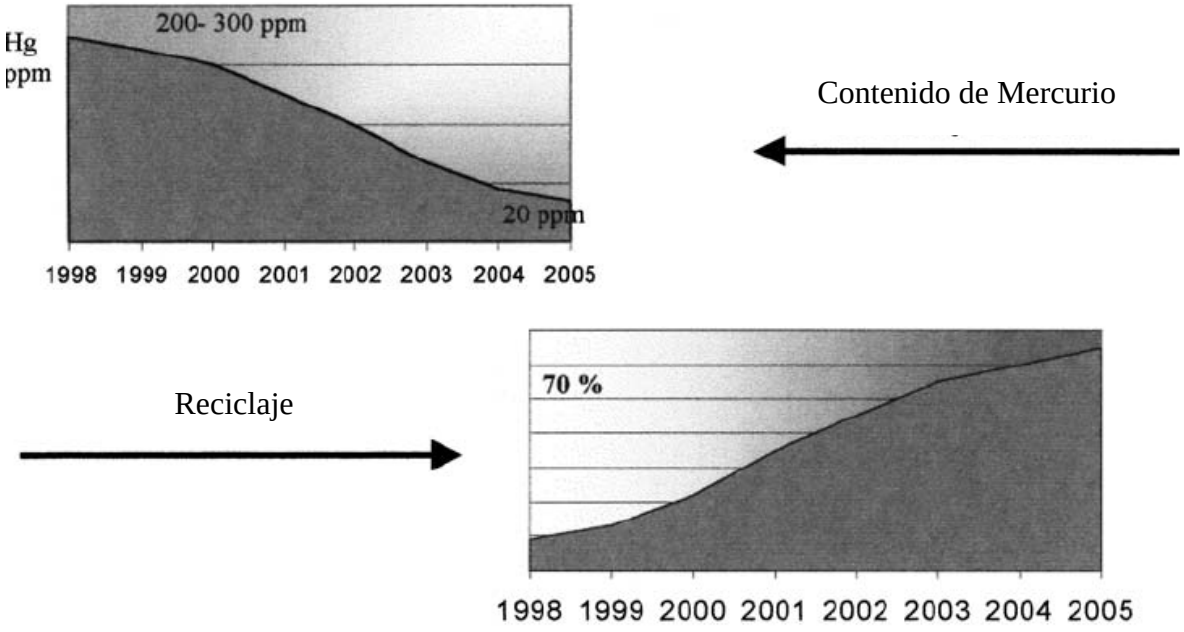

***Figura 3.1**. Interdependencia del contenido-reciclaje del mercurio. (Kiehne, 2003)*

3.1.2 CADMIO (Kiehne, 2003)

Las baterías que contienen níquel/cadmio son baterías (secundarias) recargables. Son los acumuladores alcalinos en los cuales la masa positiva consiste sobre todo en el hidróxido de níquel y la masa negativa principalmente de cadmio. El decreto alemán de la batería incluye los acumuladores de níquel/cadmio en la categoría de las baterías que contienen sustancias peligrosas. En ciertas áreas de aplicación, se están sustituyendo cada vez más por las baterías de cadmio libres de hidruro metálico/níquel. Recientemente, las baterías de ión litio se han ofrecido en el mercado, particularmente para las computadoras portátiles y los teléfonos móviles. Éstos, tampoco contienen mercurio, cadmio, o plomo.

3.1.3 PLOMO (Kiehne, 2003)

Una batería de plomo es un acumulador en el cual los electrodos consisten sobre todo en el plomo, mientras que un ácido sulfúrico diluido se utiliza como electrolito. El plomo se utiliza en forma de compuestos bivalentes y cuadrivalentes ($PbSO_4$ y PbO_2) y como una esponja porosa de plomo para las masas activas, así como en la forma de aleaciones de plomo-antimonio o de plomo-calcio para las rejillas en baterías de plomo. El nivel de uso de las baterías de plomo en el mercado de aplicación portátil es bajo. Las áreas principales de uso son iniciador y conductor de las baterías así como fuente de alimentación ininterrumpida a los sistemas estacionarios.

Una variedad de sistemas de batería todavía será requerida en el futuro, pues no habrá cosa tal como una "batería universal" que sea igualmente conveniente para todos los usos.

3.2 TÉCNICAS EXISTENTES PARA LA DISPOSICIÓN ADECUADA DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO

Algunas de las posibilidades existentes para tratar las pilas son las siguientes:

a) Disposición final en rellenos de seguridad
b) Tecnología para inmovilización de constituyentes de pilas y baterías
c) Incineración
d) Exportación y tratamiento en el extranjero
e) Reciclado de los componentes de las pilas y baterías

3.2.1 DISPOSICIÓN FINAL EN RELLENOS DE SEGURIDAD (MARTÍNEZ, 2005)

Es la más utilizada en la actualidad, pero se encuentra limitada por la escasa cantidad disponible de dichos rellenos. Es la más cercana a las disponibilidades actuales.

Un relleno de seguridad es una obra de ingeniería diseñada, construida y operada para confinar en el terreno residuos peligrosos. Consiste básicamente en una o varias celdas de disposición final y un conjunto de elementos de infraestructura para la recepción y acondicionamiento de residuos, así como para el control de ingreso y evaluación de su funcionamiento.

Para ser considerado como un relleno de seguridad el mismo debe contar como mínimo con los siguientes elementos:

a) Sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera.
b) Sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados.
c) Sistema de detección de pérdidas.
d) Sistema de captación y conducción de gases.
e) Elementos de control de ingreso de agua de lluvia por escurrimiento.
f) Sistemas de impermeabilización para la clausura.

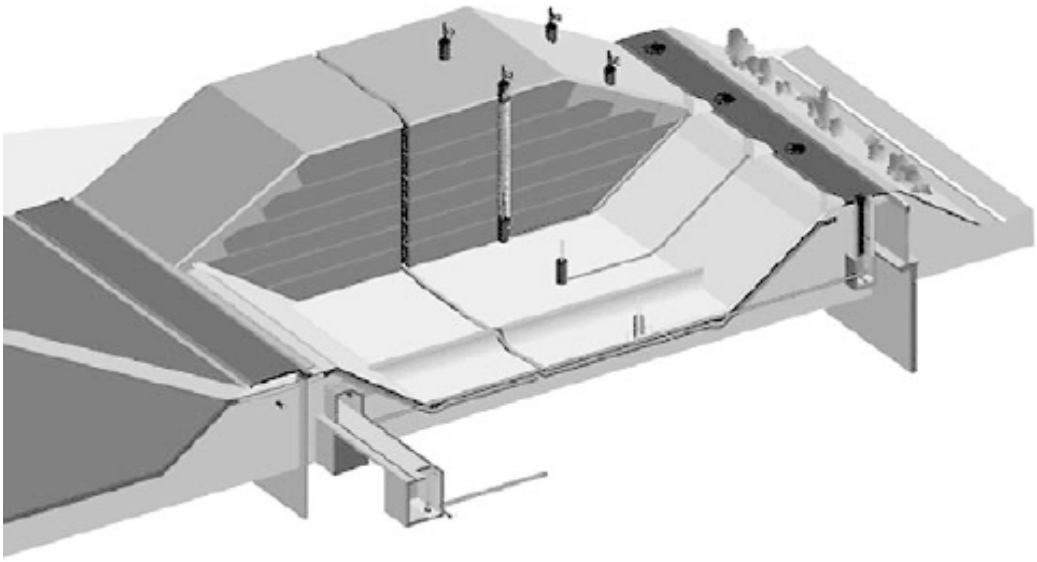

Figura 3.2. *Esquema de un relleno de seguridad. (Martínez, 2005).*

La evaluación de esta opción como sistema de destino final deberá tener en cuenta que el relleno cumpla con las condiciones mínimas de seguridad para manejar residuos peligrosos y que los residuos a disponer cumplan con las condiciones de aceptación. En caso de que no se cumplieran las mismas se deberá evaluar si existe la viabilidad de acondicionar los residuos, mediante un pre-tratamiento, a efectos de su cumplimiento.

A diferencia de un relleno sanitario (que constituye una unidad de tratamiento y disposición simultánea), conceptualmente un relleno de seguridad representa un confinamiento a largo plazo.

Como punto de partida para el diseño se requiere conocer la cantidad de residuos que tendrán como destino la disposición final en el relleno de seguridad. Con este dato es posible determinar el volumen de confinamiento necesario, asumiendo que para este tipo de obras la vida útil es de 10 años como mínimo.

Generalmente se maneja la posibilidad de diseñar *celdas contiguas*, cuya construcción se puede diferir en el tiempo.

El relleno podrá ser *abierto o techa*do. Esto va a depender de un tema económico donde intervienen básicamente dos términos: el costo del techado y el costo del tratamiento de lixiviados. Dentro de este último, el régimen de lluvias es uno de los aspectos clave ya que determina el volumen de lixiviados, mientras que la composición del lixiviado fijará los requerimientos de tratamiento. La composición del lixiviado dependerá del tipo de residuo y de la forma en la que ingresa al relleno. En el caso de tratarse de monorellenos (para un solo tipo de residuos) el tratamiento suele ser más simple. La concentración del lixiviado dependerá de la facilidad de liberación de los contaminantes, lo que se puede regular con tratamientos previos a los que sean sometidos los residuos.

Otro aspecto a considerar es la *optimización de la relación entre el volumen de confinamiento, el área impermeabilizada y el movimiento de suelo.* Dado que el costo de la impermeabilización tiene un peso importante dentro del costo total de la obra, se trata de lograr el mayor volumen de confinamiento impermeabilizando la menor cantidad de área posible. Trabajar con área mínima tiene la ventaja adicional de reducir la captación de agua de lluvia (generando menor cantidad de lixiviado) o implica menor superficie a techar si se opta por esta alternativa. En este punto la geología, hidrogeología, la topografía y el costo de los movimientos de tierra serán aspectos clave. La geología y la hidrogeología pueden limitar la profundidad de la celda, mientras que la topografía incidirá en los volúmenes de los movimientos de tierra.

La obra tendrá las siguientes características:

- ✓ *Estabilidad estructural*
- ✓ *Impermeabilidad*
- ✓ *Durabilidad*
- ✓ *Resistencia mecánica*
- ✓ *Resistencia a la intemperie*
- ✓ *Compatibilidad con los residuos*

Los elementos de diseño con los que debe contar la obra son:

- ✓ *Sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera*
- ✓ *Sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados*
- ✓ *Sistema de detección de pérdidas*
- ✓ *Sistema de captación y conducción de gases*
- ✓ *Elementos de control de ingreso de agua de lluvia por escurrimiento*
- ✓ *Pozos de monitoreo*
- ✓ *Sistema de impermeabilización superior para la clausura.*

La impermeabilización inferior tiene la finalidad de confinar los residuos e impedir la infiltración del lixiviado, mientras que la superior impedirá la percolación del agua de lluvia a través de los residuos luego de la clausura.

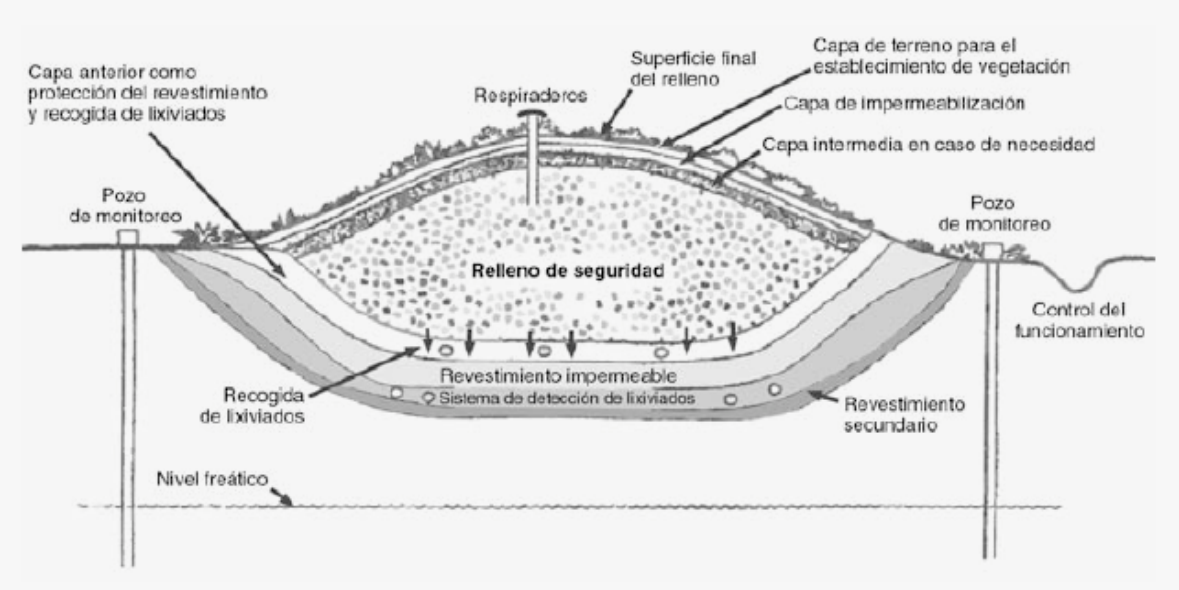

Figura 3.3. *Esquema de un relleno de seguridad con sus elementos correspondientes. (Martínez, 2005).*

En la Fig. 3.4 se presentan en forma esquemática el diseño de la impermeabilización de la base y la cobertura de una celda de un relleno de seguridad, de acuerdo a las recomendaciones de la United State Environmental Protection Agency (US EPA).

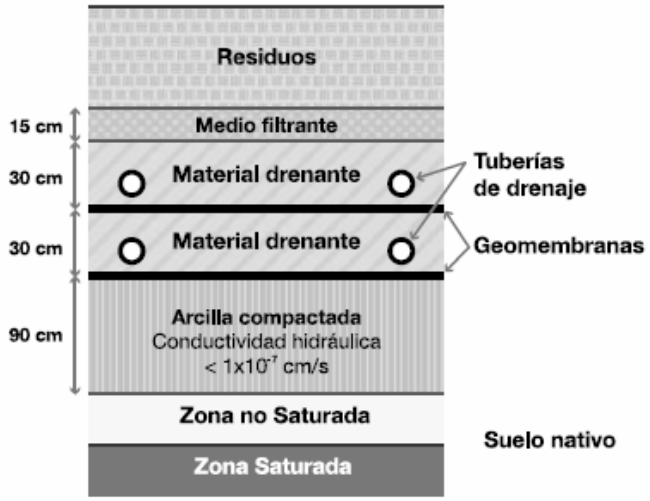

Figura 3.4. *Esquema de impermeabilización de la base y la cobertura de una celda en un relleno de seguridad. (Martínez, 2005).*

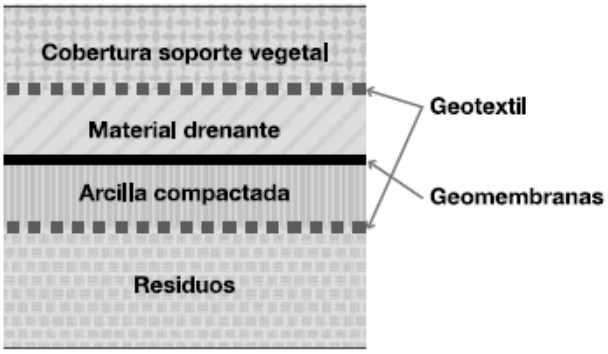

Figura 3.5. *Esquema de impermeabilización de la cobertura. (Martínez, 2005).*

Para la impermeabilización de la base y los taludes se emplea un sistema de doble barrera de protección. La barrera suele estar compuesta por una capa arcillosa, dos geomembranas de material plástico, sistema de detección de pérdidas, sistema de drenaje y protección.

De acuerdo a lo recomendado por US EPA, la capa arcillosa debe tener un espesor de 90 cm. y conductividad hidráulica máxima $1x10^{-7}$ cm/s. Alternativamente se puede emplear una capa equivalente de materiales sintéticos, no pudiendo ser de espesor menor a 60 cm.

La geomembrana será de material plástico de características adecuadas en cuanto a su composición, espesor y propiedades físicas para actuar como membrana impermeabilizante.

El sistema de detección de pérdidas se ubicará entre las dos geomembranas y estará compuesto por una capa de material drenante (de conductividad hidráulica mayor a $1x10^{-2}$ cm/s) y una red de tuberías que conduzcan el líquido hacia un reservorio de captación.

Para la captación y conducción de lixiviados se utilizará un sistema ubicado sobre la geomembrana superior compuesto por una capa de material drenante (de conductividad hidráulica mayor a $1x10_{-2}$ cm/s) y una red de tuberías que conduzcan el lixiviado hacia un reservorio de captación. La sección de las tuberías se calculará de forma de garantizar una altura máxima de lixiviado dentro del relleno de 30 cm.

Como material de construcción de los drenes se puede emplear arena limpia o grava, así como mallas de materiales sintéticos.

El relleno deberá contar con una serie de drenes verticales y horizontales, de material granular que permitan la captación y conducción del gas que se pueda formar en el relleno. En cada caso se deberá analizar la potencial generación de gases en cantidad y calidad. De ser necesario se diseñarán sistemas el tratamiento y

liberación de forma que reduzcan al mínimo el daño o el deterioro del medio ambiente y el riesgo a la salud humana.

La obra deberá contar con elementos de control de ingreso de agua de lluvia por escurrimiento, agua que deberá ser interceptada y canalizada de forma tal que no ingresen a las celdas de disposición final.

Una vez finalizada la vida útil del relleno, el mismo deberá ser clausurado utilizando una cobertura impermeable. La misma estará compuesta por una capa de material arcilloso de 60 cm. de espesor y conductividad hidráulica máxima de $1x10^{-7}$ cm/s, o su equivalente en material sintético, no pudiendo ser de espesor menor a 30 cm. Sobre ésta se colocará una geomembrana de material plástico, similar a la utilizada para la base. Sobre la geomembrana se colocará un sistema de drenaje de material granular o sintético, cubierto por geotextil y una capa de suelo de 60 cm. con cobertura vegetal.

El proyecto incluirá la construcción de al menos 4 pozos para el monitoreo de agua subterránea, tres ubicados aguas abajo (en relación al flujo subterráneo) y uno aguas arriba.

Se recomienda además que se implemente un sistema de contención de aguas pluviales de todo el predio que permita realizar un monitoreo de la calidad de las mismas en todas las condiciones de operación.

Los riesgos sobre la salud y el medio ambiente dependerán de la peligrosidad de los residuos que se manejen, de las posibilidades de liberación de los contaminantes y de su transporte en el medio, así como de la vulnerabilidad del entorno y la exposición humana.

El principal riesgo lo constituye la liberación de contaminantes por lixiviación. Los lixiviados pueden infiltrar y ocasionar contaminación de suelos y aguas subterráneas. Es por esta razón que los estudios hidrogeológicos son claves a la hora de seleccionar el sitio de emplazamiento, mientras que los usos del agua subterránea representarán exclusiones de localización.

Los lixiviados también pueden escurrir y alcanzar los cuerpos de agua superficiales, por lo que la cercanía a estos cuerpos hídricos y los usos del agua (aguas debajo de este tipo de instalaciones) también representará criterios de exclusión.

Otra forma de liberar contaminantes es por vía de la volatilización de sustancias tóxicas o emisiones de polvo. En ambos casos se produce el arrastre por acción del viento.

Finalmente, otro riesgo es el contacto directo de las personas o animales con los residuos, por lo que se deberán establecer condiciones seguras para los operadores y limitar el acceso a personas ajenas al emprendimiento, así como también impedir el ingreso de animales.

3.2.2 TECNOLOGÍAS PARA INMOVILIZACIÓN DE CONSTITUYENTES DE PILAS Y BATERÍAS

La vitrificación, cementación y ceramización son algunas de las tecnologías que se han propuesto, las cuales presentan diversas variantes técnicas. La utilización o destino de los materiales resultantes, según sus problemas finales, son los problemas que se plantean.

3.2.2.1 Vitrificación[1]

Como punto de partida se explicará en qué consiste la vitrificación, según la guía para el ciudadano sobre vitrificación, es un proceso que atrapa, en forma permanente, los químicos nocivos en un bloque sólido de material similar al vidrio, y así impide que los mismos escapen al medio ambiente. La vitrificación puede llevarse a cabo bajo tierra o en la superficie.

El proceso de vitrificación utiliza energía eléctrica para producir el calor necesario para fundir el suelo. Se implantan varillas, denominadas electrodos, en el área contaminada. Luego, se envía una fuerte corriente eléctrica entre los electrodos, lo cual funde el suelo que se encuentra entre ellos. La fundición comienza cerca de la superficie del suelo y continúa hacia abajo. A medida que el suelo se funde, los electrodos se hunden más profundamente en la tierra, con lo cual el suelo más profundo también se funde. Cuando se corta la energía eléctrica, el suelo fundido se enfría y vitrifica, o se sea convierte en un bloque sólido de material parecido al vidrio. Los electrodos pasan a formar parte del bloque. Una vez vitrificado, el volumen original del suelo se reduce. Esto hace que la superficie del suelo en el área quede levemente deprimida. Esta área se rellena con suelo limpio a fin de nivelar el suelo.

La temperatura utilizada para fundir el suelo puede, al mismo tiempo, destruir algunos químicos nocivos y causar la evaporación de otros. Los químicos evaporados ascienden hasta la superficie a través del suelo fundido. Allí, una cubierta colocada sobre el área tratada captura los químicos, que son enviados a un sistema de tratamiento donde son eliminados.

Cualquier tipo de químico nocivo que persista bajo la superficie del suelo quedará atrapado por el bloque vitrificado. Esto evita que las lluvias, aguas subterráneas o el viento transporten los químicos hacia fuera del sitio o entren en contacto con el medio ambiente.

[1] Obtenido de la web de EPA, ***"Guía para el ciudadano sobre Vitrificación".***

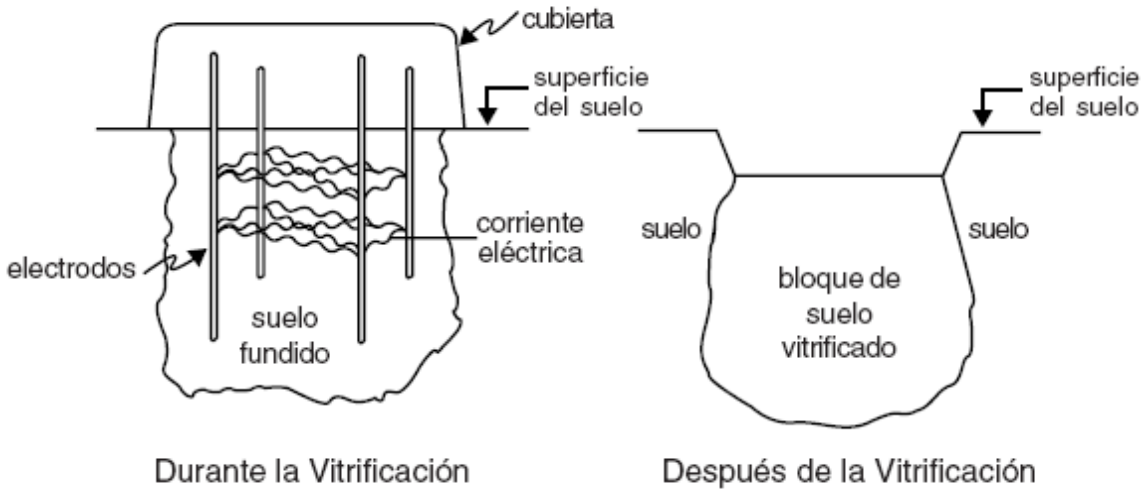

Figura 3.6. *Esquema proceso de vitrificación. (EPA, 2003)*

El tiempo que toma la vitrificación in situ para la limpieza de un sitio depende de diversos factores:

- ✓ *El tamaño y la profundidad del área contaminada*
- ✓ *Los tipos y las cantidades de químicos presentes*
- ✓ *La humedad del suelo (el suelo húmedo primero debe ser secado, lo que implica mayor tiempo)*

En general, la vitrificación in situ requiere menos tiempo que otros métodos de limpieza. La limpieza puede tomar desde semanas hasta meses, pero no años.

La vitrificación es un método bastante seguro cuando se lo utiliza adecuadamente. La cubierta para los gases debe ser lo suficientemente amplia como para cubrir toda el área contaminada, de manera que pueda capturar todos los químicos liberados por del suelo. Antes que nada se deben secar los suelos húmedos para evitar la formación de vapor. La emisión de vapor puede causar salpicaduras en la superficie de material fundido a alta temperatura. Además, la cubierta también evita salpicaduras a los trabajadores en el sitio.

El bloque vitrificado se deja en el lugar en forma permanente, y no implica peligro alguno para las personas. Sin embargo, la EPA puede limitar la construcción en el terreno a fin de evitar que se dañe el bloque. La EPA también realiza análisis del suelo y el agua subterránea cercanos al bloque vitrificado para asegurar que no se liberen químicos.

La aplicación de la vitrificación para el tratamiento de las pilas no estaba en estaba incluida en los planes originales, ya que su uso original era para el tratamiento de residuos nucleares, que derivó en un método alternativo para aislar de la naturaleza a los elementos tóxicos que contiene las pilas comunes desechadas.

Este “pequeño desarrollo” como lo llaman sus mentores, se originó hace dos años en la Unidad de Actividad Tecnológica de Materiales y Dispositivos, del Centro Atómico Bariloche (CAB), como respuesta a la demanda que acaecía.

La empresa, a cargo de la recolección de residuos en esa ciudad patagónica, buscaba un método para almacenar las pilas desechadas sin contaminar, y contaba, además, con gran cantidad de vidrios que se podían rescatar de los residuos. A partir de esta materia prima, comenta el doctor Diego Russo, integrante del grupo, se adaptó el desarrollo de vitrificación aplicado en residuos nucleares a la nueva necesidad.

El primer paso de este método consiste en realizar un tratamiento térmico de las pilas a fin de eliminar, mediante calor, todo aquello que sea combustible (carbón, plásticos, papel). Luego se separan los metales que componen la carcaza y los electrodos internos, que se reducen a chatarra, y sólo se conservan los elementos tóxicos convertidos en óxidos, en forma de polvo. Dicho polvo es el que se mezcla con vidrio, para formar bloques donde no es posible distinguir ambos componentes.

Si bien, tanto en el caso de los residuos radiactivos como de los tóxicos de las pilas, el objetivo consiste en retener en un bloque de vidrio los residuos, la finalidad es diferente.

Al residuo nuclear es necesario retenerlo hasta que pierda su reactividad -y esto lleva un período de tiempo determinado-, pero las pilas son residuos químicos que no perderán su toxicidad con el paso del tiempo. Por esta razón, el objetivo es incorporarlos a la naturaleza de forma gradual, y en consecuencia, no contaminante.

El bloque de vidrio cumple perfectamente con estos requisitos, puesto que tiene una durabilidad suficiente -entre mil y dos mil años- como para incorporarse a la biosfera de manera gradual e inocua, evitando concentraciones localizadas de elementos tóxicos. Esto significa, eliminar su toxicidad, porque en el caso de estos elementos su calidad de tóxicos está relacionada a la concentración.

Este desarrollo fue patentado por la Comisión Nacional de Energía Atómica. Por otra parte, el desarrollo de su ingeniería de proceso quedó a cargo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa.

Actualmente, el grupo del CAB, a partir de un contrato con Telecom Personal, estudia la posibilidad de aplicar una tecnología equivalente o similar, para las pilas recargables de los teléfonos celulares.

La vitrificación y la ceramización son muy similares, la diferencia consiste en que en la ceramización se utilizan arenas sílicas de desecho para ser consideradas como material de producción de cerámicas.

3.2.2.2 Cementación[2]

La cementación es un Tratamiento termoquímico en el que se aporta carbono a la superficie de una pieza de acero mediante difusión, modificando su composición, impregnando la superficie y sometiéndola a continuación a un tratamiento térmico.

La cementación tiene por objeto endurecer la superficie de una pieza sin modificación del núcleo, dando lugar así a una pieza formada por dos materiales, la del núcleo de acero con bajo índice de carbono, tenaz y resistente a la fatiga, y la parte de la superficie, de acero con mayor concentración de carbono, más dura, resistente al desgaste y a las deformaciones, siendo todo ello una única pieza compacta.

La cementación consiste en recubrir las partes a cementar de una materia rica en carbono, llamada cementante, y someterla durante varias horas a altas temperatura (1000°C). En estas condiciones, el carbono irá penetrando en la superficie que recubre a razón de 0,1 a 0,2 mm por hora de tratamiento.

La pieza así obtenida se le da el tratamiento térmico correspondiente, temple y revenido, y cada una de las dos zonas de la pieza, adquirirá las cualidades que corresponden a su porcentaje de carbono. En ocasiones se dan dos temples, uno homogéneo a toda la pieza y un segundo temple que endurece la parte exterior.

La cementación encuentra aplicación en todas aquellas piezas que tengan que poseer gran resistencia al choque y tenacidad junto con una gran resistencia al desgaste.

Las características de la cementación son las siguientes:
- ✓ *Endurece la superficie*
- ✓ *No le afecta al corazón de la pieza*
- ✓ *Aumenta el carbono de la superficie*
- ✓ *Su temperatura de calentamiento es alrededor de los 900ºC*
- ✓ *Se rocía la superficie con polvos de cementar (Productos cementante)*
- ✓ *El enfriamiento es lente y se hace necesario un tratamiento térmico posterior*
- ✓ *Los engranajes suelen ser piezas que se cementan.*

Los aceros de bajo contenido de carbono que conserven la tenacidad del núcleo son apropiados para cementación. El cromo acelera la velocidad de penetración del carbono. Los aceros al cromo níquel tiene buenas cualidades mecánicas y responden muy bien a este proceso. Una concentración de níquel por encima del 5% retarda el proceso de cementación.

[2] Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Cementaci%C3%B3n

3.2.2.3 Incineración[3]

Se entiende por incineración al procesamiento de residuos en cualquier unidad técnica, equipo fijo o móvil que involucre un proceso de combustión a altas temperaturas.

Tiene por objeto la reducción del volumen y la peligrosidad de los residuos, destruyendo los compuestos orgánicos mediante la combustión a altas temperaturas.

En el proceso de incineración la materia orgánica es oxidada con el oxígeno del aire, generando emisiones gaseosas que contienen mayoritariamente dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y oxígeno. Dependiendo de la composición de los residuos y de las condiciones de operación, las emisiones gaseosas pueden contener además cantidades menores de monóxido de carbono, ácidos clorhídrico, yodhídrico y bromhídrico, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, PCBs, dioxinas y furanos, y metales, entre otros. En el proceso se generan residuos sólidos (cenizas y escorias constituidas por el material no combustible).

La incineración es un proceso complejo que debe ser cuidadosamente diseñado y operado, requiere de altos costos de inversión, operación y mantenimiento, así como mano de obra calificada. Sin embargo, se trata de una tecnología demostrada y disponible comercialmente para el tratamiento de residuos peligrosos. De hecho es claramente aceptada como la mejor alternativa disponible para la destrucción de la mayoría de los residuos orgánicos peligrosos.

Existen diferentes tipos de incineradores y cada uno de ellos tendrá sus limitaciones en cuanto al tipo y cantidad de residuos a procesar.

A efectos de lograr una combustión eficiente la disponibilidad de oxígeno es esencial, utilizándose cantidades superiores a los requerimientos teóricos. Los requerimientos de aire (oxígeno) dependerán del tipo de combustible y del horno.

Adicionalmente las variables operativas más importantes para un incinerador son: *la temperatura, el tiempo de residencia de los gases y la turbulencia*, frecuentemente referidas como las ***3T***. Estas variables repercutirán directamente en la eficiencia de la destrucción del sistema y por ende en la generación de productos de combustión incompleta que formarán parte de las emisiones gaseosas del incinerador.

[3] Martínez, 2005

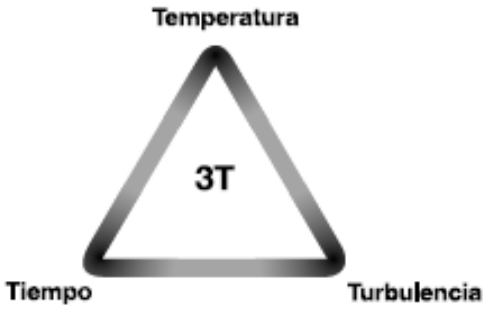

Figura 3.7. *Esquema representativo a las variables operativas referido frecuentemente como las 3T. (Martínez, 2005).*

Dentro de la amplia gama de compuestos que pueden estar presentes en los residuos peligrosos, algunos son compuestos orgánicos que se destruyen eficientemente a bajas temperaturas (por ejemplo madera, papel, aceites), sin embargo otros constituyentes requieren de altas temperaturas para una combustión completa. Es así que los *incineradores para residuos peligrosos* son diseñados para que los gases de combustión alcancen *temperaturas en el rango de 850 a 1600 ºC*, con un *tiempo de estadía de al menos 2 segundos*.

La Unión Europea obliga a que las instalaciones sean diseñadas y operadas de tal modo que mantengan los gases resultantes de la incineración a una temperatura mínima de 850 ºC durante al menos 2 segundos. En caso que los residuos peligrosos contengan más del 1 % de sustancias organohalogenadas (expresadas en cloro), la temperatura deberá elevarse hasta 1100 ºC durante 2 segundos como mínimo.

Existen varios tipos y diseños de incineradores desarrollados para el tratamiento de los diferentes residuos, contemplando en particular el estado físico de los mismos. Actualmente existe una considerable experiencia a nivel de los fabricantes y muchos de estos diseños han sido ampliamente utilizados desde hace varios años. Dentro de los tipos más comunes tenemos:

- ✓ *De inyección líquida*
- ✓ *De hornos rotatorios*

Más allá de las diferencias entre los distintos tipos de incineradores, existen una serie de subsistemas comunes a todos.

- ✓ *Preparación y alimentación de los residuos*
- ✓ *Cámara(s) de combustión*
- ✓ *Tratamiento de emisiones gaseosas*
- ✓ *Manejo de residuos sólidos y efluentes*

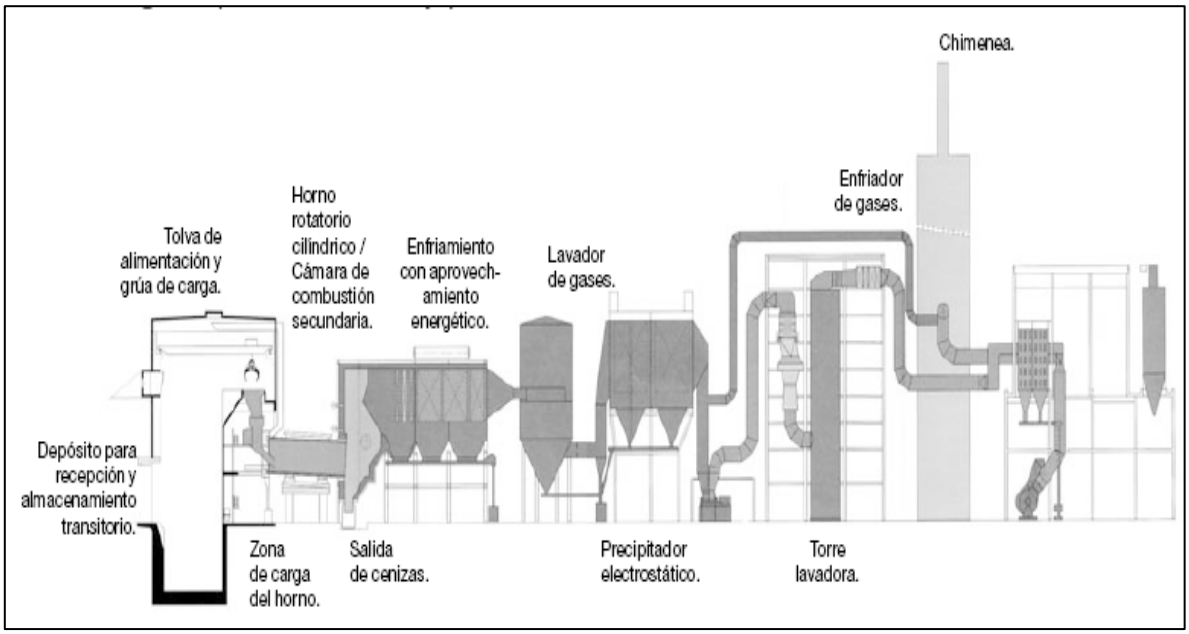

Figura 3.8. *Esquema representativo de incineradores. (Martínez, 2005).*

Es la forma física del residuo la que determina el método de alimentación. Los líquidos son mezclados y bombeados a la cámara de combustión previa atomización mediante toberas. En caso de contener sólidos en suspensión se deben filtrar previamente o ajustar los atomizadores.

Los diferentes residuos líquidos se suelen mezclar previamente (blending) de forma de obtener un poder calorífico del orden de los 8000 Btu/lb, viscosidad adecuada, así como para no superar niveles de concentración de contaminantes como cloro y sulfuro entre otros.

Los lodos son generalmente alimentados usando bombas y lanzas. Los sólidos pueden requerir algún tipo de fraccionamiento para controlar el tamaño. La forma de ingreso es por gravedad, alimentadores neumáticos, vibradores, cintas transportadoras o tornillos sin fin.

A efectos de cumplir con los estándares de emisión que se manejan a nivel internacional, los incineradores deben contar con sofisticados sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas y el correspondiente sistema de control. El sistema de tratamiento y control de emisiones constituye uno de los elementos clave en las plantas de incineración, siendo uno de los componentes mayoritarios del costo total (aproximadamente entre la mitad y un tercio del costo, dependiendo de la escala).

Los constituyentes de los residuos, las condiciones de operación y el sistema de tratamiento de emisiones utilizado son los que determinan el tipo de sustancias y la concentración en los gases que se emiten a la atmósfera. Por ejemplo, los niveles de ácido clorhídrico y dióxido de azufre emitidos están directamente relacionados con el

contenido de cloruros y sulfuros de los residuos. Adicionalmente el contenido de cloro en los residuos contribuye a la formación de dioxinas y furanos.

Los sistemas de tratamiento deben garantizar la remoción de contaminantes tales como el ácido clorhídrico originado por la presencia de cloro en los residuos, cenizas volantes de muy pequeño diámetro (menores de 1 micra) y óxidos de azufre entre otros.

Los sistemas de tratamiento de emisiones más comunes cuentan con:
- ✓ *Un enfriador (quench) para el acondicionamiento térmico de los gases*
- ✓ *Un lavador Venturi para la remoción de partículas*
- ✓ *Una torre de absorción para la remoción de ácidos*
- ✓ *Un eliminador de nieblas*

Las unidades cuentan generalmente con otros elementos de control como son los precipitadores electrostáticos húmedos, lavadores húmedos ionizantes, filtros de manga y ciclones. La remoción de dioxinas y furanos, así como posibles restos de mercurio residual, se realiza mediante filtros conteniendo mezclas adsorbentes.

Las emisiones gaseosas son emitidas a la atmósfera por medio de chimeneas, las cuales se diseñan de modo que no exista contaminación atmosférica significativa a nivel de suelo, protegiendo así la salud humana y el medio ambiente.

Las instalaciones deben contar con medidores que permitan el monitoreo continuo de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, compuestos orgánicos volátiles y material particulado. Adicionalmente se deben realizar monitoreos periódicos de metales pesados, dioxinas y furanos.

Deficiencias en la planta de incineración puede ocasionar una combustión incompleta o una escasa eficiencia en los sistemas de tratamiento, produciendo emisiones perjudiciales directamente para la salud de los pobladores de las cercanías o indirectamente por consumo de plantas o animales provenientes de áreas donde ocurre la deposición de las emisiones. Adicionalmente la incorrecta operación de la planta de incineración, incluido el manejo de los residuos generados en el proceso, puede poner en riesgo la salud de los operarios.

Se debe tener en cuenta que en las emisiones pueden aparecer compuestos más tóxicos que el producto originalmente incinerado, tal es el caso de las dibenzodioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (*dioxinas y furanos*). Estos contaminantes se han transformado en el elemento más controversial para la instalación de incineradores, sin embargo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:
- ✓ *Las dioxinas y furanos son formadas en cualquier proceso de combustión, siendo más crítico si el proceso de combustión no es controlado.*
- ✓ *El desarrollo de la incineración y por ende la incorporación de tecnología más moderna ha incluido un sistema de enfriamiento rápido de los gases de combustión a efectos de prevenir la generación de estos contaminantes.*

- ✓ *La emisión de dioxinas y furanos estará condicionada básicamente por el tipo de residuos a incinerar, el diseño del incinerador, los parámetros operativos del proceso y el sistema de tratamiento de emisiones atmosféricas con que cuente la instalación.*

La disposición incorrecta de cenizas y lodos generados en el tratamiento de las emisiones gaseosas también puede ser otra fuente de contaminación.

A efectos de reducir los riesgos, además de hacer eficiente diseño del sistema y establecer estrictos procedimientos operativos y de control, se debe prestar especial atención a la localización. Se requiere la realización de un estudio de impacto ambiental que evalúe minuciosamente el impacto de las emisiones gaseosas, por medio del empleo de modelos que permitan predecir la dispersión de los gases en la atmósfera.

La alternativa de incineración como sistema de tratamiento de residuos dependerá de las características del residuo y de la instalación de incineración. En particular se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ *Que el residuo sea apto para ingresar a un proceso de incineración (mayoritariamente orgánico y contener cantidades mínimas de metales que puedan volatilizarse en el proceso). Además de estos aspectos generales se deberían verificar las condiciones específicas de incineración para los contaminantes presentes.*
- ✓ *Que el incinerador esté diseñado para el tratamiento de residuos peligrosos, en particular que se cumplan los parámetros de temperatura, turbulencia y tiempo de residencia necesarios. En caso de ser así se debe verificar si tiene restricciones específicas para algunos grupos de compuestos.*
- ✓ *Que la operación del incinerador sea la adecuada. A efectos de controlar el desempeño de los incineradores se realizan ensayos de quema.*
- ✓ *Que cuente con sistema de tratamiento y control de emisiones atmosféricas acorde con los residuos que procesa.*
- ✓ *Que cumpla con los estándares de emisiones atmosféricas que rigen en el país o en caso de no existir normas nacionales se sugiere comparar sus emisiones con estándares internacionales.*

Para que la instalación y operación de una planta de incineración de residuos peligrosos sea viable, se requiere contar con una cantidad mínima de residuos. Esa cantidad surgirá de un estudio económico donde intervendrán, por un lado los costos de inversión y operación y por otro el costo de la incineración de residuo, que deberá ser un valor razonablemente competitivo. Este último puede estar en el rango de los 400 a 1000 U$S/ton.

La incineración de las pilas usada tiene como objetivo la inertización de sus elementos convirtiéndolos en cenizas inertes, no recuperándose ninguno de sus compuestos. La incineración se puede llevar a cabo en plantas para quemar residuos peligrosos o si poseen técnicas similares en plantas industriales, como plantas de producción de cemento. Cabe destacar que esta posibilidad es sólo viable si las

plantas de incineración cuentan con las técnicas de tratamiento de emisiones necesarias ya que los compuestos más volátiles como el cadmio, mercurio y cinc se incorporan a los gases en forma de partículas. Otro riesgo del proceso es que algunos de los metales pueden convertirse en compuestos móviles como cloruros.

Aún teniendo un sistema de tratamiento de emisiones adecuado, lo cual generalmente produce muy altos costos, la incineración sigue siendo problemática ya que generalmente para el tratamiento de las emisiones además de distintos tipos de lavados son usuales filtros. Teniendo en cuenta que éstos acumularían gran parte de las sustancias peligrosas se lograría cambiar el problema de lugar.

3.2.3 EXPORTACIÓN Y TRATAMIENTO EN EL EXTRANJERO

Esta variante implica el transporte de las pilas a países que poseen las posibilidades técnicas para el tratamiento adecuado de las mismas. Las posibilidades de hacerlo dentro de Latinoamérica son limitadas, ya que sólo Argentina cuenta con una planta capaz de reciclar los metales de las pilas. Otras plantas se encuentran en Europa o los Estados Unidos, lo que implicaría grandes distancias y por ende costos de transporte importantes. Cabe destacar que un transporte de esas distancias también provoca daños ambientales significativos, por lo que desde el punto de vista ecológico, no se trata de la solución ideal. Además se suman las dificultades jurídicas de esta variante, ya que el transporte de Residuos de un país a otro está muy reglamentado haciéndolo complicado, más aún si estos son peligroso (Convenio de Basilea).

La Red Panamericana de Manejo ambiental de Residuos (Repamar) realizó un estudio analizando las experiencias de los países Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México con el tema pilas.

Según el estudio, Argentina es el único país de la región que cuenta con una planta formal, a escala comercial para el tratamiento y/o reciclaje de pilas. Esta empresa, IDM (ingeniería de Montajes), se encuentra en San Lorenzo, provincia de Santa Fe, habilitada para el reciclaje de pilas níquel metal hídrico (níquel hidruro de metal), níquel-cadmio y otros tipos de pilas. Las pilas se someten a un proceso de termodestrucción en hornos rotativos a 1100°C. Las cenizas resultantes son vitrificadas. El níquel y el cadmio se recuperan a través de fusión y destilación. Sin embargo según el estudio su operación no es rentable.

También existen dos proyectos de investigación relacionados al tratamiento de pilas. La Universidad de San Martín se dedica al reciclaje de pilas mediante bacterias que se alimentan de azufre, cuyo uso ya es conocido en la metalurgia del cobre y del oro. Las bacterias transforman el azufre en ácido sulfúrico y otros productos denominados polotionatos. Las pilas alcalinas se sumergen simplemente en ese caldo de ácido que las disuelve por completo. Los metales se pueden luego aislar y recuperar por medio de electrólisis.

El Instituto Balceiro (Centro Atómico Bariloche) desarrolló un método que consiste básicamente en vitrificar las pilas para inmovilizarlas, utilizando vidrio de descarte y formando un bloque monolítico, de fácil manejo e inmune a agentes externos. En el estudio se utilizaron pilas carbón cinc.

También se nombran algunas actividades concretas sobre sensibilización y concientización de la población y en algunos casos de recolección de pilas. Se nombran 6 comunas que recolectan las pilas y llegan a un tratamiento de las mismas. Tres de esas comunas optan como tratamiento usar la cementación y deposición en rellenos de seguridad. Una cuarta opta también por la cementación y prueba la vitrificación en etapa experimental no mencionando donde serán dispuestas finalmente. Los restantes dos proyectos aíslan las pilas con materiales especiales, no se especifica cuales, para la fabricación de ladrillos en la construcción de viviendas económicas. En el Internet se encontró también información de la municipalidad de Gral. Roca en Río Negro, donde las pilas también son estabilizadas y colocadas en un repositorio especial.

Brasil por su parte no dispone de tecnología para tratar pilas pero hay planeada una resolución (está en aprobación) con la cual los fabricantes o importadores tendrían bajo su responsabilidad el manejo de las pilas usadas (recolección, transporte, almacenamiento, reutilización, reciclaje, tratamiento y/o disposición final).

Colombia tampoco posee una planta de tratamiento. La Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá ha realizado sin embargo investigaciones sobre el tratamiento de pilas de celulares considerado métodos térmicos y químico. El tratamiento térmico consiste en el tratamiento de las baterías en un horno sellado con atmósfera modificada por nitrógeno o argón con control de salida de gases. Debido a la diferencia de punto de fusión del cadmio respecto al níquel y hierro, éste puede ser separado de los otros metales condensado y solidificado. El hierro y níquel quedan en el horno siendo fundidos a mayores temperaturas para formar una aleación. Además de los altos costos energéticos y la producción de gases contaminantes se suma el hecho que el proceso sólo puede tratar baterías de níquel cadmio, excluyendo las de níquel metal hídrico. Aquí surge el problema de la separación de pilas por sistema químico.

También el método químico tiene ese problema, ya que éste nuevamente se dirige al tratamiento de baterías de níquel cadmio. En este proceso se parte por la digestión de las baterías en un medio fuertemente ácido, donde se disuelven sus componentes. El níquel y cadmio son reducidos y retirados de la solución por electrodisposición. Aumentando el pH se puede retirar luego el hierro. Este método es de bajo costo energético y de fácil manejo tecnológico. Sin embargo además de sólo poder tratar un tipo de pilas son necesarias numerosas etapas y un alto nivel de seguridad por el manejo de sustancias químicas.

Por último la misma facultad realizó un estudio considerando el tratamiento conjunto de las baterías de níquel cadmio y níquel metal hídrico. Este proceso consiste le el tratamiento térmico en atmósfera reductora, una vez molidas las baterías y separada

la fracción de plásticos. Se obtiene cadmio con alta pureza, el níquel y hierro son reducidos a mayores temperaturas y separados de las cenizas y tierras raras por medio magnético.

Ecuador y México tampoco tienen plantas de tratamiento. En México se piensa en una estrategia de exportación a los Estados Unidos y Canadá para ser tratadas allí, aunque también se desarrollaron proyectos de investigación sobre la recuperación electroquímica de cadmio de mezclas de níquel cadmio en la Universidad Iberoamericana (Campus Santa Fe, Ecuador), así como sobre el tratamiento de pilas secas a partir de la disolución con ácido nítrico en la Facultad de estudios Superiores Zaragoza.

En México también se han llevado a cabo actividades. Motorola México puso en marcha en 1999 un programa piloto de recolección de baterías usadas de teléfonos celulares reciclándolas en INMETCO, Pennsylvania, EEUU. Debido a los altos costo de transporte y los trámites administrativos involucrados con el transporte no se continuó con el proyecto. Cabe nombrar que para incentivar a la población se obsequiaba una antena.

El municipio de Cuautitlán Izcalli, México recolecta pilas y baterías en distintos centros comerciales y una vez acopiados 16 toneladas se dispondrán en un centro de confinamiento ubicado en San Luis Potosí. Sin embargo el programa no funcionó por causa de la poca participación y falta de información.

3.2.4 RECICLADO DE COMPONENTES DE PILAS Y BATERÍAS (Rentz, 2001)

Hay dos razones básicas para el reciclaje de baterías usadas, una tiene por objetivo evitar la introducción en el medio ambiente de elementos tóxicos, especialmente metales pesados que se encuentran en casi todas las baterías, disminuyendo así la presencia de éstos en el aire, la tierra y el agua. La otra razón se refiere a la recuperación de los componentes metálicos y otros componentes como plásticos los cuales pueden tener un interés económico.

Los procesos que se utilizan para la recuperación de los componentes de baterías son básicamente de 2 tipos: hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos (y en algunos casos la combinación de ambos). Se entiende por pirometalúrgicos aquellos procesos que se desarrollan a una temperatura entre 200ºC-3000ºC y por hidrometalúrgicos aquellos que se desarrollan en solución acuosa. Junto con éstos, algunos procesos mecánicos se utilizan para preparar las materias primas de entrada. Las ventajas y desventajas de cada uno de los diferentes tipos de procesos se muestran en el cuadro 3.1. En el cuadro 3.2 se resumen los procesos para el reciclaje de baterías

Cuadro 3.1. *Ventajas y Desventajas de los Procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos (Rentz, 2001)*

	PIROMETALURGIA	***HIDROMETALURGIA***
VENTAJAS	• Velocidades de reacción muy grandes. • Altas producciones en reactores relativamente pequeños. • Apto para recibir alimentaciones de minerales complejos. • Idónea para alimentaciones heterogéneas formadas por minerales de diversas procedencias	• Posibilidad de tratar minerales pobres e incluso marginales. • Alta selectividad y alto grado de separación en las reacciones químicas. • Alta pureza de los productos. • Fácil control y optimización. • Ausencia de polución por gases
DESVENTAJAS	• No apta para el tratamiento de minerales pobres. • Relativamente mala selectividad y poca eficacia en reacciones químicas de separación. • Procesos que transcurren, a menudo, en varias etapas. • Problemas medioambientales con los residuos gaseosos y el ruido.	• Velocidades de reacción lentas. • Poca producción por reactor. • Sensible a variaciones en la composición de la alimentación. • Problemas en la eliminación y almacenamiento de los residuos sólidos generados. • Problemas con las aguas residuales

3.2.4.1 Mercurio en Baterías Álcali/Manganeso, Cinc/Carbón y Cinc/aire

Un problema económico en el reciclaje de las baterías usadas lo constituye la presencia de Hg. El Hg a bajas temperaturas pasa a la fase gaseosa, por lo tanto, las instalaciones de tratamiento para los gases residuales utilizan como tecnología estándar un filtro de lecho fijo con carbón activado para evitar que el Hg se libere a la atmósfera.

En algunos de los procesos se separa el Hg y otras sustancias tóxicas como las dioxinas por medio de la dosificación de un adsorbente como material activo en la corriente de gases residuales que después se deposita en los filtros. El grado de reducción para el Hg en el gas residual (en las instalaciones de incineración de desechos) es para las dosificaciones de carbón mayor de un 85% con costos de alrededor de $2-$3/ton y para los filtros de lecho fijo mayor de 99% con costos de alrededor de $50/ton.

Los costos de reciclaje de baterías con Hg son superiores a los de deposición en rellenos sanitarios y a los costos de reciclaje en aquellas plantas que utilizan como material de entrada baterías sin o con un bajo contenido de Hg. Para las plantas que utilizan baterías libres de Hg los costos de reciclaje están al mismo nivel o en algunos casos son menores que los asociados a disposición en rellenos sanitarios.

Antes se utilizaba el Hg en los ánodos de las baterías de Zn como un inhibidor de la emisión de los gases en las celdas y de este modo se disminuía la autodescarga de éstas. Desde 1985, los principales fabricantes de baterías en el mercado europeo

han realizado trabajos de investigación y desarrollo para disminuir el contenido de Hg. Desde 1994, los productores fabrican baterías libres de Hg (menos de 5 ppm), sin embargo algunas baterías importadas de otros países como de Asia antes del año 2000 mostraban un contenido superior a este valor así como otras que se recolectaban pero que fueron fabricadas años atrás cuando el contenido típico de Hg en éstas era de 130 ppm; por esa razón a partir del 01/01/2000 la Unión Europea puso como valor límite el contenido de Hg en las baterías de 5 ppm.

Asia antes del año 2000 mostraba un contenido superior a este valor así como que se recolectaban pero que fueron fabricadas años atrás cuando el contenido típico de Hg en éstas era de 130ppm; por esa razón a partir del 01/01/2000 la unión Europea puso como valor límite el contenido de Hg en las baterías de 5 ppm.

Los principales productores de baterías en Europa marcan las baterías libres de Hg con un marca sensible a la radiación ultravioleta, para que sean identificadas en las instalaciones de clasificación automatizadas de baterías y de este modo se puedan reciclar rentablemente las fracciones separadas con alta pureza. Por ejemplo en Alemania se ha logrado un incremento de la cuota de reciclaje de 33% en el año 2000 a 70% en el 2005.

3.2.5 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA EL RECICLAJE DE BATERÍAS QUE CONTIENEN Zn (Rentz, 2001)

Las baterías con los sistemas químicos Zn/aire, Zn/MnO2 y Zn/C tienen un alto contenido de Zn por lo tanto además de evitar su deposición recuperar el Zn tiene una gran importancia.

El reciclaje de estos sistemas de baterías en las plantas de producción existentes de la industria metalúrgica no ferrosa, ferrosa y del acero se expondrá a continuación, además se presentarán procesos especializados para el reciclaje de baterías con alto contenido de Hg como por ejemplo Batrec-Sumitomo y el proceso de oxidación reducción de Citron S.A. Por ejemplo en el proceso de VALDI se reciclan baterías con contenido de Hg en un horno de arco eléctrico para obtener aleaciones de hierro. Estos procesos son en comparación con la deposición en rellenos sanitarios para desechos especiales muchas veces más caros por lo tanto en Alemania los sistemas de recolección para estas baterías por motivos económicos están más dirigidos a la eliminación que al reciclaje.

Cuadro 3.2. *Resumen de los procesos para el reciclaje de baterías (Rentz, 2001)*

Proceso	Ejecutor	Lugar (país)	Capacidad de recup.	Sistema de batería
Proceso de Fundición Imperial	MIM Hüttenwerke Duisburg GmbH, Duisburg	Duisburg (Alemania)	>3500 ton/año 10 ton/día	Baterías que contienen Zn (sin Hg)
Proceso Wälz	B.U.S. AG, Duisburg	Freiberg (Alemania) y otros lugares	algunos miles de ton/año por lugar	Baterías que contienen Zn (sin Hg)
Proceso Batrec-Sumitomo	Batrec Industry AG, Wimmis (Suiza)	Wimmis (Suiza)	5000 ton/año	Baterías que contienen Zn
Horno de arco eléctrico de baja cuba (para la producción de aleaciones férricas)	VALDI, Feurs, Le Palais, (Francia)	Feurs (Francia), Le Palais (Francia)	15000 ton/año	Baterías que contienen Zn
Proceso DK (Altos Hornos para la producción de Fe crudo por vertido)	DK Recycling und Roheisen GmbH, Duisburg	Duisburg (Alemania)	algunos miles de ton/año	Baterías de Zn (sin Hg)
Horno de arco eléctrico de baja cuba (para la producción de acero)	Varios en E.U.A, Reino Unido, España y Holanda	Alblasserdam (Holanda), Sheerness (Reino Unido), Alabama (USA)	1-3% de la materia prima miles ton/año	Baterías que contengan Zn (sin Hg)
Proceso Erachem	Revatech S.A Erachem Europe	Lüttich (Bélgica) Tertre (Bélgica)	3000-4000 ton/año	Baterías que contienen Zn
DMA	Chemtec Austria	Simmering (Austria)	3000 ton/año	Baterías que contienen Zn y Li
Horno Dörschel	ABR GmbH Arnoldstein, Austria	Arnoldstein (Austria)	miles ton/año	Baterías que contienen Zn
Proceso de Oxidación - Reducción	Citron S.A Rogerville (Francia)	Rogerville (Francia)	130,000 ton/año	mezcla de baterías Ni/Cd, NiMH
Proceso RVD	ACCUREC Recycling GmbH, Mülheim a.d. Ruhr	Mülheim a.d. Ruhr (Alemania)	2,500 ton/año	Ni/Cd, NiMH
Destilación, pirólisis	S.N.A.M. Francia	St. Quentin-Fallavier, Viviez (Francia)	8,000 ton/año	Ni/Cd, NiMH
Destilación, pirólisis	SAFT AB, Oskarshamn (Suecia)	Oskarshamn (Suecia)	1500 ton/año (con una introducción 100% de los acumuladores de la industria)	Ni/Cd
Proceso de Horno giratorio	Inmetco, Ellwood City (USA)	Ellwood City (USA)	3,000 ton/año	Ni/Cd, NiMH
Proceso de reutilización NIREC	NIREC Recycling GmbH, Dietzenbach	Dietzenbach (Alemania)	1000 ton/año	NiMH
Reciclado Térmico al vacío	GMR, Leipzig	Leipzig (Alemania)	750-1000 ton/año	Botones y baterías de Hg
Reciclado Térmico al vacío	NQR, Lübeck	Lübeck (Alemania)		Botones y baterías de Hg
Proceso MRT	Trienekens AG, Greven-broich	Grevenbroich (Alemania)		Botones y baterías de Hg
Proceso ToxCo	ToxCo, Trail (Canada)	Trail (Canada)	3500 ton/año	Baterías de Li

3.2.5.1 Proceso Imperial de Fundición (Imperial-Smelting Process ISP)

Más del 80% de la producción mundial de Zn (10-10.6 millones de ton para el año 2006) se producen por medio de procesos hidrometalúrgicos, el otro 20% se produce por medio de procesos pirometalúrgicos que se enfocan especialmente en el reprocesamiento de materiales de residuos y desechos así como de otros materiales secundarios. El 12% de la producción mundial de Zn se produce por medio del ISP. Recientemente se están utilizando las baterías como materia prima en el ISP.

La empresa alemana Huettenwerke Duisburg GmbH que pertenece al consorcio australiano Mount ISA Minning (MIM) opera una planta con el proceso ISP desde 1965 en Duisburg, Alemania para obtener Zn y Pb a partir de materias primas primarias (concentrados de sulfuro de Cinc, procedentes de minas) y secundarias como óxidos de Zn y Pb (de las baterías), cenizas de Zn y polvos del proceso Wälz. En esta planta se produce un promedio de 100,000 ton/año de Zn, 35,000 ton/año de Pb y 125,000 ton/año de H2SO4, utilizándose 125,000 ton/año de materias primas primarias, 125,000 ton/año de secundarias y 100,000 ton/año de coque.

Los pasos principales del proceso ISP son:
- ✓ Oxidación del sinter (aglomerado de los concentrados sulfurosos del mineral) con suministro de energía en una planta de sinterización.
- ✓ Briqueteado en caliente de las materias primas oxidadas (especialmente materias primas secundarias)
- ✓ Introducción de materiales en el horno imperial de fundición
- ✓ Refinación térmica del Zn
- ✓ Vertido

La carga al horno se realiza por la parte superior mezclando las materias primas que contienen Zn con el coque precalentado. La introducción de las baterías al proceso no lleva ninguna preparación previa pero se debe remover las cubiertas plásticas a las baterías de gran tamaño. Las baterías de equipos (tamaño pequeño) se introducen en el horno de la misma forma que los materiales portadores de Zn: el sinter y las briquetas calientes.

Al cargarse las baterías junto con los materiales calientes se ablandan y forman una capa que se separa de los otros materiales secundarios. Los materiales sólidos oxidados que se introducen bajan hasta la parte inferior del horno y a través de boquillas se burbujea aire caliente en contra corriente. Los productos oxidados son reducidos por el coque y el monóxido de carbono que se forma. El Zn y el Cd salen del horno en fase gaseosa son atrapados por una neblina de Pb que actúa como absorbente. Después se separa el Pb y el Zn por medio de una disminución de la temperatura en un serpentín de enfriamiento. Se forman 2 fases: una de Pb y otra de Zn. El Zn pasa a una etapa posterior de refinación para separarlo del Cd. El Pb que se obtiene en el ISP está mezclado con escoria, éstos se separan a través de diferencia de densidades calentándolos. Parte del Pb entra de nuevo al ciclo del proceso para utilizarse como absorbente y la otra parte se vende para su refinación.

En cada carga se introduce 10 ton de baterías/día que equivale del 1 al 2% de la masa de la mezcla que se introduce en el horno.

3.2.5.2 Proceso Wälz

B.U.S. AG, es una de las mayores compañías para el reciclaje de los desechos metálicos en Europa. Opera en Alemania y en otros países el proceso Wälz para el reciclaje de polvos de los hornos de arco eléctrico (EAF por sus siglas del inglés Electric Arc Furnace). De este modo a partir del proceso se obtiene un polvo (óxido Wälz) rico en Zn (50-60%) y con 7-13% de Pb. Éste óxido se utiliza como materia prima secundaria en la producción de Cinc obteniéndose además escoria la cual se utiliza para la construcción de calles y caminos. El Proceso SDHL (por sus siglas del alemán Saage, Dittrich, Hashe und Langbein) en Freiberg, Alemania es un proceso Wälz mejorado que permite introducir baterías.

El proceso inicia almacenando los materiales en forma de polvo en silos; mientras que los materiales sólidos, los materiales húmedos así como los polvos de la producción de acero que han sido pre-peletizados son almacenados en el depósito de materiales crudos.

Los productos en forma de polvo se mezclan en una planta de peletización con coque y aditivos y pasan al horno a través de un silo alimentador. Los materiales sólidos así como los pre-peletizados pasan del depósito directamente al silo de alimentación del horno o si fuese necesario a la planta de peletización.

El horno de Wälz consiste en un tubo de 40 m de longitud, 3.6 metros de diámetro y gira a 1.6 rev/min. Durante las vueltas, la carga se traslada dentro del horno de 4 -6 horas, se seca y se calienta de 1100 ºC -1200 ºC, los óxidos metálicos se reducen. El Zn y el Pb se evaporan y salen juntos en la corriente de gas del proceso, se mezclan con aire del proceso y se oxidan nuevamente.

El gas residual del proceso pasa a una cámara de polvo en la cual las partículas más grandes se depositan y son introducidas nuevamente en el tubo de Wälz. El resto del gas se introduce a una cámara de mezcla de gases donde se separan las demás partículas metálicas enfriando el gas residual de 800 ºC a 350 ºC y así comienza a depositarse el Óxido de Wälz. Antes de pasar el gas a los filtros de tela metálica, se enfría en un radiador tubular plano a 135 ºC, donde se deposita el oxido.

El último tratamiento que se le realiza al gas residual del proceso consiste en suministrarle un adsorbente (Polvo de Carbón, Carbonato de Calcio, Hidrato de Calcio) a 120 ºC para separar las dioxinas y el Hg. El adsorbente cargado se deposita en los filtros de mangas.

Con el proceso SDHL a diferencia del Wälz se logra un ahorro energético, disminuyéndose el consumo de gas y Coque. Hay plantas de Wälz en: Freiberg, Duisburg (Alemania), Francia, Mailand (Italia) se reciclan 20,000 toneladas de

baterías al año. El inconveniente de este proceso consiste en que el electrodo de Carbón de algunas baterías y el acero de la cubierta de las baterías no se recuperan, y pasa a formar parte de la escoria.

3.2.5.3 Proceso Batrec -Sumitomo

La empresa Batrec Industrie AG en Wimmis, Suiza acepta baterías de diferentes tipos para su reciclaje. Por medio de una clasificación manual separa las baterías de Li, Ni/Cd, NiMH, así como otros desechos que no son baterías y las entrega a otras empresas que las reciclan. También separan las baterías tipo botón y las envía a una instalación específica para recuperar el Hg.

Con las restantes baterías de Zn/C y alcalinas (Zn/MnO_2), la empresa Batrec AG utiliza el proceso mejorado que inicialmente fue desarrollado por la firma Sumitomo Heavy Industries (en 1994 tenía una capacidad de reciclar 2000 ton de baterías/año). Este proceso tiene varias etapas que se realizan separadamente. Primero los materiales de entrada (baterías) son calentados de 600-750ºC en una cuba con aire caliente reductor durante 4 horas, y se someten a una pirólisis. Los materiales orgánicos así como el Hg se evaporan.

El gas pasa a una cámara de incineración donde se calienta hasta alrededor de 1000 ºC para lograr la oxidación total de la mezcla. Después pasa a un área de enfriamiento con agua donde se reduce la temperatura bruscamente hasta los 60 ºC para evitar la formación de dioxinas. El gas residual húmedo es purificado de los metales pesados, de los hidruros de halógenos, así como los óxidos de azufre. El Hg es condensado del gas por medio de otro enfriamiento y se purifica junto con los lodos separados por medio de una destilación.

Las baterías que fueron pirolisadas son introducidas a un horno de fundición donde se calientan a 1500 ºC por medio de energía eléctrica, de este modo se reducen los metales y se funden adicionándoles Carbón y Óxido de Mg. La fase líquida que surge está compuesta básicamente de Fe y Mn y en la fase gaseosa se encuentran vapores de Zn que se condensan al entrar en un condensador de Zn.

Del horno de fundido se separa el FeMn y la escoria por medio de diferencia de densidades y pasan a la máquina de vertido. El FeMn se utiliza en las plantas de acero como uno de los componentes de la aleación.

Del condensador de Zn se obtiene una mezcla de Óxido de Zn y CO que después de ser lavada se debería utilizar para producir Zn directamente, sin embargo este producto se introduce nuevamente a la etapa de pirólisis ya que el CO se utiliza como suministrante de energía. Los polvos y lodos obtenidos en el tratamiento del gas residual se introducen también en el horno de pirólisis, sobretodo para obtener el Hg presente aún por medio de destilación.

El producto principal del proceso es el FeMn que tiene un contenido de Mn del 25-40% (El contenido de Mn depende de los sistemas químicos que se reciclen) Otro producto que se obtiene es el Zn y el Hg. La calidad del Zn depende de los sistemas que se reciclan, En el caso del Hg con una destilación se ofrece un producto de alta pureza.

La capacidad de reciclaje del proceso en 1999 era de 3000 ton de baterías, estaba planificada aumentarla a 5000 para bajar los costos por debajo de 3125 $/ton. El objetivo es aumentar el contenido de Mn en el FeMn para vender mejor este producto. Este proceso es un proceso rentable ya que recibe subsidio por parte de las autoridades suizas por reciclar las baterías.

3.2.5.4 Proceso con Horno de Arco Eléctrico ejecutado por VALDI

VALDI es una sociedad entre las compañías AFE Metal y TREDI. Fue creada desde el año 1997 para la recuperación de productos complejos que contuvieran Cu como polvos, óxidos, hidróxidos, lodos, catalizadores y baterías. En Feurs, Francia VALDI recicla baterías en un horno de arco eléctrico de 3.5 MVA con una capacidad de fundido de 1.5 Ton/h. Además de esta instalación en Feurs VALDI utiliza otro horno en Le Palais, Francia con una capacidad de fundición de 3 ton/h.

VALDI se ocupa de recuperar baterías de los sistemas: alcalinas (Zn/MnO_2) y Zn/C así como las baterías con un límite en el contenido de Hg inferior a 500 ppm. El resto de las fracciones (NiMH, NiCd) que son separadas por una empresa asociada que realiza la clasificación se envían a las empresas que se encargan de reciclar estos sistemas.

Las baterías con una dimensión mayor que los 50 mm primero se rompen para que se introduzcan mejor en el horno de arco eléctrico, la carga de las baterías se realiza de forma automática y continua, se adiciona el resto de las baterías después que existe una porción ya fundida. Junto con las baterías se agrega en el horno de forma continua una mezcla de cal, óxido de aluminio y silicio así como el material desechado de fuegos artificiales que contiene dolomita la que actúa como medio de reducción del dióxido de manganeso y facilita la formación y mejora la separación de la escoria.

El Mn se une al hierro y a los componentes de acero presente en las baterías y forman ferro- manganeso que es posible verter y forma barras para su posterior venta. La escoria desde el año 2000 se entrega a otras compañías para recuperar los componentes de minerales presentes y parte de los alcalinos y halógenos.

El Zn de las baterías se evapora en el horno a altas temperaturas cerca de 1600ºC, se oxida en la corriente de gas y se separa en el filtro. Además del Zn se separan en este sistema de purificación del gas residual (consistente en un depósito de aire frío, un filtro de tela metálica y la introducción de carbón activado) componentes en forma de polvo como Hg unido al Zn.

El depósito para enfriamiento por aire frío al inicio del sistema de purificación del gas residual permite un enfriamiento brusco de 1100ºC a 200ºC para evitar la formación de dioxinas y furanos.

Este proceso incrementó la capacidad de recuperación del año 2000 al 2002 de 1500 ton de baterías a 15000 ton.

3.2.5.5 Proceso DK

DK Recycling und Roheisen (DK) en Duisburg, Alemania es una empresa importante de reciclado en la industria metalúrgica y química, procesa anualmente 400,000 ton de materiales para obtener hierro fundido. La empresa DK opera como principales componentes de su planta una banda de sinterizado y dos altos hornos.

El sinterizado consiste en ingresar las piezas a un horno con temperatura controlada que no exceda el punto de fundición del metal. A esta temperatura los enlaces mecánicos entre los polvos obtenidos por el compactado se transforman en enlaces metalúrgicos, dándole así sus principales propiedades de resistencia.

Dentro de las diferencias principales del proceso DK con los procesos convencionales de altos hornos están: el uso casi exclusivo de materiales secundarios para la obtención de hierro fundido y el suministro de temperaturas mayores. El gas de la fundición tiene una temperatura mayor que en los procesos tradicionales, de forma tal que el Zn permanezca en la fase gaseosa.

En dependencia de la composición que se busque del Fe fundido, se realiza la combinación química de la mezcla de sinterizado. Hay que tener especial atención con el contenido de los metales no ferrosos y álcalis así como de la cantidad de partículas de pequeño tamaño. El proceso DK trabaja con una variedad de mezclas de sinterizados no solamente con uno homogéneo como el resto de los procesos. Así se puede alimentar el horno con diferentes materiales de entrada y lograr la calidad del Fe deseada.

Productos que se pueden utilizar como materias primas en el proceso son:
- ✓ Polvos de filtros y lodos de los tratamientos de gases residuales
- ✓ Polvos y lodos de fundición
- ✓ Residuos de calcinación, de electrodos
- ✓ Lodos y polvos de molinos rotatorios
- ✓ Materiales que contienen Fe de la industria ferrosa y no ferrosa

El 50% del Fe crudo que sale de los altos hornos es mezclado posteriormente con aditivos para aleación en un horno de inducción para obtener la composición deseada para la venta del Fe fundido. En este horno el C actúa como portador energético, como reductor y protector anticorrosivo del Fe.

Para obtener la calidad deseada del Fe los limites en los contenidos de Ti, Cr, As y P deben ser controlados. A raíz del alto contenido de Zn presente en los materiales de entrada y a su vez en el sinterizado, se puede obtener un concentrado rico en Zn que se separa de los lodos del gas de la fundición del alto horno y se vende para ser utilizado como materia prima para la producción de Zn.

Hasta el 2001 fue probado este proceso usando baterías libres de Hg dentro de ellas las de Zn/C y las alcalinas ya que contienen materias primas que permiten que se le adiciona al hierro contenido en el acero, Manganeso, Cobre y otros metales que le agregan valor.

El C presente en las baterías se utiliza como medio de reducción en los altos hornos permitiendo una disminución en el consumo de coque. El Potasio de los electrolitos pasa a formar parte de la escoria de los altos hornos.

La capacidad del proceso para la recuperación de las baterías no se ha determinado exactamente sin embargo, se supone que sea de unas cuantos miles de ton anuales.

3.2.5.6 Proceso con Horno de arco eléctrico (Electric Arc Furnace EAF)

Además del sistema clásico de acero crudo que se hace a través de una banda de sinterizado y de los altos hornos crece la utilización de los hornos de arco eléctrico, usando como materia prima la chatarra. En Alemania en 1997 se producía el 24.1% de la producción total de acero (45 millones ton) con la tecnología EAF.

La ventaja de este sistema con respecto a los anteriores es que es más flexible permitiendo que varíe el contenido de la chatarra desde 0-100%. Otra ventaja de este proceso es que se puede producir pequeñas cantidades rentablemente. En Europa (Inglaterra y Holanda) así como en USA se hicieron algunos experimentos para la introducción de baterías de Zn/C y alcalinas libres de Hg con resultados positivos. En Alemania hasta el año 2001 no se conocía de la introducción de baterías en este tipo de hornos.

En el futuro se van a introducir las baterías en estos procesos como materias primas porque económicamente ayudan a bajar el costo de producción del acero. Una premisa para la aprobación del uso de baterías alcalinas y de Zn/C en este proceso, es un sistema de separación del Hg en el gas residual, que solamente utiliza una Quenche y un filtro de tela metálica.

Los EAF tienen una capacidad de alimentación de 70-140 ton. Del tamaño depende la potencia que se utiliza en el proceso. Grandes hornos trabajan con una potencia promedio de 700-800 KVA/ton para obtener acero líquido.

El proceso en un horno de arco eléctrico se divide en las siguientes etapas:
- ✓ *Carga*
- ✓ *Fundición*

- ✓ *Fase de oxidación (periodo de enfriamiento)*
- ✓ *Fase de desoxidación (periodo de refinamiento y reducción)*

La carga se produce cuando por un lateral se introduce: la chatarra, baterías, Fe crudo, Fe esponja, minerales y aditivos. Se realizan de 2 -3cargas, mientras se funde.

Cuando se tapa el horno se hunden los electrodos de grafito y se produce el arco eléctrico para fundir los metales. Para disminuir el consumo de energía se burbujea oxigeno o mezclas de gases combustibles para acelerar la fundición.

La oxidación se realiza después de la fundición, el objetivo es la disminución del contenido de C en el fundido, se burbujea oxigeno en el baño y se disuelve el mismo reaccionando con el C y con los metales presentes formando óxidos (FeO y MnO) y extrayéndolos de la escoria.

El próximo paso es quitar la escoria que flota en el fundido virando el horno y vertiendo este contenido, finalmente el acero líquido se separa a una temperatura entre 1600-1650 ºC.

.

El paso principal de este proceso es la fundición de los elementos que contienen el Fe en especial la chatarra. Hay que prestar atención a la selección de la misma y en casos especiales darle un pre-tratamiento y limitar el contenido de los elementos que están en trazas y que acompañan al Fe en el acero. Elementos como el Cu, Sn, Cr, después que están en el horno es imposible separarlos. En el caso de las baterías hay que tener en cuenta el contenido de Cu.

Es un gran problema determinar analíticamente el contenido de las chatarras, por lo heterogéneas que son. Se ha establecido una clasificación por categoría de acuerdo a la edad y al origen y se han establecido límites en el contenido de algunos elementos, de forma tal que se puedan establecer condiciones de suministros entre la industria del acero y el mercado de chatarra. Los elementos como Cd y Hg no pueden estar presentes.

Además de la escoria, los polvos constituyen en este proceso un producto de desecho considerable. Estos polvos se forman de metales o compuestos metálicos que se evaporan y al enfriarse el gas residual se condensan. Se componen principalmente de SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, Fe metálico y compuestos no ferrosos. Se encuentra también aleaciones de Ni y Cr.

Es significativa la presencia alta de Zn en la producción de acero, sobre todo de la industria automovilística y el plomo de la industria de las pinturas anticorrosivas.

3.2.5.7 Otros procesos

3.2.5.7.1 Proceso Erachem

La empresa Revatech S.A opera en Lüttich, Bélgica desde 1993 un proceso mecánico para el reciclaje de las baterías usadas, tiene una capacidad de 3000-4000 ton baterías al año. Al principio solamente reciclaban los componentes metálicos, desde 1998 se le realiza un tratamiento mecánico a los componentes plásticos y son usados como portadores energéticos en las fábricas de cemento. Desde 1998 hay un trabajo conjunto con la empresa Erachem Europe para reutilizar las baterías que contienen Zn, Mn o compuestos de éstos.

De la mezcla de baterías se separan de las baterías primarias (Zn/C y alcalinas) los botones y los acumuladores y se entregan a un reprocesador especializado.

Las baterías que contienen Zn se trituran y se dividen en 3 fracciones, una que contiene acero con metales no ferrosos (Zn), otra plástica y la tercera de masa negra. La fracción metálica se entrega a los que compran chatarra, la plástica se utiliza en la producción de cemento. La masa negra que representa el 60% de los productos de entrada está formada básicamente de Zn, Mn y C así como de compuestos de estos elementos y se le aplica un proceso a baja temperatura hidrometalúrgico.

Primero se separan los restos de los electrolitos por medio de un lavado alcalino, posteriormente se realiza una filtración separando las sales solubles; después con una solución reductora que contiene Ácido Sulfúrico y otros reactivos se obtiene Sulfato de Zn y de Mn solubles

El residuo de la solución alcalina de lavado que contiene 25% de la masa de las baterías se solidifica y se depone. La mayor parte de este depósito se compone de C pero no puede usarse directamente como portador energético por la posibilidad de tener contaminación con Hg y Cd.

De la solución alcalina que contiene la mezcla de sulfato de Zn y Mn se separa por medio de precipitaciones y filtraciones algunas impurezas como el Hg (250-500 ppm), el Cd y el Ni. No obstante, que en el proceso se utilizan proporciones variables en la masa de baterías se puede operar muy establemente logrando con la mezcla del álcali y de mineral de Mn, que también se utilizan como materiales de entrada, una proporción deseada de Mn y Zn.

En 1999 en un Congreso sobre reciclado de baterías en Deauville, Francia se presentó y se generaron dudas sobre el cumplimiento de las regulaciones medioambientales debido a que las baterías que contienen Hg cuando se realiza la trituración de forma mecánica se produce un aumento de la temperatura que hace posible que se evapore Hg y el proceso no cuenta con sistema de extracción y purificación de gases residuales, además no hay valores de los gases de emisión.

El proceso Erachem (parte hidrometalúrgico) está aprobado en Bélgica para una capacidad de reciclaje de baterías de 3500 ton/año. Los costos de la parte húmeda del proceso son de 3-5 veces el costo de deposición en Alemania (200 DM/ton en dependencia del sistema de batería). La empresa Erachem Europa además de cooperar con Revatech lo hace con otras compañías en la clasificación y en el tratamiento mecánico de las baterías.

3.2.5.7.2 Proceso DMA (Planta para quitar Hg)

Es la primera instalación que existe en Austria para el reciclaje de baterías, desde 1998 opera en unión con la empresa EBS (por siglas del alemán Entsorgungsbetriebe Simmering)

Desde abril del año 2000 se emplea de forma regular en el reciclaje de baterías de Zn/C, alcalinas y otras más: Zn/aire y Li. La capacidad de la instalación es alrededor de 3000 ton/año. Lo más significativo del proceso es un tubo rotatorio con un diámetro de 0.9 m., 7 m de largo en el cual se pueden separar a 600-700 ºC en fase gaseosa elementos tóxicos como el Cd y el Hg.

El residuo incandescente, que está formado por Mn, Zn y Fe se tritura, divide y envía para su posterior reutilización por ejemplo, el Zn se envía a una Planta de Zn en Alemania y la chatarra de Fe y Mn a Linz en Austria para la producción de acero. Las barras de grafito de las baterías se emplean como medio de reducción en la producción de metales.

El gas del proceso se quema nuevamente y los metales pesados se condensan de la corriente gaseosa, a continuación la corriente de gas se trata en las instalaciones de EBS. La EBS utiliza la única instalación para quemar desechos especiales en Austria y ofrece dos hornos de tubos rotatorios así como otros tres hornos de lecho fluidizado que se utilizan para quemar lodos. Para la instalación del reciclado de baterías se hizo una inversión de € 2.33 millones y el costo del reciclaje de batería por ton es de € 875.

3.2.5.7.3 Proceso con Horno Dörshel

En colaboración con la Unión Europea la empresa Asamer-Becker Recycling GmbH, en Arnoldstein, Austria desarrolló un concepto para el reciclaje de las baterías que consiste en utilizar dos hornos rotatorios Dörschel, un horno de lecho fluidizado, una planta para el tratamiento de las aguas residuales, un depósito y otras instalaciones auxiliares (por ejemplo una instalación para la obtención de Hg así como diferentes etapas del proceso hidrometalúrgico)

En la Planta se deben recuperar baterías usadas de Zn-C y alcalinas independientemente el contenido de Hg. Primero se trituran y después se tratan térmicamente en el horno rotatorio. El gas de salida que contiene elementos tóxicos

como Hg y Cd se purifica en varias etapas: primero pasa por un lavado ácido y alcalino, después por una etapa de condensación, un reactor y finalmente por un filtro de carbón activado; así algunos elementos tóxicos como el HCl, el SO_2 son lavados y el Hg en forma elemental puede ser recuperado y vendido.

El residuo del tubo rotatorio va a separarse por medio de un tamizado magnético en fracciones de: chatarra de hierro, chatarra de metal y óxido de batería. Las chatarras se venden como productos a las correspondientes empresas que las procesan y el óxido de batería que queda, con un contenido superior al 30% de Zn es posteriormente procesado en la Planta del horno Dörschel.

El agua del proceso de lavado de gases será tratada con carbón activado y filtrada para su posterior purificación en la Planta de aguas residuales. El carbón activado cargado con Hg se introduce nuevamente en el horno rotatorio.

En la instalación del horno Dörschel se recuperan metales pesados que provienen de productos de desecho como lodos galvánicos o polvos de la industria del acero, por medio de las reacciones a altas temperaturas de oxidación- reducción. Aquí también se va a reprocesar el óxido de batería que proviene del horno de tubo rotario.

Los óxidos de Cinc se reducen y el Zn metálico se evapora así como los elementos presentes en menores cantidades: Pb y Cd. La escoria que queda en el horno precipita en el baño de agua formando un granulado que se va a almacenar o se va a utilizar en la construcción de calles. El Zn evaporado se oxida nuevamente y se extrae de la corriente de gases residuales del horno. El óxido metálico se separa a través de una planta con filtros de manga y es procesado posteriormente con hidrometalurgia. En la hidrometalurgia van a aislarse aquellos productos que puedan venderse presentes en los residuos de los filtros oxidativos.

Los óxidos de estos productos se disuelven en H_2SO_4 y se separan por medio de procesos de precipitación, sedimentación, filtración y electrolisis. Se obtienen concentrados de los productos que serán procesados posteriormente en las plantas especializadas entre ellos de: Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, Co, y Germanio metálicos.

3.2.6 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE MEZCLAS DE BATERÍAS (Rentz, 2001)

Existen muy pocos procesos en el mundo especializados en reciclar sistemas de baterías mezclados. La excepción es el proceso suizo de oxidación-reducción que se ejecuta en Francia por CITRON S.A (Centre International de Traitement et de Recyclage des Ordures Nocives).

De forma general se trata de evitar procesar mezclas de baterías de todos los sistemas con el fin de mejorar la calidad de los productos que se desean recuperar.

3.2.6.1 Proceso oxidación-reducción

La empresa CITRON nació en Suiza en 1991. Esta empresa desarrolló un proceso para la recuperación de los metales pesados presentes en los desechos. En 1999 Primero en una planta piloto con una capacidad de material de desecho a procesar de 1000 ton/año, luego la capacidad subió en el mismo año a 23,000 ton/año y a 130,000 ton/año en el año 2000. La planta no fue diseñada solamente para reprocesar baterías sino también para otros productos de desecho como catalizadores, restos de chatarra de automóviles, lodos de lijadoras y productos orgánicos cargados con metales pesados.

Una diferencia de este proceso como ya se mencionó es que no es necesario hacer una separación de la mezcla para el procesado, sin embargo si se ha llegado a la conclusión que una mezcla de productos similares en las cargas es necesario para una mejor calidad en el producto que se recupera. Por ejemplo tanto el Cd como el Pb deben de ser separado cuando sea posible de la mezcla que se introduce en el sistema y se deben llevar a reprocesadores especializados como Inmetco. Un punto importante del proceso es el horno de quemadores rotatorios que es una licencia de la compañía norteamericana Inmetco.

El objetivo del proceso es obtener concentrados metálicos que se puedan utilizar en plantas como materia prima para obtener metales.

Los productos de entrada van a ser transformados a una forma que satisfaga las exigencias mecánicas de la planta, esto se logra a través de la creación de pelets, trituración, fragmentación y secado. Se deben de agrupar en este paso grupos de desechos similares y se deben mezclar con carbón como medio de reducción y con cal seca.

Con las materias primas de entrada preparadas se carga un horno de solera giratoria (con diámetro de 19 m y un ancho de 5 m) compuesto de 18 quemadores los cuales permiten lograr un calentamiento hasta 1400 ºC. Las sustancias orgánicas son pirolizadas y en el avance del proceso van a ser quemadas. La mezcla de salida así como el gas del proceso son dirigidos en una corriente continua. Al inicio del quemador se va a producir un proceso de reducción y a la salida un proceso de oxidación debido a que el flujo del aire para la combustión va ir incrementándose en toda la superficie del quemador desde el inicio hasta la salida de la corriente de gas. A través del suministro del carbón y de los componentes orgánicos se reducen los óxidos metálicos e hidróxidos metálicos compuestos con bajo punto de ebullición como el Zn, Cd, Pb y Hg se evaporan y con la excepción del Hg salen del horno de solera giratoria oxidados. La mayoría de las sales van a irse también en la corriente de gases.

Los óxidos metálicos (el componente principal es el óxido de Zn que se obtiene en forma de polvo y va a ser utilizado para la producción de Zn en otros lugares) salen del quemador en forma de finas partículas sólidas y se separan de la corriente de gases a 1100 ºC formando un agregado, esos óxidos tienen valor comercial. Las

altas temperaturas en ese paso permiten que los óxidos separados no se contaminen con las sales ni con el Hg.

La mayoría del Hg se condensa y se separa en la primera etapa después de los lavados húmedos. El resto del Hg se va junto con otros componentes y va a ser separado después de varios pasos con un tratamiento químico por destilación y se obtiene un Hg con una alta pureza. Los residuos de la destilación van a reciclarse nuevamente en el horno de solera giratoria. Las sales que se separan en el proceso de lavado de los gases residuales (NaCl y KCl) se eliminan con las aguas residuales purificadas.

El producto sólido del horno de solera giratoria se va a cargar en un recipiente frío para evitar una reoxidación de los metales reducidos. En dependencia de los materiales de entrada se van a usar diferentes técnicas para procesar esos materiales como trituración, tamizado, separación magnética y separador ciclón para aislarlo por fracciones comerciales; por ejemplo en una carga de Ni-MH se puede producir un concentrado de Ni-Co que sirve como medio de aleación en la industria del acero o en una mezcla de ZnC y alcalinas se puede producir un polvo de óxido de Mn que se utiliza en la industria de producción de hierro.

La mayor parte de energía que se utiliza para el proceso procede del quemador del horno de solera giratoria y la otra parte de la energía del carbón que se utiliza como medio de reducción. Con este proceso se puede al menos procesar 7,000 ton/año de desechos con metales pesados. La carga al medio ambiente por este proceso introduciendo baterías es baja. La cantidad total de polvo así como de sustancias orgánicas en los gases residuales es menor a 10 mg/m^3 y el de Cd y Hg está limitado a 0.05 mg/m^3. Un problema del proceso son las grandes distancias que es necesario transportar las baterías hasta la planta. Los parámetros del agua residual con relación a las sales están en correspondencia con las normativas de medio ambiente.

El proceso no genera otros desechos además de las emisiones presentes en el aire y en el agua. Para el reciclaje de baterías de uso domésticas CITRON recibía entre 670-1228 $/ton en el año 2001 por parte de la GRS, fundamentalmente se transportan a Francia de Alemania baterías de los sistemas: alcalinas, Zn/C y Zn/Aire

3.2.6.2 Otros Procesos

Procesos que se ejecuten para el reciclaje de mezclas de baterías no clasificadas actualmente no se ejecutan a escala industrial. Los procesos para la recuperación de baterías tienen el objetivo por lo general de obtener productos reciclados con alto valor lo cual implica que se utilicen materiales de entrada homogéneos. Hay una gran diferencia en el grado de complejidad en los procesos cuando hay impurezas en las fracciones de las baterías que cuando las fracciones de baterías están puras porque han sido clasificadas.

3.2.7 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE ACUMULADORES DE Ni-Cd (Rentz, 2001)

Desde el punto de vista económico está como prioridad la recuperación de los acumuladores de Ni-Cd y está creciendo debido a los altos precios del Ni.

Los procesos para recuperar los contenidos metálicos presentes en las baterías primarias son en todos los sistemas químicos exceptuando las baterías que contienen plata insuficiente para cubrir los costos que precisa los sistemas de recolección por lo tanto los procesos para recuperar baterías de Ni-Cd recientemente se han desarrollado. En el caso de las baterías industriales (de gran tamaño) se han implementado sistemas de recuperación desde hace tiempo debido a que es más económica la recolección de las mismas, como el proceso SAFT.

Hay otros procesos para el tratamiento de desechos en especial de polvos que provienen de la industria del acero donde se pueden reprocesar baterías que contengan Ni tal es el caso del Proceso Inmetco. En Alemania se recuperan las baterías de Ni-Cd a través del proceso RVD de la empresa ACCUREC GmbH.

3.2.7.1 Proceso RVD

ACCUREC GmbH se fundó en Mülheim a.d. Ruhr, Alemania en 1995 con el objetivo de desarrollar un proceso para recuperar acumuladores de Ni-Cd a nivel industrial y recuperar baterías de Ni-MH y baterías de Li.

Durante 2 años estuvo produciendo en una planta piloto con una capacidad de 500 ton/año. La capacidad se aumentó en 1998 a 1100 ton de Ni-Cd y se amplió para reciclar Ni-MH. Después se hizo otra ampliación de la capacidad a 2500 ton/año de Ni-Cd, Ni-MH y baterías de Li. Se introdujo el proceso RVD que fue desarrollado hace algunos años en colaboración con la empresa ALD Vacuum Technologies GmbH. En Alemania se procesan baterías que contiene Hg con el proceso RVD así como otros desechos.

Las materias primas principales que se utilizan en ACCUREC actualmente son acumuladores industriales de Ni-Cd y baterías para equipos de Ni-Cd. 2/3 de la masa corresponde a baterías industriales de Ni-Cd y 1/3 a baterías de equipos de Ni-Cd, además se pueden introducir desechos de la producción de Cd cuando se fabrican acumuladores.

Los procesos para la recuperación de las baterías Ni-MH en esencia son idénticos a los de baterías Ni-Cd. En el caso de las de Ni-MH en lugar de una destilación de Cd se va a producir una eliminación del H ya que ese elemento no debe estar presente en el metal recuperado que va a ser utilizado en la producción de acero.

En el reciclaje de las baterías de equipo de Ni-Cd se pesa con exactitud el material después de una nueva clasificación posterior al control de entrada. La cubierta de

plástico de los paquetes de baterías (battery packs) se separan mecánicamente antes de la introducción al horno, sin embargo las celdas individuales se introducen directamente. Después de la destilación al vacío se separan las fracciones de Cd y de chatarra de Ni-Fe (níquel-metal) en el condensador. La carga introducida en el horno se trata durante suficiente tiempo hasta que se ha establecido con seguridad que el resto del Cd en la chatarra de Ni-Fe es lo suficientemente baja para que se pueda utilizar la misma en la industria de acero. La empresa que ejecuta el proceso logra un resto de Cd en el contenido entre 5 y 300 ppm, de este modo se obtiene un producto de alta calidad.

Los acumuladores industriales se desarman primero manualmente y se les separa el electrolito. Con la ayuda de máquinas semi-automáticas se realiza la trituración mecánica. Después con una clasificación, los componentes que contienen Cd se cargan en un recipiente de acero en el horno y son conducidos a una destilación al vacío.

Los desechos de producción son clasificados de acuerdo el material, secados y compactados de forma tal que se obtenga un mejor aprovechamiento de espacio y tiempo.

Las baterías de los equipos de Ni-Cd así como las cubiertas de material sintético de las battery packs se cargan en un recipiente de acero dentro del horno inductivo caliente. El horno se cierra y el aire presente en el recipiente del horno se extrae. El posterior proceso físico-químico de evaporación y condensación se realiza al vacío para minimizar la cantidad de gases residuales. Otra ventaja del vacío es el ahorro energético porque no obstante que la bomba de vacío consume energía, la energía que se utiliza para calentar la carga va a ser menor al tener menor presión en el horno ya que el Cd se evapora a bajas temperaturas.

El proceso RVD trabaja a una presión por debajo de 30 mbar. La separación del electrolito así como los hidrocarburos presentes en el material que se cargan en el horno se da a una temperatura entre 100 y 150 ºC. Finalmente alrededor de 750 ºC, el óxido de Cd es reducido a Cd metálico que se evapora dentro del horno gracias a la introducción en la carga de un medio de reducción. En un condensador enfriado con agua va a depositarse el Cd de la fase gaseosa y forma un bloque sólido de Cd. El proceso desde la evaporación del Cd hasta la condensación toma 5 horas y en total para la carga es necesario 8 horas. Después el contenido de Cd en la chatarra Ni-Fe es significativamente pequeño para que ésta se utilice en un posterior reciclaje.

El proceso de separación del Cd al vacío (realmente a baja presión) está asociado con las ventajas del tratamiento de los gases residuales así el flujo que pasa a través de un filtro de carbón activado es realmente pequeño (menor de 70 lt/h).

La forma en que está construido el horno realmente cerrado genera pocas afectaciones en los puestos de trabajo. A raíz de la alta amigabilidad del proceso con el medio ambiente así como el bajo consumo energético en comparación con los otros procesos que se utilizan para el reciclaje de las baterías de Cd este proceso va

a ser evaluado especialmente bien en lo que se refiere a daño al medio ambiente e inversión de recursos.

Este proceso está formulado para que el material de entrada se componga de fracciones de baterías puramente clasificadas cuando se persigue reutilizar el Cd que se ha recuperado. En especial baterías que contengan Zn interfieren en todo el proceso de reciclaje ya que el Zn tiene un punto de evaporación muy bajo y se evapora y condensa junto con el Cd esto conllevaría un paso adicional de separación el cual es no rentable a los precios actuales del Cd.

Los costos de recuperación de las baterías de Ni-Cd por el proceso RVD no pueden solo cubrirse con lo que se rescata de los productos de reciclado por lo tanto los suministradores de las baterías usadas tienen que pagar un costo de recuperación.

Además de la ventaja (valor económico) de recuperar materias primas de valor con el reciclado se evita enviar las baterías a depósitos especiales que implicaría pagar un impuesto por las baterías de Cd en Alemania entre 400-500 DM/ton que está por encima de los costos de reciclaje.

3.2.7.2 Destilación de Cadmio.

Société de Nouvelle D Affinage des Métaux (SNAM) es una subsidiaria del grupo alemán F.W. Hempel y del belga Floridienne Chimie S.A. Recicla desde 1977 baterías de Ni-Cd, desechos y residuos de producción. En el 2001 desarrollaron posibilidades de reciclar baterías de ión Li y Ni-MH.

Las baterías de equipo de Ni-Cd (celdas individuales) después que pasan por la etapa de clasificación automática en las modernas instalaciones para separación pueden cargarse directamente en el horno de pirolisis. Las baterías industriales se fragmentan manual o automáticamente y se introducen los componentes que contienen Cd solamente para evitar pérdida de capacidad en el horno e inversión en energía.

Las cubiertas plásticas de las battery packs se destruyen con un molino de martillo y pasan por una etapa de separación magnética para separar las fracciones de plástico del Cd el cual se introduce en el horno de pirólisis para después pasar a la destilación.

El horno de pirólisis se calienta con gas de 350-500ºC, trabaja por lotes, cada carga que se introduce es de 4 ton de baterías bajo condiciones de reducción durante 14 horas. La mayor parte de los componentes de plástico de las baterías se transforman en hidrocarburos líquidos o se carbonizan. Los gases residuales del horno se queman con un sobre flujo de oxígeno a 900 ºC, después se purifican a través de un lavado húmedo y de un filtro de carbón activado limitando el valor de salida de Cd al aire menor a 30 µg/m3.

Las baterías pirolisadas son finalmente comprimidas y serán cargadas en un horno de destilación de forma cilíndrico, en esos hornos también se reciclan lodos y residuos que contengan Cd. Los hornos de destilación tienen un diámetro de 1.6 m y una altura de 2.3 m y el volumen útil de 600 L por lo tanto para una carga el material de entrada tendrá un peso de 400-1200 Kg. El horno tiene una camisa que lo permite calentarse a 900 ºC de forma tal que el óxido de Cd se reduce y se evapora el Cd.

El Cd se condensa en la parte baja de un área del horno que tiene elementos de enfriamiento y sale mediante gotas. También de la corriente de gases residuales se separan agua y aceites que no estaban en el material pirolisado, por lo general el Cd que se obtiene se destila nuevamente para lograr una mayor pureza, el residuo que queda en el horno de destilación de Fe-Ni demora 8 horas para que se enfríe y tiene un contenido de Cd de 0.1-0.5%

Según ACCUREC estas baterías contienen un 25% de Cd, el resto son KOH, la cubierta y el electrodo de Ni.

En dependencia del material que se introduce, el agente reductor que se utiliza en el horno de destilación es carbón vegetal. La capacidad para el reciclaje de las baterías Ni-Cd y Ni-MH en el año 99 era de 4,000 ton/año pero se esperaba un crecimiento hasta 8,000 ton/año. Los costos de reciclaje son para las de Ni-Cd de 1.15 €/Kg y para las de NiMH de 0.3-0.75 €/Kg.

3.2.7.3 Destilación de Cd.

La empresa sueca SAFT AB tiene su sitio de producción de acumuladores industriales de Ni-Cd desde 1917 en Oskarshamn, Suecia, Ha reciclado baterías de Ni-Cd así como otros materiales similares. Las baterías que ellos producen son comercializadas en el mundo entero. Una gran parte de chatarra de baterías de este sistema químico se regresa a Suecia y otra parte se recicla en otras instalaciones.

El desarrollo del proceso que se utiliza actualmente comenzó desde 1978. Desde 1986 se aplica a escala industrial. Primero se recuperaban esencialmente los acumuladores industriales pero ya se están recuperando en las instalaciones de reciclaje cada vez mas baterías de equipo de Ni-Cd, sin embargo para estas últimas la eficiencia del proceso no es óptima. Esto condujo a que a partir de 1996 se amplió la instalación con otra etapa separada de pirólisis.

Grandes acumuladores industriales de Ni-Cd se destruyen manualmente, las placas negativas con un contenido de Cd de 20-25% se lavan y se secan. Un crisol se llena con las placas junto con coque y se introduce dentro del horno de destilación a 900ºC durante 24 horas. El Cd que destila se hace líquido y gotea en agua y forma pequeños pelets. Este Cd reciclado se utilizará para la producción de nuevos acumuladores.

En el caso de las pilas de Ni-Cd de equipos antes de entrar al paso de destilación pasan por una pirólisis en las cuales se separan a 400ºC el electrolito y los componentes plásticos que se van en la fase gaseosa. El gas residual de la pirólisis se incinera, se lava y se filtra antes de ir a la atmósfera. Esta incineración ocurre a 1200 ºC y con un suministro excesivo de Oxigeno para evitar la formación de dioxinas.

Como en las baterías de equipo la posibilidad de incorporar Hg al proceso no es absolutamente cero, se ha incorporado como seguridad un filtro después de la etapa de pirólisis.

El contenido energético liberado por los gases de la pirolisis va a ser utilizado en las instalaciones de la producción a través de un intercambiador térmico.

Además de los procesos pirometalúrgicos (pirólisis y destilación) se van a utilizar pasos de procesos hidrometalúrgicos, estos sirven para el tratamiento de los filtros de los gases residuales cargados en los cuales se va a disolver la mayor parte de los metales pesados con H_2SO_4 a 60 ºC. En las etapas hidrometalúrgicas van a introducirse también aguas de lavado de otras etapas del proceso así por ejemplo los componentes contaminados con lodos en el desmontaje de los acumuladores industriales se lavan con H_2SO_4 y se eliminan las capas de carbonato de las placas negativas.

El Cd obtenido después de una electrolisis se separa de la solución alcalina y finalmente se vuelve a introducir en el horno de destilación para refinarse. Del resto de la solución alcalina precipita primero $Fe(OH)_3$ y después los iones de Cd que no se separaron en el paso de la electrolisis en forma de sulfuro de Cd, el sobrante que queda es una solución de Ni-Co que se filtra y va a ser utilizada en la producción de baterías. El Sulfuro de Cd se introduce nuevamente en la solución para separar el Cd por electrolisis. A través del proceso se reciclan 800 ton/año de acumuladores industriales de Ni-Cd (la capacidad era de 1,500 ton/año en el año 1997) y 400 ton/año de baterías de equipo de Ni-Cd. Las emisiones de Cd son de 2 Kg/año, éstas se componen del Cd que se emite al aire a través de los gases residuales (1 Kg) y el Cd que se emite al agua residual (0.2 Kg). El contenido de Cd que queda en los restos de la destilación (0.01% de la masa total), así como el contenido de Cd que queda en las placas positivas (0.2-0.4%).

3.2.7.4 Proceso de Solera giratoria con reducción directa

International Metal Reclamation Company, Inc (Inmetco), es una subsidiaria del consorcio INCO y radica en Ellwood City, USA. El objetivo de este proceso es la obtención de hierro esponja (Como Fe esponja se entiende un producto sólido que contiene un alto contenido de metales en especial Fe y que puede ser reducido con la introducción de elementos como carbón, gas natural y petróleo) y una fracción enriquecida con metales no preciosos a través de una reducción directa de los residuos que contienen altas concentraciones de metales de la industria del hierro, acero y en los últimos tiempos de reciclaje de las baterías que contienen Ni. El

principio de este proceso consiste en aglomerar en pelets diferentes residuos de las fundiciones con métodos de reducción y reducirlos a hierro esponja en el horno de solera giratoria.

El hierro esponja como producto del proceso puede utilizarse en diferentes lugares (planta de acero, Horno de arco eléctrico). La primera aplicación a gran escala de este proceso fue el reciclaje de restos de sustancias de la industria del acero (Cr/Ni). Se realizaron estudios y se probó la aplicación de este proceso para el procesamiento de sustancias residuales de la producción de acero a gran escala. Así el proceso Inmetco ofrece la posibilidad de un reciclado y deposición de varios residuos de fundiciones que de lo contrario por su alto contenido en Zn, Pb, álcali o aceites se pudieran solamente bajo condiciones muy especiales, o sencillamente no se pudieran introducir en los procesos de las fundiciones.

La instalación existente en los EUA se amplió para reciclar los acumuladores de Ni-Cd. Así se importó de Europa la tecnología disponible (SAFT) para separar el Cd antes de introducir los restos de Ni-Fe en el horno de solera giratoria. Los principales pasos del proceso son los mismos que en el CITRON S.A.

En la zona de reducción del horno se reduce el carbón existente del pelet y pasa de óxido de hierro a hierro esponja. De este mismo modo se reduce el Zn y el óxido de Pb. Ellos se evaporan y se reoxidan en la corriente del gas residual que en la purificación de este gas se separa un concentrado de polvo de Zn y Pb.

A través de la oxidación del monóxido de carbono en la zona de reducción va a desprenderse energía térmica que se va a usar para el calentamiento del horno. Una ventaja decisiva de este tipo de horno es que el amontonamiento en el plato de rotación no se produce y se desarrolla una producción de polvo mecánico mínima menor de 0.5% del material de entrada; esto permite que los óxidos de Zn y Pb se puedan separar de los gases residuales en forma de un polvo enriquecido en estos óxidos y se puedan utilizar en la industria metálica no ferrosa con una pureza del 99% para el Zn y 80% para el Pb. El gas residual del proceso abandona el horno con una temperatura de 1100ºC alrededor del 40% de éste es utilizados para el precalentamiento del aire de la combustión. El resto que queda va a ser utilizado para la producción de vapor que se utiliza para secar los productos que entran con diferente humedad.

Al final de la circulación el hierro esponja se extrae del horno en ausencia de aire para evitar la reoxidación. La fundición del hierro esponja se realiza junto con otras sustancias en el horno de fundición de arco eléctrico.

Las baterías suministradas van a clasificarse primero manualmente, donde las baterías que no contienen Ni se separan y se le devuelven al suministrante, las baterías de Ni-MH se introducen directamente al horno de solera giratoria, las baterías de Ni-Cd de equipos se trituran y junto con los componentes plásticos de los acumuladores industriales de Ni-Cd se someten a una "oxidación térmica". Este paso del proceso se realiza en un horno rotatorio calentado con gas natural en el cual los

componentes orgánicos (plástico, papel) se separan en la fase gaseosa. El contenido calórico de este gas de proceso va a ser utilizado en otras partes de la instalación (en el horno de solera giratoria) finalmente las baterías se someten a una destilación (ver proceso SAFT) en el cual se obtiene Cd y un residuo de la destilación Ni-Fe, este residuo finalmente se procesa en un horno de fundición de arco eléctrico y se obtiene una aleación de Ni-Cr-Fe que va a utilizarse para la producción de acero.

El Cd se obtiene en forma de pequeñas esferas y se vende con tres calidades diferentes de acuerdo al grado de pureza. Otro producto secundario es la escoria que se va a utilizar como material de construcción en las calles.

El primer paso del reciclaje de los acumuladores industriales de Ni-Cd es quitar el electrolito y separar las celdas. Esa solución fuertemente básica (electrolito) se va a usar para regular el pH en las aguas residuales. Los acumuladores son cortados en la parte superior donde las placas de Ni y Cd se desmontan y se separan. Las placas positivas (Ni) se reducen de tamaño en una trituradora y se introducen en el horno de solera giratoria. El hierro esponja que se obtiene finalmente se introduce en el horno de arco eléctrico y se funde obteniéndose una aleación para la producción de acero.

Las placas negativas se someten a una etapa de destilación para separar el Cd y se le agrega una pequeña cantidad de Carbón como agente reductor. El hierro que se obtiene como residuo de la destilación es triturado y se introduce al igual que las placas positivas en el horno de solera giratoria y finalmente en el horno de arco eléctrico.

La capacidad de reciclaje en el año 99 era superior a las 3,000 ton, pero la capacidad es hasta 10,000 ton/año.

3.2.8 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA EL RECICLAJE DE ACUMULADORES DE Ni-MH. (Rentz, 2001)

Es muy rentable el reciclaje de los acumuladores de Ni-MH especialmente porque en comparación con los de Ni-Cd hay un ahorro intensivo en los costos porque se ahorra tiempo y energía al no ser necesaria una destilación para separar Cd. Antiguamente se limitaba el reciclaje de estos acumuladores en la reutilización del Ni y el Fe pero diferentes compañías han desarrollado trabajos para la utilización de los otros elementos como el Co y metales de las tierras raras.

3.2.8.1 Proceso NIREC

La empresa NIREC Recycling GMBH se ocupa del reciclaje del Ni desde los años 80 está ubicada en Dietzenbach, Alemania. El objetivo de esta empresa es obtener una mezcla (pre-aleación) a partir de restos y desechos que contienen Ni que a su vez se va a utilizar como un medio de aleación en la producción del acero ferro-níquel.

NIREC desde hace algún tiempo es un socio de la Sociedad ZVEI. Las baterías recolectadas, clasificadas, separadas y empacadas son enviadas para sus procesamientos posteriores por ejemplo los acumuladores de Ni-Cd son procesados en procesos específicos para eliminar el Cd a través del proceso SNAM o ACCUREC el resto de la destilación que contiene un bajo contenido de Cd es usado junto con las baterías de Ni-MH y pedazos de chatarra que fueron triturados para formar parte de la mezcla que se utiliza para el proceso NIREC. Pedazos grandes de chatarra se trituran antes de ser introducidas al proceso.

Primero los productos de entrada que fueron suministrados pasan por un control visual, son pesados, se le toma muestra y se le analiza la composición química en un laboratorio propio de la empresa. En correspondencia con los requerimientos que quiere la empresa que acepta la prealeación se van a mezclar los restos de sustancias y los residuos individuales de acuerdo a una receta preelaborada. Se mezclan intensamente en un tambor mezclador, del mezclador se llena inmediatamente un recipiente de acero con la prealeación y se tiene cuidado que siempre tenga el mismo peso, estos recipientes se introducen completamente en la producción de acero. Las baterías de Ni-MH contrario a las baterías de Ni-Cd no poseen ningún elemento que no le permita su introducción directa a la producción de acero sin embargo, las baterías de equipos no pueden introducirse a la fundición de acero es necesario abrirla antes.

El proceso NIREC introduce un molino cortador. El contenido de Hidrógeno alrededor del molino tiene que ser continuamente observado y si sobrepasa un valor definido de explosión hay que desconectar el molino hasta que el valor baje.

3.2.8.2 Proceso RVD

Este proceso se utiliza también para el reciclaje de acumuladores de Ni-MH. La diferencia principal con el proceso para el reciclaje de acumuladores de Ni-Cd es que en el punto de la destilación de Cd va a realizarse una desorción de hidrógeno, igual que los acumuladores de Ni-Cd el producto que se obtiene de este reciclaje con contenido de Ni será empleado con un apropiado medio de aleación en la producción de acero inoxidable.

3.2.8.3 Otros procesos

Procesos que se utilizan para el reciclaje de acumuladores de NiMH son el proceso de oxidación reducción de CITRON, el proceso INMETCO en los Estados Unidos y la planta SNAM. En todos estos procesos el objetivo principal es la recuperación del Ni en una forma de producto que se puede utilizar en la producción del acero inoxidable. A raíz del alto valor del cobalto y de las tierras raras en las baterías de Ni-MH las empresas desarrollan variantes de proceso y alternativas para obtener estos elementos y con el valor que se rescata en la venta de los mismos poder cubrir los costos de recuperación del proceso.

3.2.9 PROCESOS Y COMPAÑÍAS PARA RECICLAJE DE BATERÍAS DE Hg (Rentz, 2001)

La mayor parte de todo el mercurio que se produce se utiliza en la electrolisis de cloro- álcali, en la industria de la fabricación de baterías, en equipos electrónicos, artículos de laboratorio, equipos de medición, y rellenos dentales. Se ha logrado una disminución en la producción de Hg a partir de los minerales en las últimas décadas gracias al reciclado de productos utilizados con contenido de Hg, influenciados por razones de protección ambiental y también porque en muchos campos de aplicación la introducción del Hg se ha limitado.

Para el reciclaje de las baterías que contiene Hg se ha utilizado la propiedad del Hg de tener una alta presión de vapor (a presión normal el punto de ebullición del Hg es de 357 ºC) y de este modo se separa el Hg en la fase gaseosa de las baterías. Así el residuo que queda libre de Hg en dependencia de los productos que contiene puede usarse en la industria del acero o eliminarse de una forma no contaminante a través de disposición en el relleno sanitario. En Alemania se ejecutan procesos de reciclaje especializados para los baterías tipo botón que contienen Hg. De forma general estas instalaciones no son únicamente para el procesamiento de botones sino también para el tratamiento de otros desechos que contienen Hg. Los costos de estos tratamientos están en dependencia del tipo de desecho y de la cantidad que se suministre. Por ejemplo para una mezcla de botones oscila entre 6.50-12.50 Marcos/Kg. Los rellenos sanitarios especiales no ofrecen ninguna alternativa de disposición para baterías con alto contenido de Hg. Una fuente grande de chatarra de Hg la han constituido el desarme de las plantas de Cl por vía electrolítica al pasar a la tecnología de membrana.

3.2.9.1 Proceso VTR

Gesellschaft für Metallrecycling (GMR) en Leipzig, Alemania se ocupa desde el año 91 del reciclaje de materiales que contienen Hg. Primero se limitaba el material de entrada debido a que el volumen del destilador que utilizaba era relativamente poco. Desde 1998 utiliza la una planta de VTR (Vakuumtechhnische Recyclinganlage). Planta para el reciclaje técnico al vacío que utiliza un volumen de 3 m^3 y permite la introducción de grandes piezas. Dentro de los desechos que pueden introducirse están rectificadores de corriente, tubos de emisión, manómetros, encendedores, termómetros, lámparas de encendido, botones, tierras, chatarra de construcción, chatarra amalgama, chatarra de la producción de gas natural, chatarra de la electrolisis de cloro- álcali.

El recorrido del proceso se compone de la siguiente manera: los desechos que contienen Hg se clasifican y se separan y de ser necesario son tratados mecánicamente. En dependencia de la posibilidad ya desde aquí gran parte del Hg se separa y la cantidad a destilar es menor. Después que las cargas apropiadas se han establecido, se llenan los recipientes y se les cierran las puertas, el material va a ser calentado a temperatura 300-650 ºC a diferentes bajas presiones hasta menos de

1 mbar. El hecho de bajar la presión para que baje el punto de ebullición permite bajar el consumo energético y mejores rendimientos en las capacidades instaladas. Para evitar que sustancias orgánicas dañinas así como compuestos de Hg pasen a la corriente del gas residual se le suministra oxigeno para que se produzca una incineración posterior al recipiente donde sale el gas residual a una temperatura entre 800-1000ºC.

El vapor del Hg va a condensarse por medio de condensadores, se obtiene un Hg crudo que en varias etapas de refinación se purifica hasta 99.9999% y se va a comercializar. El residuo que queda en el recipiente que prácticamente está libre de Hg tiene menos 10 ppm va a utilizarse en correspondencia de su composición en procesos para la producción de metales o eliminarse de forma no dañina en los depósitos.

La capacidad de la planta está entre 750-1000 ton/año. Los costos de procesamiento están ente 1000-2000 Marcos/ton.

3.2.10 PROCESOS Y EMPRESAS PARA EL RECICLAJE DE BATERÍAS QUE CONTIENEN Li (Rentz, 2001)

El Li se utiliza tanto para los acumuladores como en las baterías primarias (Li-Dióxido de azufre, Li-Thionylchlorid, Li-óxido de manganeso, Li-Hierro). Lo más complejo para el reciclaje es cuando el Li se encuentra en forma metálica ya que el Li como todos los metales alcalinos es muy reactivo y cuando se abre la cubierta de la batería y entra agua se producen combustiones, por lo tanto la recolección y reciclaje de baterías con contenido de Li hay que hacerla respetando recomendaciones de seguridad. La GRS aconseja que polos de las baterías de Li consumidas especialmente aquellas del sector de fotografía se aíslen con cinta adhesiva antes de recolectarse.

3.2.10.1 Proceso Toxco

Desde 1993 opera en Trail, Canadá la empresa Toxco Inc (1984) un nuevo proceso para la recuperación de las baterías de Li, este proceso es capaz de reciclar todos los tipos de baterías de Li independientemente de su tamaño o sistema químico, es decir, desde las baterías clásicas para equipos hasta las baterías especiales del sector militar con un peso superior a los 250 Kg. Las baterías de Li se separan por sistema y tamaño y se almacenan hasta su procesamiento en un bunker de concreto, el procesamiento comienza con la separación del material de empaque y se enfrían las baterías sumergiéndolas en un baño con nitrógeno líquido, el tiempo de enfriamiento está en correspondencia con el tamaño de las baterías y va desde 1 hasta 24 horas. Gracias a la baja temperatura (el punto de congelación del nitrógeno es -196ºC) se logra evitar la reactividad del Li y de este modo se pueden realizar todos los pasos de procesamiento sin peligro no obstante según exigencias de la firma la mayoría de los pasos de trabajo son realizados con control estricto para la

seguridad del trabajador. Las baterías congeladas van a ser cortadas y trituradas y después se le adiciona una solución alcalina (NaOH).

Las baterías van a ser conducidas en dependencia del tamaño hasta dos procesos más de fragmentación y reacción con NaOH de forma tal que ocurra la reacción completa de los componentes reactivos. El Hidrógeno que se libera es controlado en la superficie del baño a través del contacto con el Li que está flotando encendido y se quema. El Li y las sales de Li en el NaOH se disuelven y precipitan, los restos en el álcali (chatarra de metal y plásticos) en el tanque se separan después de la disolución del Li y pueden ser conducidos a otros procesos de reciclaje o eliminados. El Li precipitado va a comercializarse como carbonato de Li. La capacidad de procesamiento en el año 99 fue de 3,500 ton en dos turnos de trabajo. Si las baterías de Li contienen Co este también se recupera, se supone que sea a través de soluciones y precipitaciones provocadas.

3.2.10.2 Otros Procesos

La compañía británica AEA Technology Batteries desarrolló y patentó un proceso para el reciclaje de las baterías de Ión Li. En el año 2001 existía una planta de demostración pero no se había realizado una aplicación industrial. El proceso se desarrolla en tres etapas que son la extracción del electrolito, la disolución de los electrodos y la reducción del Co.

Las celdas se trituran inicialmente en una atmósfera inerte y son tratados con un solvente muchas horas hasta disolver el electrolito que está dispensado dentro de los poros de los electrodos y en los separadores, así la disolución que se obtiene se evapora a bajas presiones de este modo se puede recuperar el solvente y el electrolito. La temperatura en ese paso no puede sobrepasar los 80ºC porque sino las sales de Li se mezclarían con el electrolito de este modo la selección del solvente es muy reducida.

Los electrodos van a disolverse al sumergirse en un solvente dentro de un baño en movimiento a 50 ºC. De este modo se separan las partículas de los electrodos del resto quedando Cobre, Al, acero y plástico, los cuales se separan por sus propiedades físicas (densidad, magnetismo) las partículas de electrodo que están suspendidas en el solvente se separan a través de una filtración.

La reducción electroquímica del Co se realiza a las partículas de los electrodos que fueron filtradas (mezcla de óxido de Li y Co) convirtiéndose el Li presente en las partículas en una solución acuosa de LiOH para evitar de esta manera la formación de Hidrogeno y reduciéndose el Co (III) a Co (II).

3.2.11 ELIMINACIÓN NO PERJUDICIAL DE BATERÍAS USADAS NO RECICLADAS (Rentz, 2001)

Siempre y cuando las baterías usadas no puedan ser recicladas por razones técnicas o económicas deben llevarse a depósitos para desechos especiales, ésta es la vía más amigable con el medio ambiente. La excepción son las baterías que contienen Li metálico debido a la gran reactividad de este metal son tratadas en plantas de incineración para desechos especiales. La deposición en los SAD cuesta en dependencia del operador del depósito entre 200-500 DM/ton. En el caso de las baterías de Li que no se llevan a SAD sino a las plantas para incineración de desechos especiales cuesta entre 1,400-3,700 DM/ton, esos costos incluyen el transporte y el almacenaje intermedio.

Los depósitos aunque estén bien equipados según el estándar de la técnica actual, no están configurados para ser amigables con el medio ambiente si eliminamos en ellos las baterías. Según las regulaciones medioambientales el objetivo de acuerdo a la posibilidad que exista es reciclar los desechos.

Un estudio del Departamento de Comercio e Industria de Inglaterra llegó al resultado que desde el punto de vista de protección medioambiental es más eficiente la mayor cantidad posible de las baterías de equipo recolectadas reciclarlas, es de esperar que gran parte de los rellenos sanitarios que se utilizan para eliminar baterías en el futuro disminuyan. Esto se debe a que por una parte existe la opción de reciclar las baterías álcali-mangan, Zn-C, Zn-aire libres de Hg para la industria del hierro y el acero y por otra parte va a existir una gran disminución del contenido máximo de los elementos tóxicos en las baterías en los últimos años (por debajo 5 ppm el Hg).

Los costos de reciclaje giran alrededor de los mismos costos de disposición por lo tanto argumentos económicos sólo tendrán sentido si se obtienen mayores cantidades de baterías para reciclaje, además el aumento de la separación automática de las mezclas de baterías recolectadas (clasificación con marca ultravioleta) ha permitido obtener cantidades mayores de fracciones de baterías más homogéneas de esta forma tienen más valor y más opciones de reciclaje que si en la actualidad la mezcla de baterías hubiese sido clasificada y las fracciones de las baterías separadas de una forma burda.

4. MARCO LEGAL ACTUAL PARA PILAS Y BATERÍAS

Según lo expuesto en el trabajo de Graduación "Un modelo de reconversión ambiental para empresas dedicadas a la fabricación de baterías para vehículos. Caso práctico: Baterías de El Salvador, S.A. de C.V."[4], debido a graves problemas que se hicieron evidentes a partir de la década de los 70 a 80, organismos internacionales como la ***ONU***, desarrollaron cierto nivel de conciencia. Si bien a lo largo del presente siglo y hasta 1972 se acordaron diversos tratados bilaterales y multilaterales en el campo del medio ambiente, la mayor parte de la legislación ambiental moderna parte aproximadamente de esa fecha, cuando tuvo lugar la ***Conferencia de Estocolmo, Suecia, sobre Medio Ambiente Humano, en 1972.*** El, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), es la institución concebida para poner en práctica la Declaración resultante y ha tenido un papel dinámico para el avance en esta materia en muchos países de América.

La Conferencia de Estocolmo constituyó un hito en términos de la *identificación de los problemas ambientales de carácter global y transfronterizos*, y estimuló la elaboración de un amplio número de tratados internacionales. *Veinte años después* la Conferencia de Río, en junio de 1992, marca una nueva etapa de *elaboración de tratados y programas de acción*, como resultado de haberse hecho más evidentes algunos problemas globales y de reconocerse en forma más clara las relaciones entre medio ambiente y desarrollo. Estos tratados de carácter global, así como muchos de los previos a Estocolmo, han sido ratificados por buena parte de los países de América, y por consiguiente hacen parte fundamental del derecho internacional ambiental de la región.

Existen y están en incremento problemas ambientales de carácter internacional, que requieren una acción colectiva. Estos problemas se originan en la *interdependencia entre los países por el uso de recursos naturales de interés común fronterizos,* las externalidades transfronterizas, las complejas vinculaciones intersectoriales (entre el medio ambiente y el comercio internacional, el incremento del consumo de combustibles fósiles, etc.) y la existencia de fenómenos de ubicación local pero de carácter universal.

Para el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligroso y su eliminación a nivel mundial, surgió el ***Convenio firmado en Basilea, Suiza,*** en marzo de 1989, ratificado por El Salvador el 5 de abril de 1991.

En las últimas décadas las organizaciones intergubernamentales internacionales se han constituido en los mayores generadores del *derecho ambiental global y regional*. Se ha conformado un gran cuerpo de derecho ambiental que *encuentra sus fuentes en los tratados y otros instrumentos internacionales, así como en declaraciones,*

[4] González, C., 2000.

guías y recomendaciones, que se relaciona directa o indirectamente con el medio ambiente.

Si bien el ***derecho público ambiental internacional*** *gobierna en forma primaria las relaciones entre los Estados,* no son su único sujeto, y las ***normas del derecho internacional*** *imponen también obligaciones de diverso grado a la comunidad internacional.* El PNUMA y la Conferencia de Río, han generado en la mayor parte de los países de América un salto cualitativo en materia de organizaciones públicas para la gestión ambiental y legislaciones ambientales nacionales.

"Una de las principales razones para buscar armonización o estandarización de las leyes internacionales, es la de *evitar que diferencia imperante* entre los esquemas punitivos vigentes en los países, y la *complacencia de las legislaciones penales* de algunos de ellos, estimulen y propicien la presencia de actores sociales dañinos al medio ambiente en estos últimos, dadas las "***ventajas comparativas***" que éstos ofrecen (que pueden ir hasta la impunidad absoluta), frente a otros países que cuentan con mecanismo sancionatorios más estrictos y graves. Lo anterior, está siendo promovido a nivel centroamericano, por el ex presidente de Costa Rica, José María Figueres, representante de la Fundación costarricense para el Desarrollo Sostenible."

En cuanto al aspecto sancionatorio, toda sociedad civilizada debe *agotar otras instancias de control social antes de acudir al derecho penal y a normas punitivas.* Sin embargo, a veces no se puede evitar dado el alto grado de inconsistencia y desinterés que aún existe en niveles estatal, empresarial y ciudadano en torno a la necesidad de protección ambiental y a la adopción de estrategias básicas para la construcción de una sociedad sostenible.

"*En Centroamérica*, la legislación ambiental, se encuentra dispersa, los recursos naturales son administrados y regulados en forma sectorial, según los diferentes usos que se le dan a esos recursos, produciendo traslapes jurisdiccionales, conflictos de competencia, dualidad, rivalidad y hasta celos institucionales en cuanto a su uso, manejo y aprovechamiento. Además, hay escasos instrumentos de control y aplicación. Algunas leyes son muy generales y otras remiten a reglamentos que no se aprueban oportunamente, lo que dificulta la aplicación de la ley."

Lo anteriormente mencionado fue tomado del trabajo de Graduación, de la Srita. Coralia Isabel González Magaña, "Un modelo de reconversión ambiental para empresas dedicadas a la fabricación de baterías para vehículos. Caso práctico: Baterías de El Salvador, S.A. de C. V. (RECORD)".

En base al diagnóstico realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), presentado en el reporte "Manejo Ambientalmente Adecuado Ácido-Plomo usadas en Centroamérica y El Caribe"[5], se tiene que en El Salvador, no existe una regulación exclusiva para el transporte y manejo de pilas y baterías

[5] Hernández, 2002.

usadas. En el Marco Legal de la Ley del Medio Ambiente, en el *Capítulo V*, titulado: ***Riesgos Ambientales y Materiales Peligrosos***, en los *artículos 58 y 60*, se hace referencia al manejo, transporte, almacenamiento y disposición final de los desechos peligrosos. A continuación se detallan los artículos 58 y 60 extraídos de la Ley del Medio Ambiente.

LEY DE MEDIO AMBIENTE. DIARIO OFICIAL República de El Salvador, América Central TOMO No. 339, NUMERO 79, San Salvador Lunes 4 de Mayo de 1998 (ANEXO I)

Desechos Peligrosos

Art. 58: El Ministerio, en coordinación con los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social, Economía y las municipalidades, de acuerdo a las leyes pertinentes y reglamentos de los mismos, regulará el manejo, almacenamiento y disposición final de desechos peligrosos producidos en el país.

Contaminación por sustancias, residuos y desechos peligrosos

Art. 60: Toda persona natural o jurídica que use, genere, recolecte, almacene, reutilice, recicle, comercialice, transporte, haga tratamiento o disposición final de sustancias, residuos y desechos peligrosos, deberá obtener el Permiso Ambiental correspondiente, de acuerdo lo establecido en esta ley.

Por otro lado, en El Salvador también se cuenta con el ***Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos (Anexo II),*** que como su nombre lo indica, trata en detalle todos los aspectos que se deben de tomar en cuenta para poder manejar los desechos peligrosos producidos en el país. Toda la gestión adecuada de Desechos peligrosos es ampliamente abordada en este Reglamento, así por ejemplo detalla las obligaciones que tiene tanto el importador como el exportador para poder realizar un embarque de desechos peligrosos, siempre y cuando también cumplan con los lineamientos establecidos en los Convenios Internacionales firmados por el país en esta materia, tal es el caso del ***Convenio de Basilea*** sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos sobre los Desechos Peligrosos y su Eliminación.

En los Capítulos III y IV de este reglamento se abordan los temas relacionados a la ***Generación de Residuos Peligrosos*** (responsabilidades y clasificación); en el Capítulo V los temas de ***Transporte, Almacenamiento, Disposición y Manejo Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos***. El Capítulo VII trata del ***Transporte Internacional De Desechos Peligrosos***. A su vez, en el Capítulo VIII que trata de ***Disposiciones Comunes para Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos***, en donde se detalla la forma de cómo identificar el Transporte de los desechos según el tipo de material y las propiedades que este contenga. Esta identificación es importante, ya que es una forma de comunicar tanto al transportista como a la población del contenido que se está transportando y así tomar las debidas precauciones del caso. A continuación se detallan los artículos 33 y 72 del reglamento que tratan del transporte de desechos peligrosos.

REGLAMENTO ESPECIAL EN MATERIA DE SUSTANCIAS, RESIDUOS Y DESECHOS PELIGROSOS[6]

Del Transporte

Art. 33: No es permitido el transporte de desechos peligrosos por vía aérea, excepto cantidades pequeñas que sean aceptadas por las empresas de transporte aéreo. En ese caso, para la emisión del Permiso Ambiental el titular de la actividad deberá presentar la aceptación por escrito de la empresa de transporte aéreo. Serán aplicables las restricciones al transporte de los desechos, contempladas en el Convenio de Basilea y en los demás instrumentos internacionales pertinentes, aplicables en El Salvador.

Control de Transporte

Art. 72: El transporte y los movimientos dentro del territorio nacional de sustancias, residuos y desechos peligrosos, deberán ser controlados, de acuerdo con las normas jurídicas nacionales, y tomando como base los procedimientos internacionales mencionados en el presente Reglamento y en instrumentos internacionales en la materia.

Cuando una sustancia, residuo o desecho sea trasladado a través de una frontera nacional, quien efectúa el traslado, deberá dar la información detallada acerca de su composición, rutas de desplazamiento, y seguro de daños y perjuicios a terceros. En el caso de los residuos peligrosos se deberán cumplir las obligaciones derivadas del Convenio de Basilea.

Dentro de toda la política nacional de medio ambiente y en cada uno de sus instrumentos jurídicos resalta de manera especial la forma adecuada de almacenamiento de las sustancias, residuos y desechos peligrosos, ya sea para, que la vía sea su reuso o reciclaje o procurar buscar un sitio de disposición final adecuado.

Actualmente en El Salvador, se está trabajando en elaboración y aprobación de la ***Norma de Transporte de Carga, Pesos, Dimensiones Y Seguridad Vial***, cuyo objetivo es regular el peso, dimensiones, capacidad, clasificación y señalización de los vehículos de transporte de carga; con el fin de brindar mayor seguridad a los que circulan por la red vial y disminuir el desgaste de la misma. Esta norma contribuirá en gran medida al regular el transporte de materiales peligrosos que circulen dentro del territorio nacional.

Si bien es cierto no existe un instrumento jurídico que exclusivamente ampare la recolección y transporte de las pilas y baterías, se puede notar que existen los instrumentos necesarios para poder crear una estrategia de recolección y transporte que se puede aplicar a este tipo de desecho.

---

[6] **DADO EN CASA PRESIDENCIAL:** San Salvador, a los treinta y un días del mes de mayo del año dos mil.

En nuestro país no existen incentivos económicos directamente establecidos que ayuden a promover un manejo integral de estos residuos peligrosos, sin embargo, dentro de los principios de política nacional de medio ambiente señalados en el artículo 2 de la Ley del Medio Ambiente, inciso l), señala: "*Adoptar regulaciones que permitan la obtención de metas encaminadas a mejorar el medio ambiente, propiciando una amplia gama de opciones posibles para su cumplimiento, apoyados por incentivos económicos que estimulen la generación de acciones minimizantes de los efectos negativos al medio ambiente*". También, dentro de la Ley del Medio Ambiente en el Capítulo VI se establecen las posibles vías de incentivos y desincentivos económicos.

LEY DE MEDIO AMBIENTE. DIARIO OFICIAL República de El Salvador, América Central TOMO No. 339, NUMERO 79, San Salvador Lunes 4 de Mayo de 1998 (ANEXO I)

Incentivos y desincentivos Ambientales

Art. 32: El Ministerio, conjuntamente con el Ministerio de Economía y el de Hacienda, previa consulta con el Consejo Nacional de Desarrollo Sostenible, elaborará programas de incentivos y desincentivos ambientales para facilitar la reconversión de procesos y actividades contaminantes, o que hagan uso excesivo o ineficiente de los recursos naturales.

Estos programas se incluirán, además en las leyes que contengan beneficios fiscales para quienes realicen procesos, actividades, proyectos o productos ambientalmente sanos o apoyen la conservación de los recursos naturales.

El Banco Multisectorial de Inversiones establecerá líneas de crédito para que el sistema financiero apoye a la pequeña, mediana y microempresa, a fin de que puedan oportunamente adaptarse a las disposiciones de la presente ley.

Apoyo a las actividades productivas ambientalmente sanas

Art. 33: El Ministerio estimulará a los empresarios a incorporar en su actividad productiva, procesos y tecnologías ambientalmente adecuadas, utilizando los programas de incentivos y desincentivos, y promoviendo la cooperación nacional e internacional financiera y técnica.

Por otro lado, también en el Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente también se aborda el tema de incentivos y desincentivos ambientales. Dichas propuestas, contemplan tanto incentivos económicos como ambientales para promover el manejo del uso de tecnologías limpias. En el Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente, en el Capítulo VI que trata de los Incentivos y desincentivos económicos, en el Art. 54 señala los objetivos del programa de incentivos; a su vez, en el Artículo 55 establece los tipos de instrumentos que pueden tomarse en dicho programa de incentivos.

Actualmente, no existen establecidos incentivos económicos para que las empresas ejecuten procesos de producción más limpios o para que disminuyan los costos del tratamiento y/o recolección de desechos peligrosos. Sin embargo, existen incentivos

ambientales como por ejemplo, el Premio Nacional de Medio Ambiente, con el cual se ha motivado a las empresas a mejorar sus sistemas de producción, bajo el concepto de producción más limpia, lo cual incluye la gestión ambientalmente adecuada de los desechos. Las empresas pueden participar siempre y cuando tenga el Permiso Ambiental de Funcionamiento establecido en el Articulo 37 de la Ley del Medio Ambiente.

Se puede concluir, que dentro de las leyes ambientales se contempla la posibilidad de apoyar la gestión ambiental adecuada de procesos de producción y manejo de desechos vía incentivos económicos y ambientales. Directamente no existe ningún incentivo gubernamental para la gestión del manejo adecuado de las pilas y baterías usadas u otros desechos peligrosos.

En El Salvador existe una serie de leyes y reglamentos creadas con el objeto de contribuir a mejorar el medio ambiente, proteger los recursos naturales y la salud humana.

En materia de desechos peligrosos, antes de entrar en vigencia la Ley del Medio Ambiente, el 22 de abril de 1990 se firmó el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación, el cual se ratificó el 24 de julio de 1991, lo cual lo convierte automáticamente como ley de la República.

Asimismo, el 11 de diciembre de 1992 se firmó el Acuerdo Regional sobre el Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos, ratificado el 21 de enero de 1993. El Acuerdo lo constituyen los Gobiernos de las Repúblicas de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. El surgimiento de este acuerdo se debe a que se consideró que existe evidencia de gestiones por parte de personas naturales o jurídicas para la importación de Desechos Peligrosos hacia la región centroamericana y ante esta situación se reconoce la necesidad de tomar acciones inmediatas ante el tráfico ilegal de tales desechos en la región. Además, en dicho Acuerdo se reconoce la soberanía de los Estados para prohibir la importación y el tránsito de desechos peligrosos a través de sus territorios por razones de seguridad sanitarias y ambientales. Cabe mencionar que este Acuerdo sólo se aplicará al Movimiento transfronterizo de Desechos Peligrosos dentro de la región centroamericana. A continuación se mencionan algunas de las disposiciones establecidas en materia de tráfico y movimiento transfronterizo de desechos. Asimismo, La Ley del Medio ambiente en los *Art. 57 y 59* establece la prohibición de introducir desechos peligrosos al territorio nacional.

ACUERDO REGIONAL SOBRE EL MOVIMIENTO TRANSFRONTERIZO DE DESECHOS PELIGROSOS[7] (ANEXO III)

Obligaciones Generales

Art. 3:

1. Prohibición de Importar Desechos Peligrosos:

Los países centroamericanos firmantes de este Acuerdo tomarán todas las medidas legales, administrativas u otras que fueren apropiadas dentro de las áreas bajo su jurisdicción, para prohibir la importación y tránsito de desechos considerados peligrosos, hacia Centroamérica desde países que no sean partes de este Acuerdo.

Obligaciones relativas al Transporte y Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos generados por las Partes:

Las partes no permitirán la exportación de desechos peligrosos a Estados que hayan prohibido su importación, según su legislación interna, a al haber suscrito acuerdos internacionales al respecto, o si se considera que dichos desechos no serán manejados de manera ambientalmente saludable, de acuerdo a las pautas y principios adoptados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Tráfico Legal

Art. 4:

1. Se considera tráfico ilegal conforme se ha definido en este Acuerdo.
2. Cada parte impulsará normas específicas, en su legislación nacional, que impongan sanciones penales a todos aquellos que hubieren planeado, cometido o contribuido en dicho tráfico ilegal. Estas penalidades serán lo suficientemente severas como para castigar y desalentar dicha conducta.

LEY DE MEDIO AMBIENTE. DIARIO OFICIAL República de El Salvador, América Central TOMO No. 339, NUMERO 79, San Salvador Lunes 4 de Mayo de 1998 (ANEXO I)

Introducción, tránsito, distribución y almacenamiento de Sustancias Peligrosas

Art. 57: La introducción, tránsito, distribución y almacenamiento de sustancias peligrosas será autorizada por el Ministerio, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el Ministerio de Economía y el Consejo Superior de Salud Pública; un reglamento especial regulará el procedimiento para esta materia.

Prohibición de introducir Desechos Peligroso

Art. 59: Se prohíbe la introducción en el territorio nacional de desechos peligrosos, así como su tránsito, liberación y almacenamiento.

Dentro de la legislación ambiental del país se han establecido definiciones para categorizar cuando un material peligroso se convierte en desecho o residuo y cuando es sustancia, con el objeto de unificar terminologías y proceder adecuadamente según sea el caso. A continuación se presentan éstas definiciones.

[7] XIII CUMBRE DE PRESIDENTES DE CENTROAMERICA, Panamá, República de Panamá, 11 de Diciembre de 1992.

REGLAMENTO ESPECIAL EN MATERIA DE SUTANCIAS, DESECHOS Y RESIDUOS PELIGROSOS[8]

Art. 3: Residuo Peligroso: Material que reviste características peligrosas, que después de servir a un propósito específico todavía conserva propiedades físicas y químicas útiles, y por lo tanto puede ser rehusado, reciclado, regenerado o aprovechado con el mismo propósito u otro diferente.

LEY DE MEDIO AMBIENTE. DIARIO OFICIAL República de El Salvador, América Central TOMO No. 339, NUMERO 79, San Salvador Lunes 4 de Mayo de 1998 (ANEXO I)

Art. 5:

Desechos Peligroso: cualquier material sin uso o descartado permanentemente que por su actividad química o por sus características corrosivas, reactivas, inflamables, tóxicas, explosivas, combustión espontánea, oxidante, infecciosas, bioacumulativas, ecotóxicas o radioactivas u otras características, que ocasionen peligro o ponen en riesgo la salud humana o el ambiente, ya sea por si solo o al contacto con otro desecho.

Sustancia Peligrosa: Todo material con características corrosivas, reactivas, radioactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o con actividad biológica.

Por vía jurídica, en el país se cuenta con el ***Código Penal***, en el cual, en el ***Título X (Anexo IV)*** donde trata de Delitos Relativos a la ordenación del territorio, la protección de los recursos naturales y al medio ambiente, en el ***Art. 262, sección B***, también hace referencia al comercio y transporte de sustancias peligrosas. Este artículo reza de la siguiente manera: " El que comercialice, transporte o introdujere al país sustancias o materiales calificados como peligroso en los tratados internacionales o la Ley del Medio Ambiente, con infracción de las reglas de Seguridad establecidas, incurrirá en pena de prisión de seis a diez años."

En cuanto a la existencia de una regulación específica sobre el manejo adecuado de las pilas y baterías usadas, actualmente no existe ningún tipo de norma, ley, ordenanza o regulación. Tampoco podemos hablar de la existencia de una propuesta de norma o regulación en materia especifica de este desecho. Sin embargo, lo único que regula el manejo de pilas y baterías usadas en el país en forma indirecta, así como de cualquier otro desecho peligroso, son todos los instrumentos legales como la Ley del Medio Ambiente y su Reglamento, El Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos, en donde se incluye una lista de desechos peligrosos a controlar, Normas Salvadoreña de emisiones atmosféricas de fuentes fijas, Norma Salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor y el ya mencionado Convenio de Basilea y el Acuerdo Centroamericano.

Los parámetros legales a seguir hacia el logro de un proyecto de gestión ambiental, están sustentados en varias normativas que hablan sobre la protección, restauración,

[8] **DADO EN CASA PRESIDENCIAL:** San Salvador, a los treinta y un días del mes de mayo del año dos mil.

desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales. No obstante, la Ley del Medio Ambiente aprobada en marzo de 1998, aglutina toda la regulación por recursos, definiendo algunos pasos hacia un proyecto de Gestión Ambiental, tales como se indica el cuadro 4.1:

Cuadro 4.1. *Regulaciones por recursos de la Ley de Medio Ambiente. Marzo, 1998 (Ley de Medio Ambiente, El Salvador, 1998)*

.

Regulación	***Artículo***	***Disposición***
Diagnósticos Ambientales	***Art. 107.*** Título XIV	Disposiciones transitorias y finales: Aplicable a actividades, obras o proyectos públicos o privados, que se encuentren funcionando al entrar en vigencia la ley, el plazo dado para su elaboración es de un máximo de dos años. En casos de actividades, obras o proyectos en operación que generen productos peligrosos y emisiones altamente contaminantes, o usen procesos peligrosos, el MARN puede establecer plazos menores hasta por un año.
Programas de Adecuación Ambiental	***Art. 108***	Establece que: Deberá contener todas las medidas para reducir los niveles de contaminación para atenuar o compensar, según sea el caso, los impactos negativos en el ambiente. El plazo dado para la adecuación es de tres años máximo. En el caso de actividades, obras o proyectos en operación que elaboren productos peligrosos, usen procesos o generen emisiones altamente contaminantes, el plazo podrá reducirse.
Planes de Aplicación voluntaria	***Art. 109***	Implica: La realización de una ***Auditoria Ambiental*** con cuyos resultados debe elaborarse un Plan de Adecuación Ambiental (con la dirección y coordinación del MARN). El plazo no podrá ser mayor de dos años.[9]
Suspensión de Actividades	***Art. 110***	Las actividades, obras o proyectos que se encuentren operando, y no cumplan lo establecido en los Arts. 107, 108 y 109, serán suspendidos hasta que se cumplan con las exigencias legales establecidas.
Problemas de índole legal, de responsabili-dad civil	***Art. 111***	Establece que: Los Juzgados de 1ª Instancia y a las Cámaras de 2ª Instancia, con competencia en materia civil o mixtos, corresponderá conocer sobre infracciones cometidas a la ley y reglamentos, mientras no sean creados los tribunales referidos en el Art. 99 (Tribunales Agroambientales de 1ª Instancia, Cámaras Agroambientales de 2ª Instancia)
Deberes de las personas e instituciones del Estado	***Art. 42***	De los responsables: Personas Naturales, Jurídicas, el Estado y Entes descentralizados. ***Obligaciones:*** ✓ Evitar las acciones, deteriorantes del medio ambiente, ✓ Prevenir, controlar, vigilar y denunciar ante las autoridades competentes la contaminación.

[9] Los plazos establecidos en la ley del Medio Ambiente, corren a partir de su vigencia: 13 de mayo de 1998.

Cuadro 4.2. *Responsabilidades Administrativas, Civiles y Penales (Hernández, 2002)*

Regulación	***Artículo***	***Disposición***
Responsabilidad administrativa y civil		Se considerarían responsabilidades administrativas y civiles, las siguientes: ✓ ***Acción u Omisión:*** de emisiones, vertimientos, disposición y descarga de sustancias o desechos. ✓ ***Efectos:*** que afecten la salud humana, pongan en riesgo o causaren daño al medio ambiente, afectare los procesos ecológicos esenciales, afectare la calidad de vida de la población. ✓ ***Obligación:*** restaurar el medio ambiente o ecosistema afectado. Se indemnizará al Estado y a los particulares por los daños y perjuicios causados (principio de la Política Nacional del Medio Ambiente, Art. 2, literal d).
Responsabilidad Civil	***Art. 101***	La acción civil de reparación de daños ambientales causados a la comunidad podrá ser ejercida por: ✓ La *persona natural o jurídica* que haya sufrido el daño de manera directa o indirecta. ✓ Por 5 *ciudadanos miembros de una comunidad* que carezcan de personalidad jurídica. ✓ El Fiscal General de la República, así como la Procuraduría de los Derechos Humanos
Responsabilidad Penal	***Art. 105***	El que infringiere disposiciones establecidas en la Ley del Medio Ambiente, que incurriere en delito, será sancionado de conformidad a lo establecido en el Código Penal. ***CÓDIGO PENAL:*** Capítulo II de los delitos relativos a la naturaleza y el Medio Ambiente: ✓ Contaminación Ambiental (Art. 255) ✓ Contaminación Ambiental Agravada (Art. 256) ✓ Contaminación Ambiental Culposa (Art. 257) ✓ Depredación de Bosques (Art. 258) ✓ Depredación de Flora Protegida (Art. 259) ✓ Depredación de Fauna (Art. 260) ✓ Depredación de Fauna Protegida (Art. 261) ✓ Quema de Rastrojos (Art. 262 “A”) ✓ Comercio y Transporte de Sustancias Peligrosas (Art. 262 “B”)
Infracciones Ambientales	***Art. 87***	Las infracciones ambientales se clasifican en: ✓ ***Menos Grave:*** Art. 86, literales d), g), j), k), y l) Ley del Medio Ambiente. ✓ ***Graves:*** Art. 86, literales a), b), c), e), f), h), i) Ley del Medio Ambiente.
Aplicaciones de las Sanciones	***Art. 88***	Serán aplicadas por el MARN (previo cumplimiento del debido proceso legal, establecido en los artículos del 91 al 98 de la mencionada Ley).
Fijación de multas	***Art. 89***	Se establecen en salarios mínimos mensuales. Cada salario mínimo mensual es igual a 30 salarios mínimos diarios urbanos vigentes en San Salvador. ✓ ***Infracción menos grave:*** de 2 a 100 salarios mínimos mensuales ✓ Menor: $290.00 - Mayor: $14,400.00 ✓ ***Infracciones graves:*** de 101 a 5000 salarios mínimos mensuales o Menor: $14,400.00 - Mayor: $720,000.00

La legislación ambiental salvadoreña, en el marco de la mejora ambiental, que se encuentra regulada en varias normativas, podría considerarse en base al cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. *Legislación ambiental salvadoreña, marco de mejora ambiental. (Hernández, 2002)*

Componente	***Regulación***	***Disposición***
AIRE	***Código de Trabajo***	Art. 17, Establece que todo proceso industrial que de origen a emanaciones o gases que contaminen o constituyan un peligro para la salud de los obreros o para la higiene de las poblaciones vecinas, debe contar con dispositivos que eviten dicho riesgo. Adiciones al Reglamento regulan todas las actividades de Seguridad e Higiene Industrial.
AGUA, AIRE Y SUELO	***Código de Salud***	Art. 56, literal h, establece que desarrollará programas para la eliminación y control de contaminación del agua de consumo del suelo y el aire. Art. 109, literal ch: Puede clausurarse los establecimientos industriales, cuando su funcionamiento constituya grave peligro para la salud. Art. 116 y 117. Clasifica como instalaciones peligrosas la que por la índole de los productos que elabora o la materia prima que utiliza, puede poner en grave peligro la salud y la vida del vecindario. Además de fijar las condiciones para manejar y almacenar las materias nocivas y peligrosas. Art. 78. El Ministerio, directamente o por medio de organismos competentes tomará las medidas que sean necesarias para proteger a la población de contaminantes tales como: humo, ruidos, vibraciones, olores desagradables, gases tóxicos, pólvora u otros atmosféricos.
	Reglamento de Tránsito y Seguridad Vial	Art. 228 y 229. Regula las emisiones de contaminantes ambientales como gases, humos y partículas y establece los niveles máximos permisibles para que un vehículo transite por las carreteras.
AGUA	***Código de Salud***	Art. 63. El agua destinada para el consumo humano deberá tener la calidad sanitaria que el Ministerio conceptúa como buena y exigirá el cumplimiento de las normas de calidad en todos los abastecimientos de agua utilizadas para el consumo humano. En tal virtud y para determinar periódicamente su potabilidad los propietarios o encargados de ellos permitirán las inspecciones del caso. Art. 64. No podrá efectuarse ninguna construcción, reparación o modificación de una obra pública o privada destinada a aprovechamiento de agua para consumo humano sin autorización del Ministerio, para lo cual deberá presentarse una solicitud con especificaciones de la obra y planos. Art. 67: Se prohíbe descargar residuos de cualquier naturaleza, aguas negras y servidas en acequias, quebradas, arenales, barrancas, ríos, lagos, esteros; proximidades de criaderos naturales o artificiales de animales destinados a consumo humano, depósitos o corrientes de agua para uso público, consumo humano o uso doméstico, usos agrícolas e industriales, etc. a menos que el Ministerio conceda permiso. Y Art. 69 sobre descargas de aguas negras y servidas.
		Reglamento sobre la calidad de Agua y Control de Vertidos y las zonas de protección. Norma el control de la calidad del agua en los desperdicios líquidos y las áreas protegidas. Legislación para controlar la contaminación de fuentes estacionarias está incluida en los Códigos de Salud y Municipales y en el Reglamento de Urbanismo y Construcción. Este esquema legal, presenta traslapes en mandatos y responsabilidades entre MAG, MOP, MSPAS, CEL, ANDA y Municipalidades.
	Ley de Riego	Establece preceptos que la regulan en cantidad y calidad

…Continuación Cuadro 4.3. *Legislación ambiental salvadoreña, marco de mejora ambiental. (Hernández, 2002)*

Componente	***Regulación***	***Disposición***
SUELO, AGUA Y AIRE	***Código de Salud***	Art. 77. Los establecimientos que produzcan desechos que por su naturaleza o peligrosidad no deben entregarse al servicio público de aseo, deberán establecer un sistema de tratamiento autorizado por el Ministerio. Art. 56, establecimientos de control de contaminantes de agua, aire, suelo.
	Código de Salud	Sección Dieciséis. Establece las disposiciones para las condiciones del manejo de la Seguridad e Higiene Industrial. Art. 107-117.
	Ley Forestal 4, 45 y Ley de Riego	Contiene preceptos que pueden servir de base para desarrollar regulaciones y estrategias para promover el uso sostenible del recurso.
VARIOS	***Código Municipal***	Art. 4. Establece que compete a los municipios velar por el saneamiento ambiental, programas de salud y combate de enfermedades, el incremento y protección de recursos renovables (numeral 5 y 10) y la regulación de la actividad industrial.
	Reglamento Urbanismo y Construcción DUA-MOP	Regulaciones para la apertura de nuevas industrias (Decreto No. 69)

4.1 NORMATIVA TÉCNICA AMBIENTAL (HERNÁNDEZ, 2002)

Las normas técnicas, surgen del deseo de encontrar una solución tecnológica a los problemas de contaminación. La justificación para los estándares es que presumiblemente estos conducen a mejores niveles ambientales de los recursos.

De acuerdo a la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, se tiene establecido estándares primarios y secundarios. Los primarios, son para *proteger sólo la salud* y los estándares secundarios, *como protección contra los efectos en otros sistemas.*

Los estándares se establecen para diversos periodos en el promedio de muestras, porque los efectos dependen de la concentración del contaminante y del tiempo de exposición.

En El Salvador, de acuerdo a la Ley del Medio Ambiente, en el Art. 44, el encargado de establecer los estándares es el ***Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología***, ***CONACYT***, en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN. Para tal efecto, se han formado comités Técnicos de Normalización, integrados por representantes de la Empresa Privada, Gobierno, Organismos de Protección al Consumidor y Académico Universitario.

Para garantizar un consenso, los proyectos elaborados por los Comités se someten a un periodo de consulta pública durante el cual puede formular observaciones cualquier

persona. La oficialización de la norma conlleva la ratificación por Junta Directiva y el Acuerdo Ejecutivo del Ministerio de Economía.

Las normas, aún después de oficializadas, están sujetas a permanente revisión con el objeto de responder a las necesidades y exigencias de la técnica moderna. Las solicitudes fundadas son revisadas por el organismo técnico del Consejo, que es el "Departamento de Normalización, Metrología y Certificación de la Calidad", en CONACYT.

En cuanto a las normas técnicas instituidas en El Salvador, solamente está oficializada a la fecha, la norma para Agua Potable, NSO 13.07.01:97; la norma para Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor, NSO 13.07.03:98 ya fue consultada públicamente. En dicha consulta la Asociación Nacional de la Empresa Privada (ANEP) sugirió que se creen normas por sectores industriales, y cuando se realice dicha sectorización el documento se someterá a consulta nuevamente.

4.1.1 NORMA DE AGUA POTABLE (HERNÁNDEZ, 2002)

Esta norma tiene por objeto el establecimiento de características con sus valores recomendados, procedimientos, registros, frecuencia mínima de muestreo y métodos estandarizados. Define características físicas, químicas, microbiológicas y radiactivas que debe presentar el *agua para consumo humano*. La norma se aplica al agua de ***consumo humano,*** teniendo en cuenta: *Agua de Servicio Público, Municipal y Privado*, sea cual fuere el sistema de abastecimiento, tanto en el área urbana como en el área rural, en lo relativo a la prevención y control de la contaminación de las aguas, cualesquiera que sea su estado de agregación. ***Corresponde la aplicación de las normas y su vigilancia al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS)***. La observancia de la norma corresponde a todas las empresas e instituciones públicas y privadas, en general todas *aquellas cuya función sea abastecer o comercializar por cualquier medio, agua a la población salvadoreña*.

4.1.2 NORMA DE AGUAS RESIDUALES, DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR

La norma NSO 13.49.01:06, aún en etapa de preparación, fue adoptada de la Propuesta de Norma del Ministerio de Salud, de Octubre de 1996. Para su preparación, se consultó la guía para la calidad de agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la EPA (Standard Methods), que determina máximos y mínimos de contaminación permisibles. Este documento aún se encuentra en proceso de sectorización. La norma establece "Las características y valores físico-químicos, microbiológicos y radiactivos permisibles que debe presentar el agua residual para proteger y rescatar los cuerpos receptores", de manera que no causen efectos negativos, tales como: color, olor, turbiedad, radiactividad, explosividad y otros. Las tablas incluyen (***ver anexo V***) lo siguiente:

- ✓ ***Parámetro sobre Valores Permisibles:*** para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor.
- ✓ ***Requerimientos para toma de muestras:*** recipientes para muestreo y preservantes de componentes de agua.
- ✓ ***Métodos de Análisis:*** para la determinación de los parámetros contemplados en la Norma.

4.2 POLÍTICAS DE INCENTIVOS AMBIENTALES HACIA EL SECTOR INDUSTRIAL (HERNÁNDEZ, 2002)

En El Salvador, no existe hasta el momento Políticas Financieras ni fiscales de Incentivos Ambientales hacia el sector industrial que garanticen eficacia y continuidad e incentiven la tima de acción del sector privado a través de la internacionalización de los costos ambientales. Es necesaria la *coordinación rápida y oportuna* de los entes gubernamentales para promover la participación voluntaria (Planes de Aplicación Voluntaria, Art. 109, Ley del Medio Ambiente) por parte de las industrias, creando y dando seguimiento a políticas financieras adecuadas para facilitar el proceso.

En el Art. 11 de la Ley del Medio Ambiente, se establece que un instrumento de Política del Medio Ambiente son los programas de Incentivos y Desincentivos Ambientales, y en el Art. 32, textualmente dice: "El Ministerio del Medio Ambiente, conjuntamente con el Ministerio de Economía y Hacienda, ***elaborará programas de incentivos y desincentivos ambientales*** para facilitar la ***reconversión de procesos y actividades contaminantes***, o que hagan uso excesivo o ineficiente de los recursos naturales. Estos Programas se incluirán además, en las leyes que contengan ***beneficios fiscales*** para quienes realicen procesos, actividades, proyectos o productos ambientalmente sanos o apoyen la conservación de los Recursos Naturales. El Banco Multisectorial de Inversiones (BMI), establecerá líneas de crédito para que el sistema financiero apoye a la pequeña, mediana y microempresa, a fin de que puedan oportunamente adaptarse a las disposiciones de la presente ley".

De acuerdo a publicaciones del Diario de Hoy, el BMI y un representante del Banco Alemán KFW, realizaban un estudio de la demanda de crédito para la reconversión ambiental, los resultados fueron favorables y con el programa, resultado de este estudio, se espera apoyar la aplicación de las regulaciones contenidas en la Ley de Medio Ambiente, y en los reglamentos desarrollados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En la publicación se dice textualmente lo siguiente: "El Estudio de la demanda de crédito para la reconversión ambiental, busca determinar la demanda general sobre la necesidad de financiamiento en medio ambiente. Dicha evaluación durará tres semanas. El estudio se elaborará en dos fases, el primero abarca los diferentes sectores industriales del país y las medidas que requerían para mejorar la situación en sus empresas y el segundo a realizarse entre Abril y Mayo de 1999, determinaría condiciones de la línea de crédito, tasa de interés, año de gracia y monto. De aprobarse, este fondo sería distribuido a través

del sistema financiero local, para beneficiar a la pequeña y mediana empresa". En la misma publicación, el BMI menciona tener una ***política financiera ambiental*** que comprende varias acciones encaminadas a mejorar el medio ambiente. Una de ellas es *gestionar financiamiento en condiciones adecuadas para que las empresas se puedan reconvertir.*

La creación de fondos para la mejora ambiental de El Salvador, es urgente, considerando el pequeño territorio que se posee, el problema creciente de sobrepoblación y los recursos naturales limitados que con su deterioro acelerarán la pérdida de niveles aceptables de vida en términos económicos y sociales.

4.3 LIMITACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LA MEJORA AMBIENTAL (HERNÁNDEZ, 2002)

Las limitaciones encontradas para la aplicación de la mejora ambiental, son entre otras, ***Falta de:***

1. Apoyo y asesoría técnica especializada (Art. 35 Ley del Medio Ambiente)
2. Fondos, o préstamos blandos para invertir en la Mejora Ambiental (Art. 32 y 33 Ley del Medio Ambiente)
3. Política de Incentivos fiscales, para las empresas que están manejando materias primas biodegradables.
4. Sistemas de información eficaces para las necesidades de cada empresa.
5. Recursos propios suficientes para implementar la Mejora Voluntaria.
6. Conciencia del consumidor sobre las ventajas de comprar productos reciclados.
7. Apoyo de los consumidores para el reciclaje de materiales.
8. Apoyo de los consumidores en demandar productos amigables ambientalmente.
9. Programas de apoyo educacional a los consumidores para que demanden productos ambientalmente sanos, por parte de las entidades gubernamentales.
10. Leyes eficaces con regulaciones sinérgicas que apoyen el desarrollo industrial competitivo
11. Políticas ambientales e incentivos que apoyen a las empresas a innovar de manera permanente sus tecnologías a favor de la protección ambiental.

4.4 LA ISO 9000 Y 14000 (HERNÁNDEZ, 2002)

El efecto formal de las normas de calidad, se supone inició con el documento del Dr. Walter A. Shewart en la Western Electric Corp., en Gran Bretaña, en 1924, con métodos para cartas de control que servían para detectar defectos en líneas de producción.

La serie ***ISO 9000*** – fueron *terminadas en 1987* y han sido adoptadas y reconocidas a nivel mundial agregando valor a los problemas de control de calidad de las organizaciones. En algunas regiones, el registro a la norma es requisito para el comercio, ha fomentado el comercio internacional, la uniformidad de productos y la interconexión.

Con el éxito de la serie ISO 9000, la institución adquirió confianza para desarrollar otras normas organizacionales. *A finales de 1980*, cabalgando en la reputación de las normas ISO 9000, ISO iba a la cabeza de las normas del desarrollo de estándares. Aún así, una decisión de elaborar normas en un terreno de controversia en la arena del sector público, como el ***medio ambiente***, no figuraba como el siguiente paso para la ISO, conservadora por tradición. Factores adicionales, más allá del éxito de las normas ISO 9000 entraron en juego en la decisión de ISO de elaborar normas de control ambiental.

4.4.1. LA CREACIÓN DE LAS NORMAS ISO 9000 Y 14000

Fue en 1979 cuando la ISO estableció el Comité Técnico 176 (ISO TC/176), quienes tenían la tarea de desarrollar la serie de normas ISO 9000, publicándose oficialmente el 15 de marzo de 1987 la serie ISO 9000 que abarcaba en su primera edición las ISO 9000 a la 9004.

Con el éxito de las ISO 9000, muchas empresas han empezado a expandir el alcance de la ***administración*** de sus sistemas de calidad, incluyendo otros aspectos, como: sistemas ambientales. Los puntos genéricos que se manejan para ISO 14000, van de acuerdo con muchas de las características de ISO 9000, y precisamente fueron diseñadas con el fin de que encajen con las normas existentes ISO 9000.

La Unión Europea y también el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLC), se han dado cuenta que para facilitar el libre comercio, deben manejarse los aspectos ambientales. El éxito de ISO 9000 y el efecto ambiental en las relaciones políticas, económicas y comerciales, contribuyeron a la formación del Strategic Advisory Group for the Environment (SAGE), Grupo Asesor Estratégico Ambiental de la ISO, creado en 1991 para hacer recomendaciones para el ambiente. Personeros de la ISO fueron invitados a la Conferencia de la Tierra en 1992, en Río de Janeiro, de allí se formó el Comité Técnico ISO/TC 207 en enero de 1993 para desarrollar las ISO 14000. En febrero de 1996 se aprobaron las normas, se imprimieron en junio y se distribuyeron en septiembre de 1996.

ISO es un organismo internacional no gubernamental, con más de 100 agrupaciones o países miembros. No está afiliada a la ONU (Organización de las Naciones Unidas), ni a ninguna organización Europea. Los países están representados en ISO por autoridades designadas que pueden ser del sector privado o público. Las normas desarrolladas por ISO *son voluntarias, por consenso y del sector privado.* Los expertos se organizan en Comités Técnicos (establecidos por el Consejo de Administración Técnica (TMB) de ISO). Los expertos pertenecen a los países miembros y las ISO se crean mediante un proceso de amplias discusiones, negociaciones y consensos internacionales, cada Comité recibe un campo sobre el cual trabajar y se reúnen para lograr una meta común, el desarrollo de una norma ISO.

Así mismo, el ***Sistema de Administración Ambiental*** (SAA), es un elemento crítico para el logro de la excelencia ambiental y cumplimiento de las necesidades ambientales mundiales presentes y futuras. El SAA, suministra un camino para lograr los objetivos de desempeño ambiental de la compañía, usando políticas y principios ambientales. Para cualquier empresa, es parte del desarrollo sostenible.

Cuadro 4.4. *Visión Estratégica de Normas de Sistemas Administrativos de Calidad Integrada (Hernández, 2002)*

<table>
<tr><th>Norma</th><th colspan="4">Jerarquía</th></tr>
<tr><td>Sistemas Administrativos Genéricos</td><td colspan="4">Sistemas Administrativos Genéricos</td></tr>
<tr><td>Modelos de Sistemas para áreas específicas</td><td>Calidad de Producto</td><td>Calidad de Servicio</td><td>Calidad del Ambiente</td><td>Calidad de Seguridad e higiene</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Procedimientos, lineamientos y criterios</td><td colspan="4">Auditoría</td></tr>
<tr><td colspan="4">Servicio al cliente</td></tr>
<tr><td colspan="4">Análisis del ciclo de vida</td></tr>
<tr><td colspan="4">Evaluación de impacto</td></tr>
<tr><td colspan="4">Códigos de práctica</td></tr>
<tr><td colspan="4">Revisión directiva</td></tr>
<tr><td colspan="4">Evaluación del desempeño</td></tr>
</table>

Cuadro 4.5. *Comparación de ISO 9000 e ISO 14000 (Hernández, R., 2002)*

	ISO 9000	***ISO 14000***
Metas	Proporciona a las organizaciones proveedoras un medio para demostrar a las organizaciones la consecuencia de requerimientos de calidad; resalta los logros de una organización proveedora al proporcionar un desempeño general en relación a los objetivos de calidad	Proporciona a las organizaciones los elementos de un ***sistema de administración ambiental***; proporciona asistencia a las organizaciones que consideran la puesta en práctica o mejoría de un sistema de administración ambiental, incluyendo asesoría para mejorar tal sistema, para cumplir con expectativas de desempeño ambiental.
Estructura	Mezcla de actividades de administración, requerimientos de proceso y requerimientos de productos y rastreo, así como técnicas estadísticas	Se ciñe a un modelo de negocios del tipo "planificar-hacer-verificar-actuar"; norma guía separada
Contenido	ISO 9000 incluye elementos discretos de planificación de calidad, identificación de productos y rastreo, así como técnicas estadísticas.	ISO 14001 incluye elementos discretos de aspectos ambientales, requerimientos legales, objetivos y metas, programas de administración ambiental, comunicaciones, preparación y respuestas a emergencias.

4.5 MARCO LEGAL, REGULACIÓN Y MANEJO DE LAS PILAS Y BATERÍAS USADAS EN DIFERENTES PAÍSES.

4.5.1 ARGENTINA

DISPOSICIONES LEGALES EXISTENTES QUE PERMITAN SUSTENTAR EL MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE RESIDUOS PELIGROSOS (LEYES, REGLAMENTOS, NORMAS, ACUERDOS, DECRETOS, BANDOS DE GOBIERNO, OTROS), PORQUE CONTIENEN DISPOSICIONES GENERALES FAVORABLES A ELLO.

El manejo de los residuos peligrosos como problema ambiental encuentra su sustento en el artículo 41 de la Constitución Nacional:
"Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales.

Se prohíbe el ingreso en el territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radioactivos."

Particularmente como residuos peligrosos, las pilas y baterías usadas son encuadrables dentro la ***Ley Nacional de Residuos Peligrosos, Nº 24.051 (ver anexo VI)***, ya que contienen elementos químicos y poseen características de peligrosidad que están considerados dentro del marco de dicha ley, y bajo los mismos criterios, pueden considerarse residuos especiales según la ley 11720 de la Provincia de buenos Aires.

Algunos de los constituyentes peligrosos de las pilas y baterías usadas son: mercurio (Y29), componente de pilas alcalinas o pilas botón de algunos instrumentos; cadmio (Y26), uno de los elementos de baterías de teléfonos celulares; plomo (Y31), metal que forma las placas de las baterías de automóvil; ácido sulfúrico (Y34), usado en el mismo producto; o bien, pueden incluirse los envases o residuos conteniendo alguno de los desechos antes mencionados (Y45').

Cuadro 4.6. *Identificación de los componentes peligrosos de las baterías en Argentina (Solórzano, 2003)*

Residuos	***Elementos/ Productos incluidos en el Anexo II - Ley 24.051***	***Residuos Peligrosos***	***Categorías sometidas a control***
Baterías	Plomo	X	Y31
Baterías	Ácido	X	Y34

Adicionalmente, Argentina está adherida al convenio de Basilea, mediante el cual se regulan las importaciones y exportaciones de residuos peligrosos conteniendo los elementos antes citados.

DISPOSICIONES LEGALES ESPECIFICAS QUE PERMITAN SUSTENTAR EL MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE PILAS Y BATERÍAS (LEYES, REGLAMENTOS, NORMAS, ACUERDOS, DECRETOS, BANDOS DE GOBIERNO, OTROS).

Para los acumuladores de plomo usados la Resolución Nacional 544/94 dispone, para los agentes de venta, la obligatoriedad de recibir los acumuladores usados con el fin de ser remitidos, posteriormente, a operadores de esa clase de residuos; en el caso de las pilas, no hay normas específicas que regulen el reciclado, almacenamiento o disposición final.

Debe aclararse al respecto, que las baterías de automóviles son encuadrables como residuos peligrosos debido tanto a su contenido de ácido como de plomo, ambos incluidos dentro de las categorías Y34 e Y31 respectivamente, de la Ley Nacional de Residuos Peligrosos, Ley Nº 24.051, por lo tanto, si bien en la Argentina no existe una legislación específica que regule el manejo de pilas y baterías desechadas, tal como ocurre en la Unión Europea, estos elementos a los efectos de su tratamiento son considerados residuos peligrosos y por ende se encuentran comprendidos por la legislación vigente (Decreto 831/ 93 de la Ley 24.051).

Por otra parte, la Nomenclatura Mercosur establece claramente que no pueden entrar al país:

- ✓ 85.48 Desperdicios y desechos de pilas, baterías de pilas o acumuladores eléctricos, pilas inservibles.
- ✓ 85.48.10 Desperdicios y desechos de pilas, baterías de pilas o acumuladores, eléctricos.

Lo antes mencionado se tomó del reporte final del trabajo “Revisión y análisis de las experiencias de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México respecto de los cinco elementos claves para el manejo ambiental de PILAS Y BATERÍAS”.[10]

[10] Solórzano, 2003.

A continuación se presenta información reciente sobre la legislación de pilas y Baterías en Argentina presentado en la página: http://www.taller.org.ar/Ciudades_sustentables/noticia2.htm

En Diciembre de 2006 se promulgó la ***Ley 26.184 (ver anexo VII)***, que determina la normativa obligatoria que deben cumplir las pilas que se colocan en el mercado, y delega en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) la responsabilidad de la certificación de estos productos. El INTI ya ha conducido una investigación que muestra que por un lado no se registran problemas con las pilas alcalinas, pero sí, en varias marcas de las pilas de cinc-carbono (pilas comunes). También se muestra en el estudio que existen notorias diferencias de precios en pilas de similar calidad y prestación. Una contribución a los consumidores y a las autoridades.

En los últimos meses del año 2006 se ensayaron, siguiendo los lineamientos de las normas IEC 60.086-1 y 2, veinticuatro (24) modelos diferentes (AA, AAA y AA alta potencia) de pilas de cinc-carbono (o comunes) y veintiún (21) modelos diferentes (AA y AAA) de pilas alcalinas, de distintas marcas en ambos casos. Las muestras se obtuvieron comprándolas en el mercado local, en negocios al menoreo de la Ciudad de Buenos Aires y en negocios mayoristas.

Se evaluaron los parámetros que estipula la Ley 26.184 que son: determinación de contaminantes (% de plomo, cadmio y mercurio en peso) y ensayos de descarga, de acuerdo con lo requerido por la norma de la International Electrotechnical Comision IEC 60.086.1 y 60.086-2, que permite conocer su duración y comportamiento en condiciones de uso. También, y para las pilas comunes de cinc-carbono, se evaluó el posible drenaje de la carcasa en condiciones de uso ya que algunas de ellas emplean como carcasa el propio ánodo de la pila y que durante su utilización, éste se disuelve llegando a veces a perforarse. En estas condiciones drenan los líquidos internos, que son cáusticos e irritantes para la piel, ojos y mucosas.

De los resultados obtenidos se observó que las pilas alcalinas cumplen con todos los requisitos mientras que el 33 % de las pilas cinc-carbono presentaron incumplimiento en, al menos, dos de los parámetros controlados en este estudio realizado. En particular, el 25 % de dichas pilas no cumplieron con el tiempo de descarga establecido en la norma de referencia; el 17 % presentó drenaje de la carcasa y el 29% contenía mercurio por encima de los límites fijados por la Ley 26.184.

Además, se percibió que los precios de las pilas de un mismo tipo, y que cumplieron con todos los requisitos, presentan una notable disparidad. Por esta razón, se compararon las horas de servicio obtenidas durante el ensayo con el precio de venta en el mercado. En tal sentido se encontraron diferencias en la relación horas de uso / precio que llegan a presentar variaciones del orden de 5.6 veces (más caras a igualdad de prestación) para los diferentes modelos de pilas de cinc-carbono; y de hasta 2.4 veces para los diferentes tipos de pilas alcalinas.

Gracias a la implementación del Sistema de Certificación obligatoria que exige la ley 26.184, ya no ingresarán a Argentina pilas que no cumplan con dicha normativa y por

ende se evitará la contaminación debido a los residuos generados por la disposición de estos productos.

La ley, no obstante, otorga un plazo de tres años para la comercialización de las pilas que ya están en el mercado sin certificar y, en tal sentido, queda a criterio y decisión del comprador adquirirlas o no, así como seleccionar las que cumplan con una mejor relación servicio / precio.

El INTI ha trabajado desde hace varios años en la evaluación de pilas y baterías primarias y en tal sentido ha impulsado, a través de diferentes proyectos de legislación presentados tanto a la Secretaría de Defensa del Consumidor como en la Cámara de Diputados en el año 2003, el control del contenido de metales pesados presentes como así también la duración de dichos productos en condiciones de uso junto con su fecha de vencimiento para evitar que ingresen al país productos altamente contaminantes. Surgió así un proyecto de ley desde la Comisión de Medio Ambiente de la Cámara de Diputados que regula el ingreso de pilas y baterías primarias al país. Este proyecto fue sancionado el 28 de noviembre de 2006 y promulgado el 21 de diciembre del mismo año. A partir de allí se ha trabajado con la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable para la reglamentación correspondiente desde el punto de vista de la fijación de los criterios tecnológicos que el tema amerita ya que la Ley delega en el INTI la responsabilidad de la certificación de los productos siendo, además, el organismo encargado de definir el procedimiento sobre las características especiales de muestreo, métodos de ensayo y análisis para la certificación de pilas o baterías de pilas.

4.5.2 MÉXICO

México se encuentra en una posición coyuntural en relación con el establecimiento de los planes de manejo de pilas y baterías eléctricas a base de mercurio y de níquel-cadmio, no sólo por la entrada en vigor de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos que determina la obligación de desarrollar tales planes, sino por los hechos siguientes:

- ✓ México se adhirió en 1994 a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Organismo del cual son miembros los países más industrializados que ya han regulado o implantado sistemas para la devolución de baterías con fines de reciclado, y que ha trabajado durante diez años para formular una Guía para los Gobiernos sobre la Responsabilidad Extendida del Productor, que contienen información valiosa para orientar el establecimiento de este tipo de programas. En 1999 la OCDE organizó en México, con el apoyo del Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap), un taller sobre reciclado de pilas de níquel-cadmio del cual emanaron recomendaciones útiles al respecto.

- ✓ México firmó no sólo un Tratado de Libre Comercio (TLC), sino también un Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, con Canadá y Estados Unidos, en el marco del cual puede contar con la asistencia técnica de esos dos

países (directamente o a través de la Comisión para la Cooperación Ambiental: CCA), en la materia. Además, las autoridades ambientales de los tres países han adoptado la Resolución 95-5 sobre Manejo Adecuado de Sustancias Químicas, en el marco de la cual han establecido un Plan de Acción Regional para eliminar los usos no esenciales del mercurio y actualmente estudian la posibilidad de implantar otro plan semejante en relación con el plomo.

- ✓ También ha firmado un tratado comercial con la Unión Europea y con Japón, a través del cual le conviene intercambiar experiencias en la materia para prevenir que en el establecimiento de los planes de manejo de baterías usadas se creen barreras innecesarias al comercio, así como para aprovechar las experiencias de los países de ambas regiones al respecto.

- ✓ En México operan las mismas empresas que en Estados Unidos y en otras regiones han implantado programas para la devolución y reciclado de las baterías de níquel-cadmio y de plomo-ácido usadas.

- ✓ México se integró a la Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos (REPAMAR), promovida por la Agencia Alemana de Cooperación Técnica GTZ, con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), a través de su Centro de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), en el seno de la cual Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México analizaron la situación de las pilas y baterías, con el propósito de desarrollar conjuntamente una estrategia para promover su reciclaje. Es importante hacer notar que Argentina cuenta con una empresa en San Lorenzo, Provincia de Santa Fe, denominada IDM (Ingeniería de Montajes), que cuenta con certificación nacional e internacional y lleva a cabo el reciclado de baterías de níquel-hidruro, níquel-cadmio y otras baterías líquidas, en dicho país, las baterías recicladas se venden sin marca. Sin embargo, el mayor obstáculo para lograr la efectividad en la recolección de las pilas usadas es la falta de una regulación que la facilite.

- ✓ Se están creando en todo el país Núcleos Técnicos de la Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos (REMEXMAR), de carácter voluntario e intersectorial, para apoyar el fortalecimiento de la capacidad de gestión de los residuos y la aplicación de la nueva legislación, con lo cual los gobiernos federal, estatales y municipales, así como los responsables de implantar los planes de manejo de pilas y baterías, y otros productos posconsumo o residuos, podrán contar con el apoyo organizado e informado de miembros de sectores claves de la sociedad para facilitar su instrumentación.

- ✓ Diversas entidades federativas ya cuentan con experiencia en actividades de acopio y manejo de pilas y baterías eléctricas y están en espera de orientación para apoyar a productores, importadores y distribuidores, así como a las autoridades gubernamentales con competencia en la materia en la implementación de los planes de manejo correspondientes.

Lo antes mencionado sobre las leyes de México fue tomado del trabajo ***"Bases para Integrar Planes de Manejo de Pilas y Baterías Eléctricas a Base de Mercurio o de Níquel-Cadmio", Nava, C. (2007).***

A continuación se detalla información obtenida del reporte final del trabajo "Revisión y análisis de las experiencias de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México respecto de los cinco elementos claves para el manejo ambiental de PILAS Y BATERÍAS"[11]

En materia de reciclaje es importante distinguir los residuos de los materiales peligrosos, ya que en el marco jurídico reciben un tratamiento diferenciado. Ambos se encuentran previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, sin embargo, mientras que los primeros no se encuentran reglamentados, la regulación de los segundos comprende una serie de normas precisas a las cuales deben sujetarse los procedimientos de gestión y disposición final de materiales y residuos peligrosos por el riesgo que implican.

En relación con la competencia, no cabe duda que el manejo, reciclaje y disposición de materiales y residuos peligrosos sea materia federal, no obstante, la mayoría de las pilas son desechadas como residuos sólidos municipales, por lo que la autoridad municipal podría tener cierta injerencia. Por otra parte, los desechos industriales tienen una mayor probabilidad de ser controlados y reciclados a través de programas y convenios voluntarios.

La solución al problema de las pilas podría darse ambientalmente mediante la aplicación del principio de quien genera el contaminante debe pagar para solucionar el problema y el establecimiento de responsabilidad en la reutilización y reciclaje. Esta responsabilidad deberá distribuirse equitativamente entre comerciantes, distribuidores, empacadores y fabricantes, ya que atribuirla al consumidor exclusivamente no sería eficiente.

Se debe establecer un sistema generalizado de reciclaje mediante la concertación entre las autoridades, los comerciantes, los industriales, transportistas, almacenes y las empresas de reciclaje. Procurando que se implementen instrumentos económicos y se celebren convenios con las autoridades federales, que se incremente el interés en la realización de actividades de reciclaje, sin que se traduzca en una carga económica para las empresas obligadas.

Se debe realizar un programa para mejorar la calidad de la información en relación con el reciclaje de pilas, así como respecto del origen y destino de los materiales que se utilizan. Para ello, se deben establecer programas de enseñanza para hacer conscientes a la población, empresarios y autoridades sobre los riesgos involucrados en un mal manejo de las pilas que son desechadas. Por lo mismo, se debe procurar que el reciclaje sea una actividad atractiva por sus beneficios y negociar diversos tipos de incentivos económicos y fiscales. Se debe asimismo, incentivar la

[11] Solórzano, 2003.

participación de la industria en la adquisición y utilización de materias primas reciclables y no tóxicas para ser incorporadas en los procesos productivos.

En consecuencia resultan aplicables el Reglamento de la Ley General del equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (D.O. 25-XI-88) y el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (D.O. 7-IV-93).

En relación con las especificaciones técnicas es aplicable para su recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición final, la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL- 93 (nomenclatura previa al Acuerdo de 29 de noviembre de 1994 mediante el cual se reforma la nomenclatura de 58 normas oficiales mexicanas: CRP-001-ECOL-93) que establece las características de los residuos peligrosos, previendo los criterios y listados que los clasifican.

En consecuencia la recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición final de pilas es materia federal, por lo que la competencia en relación con las autorizaciones necesarias es de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Los trámites y gestiones correspondientes han de realizarse ante el Instituto Nacional de Ecología.

La NOM-052-ECOL-93 (antes NOM-CRP-001-ECOL-93) que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, fue expedida en virtud de que los residuos peligrosos en cualquier estado físico por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, venenosas o biológico infecciosas representan un peligro para el equilibrio ecológico, por lo que se hizo necesario definir cuáles son esos residuos, identificarlos y ordenarlos por giro industrial y por proceso, los generados por fuente no específica, así como los límites máximos que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en la definición y clasificación de los residuos peligrosos. De conformidad con el punto 5.3 los residuos peligrosos atendiendo a su fuente generadora, se clasifican en residuos peligrosos por giro industrial y por procesos, así como por fuente no específica.

Para fines de identificación y control, en tanto la Secretaría no los incorpore en cualquiera de las tablas, los residuos determinados en el punto 5.5. de la NOM, de conformidad con el punto 5.4 prevé que se denominará como se indica en el cuadro 4.7.

Cuadro 4.7. *Identificación y Control de los Residuos Peligrosos de acuerdo con la NOM- 052-ECOL-1993. (Solórzano, 2003)*

Características	***No. SEDESOL***
Corrosividad (C)	P 01
Reactividad (R)	P 02
Explosividad (E)	P 03
Toxicidad al ambiente (T)	El correspondiente al contaminante tóxico según las tablas 5, 6 y 7,
Inflamabilidad (I)	P 04
Biológico infecciosas (B)	P 05

El punto 5.5. de la NOM establece que los residuos que presenten una o más de las siguientes características se considerarán peligrosos, éstas son: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o biológico infecciosas.

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 a la NOM que establece las características del lixiviado (PECT) que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente, donde se encuentran listados el cadmio y el níquel. 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 (D.O. 28- I-88, reformada D.O. 13-XII-96).

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.

DISPOSICIONES LEGALES ESPECIFICAS QUE PERMITAN SUSTENTAR EL MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE PILAS Y BATERÍAS

- ✓ Las pilas y baterías son considerados residuos peligrosos de acuerdo con la NOM-052-ECOL-93, la cual establece las características que hacen peligroso a un residuo.
- ✓ Plan de Acción Regional para el Mercurio, firmado por México, Canadá y Estados Unidos. En donde se plantean las acciones en el manejo de este metal en las baterías, entre otros conceptos. Por otra parte no se mencionan acciones para el plomo.
- ✓ Se pertenece a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), organismo de representatividad internacional cuyo trabajo sobre pilas y baterías ha generado programas en sus países miembros. Las acciones propuestas se basan en los siguientes elementos: 1) sistemas de recolección, 2) fuerzas de acción, 3) sistemas de reciclaje y 4) financiamiento.
- ✓ La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA) en los artículos: 38, 134, 137, 149, 151, 151 bis, 152, 153.

- ✓ En los artículos constitucionales: 88, 25, 73 fracción XXIX-G.
- ✓ Es competencia de la SEMARNAT el control y vigilancia de la recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje y tratamiento, mientras el INE se encarga de los trámites y gestiones de los residuos peligrosos.
- ✓ Existe una propuesta de "Norma de reciclaje de pilas y baterías usadas domésticas y recargables", su propósito consiste en facilitar el reciclaje eficiente de pilas o baterías recargables, al garantizar un adecuado etiquetado y requerimientos regulatorios y alentando programas industriales voluntarios.
- ✓ El programa Alternativo, Bases para NMX (normas mexicanas voluntarias) en el manejo de Pilas y Baterías, se apoya en: Programa de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) y en el Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria (SIRG). En este programa los participantes fueron INE, SEMARNAT, Motorola y Eumex y tiene por objeto establecer un programa para el manejo adecuado de pilas y baterías, el cual reduciría el impacto ambiental y los riesgos a la salud. También se proponen acciones en los siguientes ámbitos: a) diagnóstico, b) convocatoria de los posibles involucrados, c) recolección, d) separación y clasificación, e) disposición. Proporciona la manera adecuada de empacar las pilas recolectadas y ofrece propuestas de Planeación para la Mercadotecnia Ambiental.

El 18 de mayo de 2000, se llevó a cabo una reunión en la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones e Informática (CANIETI), a esta reunión asiste la PROFEPA y el sector pilero en general. Las conclusiones generales son: necesidad de una Norma específica para pilas, el programa general de pilas que se genere debe incluir la separación de las mismas con base en sus características químicas y la necesidad de asentar en un documento el programa generado.

IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS EN EL DESARROLLO DE DISPOSICIONES LEGALES PARA PILAS Y BATERÍAS.

Podemos observar de lo anterior que la regulación ambiental en México es escasa y reciente, se han celebrado una gran cantidad de Tratados y Acuerdos internacionales que no pueden ser operativos debido a la falta de recursos económicos y educativos para implementarlos. La problemática ambiental no solamente es compleja, sino que en un país como el nuestro enfrenta diversas barreras culturales y sociales que impiden la eficacia de las disposiciones vigentes que en su contenido pueden calificarse como de primera línea en materia de protección ambiental.

AUTORIDADES GUBERNAMENTALES FACULTADAS A REGULAR Y CONTROLAR LAS PILAS Y BATERÍAS QUE SERÁN OBJETO DE LOS PROGRAMAS DE ACOPIO Y RECICLAJE.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) tiene bajo su competencia la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales con relación a factores ambientales y de origen antropogénico que

pueden ejercer efectos adversos sobre ellos. Por ello, su función es de regular y controlar las actividades riesgosas que involucran el manejo de materiales y residuos peligrosos a través de sus diferentes direcciones y órganos desconcentrados como son el Instituto Nacional de Ecología, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Comisión Nacional del Agua.

Secretaría de Salud. Tiene una responsabilidad que trasciende a los demás sectores, y que es proteger la salud humana, en particular en aquellas circunstancias que pueden representar un riesgo a la salud de la población, como son el manejo de las sustancias y residuos peligrosos.

Secretaría del Trabajo. Sus atribuciones son el estudio, ordenamiento y vigilancia de las medidas de seguridad e higiene industrial para la protección de los trabajadores, por ende el manejo de sustancias y residuos químicos.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. A ella se le confiere la regulación, control y emisión de las autorizaciones de su competencia en relación con el transporte de materiales, residuos y remanentes que circulen en las vías ***generales de comunicación.***

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. A esta Secretaría le corresponde fomentar programas y elaborar las normas oficiales mexicanas de sanidad vegetal y animal, así como dictaminar sobre la efectividad biológica de los plaguicidas y establecer los límites máximos de sus residuos.

Secretaría de la Defensa Nacional. Controla armas de fuego y explosivos, así como las empresas que en sus funciones las involucren o utilicen sustancias químicas para su fabricación.
Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Formulación y conducción de la política de industria y comercio industrial, así como la regulación y ordenación de las transferencias de tecnologías y la modernización tecnológica de la industria, además del establecimiento de medidas de regulación y restricción no arancelarias a la exportación, importación, circulación y tráfico de mercancías.

EXPERIENCIAS SOBRE LA APLICACIÓN DE CONVENIOS VOLUNTARIOS PARA LOGRAR LOS MISMOS FINES.

Recopilación, sistematización y análisis de acuerdos voluntarios a nivel internacional

Esta sección presenta brevemente el caso de programas de autorregulación ambiental en los últimos años en los Estados Unidos de Norte América. Dada la característica incipiente de estos programas en México, este análisis no puede ser exhaustivo. Sin embargo, los resultados presentados aquí permiten llegar a varias conclusiones que sí pueden ser de interés para la industria y las autoridades ambientales en México.

- ✓ La tendencia hacia la aplicación de programas de autorregulación obedece a la necesidad de reducir la carga importante que representan las normas del tipo imperativo y coactivo (es decir, que contiene mandatos respecto a la tecnología a emplear para controlar la contaminación, llamado "*command and control*" en inglés) que se han instrumentado en varios países.

- ✓ El interés de las autoridades en crear incentivos para estimular la creatividad empresarial en reducir la generación de contaminantes al punto mínimo técnicamente viable y más allá de la normatividad.

Estados Unidos: "*Partners For The Environment"* de la EPA

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*, o EPA) reporta un total de 28 programas de cooperación voluntaria entre esta agencia federal y el sector privado. En algunos casos se observa la participación de entidades regionales o nacionales en dichos acuerdos. En general, los acuerdos abarcan compromisos voluntarios por parte de las empresas privadas, gobiernos federales y locales para tomar responsabilidad en iniciar un proceso de reducción de emisiones contaminantes. Los programas están organizados por sector: agricultura, cambio climático, ahorro de la energía y el manejo de residuos sólidos y peligrosos.

Estos programas aparecieron hace aproximadamente siete años en EEUU y corresponden a una voluntad manifiesta de involucrar al sector privado y las entidades públicas, cuando sea oportuno, para encontrar métodos más eficaces y económicamente menos costosos para reducir significativamente varios tipos de contaminación.

Revisión de la situación actual de los acuerdos voluntarios

En esta sección se revisa el contenido de los acuerdos suscritos hasta la fecha, se identifica y crea un catálogo de obligaciones claras y correctamente instrumentadas en los convenios para efecto de definir un alcance específico para los convenios con la mayor precisión posible. Dicha regla de claridad contractual aplica igualmente a las obligaciones de la autoridad como a la parte privada contratante. El que el convenio de autorregulación -mecanismo jurídico nuevo para la autoridad y para la persona privada- refleje el objetivo acordado por medio de un clausulado lo más cierto posible, da una pauta de entendimiento y debe facilitar la voluntad para el cumplimiento de lo acordado.

Los convenios de autorregulación que se han firmado hasta la fecha nacen de una serie de iniciativas emprendidas en 1995 al inicio de las labores de la actual administración. Aunque el reconocimiento jurídico de la autorregulación no se concretó hasta la aprobación de las reformas a la LGEEPA en 1996, este mecanismo se contemplaba desde antes, por lo que se especifica en el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000, el Programa de Medio Ambiente 1995-2000 y el Programa de

Protección Ambiental y Competitividad Industrial que fue firmado por la SEMARNAP, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y la Confederación de Cámaras Industriales (CONCAMIN) en 1995.

Con base en los programas de trabajo y el convenio entre industriales y el gobierno, entre 1995 y 1999 se han firmado 14 convenios con empresas individuales o asociaciones u otras agrupaciones empresariales que abarcan más de 250 empresas. Los ramos industriales involucrados incluyen alimentos y bebidas (5 convenios); automotriz (2); químico (2); minero (1); curtiduría regional (1); cemento (1) y equipos eléctricos. Un convenio firmado con un grupo de empresas en Guadalajara incluye una variedad de giros y tamaños de empresas.

La mayoría de los convenios se han celebrado a raíz del esfuerzo de desarrollo de la Coordinación con el Sector Industria del INE. Sin embargo, existen dos convenios de autorregulación que se han firmado con otras áreas del Instituto y otros tipos de compromisos que se han realizado ante el mismo.

Objetos. Los objetivos de los convenios suscritos hasta la fecha son varios, pero existe una tendencia marcada hacia la prevención de la contaminación, vinculada con la búsqueda de ventajas competitivas. Las ventajas comerciales de mayor interés para las empresas son las exenciones de restricciones sobre la actividad comercial, como son los requerimientos del programa “Hoy no Circula” y de las Fases I y II de Contingencia Ambiental, ambos aplicados en la Ciudad de México.

Medios. Se presenta un resumen de los convenios según el medio beneficiado por el programa. Se percata un énfasis en los medios de aire, agua, suelos y también las condiciones laborales. En menor grado se puede decir que los beneficios de algunos convenios tocan a la atmósfera global en cuanto a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs). Los convenios de autorregulación suscritos por el INE no aportan beneficios en cuanto a flora y fauna, pero algunas de las actividades emprendidas bajo el Reto Voluntario y Registro de Acciones sí aportan beneficios en ese sentido.

Contenido Vinculatorio. De conformidad con los 14 convenios de autorregulación analizados, se realizó una serie de recomendaciones para modificar los convenios existentes, se establecen sugerencias sobre el contenido adicional en los convenios y se sientan las bases comunes para futuros convenios de esta naturaleza.

En un artículo publicado el 29 de abril de 2006 en una página web http://www.acapulcoamigo.com/AcaAmigo/Ecologia/ArticulosSur/PilasBaterias.htm, se expresa lo siguiente:
El miércoles 26 de abril de 2006 se frenó en la Cámara de Diputados el intento de considerar a los residuos de pilas y baterías generados en casas habitación, así como de microgeneradores, como residuos sólidos urbanos. Para ello, previamente la Cámara de Senadores había realizado modificaciones a los artículos 5 y 10 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Dicha propuesta por fortuna, fue modificada y votada a favor por el pleno de la Cámara de Diputados.

Lo anterior, debido a que el grupo de diputados del PRD y organizaciones ambientalistas como Greenpeace se opusieron a tal medida. Ya que el fondo se trataba de pasar un problema sumamente grave y complejo, como es el manejo de pilas y baterías, a cada uno de los municipios del país, que son los responsables del manejo de los residuos sólidos urbanos. Es decir, se eliminaba la responsabilidad compartida con los otros dos órdenes de gobierno, federación y estados. También, la posibilidad de impulsar una política nacional ordenada e integral sobre el tema, en especial para obligar a las empresas fabricantes de pilas y baterías a que asuman la parte de responsabilidad que les toca sobre la gestión de este tipo de residuos.

Algunos de los argumentos presentados por los diputados del PRD en el dictamen para modificar el dictamen original del Senado son los siguientes:
En la actualidad, en México, las pilas y baterías deberían ser manejadas de acuerdo a lo previsto en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en Materia de Residuos Peligrosos, las normas oficiales mexicanas correspondientes, y demás procedimientos aplicables. Sin embargo, este marco legal no ha fomentado un manejo adecuado de pilas y baterías, por lo que se termina desechándolas en cualquier lugar, desde un tiradero municipal, cerca de un ecosistema frágil, cuerpo de agua, o se emiten al aire sus componentes tóxicos a través de la quema de basura. Es decir, el definir a los residuos de pilas y baterías rigurosamente como residuos peligrosos tampoco ha contribuido a atender su problemática en el país.

En un artículo publicado en la Gaceta Ecológica No. 72 del Instituto Nacional de Ecología (Castro y Díaz 2004), se señala que “actualmente no se conoce ningún estudio que evalúe el impacto al ambiente ocasionado por la utilización y manejo inadecuado de pilas y baterías en México; se sabe que varios componentes usados en su fabricación son tóxicos y por tanto la contaminación ambiental y los riesgos de afectar la salud y los ecosistemas dependen de la forma, lugar y volumen en que se ha dispuesto o tratado este tipo de residuos”.

En la actualidad en la Comunidad Económica Europea está por ser aprobada después de un largo proceso y entrar en vigor la “propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de noviembre de 2003, relativa a las pilas y acumuladores y a las pilas y acumuladores usados (presentada por la Comisión) (COM (2003) 723 final – no publicada en el Diario Oficial).”

El objetivo de esta propuesta es reducir la cantidad de pilas y acumuladores usados, así como establecer objetivos de recolección y reciclado a escala europea. La propuesta se aplica a todas las pilas y acumuladores, a diferencia de la legislación vigente (Directiva 91/157/CEE) que sólo se aplica a las pilas que contienen mercurio, plomo y cadmio. La Directiva propuesta garantizará el buen funcionamiento del mercado interior y las condiciones equitativas para todos los agentes que intervengan en el ciclo de vida de las pilas. Los estados miembros deberán establecer sistemas para que las pilas y acumuladores usados sean recogidos gratuitamente por los productores con vistas al reciclado de sus materias primas, que se destinarán a la

fabricación de nuevos productos. Se prohíbe la eliminación definitiva de las pilas y acumuladores industriales y destinados a la automoción mediante incineración o vertido.

La experiencia europea deja claro, que la Federación, las entidades federativas y los municipios deben ser responsables en forma compartida, de lograr una disposición segura de pilas y baterías. Asimismo, se debe considerar a las empresas fabricantes de pilas y baterías corresponsables del acopio, tratamiento, reciclado y eliminación ecológica de estos materiales al final de su vida útil.

Por ello, se propone en la modificación realizada por los diputados que los residuos de pilas y baterías generados en las casas habitación, o que posean características domiciliarias sean clasificados como residuos de manejo especial, que conforme al artículo 5 fracción XXX de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos: ”Son aquellos residuos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos…”.

Se señala, igualmente la necesidad de que se generen planes de manejo para las pilas y baterías atendiendo el principio de responsabilidad compartida, conforme al mismo artículo 2 en su fracción V de dicha Ley: “La responsabilidad compartida de los productores, importadores, exportadores, comercializadores, consumidores, empresas de servicios de manejo de residuos y de las autoridades de los tres órdenes de gobierno es fundamental para lograr que el manejo integral de los residuos sea ambientalmente eficiente, tecnológicamente viable y económicamente factible.”

Se concluye el artículo señalando que el problema de las pilas y baterías es un ejemplo del enorme rezago que se tiene en la aplicación de una Ley como la de residuos. La ciudadanía en general no la conoce, a pesar de que es un instrumento legal poderoso. Muchas veces no se sabe, los múltiples intereses económicos en que se dan torno a ella. La influencia que los grupos de cabildeo tanto en la Cámara de Diputados, como de Senadores pueden llegar a tener, ya que con simples modificaciones tratan de quitarse responsabilidades o cargas financieras adicionales sobre el manejo de sus residuos.

4.5.3 BRASIL (SOLÓRZANO, 2003)

DISPOSICIONES LEGALES ESPECIFICAS QUE PERMITAN SUSTENTAR EL MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE PILAS Y BATERÍAS (LEYES, REGLAMENTOS, NORMAS, ACUERDOS, DECRETOS, BANDOS DE GOBIERNO, OTROS).

En Brasil, el destino de las pilas y baterías usadas es de ámbito federal, establecido por las resoluciones del Consejo Nacional de Medio Ambiente – CONAMA números 257 y 263 ambas editadas en el año de 1999.

Considerando que es república federativa, los Estados y Municipios también promulgan leyes y normas ambientales específicas, ya que la protección del medio ambiente, es competencia común (en el ámbito administrativo) y competencia normal (en el ámbito legislativo) de los tres niveles de gobierno, se tratarán en este caso de las Normas Federales por su carácter general recordando que hay normas específicas que pueden ser más estrictas en el ámbito de los Estados y Municipios.

A continuación el texto integral de las Resoluciones CONAMA 257 y 263/99.

a) Resolución No. 257, del 30 de Junio de 1999.

El Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), en el uso de las atribuciones y competencias que le son conferidas por la ley No. 6938 del 31 de Agosto de 1981 y por el decreto No. 99274 del 6 de Junio de 1990 y conforme a lo dispuesto en su Reglamento Interno y considerando los impactos negativos causados al medio ambiente por la eliminación inadecuada de pilas y baterías usadas.

Considerando la necesidad de que se regularice la eliminación y la administración ambiental adecuada de las pilas y baterías usadas, a la hora de la recolección, reutilización, reciclaje, tratamiento o disposición final.

Considerando que tales residuos aún continúan sin un destino adecuado y contaminando al ambiente, necesitan por sus especificaciones de procedimientos especiales o diferenciados, resuelve:

Art. 1°. Las pilas y baterías que contengan en su composición plomo, cadmio, mercurio y sus compuestos necesarios para el funcionamiento de cualquier tipo de aparato, vehículo o sistema, móviles o fijos, así bien como los productos electro-electrónicos que los contengan integrados en su estructura de forma no sustituible, después de su agotamiento energético, serán entregados por los usuarios a los establecimientos que las comercializan o a la red de asistencia técnica autorizada por la respectiva industria, para el reintegro al fabricante o importadores, para que éstos adopten directamente o por medio de terceros, los procedimientos de reutilización, reciclaje, tratamiento o disposición final ambientalmente adecuada.

Art. 2°. Para fines de disposición en esta resolución, se considera:

I. Batería. Conjunto de pilas o acumuladores recargables interconectados convencionalmente (NBR 7039/87);
II. Pila. Generador electro-químico de energía, mediante una conversión generalmente irreversible de energía química (NBR 7039/87);
III. Acumulador plomo-ácido. Acumulador en el cual el material activo de las placas positivas está constituido por compuestos de plomo, y los de las placas negativas esencialmente por plomo, siendo el electrolito una solución de ácido sulfúrico (NBR 7039/87);
IV. Acumuladores (eléctricos). Dispositivo electroquímico constituido de un elemento, electrolito y caja de almacén, bajo una forma de energía química la energía eléctrica que le sea abastecida y que la restituya cuando se conecte a un circuito consumidor. (NBR7039/87).

V. Baterías Industriales. Son consideradas baterías de aplicación industrial, aquellas que se destinan a aplicaciones estacionarias, tales como telecomunicaciones, usos eléctricos, sistemas ininterrumpidos de abastecimiento de energía, alarmas, seguridad, uso general industrial y para encendido de motores a diesel o también motores de tracción, tales como las utilizadas en el movimiento de carga o personas y carros eléctricos.

VI. Baterías vehiculares. Son consideradas baterías de aplicación vehicular aquellas utilizadas para encendido de sistemas de propulsores y/o como uso principal, fuente de energía en vehículos automotores de locomoción en medio terrestre, acuático y aéreo, inclusive tractores, sillas eléctricas con motor y semejantes.

VII. Pilas y baterías portátiles. Son consideradas pilas y baterías portátiles aquellas utilizadas en telefonía y equipos electro-electrónicos, tales como juegos, juguetes, herramientas eléctricas portátiles, informática, linternas, equipo fotográfico, radios, aparatos de sonido, relojes, agendas electrónicas, rasuradoras eléctricas, instrumentos de medición, equipos médicos y otros.

VIII. Pilas y Baterías de aplicación especial. Son consideradas pilas y baterías especiales aquellas utilizadas en aplicaciones específicas de carácter científico, médico o militar y aquellas que sean parte de circuitos electro-electrónicos para ejercer funciones que requieran energía eléctrica ininterrumpida en caso de que la fuente de energía primaria sufra alguna falla o fluctuación momentánea.

Art. 3°. Los establecimientos que comercializan los productos descritos en el artículo 1°, así como la red de asistencia utilizada por los fabricantes e importadores de estos productos, quedan obligados a aceptar a los usuarios la devolución de las unidades usadas, cuyas características sean similares a aquellas comercializadas, con visitas a los procedimientos referidos en el artículo 1°.

Art. 4°. Las pilas y baterías recibidas en la forma del artículo anterior serán acondicionadas adecuadamente y almacenadas de forma secreta, obedeciendo a las Normas Ambientales, y de Salud Pública pertinentes, así como las recomendaciones definidas por los fabricantes o importadores, hasta su reintegro a estos últimos.

Art. 5°. A partir del 1 de Enero del 2000, la fabricación, importación y comercialización de pilas y baterías deberán atender a los límites establecidos a continuación:

I. Hasta 0.025 % en peso de mercurio cuando fuesen del Tipo Cinc-manganeso y alcalina- manganeso.

II. Hasta 0.025 % en peso de cadmio cuando fuesen del Tipo Cinc-manganeso y alcalina-manganeso.

III. Hasta 0.400 % en peso de plomo cuando fuesen del Tipo Cinc-manganeso y alcalina-manganeso.

Art. 6°. A partir de 1 de Enero del 2001, la fabricación, importación y comercialización de pilas y baterías deberán atender a los límites establecidos a continuación.

I. Hasta 0.010 % en peso de mercurio cuando fuesen del Tipo Cinc-manganeso y alcalina- manganeso.

II. Hasta 0.015 % en peso de cadmio cuando fuesen del Tipo Cinc-manganeso y alcalina-manganeso.
III. Hasta 0.200 % en peso de plomo cuando fuesen del Tipo Cinc-manganeso y alcalina-manganeso.

Art. 7°. Los fabricantes de los productos comprendidos en esta resolución deberán dirigir estudios para sustituir las sustancias tóxicas potencialmente peligrosas contenidas o reducir el contenido de las mismas, hasta los valores más bajos viables tecnológicamente.

Art. 8°. Quedan prohibidas las siguientes formas de disposición final de pilas y baterías usadas, de cualquier tipo o características:
I. Disposición “en forma natural” a cielo abierto, tanto en áreas urbanas como en rurales.
II. Quema a cielo abierto o en recipientes, instalaciones o equipos no adecuados conforme a la legislación vigente.
III. Vertido en cuerpos de agua, playas, manglares, terrenos baldíos, pozos o manantiales, cavidades subterráneas, en redes de drenaje de agua pluviales, albañales, electricidad o de teléfono, mismas que son abandonadas, en áreas propensas a inundación.

Art. 9°. En el plazo de un año a partir de la fecha de vigencia de esta resolución, en materia publicitaria y en los embalajes de los productos descritos en el artículo 1°, deberán establecerse de forma visible, las advertencias sobre los riesgos a la salud humana y al medio ambiente así como de la necesidad de, después de su uso, devolverlas a los revendedores o a la red de asistencia técnica autorizadas para el reenvío a los fabricantes o importadores.

Art. 10°. Los fabricantes deben de efectuar gestiones en el sentido de la incorporación de pilas y baterías en determinados aparatos, para que solamente sea efectuada con la condición de que puedan ser fácilmente sustituidas por los consumidores después de su utilización, permitiendo su disposición, independientemente de los aparatos.

Art. 11°. Los fabricantes, los importadores, la red autorizada de asistencia técnica y los comerciantes de pilas y baterías descritas en el artículo 1° quedan obligados a, en un plazo de doce meses contados a partir de la vigencia de esta resolución, implantar los mecanismos operacionales para la recolección, transporte y almacenamiento.

Art. 12°. Los fabricantes y los importadores de pilas y baterías descritas en el artículo 1° quedan obligados a en un plazo de 24 meses, contados a partir de la vigencia del dictamen, implantar los sistemas de reutilización, reciclaje, tratamiento o disposición final, obedeciendo a la legislación en vigor.

Art. 13°. Las pilas y baterías que obedezcan a los límites previstos en el artículo 6° podrán ser dispuestas juntamente con los residuos domiciliares, en rellenos sanitarios autorizados.

Párrafo único. Los fabricantes e importadores deberán identificar los productos descritos en el capítulo de este artículo mediante la agregación de embalajes, cuando se empaquen los productos, de un símbolo que permita al usuario distinguirlo de los demás tipos de pilas y baterías comerciales.

Art. 14°. La reutilización, reciclaje, tratamiento o la disposición final de las pilas y baterías comprendidas en esta resolución, realizadas directamente por el fabricante o por terceros, deberán ser procesadas de forma técnicamente segura y adecuada, con previsiones para evitar riesgos a la salud humana y al medio ambiente, principalmente en el proceso del manejo de los residuos por los seres humanos; filtros de aire, tratamiento de efluentes y cuidados con el suelo, observadas en las Normas Ambientales, especialmente en lo que se refiere a la licencia de operación.

Párrafo único. En la imposibilidad de reutilización o reciclaje de las pilas y baterías descritas en el artículo 1° la disposición final por destrucción térmica deberá obedecer a las condiciones técnicas prevista en la NBR-11175 incineración de Residuos Sólidos Peligrosos y los padrones de calidad del aire establecidos por la resolución CONAMA No. 3 del 28 de Junio de 1990.

Art. 15°. Compete a los órganos integrantes del Sistema Nacional de Medio Ambiente (SISNAMA) dentro del límite de sus competencias, la fiscalización relativa al cumplimiento de las disposiciones de esta resolución.

Art. 16°. El no cumplimiento de las obligaciones previstas en esta resolución sujeta a los infractores, a las penalidades previstas en las leyes No. 6938 del 31 de Agosto de 1981, y la No. 9605 del 12 de Febrero de 1998.

b) Resolución No. 263 del 12 de Noviembre de 1999

El Consejo Nacional de Medio Ambiente CONAMA en el uso de las atribuciones y competencia que les han sido conferidas por la Ley No. 6938 del 31 de Agosto de 1981 y por el Decreto No. 99274 del 6 de Junio de 1990 y conforme a lo dispuesto en su reglamento interno, y:

Considerando la necesidad de una restitución explícita en el artículo 6° de la Resolución No. 257 del 30 de Junio de 1999, a consideración del límite establecido en el artículo 5° inciso IV, de la Resolución referida para las pilas miniatura y de botón, resuelve:

Art. 1°. Incluir en el artículo 6° de la resolución CONAMA No. 257 del 30 de Junio de 1999 el inciso IV, con la siguiente redacción.

"IV – con hasta 25 mg de mercurio por elemento, cuando fueran pilas tipo miniatura y botón."

Art. 2°. Esta resolución entra en vigor en la fecha de su publicación.

La conclusión que se dio sobre las disposiciones legales especificas para residuos de pilas y baterías en la primera revisión del "Proyecto regional para el manejo ambiental de pilas, baterías, lubricantes y envases vacíos de plaguicidas". 2001, por parte de Brasil fue la siguiente:

Los instrumentos legales al parecer son adecuados y han sido cumplidos de acuerdo a la posibilidad de almacenamiento de residuos de pilas y baterías dentro de un determinado límite en los rellenos sanitarios autorizados, sin embargo esto puede generar problemas, ya que la legislación para la operación de estos sitios de disposición es difícil. Lo mejor sería que todo el material de pilas y baterías fuera depositado en un sitio de disposición controlada. Por otro lado, la resolución CONAMA 257/99 no establece un plazo para la modificación del proceso productivo de pilas y baterías (artículo 7°), lo que sería deseable.

4.5.4 ESTADOS UNIDOS (RIHM, A., 2006)

1994:
Posee un documento oficial emanado por la USA EPA ***"Disposal of Alkaline Batteries" (Anexo VIII)***. Destinado a los usuarios de baterías alcalinas. Describe cómo los acumuladores alcalinos deben ser manejados, informa de modo general sobre las regulaciones gubernamentales en la materia, y sugiere procedimientos para su disposición como residuos.

1996:
Entra en vigencia la ley ***"The Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act" (Anexo IX)***. El objetivo de esta ley es eliminar el uso de mercurio en las pilas, y prever su eficiente recolección y reciclaje, así como también la apropiada disposición de las pilas NiCd, pequeñas pilas de ácido-plomo y otro tipo de pilas como las de óxido de mercurio y óxido de plata.

4.5.5 EUROPA

Según un estudio realizado por Alfredo Rihm en 2006 dentro de la Unión Europea se han promulgado las siguientes leyes e iniciativas concernientes a las pilas y baterías:
1991:
Diario oficial de la comunidad europea N° L78/38, 26.03.1991. Las pilas que contengan más de 0.05% de mercurio, 0.025% de cadmio en su peso y 0.4% de plomo en su peso, deben ser recolectadas separadamente de los desechos domiciliarios para ser recicladas o depositadas en lugares especiales.

1994:
La industria europea de pilas se comprometió a eliminar totalmente el mercurio de las pilas alcalinas y Cinc-carbón, desde enero de 1994. Por lo tanto no se considera

importante la recolección y eliminación de ese tipo de pilas en forma separada por razones ambientales.

1998:
La Directiva 98/101/CEE se adapta al progreso técnico de la Directiva 91/157/CEE que a partir del 01.01.2000 prohíbe la comercialización de pilas cuyo contenido de mercurio sea superior al 0.0005% en peso. Lo mismo ocurrirá con los aparatos que lleven incorporados tales pilas y que contengan más de 0.002% de cadmio en peso. Esta prohibición no se aplica a las pilas de botón con un contenido de mercurio no superior al 2% en peso.

Según un artículo publicado el 27 de noviembre de 1999 en la página de Internet: http://www.boe.es/boe/dias/1999/11/27/pdfs/A41163-41163.pdf por el Ministerio de Medio Ambiente de España se señala que:

> *"RESOLUCIÓN de 25 de noviembre de 1999, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se dispone la publicación del acuerdo de la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente de 22 de noviembre de 1999, por el que se da conformidad al Programa Nacional de Pilas y Baterías Usadas.*
>
> El Pleno de la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente celebrada en Madrid el día 22 de noviembre de 1999, adoptó, entre otros acuerdos, el de dar su conformidad al Programa Nacional de Pilas y Baterías Usadas, en atención a lo establecido en la Directiva 91/157/CEE, del Consejo, de 18 de marzo, relativa a las pilas y acumuladores que contengan determinadas sustancias peligrosas, incorporada al ordenamiento interno mediante el Real Decreto 45/1996, de 19 de enero.
>
> Con el fin de asegurar la mayor difusión del contenido del mencionado Programa Nacional, resuelvo:
> Primero.-Mediante la publicación de esta Resolución en el «Boletín Oficial del Estado», se informa que en el Pleno de la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente, de 22 de noviembre de 1999, se adoptó, entre otros acuerdos, el de la conformidad del mencionado órgano colegiado en relación con el Programa Nacional de Pilas y Baterías Usadas.
>
> Segundo.-El Programa Nacional de Pilas y Baterías Usadas estará a disposición de todos aquellos que deseen consultarlo en los siguientes lugares, con independencia de los que, en su caso, designen las Comunidades Autónomas y de la difusión que, por otros medios, haga el Ministerio de Medio Ambiente:
>
> Servicio de Información del Ministerio de Medio Ambiente. Plaza de San Juan de la Cruz, sin número, 28071 Madrid.
>
> Delegaciones del Gobierno en las Comunidades Autónomas, incluidas Ceuta y Melilla.
>
> Lo que se hace público para general conocimiento en Madrid el 25 de noviembre de 1999. "

2006:
La ***Directiva 2006/66/CE (Anexo X)*** a partir del 26 de septiembre de 2006 relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores deroga a la ***Directiva 91/157/CEE*** que promueve un alto nivel de recolección y reciclado de pilas y acumuladores usados y una mejor actuación medioambiental de todos los operadores que participen en el ciclo de vida de pilas y acumuladores, por ejemplo productores, y usuarios finales, y, en particular, aquellos operadores que participen directamente en el tratamiento y reciclado de pilas y acumuladores usados. Las normas específicas que se precisan para ello completan la legislación comunitaria sobre residuos.

La Directiva 2006/66/CEE es el mejor ejemplo de ley, así como el más completo que existe hasta el momento, ya que en éste se incluye: *Objeto, El Ámbito de Aplicación, Definiciones, Prohibiciones, Mejora del rendimiento medioambiental, Puesta en el Mercado, Sistemas de recogida, Instrumentos Económicos, Objetivos de recogida, entre otros.*

Esta Directiva prohíbe la comercialización de las pilas y acumuladores que contengan mercurio o cadmio en una proporción que contengan *más de 0,0005 % de mercurio en peso (con excepción de las pilas botón con un contenido de mercurio no superior al 2 % en peso); más de 0,002 % de cadmio en peso (con excepción de las pilas y acumuladores destinados a ser utilizados en dispositivos de emergencia y de alarma, equipos médicos o herramientas eléctricas inalámbricas)*. Además, fomenta un nivel elevado de recolección y de reciclado de los residuos de pilas y acumuladores, así como una mejor actuación medioambiental de todos los operadores que participen en el ciclo de vida de pilas y acumuladores, incluso en el momento del reciclado y de la eliminación de los residuos correspondientes.

Se trata de reducir la cantidad de sustancias peligrosas, en particular el mercurio, el cadmio y el plomo liberados en el ambiente, gracias a la reducción de la cantidad de dichas sustancias en las pilas y los acumuladores, así como al tratamiento y a la reutilización de dichas sustancias.

Todos los tipos de pilas y de acumuladores están regulados por esta Directiva, con excepción de los que se utilizan en los equipos destinados a proteger a los Estados o a fines militares, así como los destinados a ser enviados al espacio. Así pues, esta Directiva abarca una gama de productos más amplia que la Directiva 91/157/CEE, que sólo se aplicaba a pilas que contuvieran mercurio, plomo o cadmio, y que excluía a las pilas botón.

Para alcanzar un alto nivel de reciclado de todos los residuos de pilas y acumuladores, los Estados miembros deben tomar las medidas necesarias (incluidos instrumentos económicos) para fomentar y optimizar la recolección selectiva de este tipo de residuos y evitar que las pilas y acumuladores se eliminen como residuos municipales mezclados. Los índices de recolección deben alcanzar un mínimo del 25 % a más tardar el 26 de septiembre de 2012 y un mínimo del 45 % a más tardar el 26 de septiembre de 2016.

Los Estados miembros también deben garantizar que, a más tardar el 26 de septiembre de 2009, las pilas y acumuladores recogidos sean sometidos a tratamiento y reciclado con arreglo a las mejores prácticas disponibles. El reciclado excluye la recuperación de energía.

Los Estados miembros deben enviar a la Comisión informes sobre la aplicación de esta Directiva (el primero abarcará el período hasta el 26 de septiembre de 2012, y los siguientes se harán con periodicidad trienal) y las medidas que adopten para fomentar las innovaciones que permitan reducir el impacto medioambiental de las pilas y acumuladores (incluidas las nuevas técnicas de reciclado y tratamiento). En función de esos informes, la Comisión debe publicar a su vez otro informe sobre la aplicación de esta Directiva y sobre su impacto en el medio ambiente y en el funcionamiento del mercado interior.

Se prevé una revisión de la Directiva una vez recibido el segundo informe de los Estados miembros. La Comisión debe analizar la pertinencia de adoptar nuevas medidas de gestión del riesgo, de los objetivos mínimos de recolección y de los requisitos mínimos de reciclado, y presentar, si procede, propuestas de modificación de la Directiva.

5. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE PILAS Y BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS EN EL SALVADOR

5.1 ANTECEDENTES. ESTUDIO DE CASOS PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO EN LATINOAMÉRICA

A lo largo del desarrollo humano ha sido constante la búsqueda de elementos o técnicas que posibilitaran el transporte y almacenamiento de la energía. Paralelamente se tiende a personalizar el uso de elementos, reduciendo su tamaño.

En la actualidad la posibilidad del uso individual de energía que brindan las pilas es una demostración palpable de lo dicho anteriormente. Sin embargo, la contra de este desarrollo surge cuando se debe decidir la deposición de las mismas al final de su vida útil.

Esta generalización de la utilización de aparatos portátiles revela que estos niveles no muestran tendencia a disminuir sino por el contrario, el problema de la disposición será creciente.

Las pilas o baterías representan uno de los mayores problemas en los residuos generados en casas habitación conocidos como domésticos o urbanos ya que sus componentes contienen elementos tóxicos como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) por mencionar algunos. Estos residuos se depositan en el recolector de basura y posteriormente se vierten en tiraderos, vertederos o rellenos sanitarios **(Aceves y García 2007).**

Algunos estudios han proporcionado estimaciones en relación a las cantidades de residuos peligrosos presentes en los Residuos Sólidos Urbanos. Por ejemplo, un estudio llevado a cabo en varias ciudades de EEUU entre 1979 y 1991, muestra que el porcentaje varía entre un 0,0045% y un 1% **(De Carlo y Stancich, 2000).**

Para la World Resource Foundation, el 1% de los residuos domiciliarios que se tiran, son potenciales de ocasionar daño a la salud humana o al medio ambiente a causa de la naturaleza de sus compuestos químicos o biológicos **(De Carlo y Stancich, 2000).**

La composición de los Residuos Peligrosos Domiciliarios en base a los programas periódicos de recolección y las instalaciones permanentes de recolección en estudios realizados en EEUU y Canadá **(De Carlo y Stancich, 2000)** es la siguiente:

Pinturas:	25 - 60%	Corrosivos:	3 - 10%
Aceites:	10 - 25%	Aerosoles:	1 - 3%
Inflamables:	3 - 20%	Pilas y baterías:	1 - 10%
Venenos:	3 - 7%		

En América Latina algunos países han avanzado en la búsqueda de la solución a la problemática de las pilas y baterías fuera de uso, así **Argentina** dejó de producir pilas y baterías para convertirse en importador desde hace varios años; dispone de datos de importación por tipo y volumen, así como por país de origen. Cuenta con el dato aproximado correspondiente a un consumo nacional de 10 millones de piezas, de los cuales se estima que el 50% se transforma en residuo. La cifra relativa al contrabando es desconocida. Se cuenta con un padrón de empresas tratadoras de residuos conteniendo metales pesados, autorizados por la dependencia responsable. Además cuenta con una planta formal a escala comercial autorizada para el tratamiento/reciclaje de pilas y baterías, incluyendo las de plomo ácido. Existen además algunos proyectos de investigación en universidades del país para el tratamiento de pilas y baterías (vitrificación) así como implicaciones ambientales del uso de éstas **(Solórzano, 2003)**.

Por su parte, en **Brasil** se conoce la producción e importación de pilas y baterías por tipo, estimada en una cifra aproximada de 1,850 millones de piezas para el 2001, aunque se desconoce el porcentaje correspondiente al consumo nacional y a la exportación. El porcentaje del mercado correspondiente al contrabando se estima en cerca del 60%. En este país no se dispone de infraestructura para su tratamiento autorizado, aunque algunos tipos de pilas pueden ser dispuestas en rellenos sanitarios **(Solórzano, 2003)**.

Colombia centra su información en pilas de telefonía celular para las cuales cuenta con datos de importación (no se producen en este país); sin embargo no dispone de datos estadísticos relativos a otro tipo de pilas o baterías, incluyendo las de plomo-ácido. Se estima que aproximadamente un 80% del consumo nacional proviene del contrabando. En cuanto a la infraestructura para el tratamiento adecuado, sólo se cuenta con instalaciones para baterías plomo ácido, estimándose una generación para este tipo de residuo en un total de 623,016 piezas provenientes de todo tipo de vehículo, incluyendo motocicletas **(Solórzano, 2003).**

Ecuador solo importa y no produce pilas y baterías en su territorio, excepción hecha de las de tipo plomo-ácido. De esta forma, excluyendo a estas últimas, se cuenta con el dato correspondiente para el año 2000 equivalente a un volumen de importación superior a 1,957 toneladas de pilas y baterías, desglosadas por tipo si bien desafortunadamente se desconoce la cantidad de piezas para efectos de comparación con el resto de los países estudiados. Se conoce por el contrario, el consumo anual per cápita que es equivalente a 10.6 piezas. En cuanto a las baterías plomo-ácido, se estima un volumen de producción anual de 300,000 piezas, volumen comercializado en el año 2000. Se desconoce el volumen de pilas y baterías que ingresa al país como contrabando, y en cuanto a la infraestructura para el reciclaje de todo tipo de pilas no se cuenta con datos disponibles; mientras que existe información escasa sobre el reciclaje de baterías plomo-ácido **(Solórzano, 2003)**.

En **México** se conocen los tipos y marcas de pilas de consumo pero no se reportan datos sobre producción e importación, si bien se tiene un consumo anual equivalente a 450 millones de piezas. Para las baterías plomo-ácido se cuenta con una

capacidad instalada para producir 57.5 millones de unidades anualmente, para una sola empresa (ENERTEC). Esta misma empresa tiene capacidad para procesar 75,000 toneladas de plomo y 85,000 toneladas de polipropileno; es importante destacar que México es un importador de residuos (peligrosos) de batería plomo-ácido para reciclaje, si bien no cuenta con infraestructura para reciclar pilas de otro tipo. México tiene experiencia en programas de manejo de Ni-Cd a nivel teórico, y cuenta con intentos de acuerdos gobierno-industria (Motorola) pero no han sido exitosos **(Solórzano, 2003)**.

Cuando las pilas no reciben el adecuado manejo especial que se requiere a un residuo potencialmente toxico, podrían ir a tiraderos o vertederos municipales donde las carcazas o envolturas sufren un deterioro debido a la corrosión de la acción climática y procesos biológicos de descomposición de la materia orgánica de la basura. Donde se degradan y se disocian los compuestos tóxicos de las pilas y formando lixiviados que se escurren y se infiltran en el suelo llegando a los cuerpos receptores de agua subterránea y superficiales **(Aceves y García 2007)**.

El mecanismo de movilidad a través del suelo, se ve favorecida al estar los metales en su forma oxidada, esto lo hace mucho más rápido en terrenos salinos o con un pH muy ácido. Los metales emitidos se hayan como cationes lo que hace que los suelos lo absorban con mayor rapidez, no se degradan en forma espontánea y casi todos son biodisponibles. Otros de los problemas que se presentan es cuando se quema un basurero, la contaminación atmosférica se considera peligrosa, por todos los residuos peligrosos (pilas) que se generan en casas habitación y se vierten al tiradero. Lo cual representa un aporte significativo de emanación de estos contaminantes a la atmósfera entorno al tiradero y el desplazamiento de los gases a través de las corrientes de aire que impactan a otros lugares **(Aceves y García 2007)**.

5.1.1 MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL ACTUAL DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO EN EL SALVADOR

La tendencia en el mundo es comercializar pilas y baterías no agresivas para el medio ambiente, sin embargo en el mercado nacional también se encuentran a la venta aquellas que son fabricadas con tecnología obsoleta. Éstas, son clasificadas como residuos peligrosos ya que además de contener mercurio incorporado intencionalmente, pueden también contener cadmio y plomo.

En El Salvador se ha difundido muy poca información sobre las pilas y baterías. La mayor parte de la ciudadanía desconoce que varios de los elementos que se utilizan en la fabricación de pilas son metales pesados considerados altamente tóxicos y por lo tanto el medio ambiente se contamina y el riesgo de afectación a la salud de los humanos y los ecosistemas es latente por un inadecuado o mal manejo y disposición final de la pila, aunado a la cantidad de piezas que se genera, el lugar y la forma como se desechan. La información existente acerca de las pilas en El Salvador es poco clara respecto a su peligrosidad una vez que se vuelven residuos. Por un lado

los fabricantes aseguran que las pilas se pueden desechar como cualquier otro residuo doméstico, mientras que organizaciones ecologistas aseguran que una pila común puede contaminar hasta 600.000 litros de agua a través de lixiviado debido a metales pesados que se encuentran dentro de sus componentes. Por su parte el responsable en El Salvador del manejo y disposición de estos productos una vez que se vuelven residuos domiciliarios es el consumidor, quien no cuenta con una información detallada y precisa respecto a la peligrosidad de pilas de uso doméstico **(Aceves y García, 2007)**.

En El Salvador no existen empresas productoras de pilas y baterías, lo que nos convierte en importador de estos dispositivo, pese a esto no se dispone de datos reales de importación por tipo y volumen, así como por país de origen. La totalidad de pilas y baterías que entran al país dentro de artefactos electrónicos no son contabilizadas. La cifra relativa al contrabando es desconocida y no se tiene un dato claro de la cantidad anual de pilas y baterías desechadas, ni qué porcentaje representan las pilas y las baterías en la composición de los desechos sólidos. El país no cuenta con proyectos de investigación en este ámbito, y en consecuencia se carece de datos relativos a costos.

Históricamente no se han impulsado campañas de información con respecto al tema, en general las pilas se clasifican todas dentro del mismo grupo, siendo que difieren en su composición unas de otras. Su manejo apropiado dependerá de su correcta clasificación.

En El Salvador no existe ningún organismo nacional que haya hecho estudios representativos que confirmen si las pilas son o no un residuo peligroso, por tal motivo la información que llega al consumidor hasta ahora proviene de experiencias de otros países.

Actualmente El Salvador cuentan con un marco regulatorio aplicable a los residuos peligrosos en general, éste es el **Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos** y tiene por objeto reglamentar la Ley de Medio Ambiente en actividades relacionadas con sustancias, residuos y desechos peligrosos. No existe en El Salvador una normativa específica de carácter ambiental con relación a la importación, manejo y disposición final de pilas, es decir, que prohíba el ingreso de estos artículos con determinadas concentraciones de metales pesados y norme aspectos como los siguientes:

- ✓ los tipos de instrumentos económicos posibles que aplicarían para incentivar la devolución de las pilas y baterías usadas;
- ✓ los mecanismos para asegurar que se retorne una cantidad de pilas y baterías usadas consistente con la compra de los productos nuevos;
- ✓ los mecanismos para prevenir que se mezclen otro tipo de pilas y baterías no comprendidas en los sistemas de devolución y reciclado objeto de los planes de manejo;
- ✓ las condiciones que deben reunir los contenedores para depositar las pilas y baterías usadas y los sitios donde se ubiquen;

- ✓ las medidas para asegurar que se retiren las baterías devueltas una vez que transcurra un plazo o se alcance un volumen límite previamente establecidos;
- ✓ los mecanismos para involucrar a los actores claves en la implantación de los planes correspondientes;
- ✓ el papel que jugarían los productores, importadores, distribuidores y comercializadores, en cuanto a la responsabilidad física de los productos;
- ✓ la distribución de los costos de su acopio y manejo; de registrar e informar los avances en la implantación de los planes de manejo;
- ✓ el cumplimiento de las obligaciones por parte de los generadores domiciliarios y establecimientos microgeneradores;
- ✓ la información, comunicación, educación, capacitación requeridas para la implantación de los planes;

Las pilas poseen metales pesados como mercurio y cadmio, estos elementos se encuentran en el Reglamento de Residuos Peligrosos, el cual específica la Concentración Máxima Permisible en caso específico de la Toxicidad Extrínseca para productos que posean uno de estos compuestos como constituyentes. Existen países como España, Brasil y EEUU que poseen una legislación sobre esta materia, ésta regula por ejemplo la cantidad máxima de metales pesados que las pilas deben poseer para su comercialización, así como los mecanismos de recolección y los lugares de disposición final de ellas.

En países como El Salvador, en los que no existe una normativa que regule el ingreso de pilas con mercurio, es común encontrar en calles, ferias e importadoras, pilas de origen asiático cuyo precio es muy bajo. Sus marcas son desconocidas y muchas veces confunden a los consumidores, ya que su diseño y colores las asemeja a simple vista a otras marcas de origen conocido y respaldadas por marcas registradas

En El Salvador la disposición final de los residuos se realiza de manera no selectiva en rellenos sanitarios y la mayor parte en botaderos a cielo abierto. En ellos se mezcla todo tipo de residuos, dado que hasta la fecha no existen requerimientos para la segregación de aquella parte que, por presentar alguna característica de peligrosidad, sería aconsejable tratar o disponer en forma separada del resto. Es el caso de las pilas y baterías en desuso. La problemática es entonces compleja, ya que el consumo de pilas tiene tanto ribetes económicos como medioambientales, e involucra responder al principio de corresponsabilidad de los proveedores de pilas y baterías en el mercado nacional.

Hasta el momento, la práctica normal es arrojar las pilas y baterías agotadas junto con los residuos domiciliarios. Esto conduce al abandono de las mismas en terrenos conectados con las capas freáticas. Debido a las sustancias tóxicas que las componen, en especial compuestos de mercurio, cadmio, plomo y manganeso, su dispersión en medios corrosivos como los basurales es altamente perjudicial para el ambiente ya que se forman compuestos que contaminan las aguas subterráneas.

5.1.2 EFECTOS A LA SALUD Y MEDIO AMBIENTE OCASIONADO POR PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO SIN DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA.

Desde hace varios años, nuestro ambiente viene sufriendo las graves consecuencias de las pilas y baterías primarias con forma cilíndrica o de prisma, comunes de carbón-Cinc y alcalinas de manganeso, con agregado intencional de mercurio y contenido de cadmio y plomo por ser altamente contaminantes.

El mercurio, el cadmio y el plomo, una vez presentes en el medio ambiente, pueden concentrarse en tejidos de organismos vegetales o animales, y llegar hasta el hombre a través de la cadena alimenticia, causando trastornos de crecimiento y enfermedades. El efecto principal de la intoxicación con mercurio comprende trastornos neurológicos y renales como así también efectos mutagénicos. El cadmio es un carcinógeno comprobado, con efectos en el proceso reproductivo. Asimismo, el plomo afecta el sistema nervioso, produce edema cerebral severo y aumento de la presión del fluido espinal cerebral; la exposición crónica puede producir esclerosis vascular y puede causar esterilidad, abortos y mortalidad neonatal.

En referencia al mercurio, es el metal pesado contaminante más extendido en todo el planeta que, transformado por ciertas bacterias, se convierte en un elemento muy tóxico. La inhalación de vapores de mercurio daña especialmente al sistema nervioso del ser humano. Asimismo, las exposiciones leves están caracterizadas por pérdidas de la memoria, inestabilidad emocional (angustia e irritabilidad), insomnio e inapetencia, y las exposiciones breves a altos niveles de vapor de mercurio pueden producir daños pulmonares y hasta muerte.

Con respecto a los efectos ambientales, cabe destacar que las descargas industriales de mercurio inorgánico son transformadas en metilato de mercurio (orgánico) por las bacterias en el agua dulce y en el mar. El metilato de mercurio es ingerido por los peces, que lo almacenan en sus músculos. Mediante la biomagnificación, los peces en los niveles bajos de la cadena alimentaria acuática son comidos por peces de los niveles más altos, haciendo que el metilato de mercurio alcance concentraciones progresivamente más elevadas en sus tejidos. Cuando la gente consume peces de los niveles más altos de la cadena alimenticia, recibe metilato de mercurio en concentraciones muy superiores a las que imperan en el agua de donde provienen. De hecho, éste es el mecanismo principal por el que la gente se expone al mercurio. Los organismos terrestres generalmente no están expuestos a niveles nocivos de mercurio. No obstante, el uso de éste, cuando no es controlado debidamente, es el mayor responsable de la contaminación de aguas, sedimentos en ríos y lagos, atmósfera, suelos, vegetación y peces. En forma directa o indirecta afecta, como ya hemos visto, a seres humanos, provocándoles una enfermedad aguda o crónica, que a veces alcanza niveles de envenenamiento, denominada mercurialismo.

5.2 CUANTIFICACIÓN DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO EN EL SALVADOR

5.2.1 CLASIFICACIÓN ARANCELARIA PARA PILAS Y BATERÍAS EN EL SALVADOR

El Sistema Arancelario Centroamericano (SAC): es un listado ordenado y codificado, con un sentido lógico, de todas las mercancías que son objeto de comercio internacional, compuesto de código, descripción y tributos

Para el caso de las pilas y baterías los códigos y las correspondientes descripciones en el SAC son:

Cuadro 5.1. *Descripción según partida arancelaria de las pilas primarias y secundarias.*

INCISO	DESCRIPCION
85061010	Pilas cilíndricas secas de 1.5 V, de volumen exterior inferior o igual a 300 cm y peso unitario inferior o igual a 100 g
85061020	Pilas cilíndricas secas de 1.5 V, de volumen exterior inferior o igual a 300 cm y peso unitario inferior o igual a 100 g
85061090	Otras
85063000	De oxido de mercurio
85064000	De oxido de plata
85065000	De litio
85066000	De aire-cinc
85068000	Las demás
85069000	Partes.
85071000	De plomo, del tipo de los utilizados para arranque de motores de émbolo (pistón)
85072000	Los demás acumuladores de plomo.
85073000	De níquel-cadmio
85074000	De níquel-hierro
85078000	Los demás acumuladores
85079010	Separadores
85079090	Otras

Fuente: Dirección General de Aduanas de El Salvador

Cómo se puede observar en el cuadro 5.1 la clasificación que se hace de las pilas y baterías en el SAC es muy escueta, existen partidas que llevan por descripción “las demás” u “otras”; según estas partidas pueden ingresar al país pilas y baterías con cualquier sistema químico sin que el importador tenga la obligación de especificarlo, no hay forma de determinar cuáles son los sistemas químicos que ingresan bajo esa descripción.

5.2.1.1 Cantidades importadas

La cantidad de pilas y baterías emitida por la Dirección General de Aduanas están subestimadas, pues no se contó con información sobre las baterías que ya vienen incluidas en los aparatos cuando se compran, ya sean baterías primarias como es el caso de linternas, radios o cepillos dentales, etc., o secundarias de Ni-Cd, Ni-MH (Metal Hidruro) o Ion-Li como las aspiradoras, cámaras de video y otros; tampoco se consideraran las pilas de botón usadas en relojes de pulso que se importan dentro de los artefactos.

En los cuadros 5.2 y 5.3 se presenta el volumen de pilas y baterías anuales importadas de acuerdo a los códigos de las partidas arancelarias del SAC. Fuente: Dirección General de Aduanas de El Salvador

En el ***Anexo XI*** se muestran estadísticas de importación de pilas y baterías mensuales en un período comprendido entre el año 2002-2006

Cuadro 5.2. *Resumen de Volúmenes de importación de las pilas primarias de 2001 a 2006.*

Tipo de pila	Partida Arancelaria	Descripción	Volumen de Importación (Kg)* (%)					
			2001	2002	2003	2004	2005	2006
Primarias	85061010	Pilas cilíndricas secas de 1.5 V, de volumen exterior inferior o igual a 300 cm^3 y peso unitario inferior o igual a 100 g	3,005,459.52 (97.898 %)	2, 547,584.86 (97.280 %)	2, 450,085.85 (95.770 %)	2, 660,030.42 (97.858 %)	2, 798,819.35 (96.558 %)	2, 711,158.00 (97.297 %)
	85061020	Pilas rectangulares de 1.5V, 6V, 9V, de volumen exterior inferior o igual a 300cm^3 y peso unitario inferior o igual a 1,200 g	4,719.76 (0.154 %)	13,212.90 (0.505 %)	18,660.06 (0.729 %)	13,308.83 (0.490 %)	8,118.63 (0.280 %)	10,503.00 (0.377 %)
	85061090	Otras	9,744.28 (0.317 %)	20,140.28 (0.769 %)	8,185.42 (0.320 %)	8,543.81 (0.314 %)	23,896.58 (0.824 %)	9,883.00 (0.355 %)
	85063000	De Oxido de mercurio	17 (0.001 %)	977.00 (0.037 %)	17,395.43 (0.680 %)	1.20 (0.00 %)	0.00 (0.00%)	4.00 (0.00 %)
	85064000	De Oxido de plata	136.74 (0.004 %)	713.75 (0.027 %)	355.66 (0.014%)	231.86 (0.009 %)	407.08 (0.014 %)	252.00 (0.009 %)
	85065000	De litio	3,314.47 (0.108 %)	7,572.62 (0.289 %)	18,788.70 (0.734 %)	11,854.16 (0.436 %)	13,845.82 (0.478 %)	7,992.00 (0.287 %)
	85066000	De aire-cinc	385.76 (0.013 %)	158.07 (0.006 %)	132.53 (0.005 %)	113.41 (0.004 %)	882.89 (0.030%)	6,526.00 (0.234 %)
	85068000	Las demás	42,252.36 (1.376 %)	28,428.08 (1.086 %)	38,620.72 (1. 510 %)	24,157.97 (0.889 %)	52,585.53 (1.814 %)	38,480.00 (1.381%)
	85069000	Partes	3,967.30 (0.129 %)	37.52 (0.001 %)	6,073.15 (0.237 %)	7.02 (0.0003 %)	22.78 (0.001 %)	1,668.00 (0.060 %)

**Fuente: Dirección General de Aduanas de El Salvador (2007).*

Cuadro 5.3. *Resumen de Volúmenes de importación de las pilas secundarias de 2001 a 2006.*

Tipo de pila	Partida Arancelaria	Descripción	Volumen de Importación (Kg)*(%)					
			2001	2002	2003	2004	2005	2006
Secundarias	85071000	De plomo, del tipo de los utilizados para arranque de motores de émbolo (pistón)	1, 942,860.32 (71.368 %)	2, 046,354.72 (72.212 %)	2, 520,349.44 (74.050 %)	2, 367,592.60 (74.199 %)	3, 457,684.40 (81.47 %)	3, 422,188.00 (80.324 %)
	85072000	Los demás acumuladores de plomo.	56,539.72 (2.077 %)	89,587.40 (3.161 %)	94,421.68 (2.774 %)	266,905.35 (8.365 %)	501,229.81 (11.81 %)	516,756.00 (12.129 %)
	85073000	De níquel-cadmio.	9,652.68 (0.355 %)	5,658.74 (0.2 %)	7,172.37 (0.211 %)	13,671.49 (0.428 %)	6,066.69 (0.143 %)	5,224.00 (0.123 %)
	85074000	De níquel-hierro.	1,867.62 (0.069 %)	829.78 (0.029 %)	1,397.24 (0.041 %)	3,475.70 (0.109 %)	2,432.84 (0.057 %)	2,281.00 (0.054 %)
	85078000	Los demás acumuladores.	43,199.40 (1.587 %)	37,781.64 (1.333 %)	45,227.97 (1.329 %)	83,448.64 (2.615 %)	155,184.22 (3.656 %)	116,270.00 (2.729 %)
	85079010	Separadores	44,026.84 (1.617 %)	52,763.54 (1.862 %)	97,420.58 (2.862 %)	29,928.29 (0.938 %)	3,400.00 (0.080 %)	103,879.00 (2.438 %)
	85079011	En bobinas (rollos)	46,928.12 (1.724 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)
	85079019	Los demás	3,279.00 (0.120 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)	0.00 (0.00 %)
	85079090	Otras	573,964.40 (21.084 %)	600,839.92 (21.203 %)	637,580.32 (18.733 %)	425,846.12 (13.346 %)	118,098.91 (2.783 %)	93,874.00 (2.203 %)

**Fuente: Dirección General de Aduanas de El Salvador (2007).*

5.2.1.2 Baterías de Telefonía Celular en El Salvador

El segmento de baterías de telefonía celular a tenido, en el caso de El Salvador, un significativo crecimiento, siendo todas importadas, en los años noventa cuando el sistema de telefonía móvil entró en el país, éstos eran sinónimo de ostentación y tenía costos de operación inaccesibles, sin embargo desde esa época a la actualidad, la proporción se ha elevado considerablemente. Según datos de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET, 2007) en las figuras 5.1 y 5.2 con relación a la penetración de telefonía fija y móvil, se tiene que la densidad fija es del 18.62, es decir que se tienen aproximadamente 19 teléfonos fijos por cada 100 habitantes. Con relación a la telefonía móvil esta corresponde una densidad del 105.82, que por cada 100 habitantes se tienen aproximadamente 106 teléfonos móviles. Cabe señalar que se ha considerado una población de 5.8 Millones de habitantes. Por lo tanto, la tele densidad en El Salvador es, en términos globales de 125. Lo que significa que en telefonía (fija y móvil), la penetración sobrepasa el 100%. Se concluye que la población que no puede tener acceso a telefonía fija lo hace por medio de la móvil, ya que las redes de telefonía móvil por sus características tecnológicas pueden cubrir más poblaciones al no utilizar tendidos de cableado que básicamente es lo que dificulta el acceso.

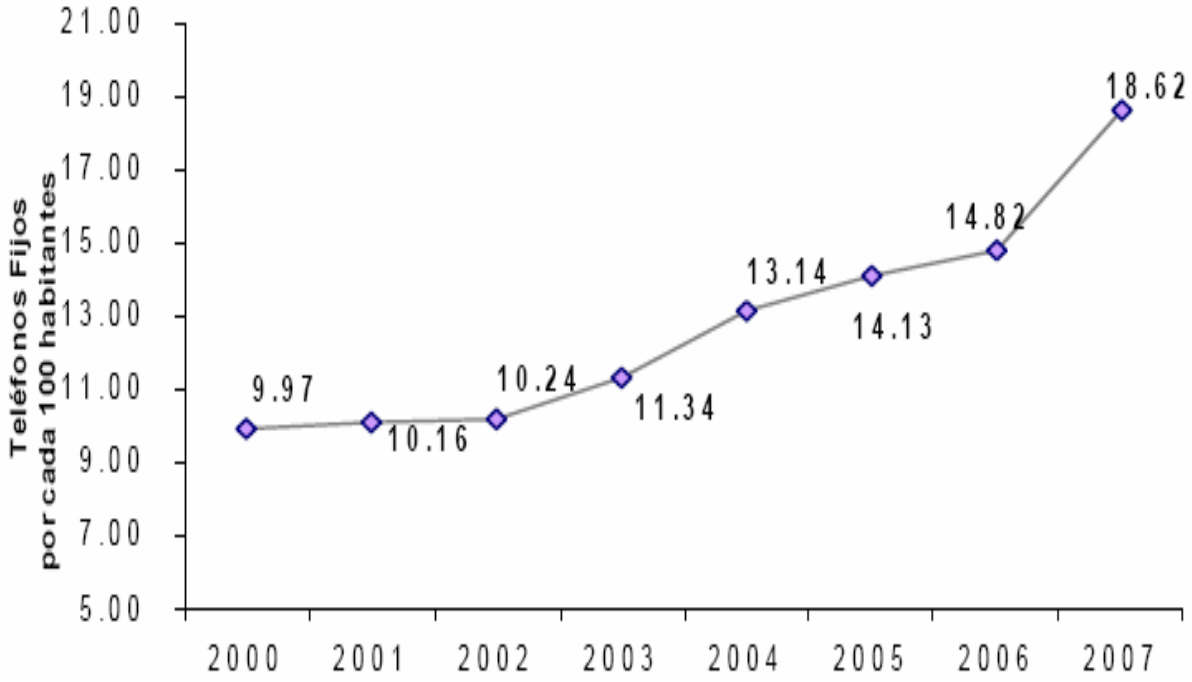

Figura 5.1: *Cantidad de Teléfonos fijos por cada 100 habitantes en los años 2000-2007 (SIGET, 2007)*

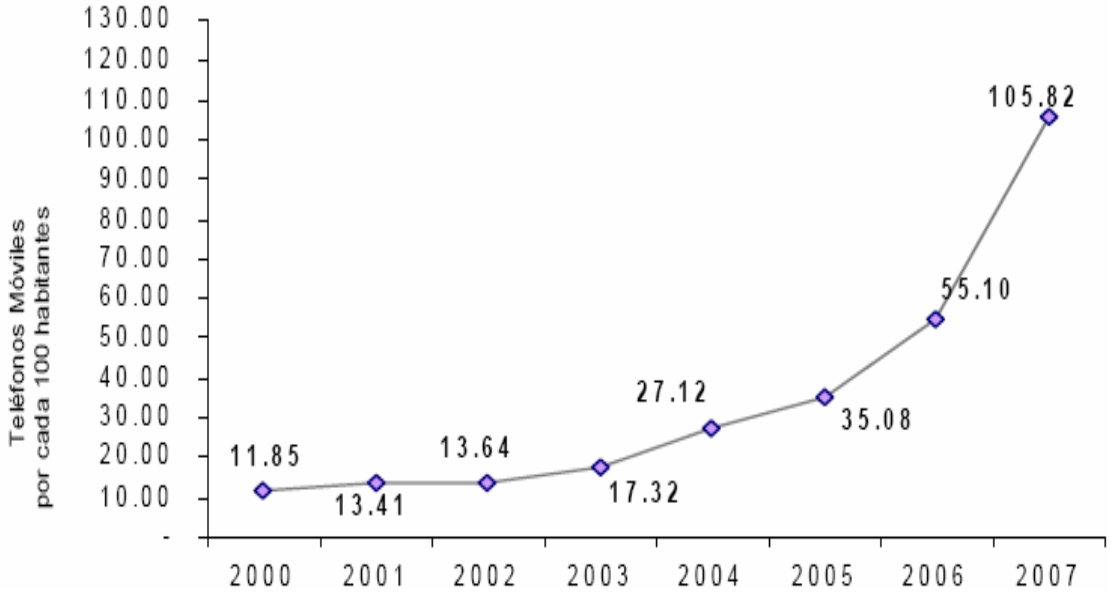

Figura 5.2: *Cantidad de Teléfonos móviles por cada 100 habitantes en los años 2000-2007 (SIGET, 2007)*

A su vez, la tecnología ha ido en aumento no sólo en el número de aparatos, sus costos, sino también en la calidad y funcionalidad de los mismos, los nuevos aparatos pueden pesar menos de 100 gramos y medir hasta 9 centímetros, por lo tanto es cada vez más accesible, a tales extremos que la telefonía fija ha quedado relegada a un segundo plano, en cuanto número de aparato / persona.

En cuanto a sus fuentes de energía, el actual perfil de consumo indica que el 80% de los mismos requieren baterías del tipo Níquel – Cadmio (Ni-Cd), consideradas las de mayor impacto ambiental, si bien no existen datos precisos al respecto, porque en el ingreso de los aparatos no se declara la batería o probablemente lo hacen vía contrabando, de acuerdo a comparaciones con otros países de América Latina como Brasil, México, Perú y Argentina, las de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH) representarían el 18%, en cuanto a otras que contienen Litio (Li) podrían estar por debajo del 5%.

6. PROPUESTA PARA EL MANEJO DE PILAS Y BATERÍA FUERA DE USO EN EL SALVADOR

Las pilas y baterías usadas y agotadas, provenientes en su mayoría del uso de distintos artefactos: juguetes, electrodomésticos pequeños, equipos de música, relojes, computadoras, etc., forman parte de la generación habitual de residuos domésticos o domiciliarios. Sin embargo, éstas contienen compuestos químicos que, en el caso de ser dispuestas incorrectamente una vez agotadas, podrían afectar negativamente al ambiente, incluidos los seres vivos.

La eliminación de los residuos derivados de estos productos es fuente de contaminación atmosférica (en caso de incineración) y de contaminación del suelo y del agua (en caso de vertido o enterramiento). Una normativa adecuada debe permitir reducir la contaminación del ambiente por estos residuos.

Los residuos peligrosos universales o masivos son residuos de origen domiciliario, comercial o industrial, que en virtud de presentar alguna característica de peligrosidad es conveniente su recolección diferenciada de los residuos sólidos urbanos. Ejemplos de estos residuos son: pilas, baterías de telefonía celular, tubos fluorescentes, tubos de neón (de alta presión de sodio y halógenos), cartuchos de tóner, baterías de automóviles, entre otros (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable Argentina, 2007)

Es importante hacer notar que estos llamados residuos peligrosos masivos se encuentran en una zona gris entre el concepto de residuo peligroso y residuo domiciliario, aún no resuelta por ninguna normativa en El Salvador. En principio, y en su mayoría las pilas son objetos de uso domiciliario y, desde este punto de vista, no estarían alcanzadas por normativas sobre residuos y desechos peligrosos.

De acuerdo a La Ley de Medio Ambiente de El Salvador (ver ***Anexo I***), la cual define desecho peligroso como "Cualquier material sin uso directo o descartado permanentemente que por su actividad química o por sus características corrosivas, reactivas, inflamables, tóxicas, explosivas, combustión espontánea, oxidante, infecciosas, bioacumulativas, ecotóxicas o radioactivas u otras características, que ocasionen peligro o ponen en riesgo la salud humana o el ambiente, ya sea por si solo o al contacto con otro desecho" y considerando que:

- ✓ El Art. 57 de la Ley del Medio Ambiente dispone que mediante un Reglamento Especial se regulará la introducción, tránsito, distribución y almacenamiento de sustancias peligrosas por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el Ministerio de Economía y el Consejo Superior de Salud Pública;

- ✓ De conformidad al Art. 58 de la Ley de Medio Ambiente, será el Ministerio de Medio Ambiente, en coordinación con los Ministerio de Salud Pública y

Asistencia Social, Economía y las municipalidades, de acuerdo a las leyes pertinentes y reglamentos de las mismas, quien regulará el manejo, almacenamiento y disposición final de desechos peligrosos producidos en el país;

- ✓ Según el Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos es una necesidad urgente para la preservación del medio ambiente y la salud pública, dictar medidas que minimicen los riesgos de la contaminación por sustancias, residuos y desechos peligrosos;

- ✓ Las pilas y baterías contienen compuestos químicos previstos en el artículo 23 del Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos; así las pilas ácidas y alcalinas de óxidos de manganeso caen en las categorías ***Y23, Y29, Y34 y Y35***; las de Ni-Cd en la ***Y26***; las de Pb en la ***Y34 y Y31***; las de óxido de Mercurio en la ***Y29.*** (ver ***Anexo II***)

La propuesta para pilas y baterías fuera de uso en El Salvador contendrá los siguientes puntos:

1. ***Propuestas de modificaciones y/o agregados a la legislación ambiental existente que incluyan Campañas de información y concientización***
2. ***Sistemas de Recolección y Acopio***
3. ***Almacenamiento***
4. ***Disposición final adecuada. Tratamiento en el extranjero***

Estos puntos se tratarán en detalle en las secciones 6.1 a 6.4

6.1 ASPECTOS LEGALES, MODIFICACIONES Y AGREGADOS A LA LEY EXISTENTE

Se propone que en El Salvador, las pilas y baterías una vez terminada su vida útil sean consideradas como desecho peligroso; y por ende que desde el momento de su importación sean incluidas dentro del ámbito de aplicación del Reglamento Especial en Material de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos.

Sin embargo, en el contexto de La Ley de Medio Ambiente Salvadoreña en el que se plantea prevenir y reducir la generación y peligrosidad de los residuos y realizar una correcta gestión de los mismos, llevando a cabo un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales, se deduce la necesidad de establecer un Normativa específica para pilas y baterías ya que contienen determinadas materias de carácter peligroso. Es por esto que *se propone la* ***Creación de una Normativa Técnica para el Manejo de pilas y baterías****, la cual tenga por objeto de una manera específica establecer las condiciones a que deberá someterse la importación, y una vez concluida su vida útil, la recolección, almacenamiento, transporte y disposición final.*

Se propone que dicha Normativa:

- ✓ Establezca los límites permisibles de mercurio y cadmio contenido en las pilas y baterías importadas y comercializadas en El Salvador; se propone, realizar un estudio a fin de establecer esas cantidades máximas, sin embargo, se puede tomar de base la legislación internacional la cual establece un contenido de mercurio de no más del 0.0005 % en peso, para las pilas botón el Mercurio no debe superar al 2 % en peso y para el Cadmio un contenido de no más del 0.002 % en peso (Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de acumuladores publicada el 6 de Septiembre de 2006) Si esto no se lleva a cabo, El Salvador queda vulnerable a la importación de pilas que conllevan serios riesgos, tanto para la población como para el medio ambiente ya que en algunos casos las pilas y baterías son fabricadas con tecnología obsoleta y de bajo costo.

- ✓ Fije la creación de un registro de importadores a través del cual éstos deben inscribirse e informar anualmente, mediante la presentación de declaración jurada, el número de baterías puestas en el mercado, estoqueadas y recuperadas, -entre otros- por tipo, marca, composición y vida útil, así como proporcionar en el momento de importación la ficha técnica y el país de procedencia, para que conociendo sus características sean incluidas dentro de los que genéricamente se denominan residuos peligrosos, esto para pilas y baterías que se importen como tales o dentro de otros aparatos, como juguetes, teléfonos celulares, dispositivos electrónicos, etc.

- ✓ Plantee que toda persona física o jurídica que importe baterías y pilas deberá elaborar e implementar un "plan de manejo" que comprenda la recolección y destino final de éstas, luego de su uso, así como de aquellas que sean desechadas. Por ejemplo parte del plan podría ser que todos los importadores, comerciantes y usuarios de pilas y baterías -dentro de los límites territoriales del país- acepten, previo a la venta de este tipo de productos, la entrega por parte del comprador, de una batería o pila agotada de similares características a la adquirida; es decir pasar a considerar las pilas y baterías como dispositivo retornable. Los planes deberán ser presentados para su aprobación a la autoridad de aplicación que fije la Normativa y deberán incluir el detalle, la forma y demás condiciones en que se realizará la devolución, recolección, transporte, almacenamiento transitorio y destino final, así como los mecanismos de registro y control necesarios para verificar el resultado del plan.

- ✓ Prohíba la colocación, almacenamiento, transporte, abandono de pilas y baterías en los lugares no habilitados para ello, así como la inclusión de las baterías o pilas entre los residuos domiciliarios.

- ✓ Fomente una mejor actuación medioambiental y la responsabilidad de todos los operadores que participen en el ciclo de vida de éstas, incluso en el momento de la eliminación de los residuos correspondientes, y de esta manera

reducir la cantidad de sustancias peligrosas, en particular el mercurio, el cadmio y el plomo liberados en el ambiente.

- ✓ Incluya las medidas necesarias (incluidos instrumentos económicos) para fomentar y optimizar la recolección selectiva y evitar que las pilas y baterías se eliminen junto con los demás residuos domésticos. Debe también establecer sistemas para que las pilas y baterías usadas puedan depositarse en puntos de recolección cercanos a los usuarios y puedan ser recuperadas.

- ✓ Garantice que las pilas y acumuladores recolectados sean sometidos a almacenamiento y disposición final de acuerdo a las mejores prácticas disponibles ya sea dentro o fuera del territorio salvadoreño siempre que se cumpla la legislación sobre el traslado de residuos, según se indica en el acuerdo regional sobre el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos.

- ✓ Establezca claramente quienes deben ser los responsables de planificar, financiar y ejecutar el costo de las operaciones de recolección, tratamiento y disposición final de las pilas y baterías industriales, y portátiles, así como el costo de las campañas de información.

- ✓ Promueva la existencia de campañas de información acerca de: los efectos potenciales de las sustancias empleadas en pilas y acumuladores sobre el medio ambiente y la salud humana y la información directa de los distribuidores a los usuarios finales sobre la posibilidad de desechar los residuos de pilas o acumuladores portátiles en sus puntos de venta.

- ✓ Exija el etiquetado visible, legible e indeleble en las pilas, acumuladores y baterías de los datos siguientes: el símbolo gráfico del contenedor de basura tachado; la capacidad del acumulador o de la pila portátil; los símbolos químicos Hg, Cd y Pb cuando las pilas, acumuladores y pilas botón contengan más de los contenidos límites establecidos. Si el tamaño de la pila, acumulador o batería es demasiado pequeño, los datos figurarán en el embalaje.

Uno de los puntos más importantes de la disposición final de las pilas y baterías fuera de uso es el acopio o recolección del residuo, pues es necesario crear una estructura que envíe la mayor cantidad posible de pilas y baterías desde el usuario final hasta la disposición. Para lograr un buen resultado en ese sentido se requiere un buen incentivo para el usuario, que es el primer eslabón de la cadena de acopio, para que éste lleve las pilas y baterías a lugares de “acopio primario” en donde se van a recolectar hasta un volumen suficiente para ser enviado al lugar de almacenamiento temporal A continuación se presenta la ruta propuesta para las pilas y baterías fuera de uso desde el generador hasta la planta de tratamiento[12].

[12] Abreo., 2000.

Los usuarios finales somos todos aquellos que utilizamos cualquier tipo de batería o pilas (dispositivos electroquímicos generadores de energía) que después de que se concluye el tiempo de vida útil de las mismas deberá llevarlas a un primer centro de acopio, que debe encontrarse ubicado cerca del usuario, con el fin de hacer ágil esta primera etapa de la disposición. Del lugar de acopio primario debe ser llevado al lugar de almacenamiento temporal por el transportador que a su vez tendrá la responsabilidad de las baterías agotadas durante el trayecto entre el lugar de acopio primario y la recepción del residuo en el lugar de almacenamiento.

Todo el proceso debe ser impulsado por un instrumento económico que tenga, por sus características, cabida en la solución de la problemática de las baterías (ver ***Anexo XII***).

6.2 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y ACOPIO DE PILAS Y BATERÍAS FUERA DE USO.

Las actividades a desarrollar llevan consigo un costo que ha de ser satisfecho con la ayuda del instrumento económico (Ver ***Anexo XII***), convirtiendo este último en el promotor de la estructura de acopio.

Con la base del instrumento económico es posible llevar a cabo todas las actividades que se proponen.

Para hacer que el reciclaje y la disposición final de las pilas y baterías fuera de uso pueda ser atractivo tanto para alguna organización privada que quiera llevarlo a cabo como para los generadores (consumidores finales), es necesario darle una estructura al seguimiento del producto hasta su disposición; es decir se debe garantizar que cada pila y/o batería o la mayoría de ellas sean dispuestas de forma adecuada, esto implica que se debe orientar al generador del residuo a la recolección o acopio para su posterior tratamiento.

La propuesta de recolección y acopio parte desde luego, desde el momento de que las pilas y baterías terminan su vida útil, en este momento el consumidor de las pilas y baterías se convierte en generador de un residuo potencialmente tóxico, es por esto que se plantean los siguientes sistemas para su recolección y acopio:

1) Sistema Depósito-Reembolso
2) Sistema de Acopio Primario

6.2.1 SISTEMA DEPÓSITO-REEMBOLSO

El sistema de Depóstio-Reembolso es un cargo que se impone en el precio de los productos potencialmente contaminantes. Cuando la contaminación es evitada o anulada al regresar los residuos de los productos o los productos mismos, se reembolsa el cargo. Así, el objetivo de ese cargo es incentivar la reutilización o

estimular el retorno de envases o productos para promover el reciclaje (ver ***Anexo XII, Sección 1.3.6***).

Cuando el generador va a comprar una batería nueva, lleva también su batería y/o pila fuera de uso gracias a las campañas promocionales y al incentivo del reembolso. En el momento en que llega al lugar que llamamos de acopio primario (centros de ventas, centros comerciales, supermercados, entre otros), entrega la pila y/o batería fuera de uso y recibe un reembolso por hacerlo. Cuando compre una batería nueva se le cobre un *"sobrecosto"* que corresponde al costo del tratamiento final más el *"depósito"* que cuando se agote la pila o batería podrá recuperar. Enseguida en la oficina del operador se procede a almacenar las baterías en contenedores de polietileno de 55 galones (las más comunes) pero sólo se deben llenar hasta dos terceras partes por el gran peso que gana con las baterías. Cuando cada contenedor llegue a su aforo se procede a llamar al transportador. Este último debe recibir del concesionario de los operadores de lo(s) contenedor(es) un manifiesto que exprese la cantidad de baterías y el tipo entregados al transportador, éste a su vez debe llenar la parte que le corresponde del manifiesto y llevarlo junto con las baterías a la planta de tratamiento.

Finalmente en la planta son recibidas las pilas y baterías, previa corroboración de los datos, también llena la parte correspondiente del manifiesto y procede a almacenar las pilas y baterías para su posterior tratamiento. El manifiesto no es más que un formato en donde van consignados la identificación de cada una de las entidades que han movido el residuo, la cantidad, entre otros datos, con el fin de satisfacer los requerimientos de la autoridad ambiental y los del interior de las empresas.

Como se puede apreciar el sistema de acopio con ayuda del instrumento económico de Depósito-Reembolso hace sea atractivo para el generador llevar su pila y/o batería fuera de uso al centro de acopio que a su vez será el mismo lugar donde comprará la siguiente. También gracias al instrumento, el usuario pagará el tratamiento y transporte de cada pila y batería por adelantado, haciendo muy rápida la gestión de su disposición.

6.2.2 SISTEMA DE ACOPIO PRIMARIO

El acopio primario implica un área para contenedores en lugares públicos, como supermercados, centros estudiantiles, centros comerciales, entre otros; sin embargo, se debe recordar que los volúmenes generados de pilas y baterías fuera de uso no son grandes, requiriéndose a lo sumo el espacio para dos o tres contenedores de recolección selectiva al mes en cada localidad.

Los contenedores de recolección selectiva de residuos incorporan un soporte para campañas de comunicación de alto impacto con un doble valor añadido: *educan a la vez que venden* infundiendo valores a la sociedad hacia un consumo

responsable, participando activamente en la protección y conservación de nuestro medio ambiente.

Los soportes de comunicación que envuelven los contenedores, los cuales pueden ser los recomendados por la empresa Eco-Pil[13], están construidos íntegramente en acero inoxidable. Cada soporte de comunicación consta de un panel donde se aplican las campañas o anuncios publicitarios. Dicho panel está protegido por un material plástico incoloro, policarbonato con protección UVI, anti graffiti.

Su ecodiseño y calidad de materiales se integran en armonía en los privilegiados entornos de sus emplazamientos (puntos neurálgicos de la población).
Existe una gran variedad de contenedores de recolección selectiva que pueden ser adquiridos (por ejemplo en Eco-Pil) los cuales serán dispuestos según las necesidades de la zona asignada para el acopio, estos van desde *contenedores de sobremesa pequeños,* los cuales pueden ser ubicados en oficinas, hasta *contenedores de 250L*, los cuales pueden ser ubicados en centros comerciales, centros educativos, mercados, iglesias, entre otros.

En los cuadros 6.3 al 6.8 se presentan las características de estos contenedores, obtenidas de la página web www.ecopil.com:

Cuadro 6.1. *Especificaciones del contenedor de sobremesa (Eco-Pil, 2008)*

CONTENEDOR DE SOBREMESA	
✓ Contenedor para pilas estándar (alcalinas o botón), baterías de teléfonos móviles...	
✓ Medidas: Altura 200 mm, Diámetro 76 mm.	
✓ Material: Fabricado en poli carbonato transparente.	
✓ Capacidad: 0,75l.	
✓ Formas de impresión según cantidades: Serigrafiado (1 a 2 tintas) o Cuatricromía.	
✓ Incorpora tapas de Polipropileno Glase.	

[13] *Ecología y Medioambiente Integrados, S.L.* (Eco-Pil), fundada en 1993, es una empresa especializada en la ***comunicación responsable***, ***"Responsabilidad Social Corporativa"***, instrumento al servicio de la creación y elaboración de una nueva plataforma de comunicación exterior responsable.

Cuadro 6.2. *Especificaciones del contenedor de sobremesa de 4L (Eco-Pil, 2008)*

CONTENEDOR DE SOBREMESA DE 4L	
✓ Contenedor para pilas estándar (alcalinas o botón), baterías de teléfonos móviles...	
✓ Medidas: Altura 300 mm, Diámetro 150 mm	
✓ Material: Fabricado en cartón.	
✓ Capacidad: 4 l.	
✓ Formas de impresión según cantidades: Serigrafiado (1 a 2 tintas) o Cuatricromía.	
✓ Incorpora tapas de Polipropileno Glase.	

Cuadro 6.3. *Especificaciones del contenedor de 20L (Eco-Pil, 2008)*

CONTENEDOR DE 20L	
✓ Destinado para pilas usadas y baterías de teléfono móvil.	
✓ Con depósito extraíble independiente para pilas de botón.	
✓ Material: Polietileno de alta densidad.	
✓ Dimensiones: Ancho 400 mm, Fondo 300 mm, Altura 235 mm.	
✓ Capacidad: 20 litros.	
✓ Se puede incorporar el logotipo de su organización mediante termograbado.	
✓ Etiqueta identificativa del residuo: Personalizada con el logotipo de su organización.	

Cuadro 6.4. *Especificaciones del contenedor de 35L (Eco-Pil, 2008)*

CONTENEDOR DE 35L	
✓ Destinado para pilas usadas, baterías portátiles y teléfonos móviles. ✓ Material: 100% acero inoxidable de 0,75 mm de grosor. ✓ Dimensiones: altura 500 mm, diámetro 300 mm. ✓ Capacidad: 30 litros. ✓ Soporte publicitario: vinilo serigrafiado o impresión fotográfica (360º de visibilidad). ✓ Cierre: Sistema de alta seguridad.	

Cuadro 6.5. *Especificaciones del contenedor de pilas de 250L (Eco-Pil, 2008)*

CONTENEDOR DE PILAS DE 250L	
✓ Destinado para pilas usadas y baterías de teléfono móvil. ✓ Material: 100% acero inoxidable de 1mm de grosor. ✓ Dimensiones: altura 1.500 mm, diámetro 500 mm. ✓ Capacidad: 250 kg. ✓ Peso vacío: 50 Kg. ✓ Soporte publicitario, policarbonato (anti-graffity), 360º de visibilidad. ✓ Cierre: Sistema de alta seguridad. ✓ Interior: Bidón con ballesta de seguridad (Capacidad 60 litros) + Depósito (1 litro) para pilas botón. ✓ Instalación: 4 anclajes de fijación	

Cuadro 6.6. *Especificaciones del contenedor Recicla Pilas (Eco-Pil, 2008)*

CONTENEDOR RECICLA PILAS	
✓ Destinado al almacenamiento de pilas. De diseño atractivo, con un tamaño reducido y un fácil manejo.	
✓ Presenta dos compartimentos: uno para pilas cilíndricas (AA / AAA) y otro para pilas botón (de menor tamaño).	
✓ Equipado con un cierre de seguridad (para niños) y una ranura para introducir las pilas botón desde el exterior y permite ser apilado para reducir el espacio donde guardarlo.	
✓ Dimensiones: Alto 105 mm, Ancho 60 mm, Diámetro 60 mm.	
✓ Capacidad: 240 cl.	
✓ Fabricado en plástico, garantizando una resistencia y estanqueidad ante emisión de ácidos.	

En resumen, los puntos fuertes de la propuesta son:

1) *El gran incentivo a los generadores de llevar las baterías al lugar de acopio mediante la implementación del instrumento Depósito-Reembolso que promueve la recolección de las pilas y baterías fuera de uso ya sea en el momento del cambio de la misma o simplemente en el desea de captar el reembolso.*

2) *Mediante la implementación del manifiesto se evitan pérdidas de pilas y baterías en el transporte, además de que ayuda a la contabilidad de cada empresa involucrada y al seguimiento de la autoridad ambiental.*

3) *Se educa a la población a través de las campañas de recolección selectiva que se deben infundir para la puesta en marcha del acopio primario, para obtener el doble valor añadido de educar a la vez que venden guiando hacia un consumo responsable.*

6.3 PROPUESTA DE ALMACENAJE PARA SU POSTERIOR DISPOSICIÓN FINAL

En primer lugar es necesario prever una zona para la recepción de las baterías, donde se puedan almacenar hasta su tratamiento sin riesgos de contaminación. Este almacenamiento previo es necesario como pulmón para corregir diferencias entre la capacidad de tratamiento y la llegada de las baterías, pues es frecuente que se tengan llegadas puntuales mayores que la capacidad de tratamiento diaria.

Este almacenamiento se realiza sobre una base de hormigón armado, de las dimensiones adecuadas a las previsiones, impermeabilizado mediante una pintura antiácida y con una ligera pendiente que conduzca los eventuales fluidos perdidos por rotura o apertura de los vasos al depósito general de tratamiento de residuos ácidos.

En base a lo desarrollado en una publicación en la página web http://www.iepe.org/ecoclubes/documents/campana_pilas_2003.pdf el tratamiento de pilas en desuso consiste fundamentalmente en obtener un mecanismo que asegure que no se producirá contaminación por lixiviación. En tal sentido existe un sistema diseñado para estos fines que cuenta con cinco barreras de seguridad, conformadas por el uso de tres componentes:

1) *Compuesto químico que neutraliza, inhibe y secuestra posibles pérdidas de los metales pesados que contienen las pilas. (En adelante "el secuestrante")*

2) *Bolsas de polietileno de alta densidad, termoselladas con extracción de aire.*

Figura 6.1. *Diseño bolsas de polietileno de alta densidad. (iepe.org, 2003)*

3) Claustro (bloque de hormigón).

Figura 6.2. *Diseño bloques de hormigón. (iepe.org, 2003)*

Los pasos del tratamiento, con los cuales se obtienen las cinco barreras de seguridad, son los siguientes:

1. Se toma una cantidad aproximada de cincuenta pilas, introduciéndolas en una bolsa pequeña y se vuelca en su interior polvo secuestrante en cantidad suficiente para que las pilas queden cubiertas totalmente. (***Secuestrante 1ra barrera - Bolsa termosellada 2da barrera***).

Figura 6.3. *Ilustración de las primeras dos barreras. (iepe.org, 2003)*

2. Se colocan de tres a cinco bolsas pequeñas en una bolsa mayor, repitiendo el vuelco del polvo secuestrante en su interior, realizando el posterior termosellado con extracción de aire de la bolsa grande. (***Secuestrante 3ra barrera-Bolsa termosellada 4ta barrera***).

3. La bolsa grande se introduce en un molde para la construcción del bloque de hormigón, previniendo que mantenga una distancia apropiada de sus caras superior e inferior como así también de sus laterales, recomendándose que sea como mínimo de cinco centímetros la distancia con el exterior del bloque terminado. Para esto se debe realizar un primer vuelco de material, vibrarlo, verificar el espesor resultante, introducir la bolsa y completar la carga, rasando por último la cara superior. (***Bloque de hormigón 5ta barrera***).

El secuestrante o agente de estabilización para algunos de los componentes de las pilas y baterías son los siguientes:

a) Plomo
Agente de estabilización:
a.1) *Hidróxido de calcio.*
a.2) *Sulfuros de sodio.*

b) Acido Sulfúrico
Agente de estabilización: *Hidróxido de Sodio.*

c) Cadmio
Agente de estabilización: *Carbonato de Sodio.*

d) Mercurio
Agente de estabilización:
d.1) *Sulfuro de calcio.*
d.2) *Sulfuro de sodio.*

Una vez terminado el tratamiento, la disposición final se refiere al uso posible de los bloques de hormigón. Se ha generado algún debate respecto al uso y al formato de los bloques; se puede evaluar a futuro la posibilidad de su utilización para el cercado de seguridad de algunos de los predios de disposición de residuos domiciliarios. Respecto al formato, el diseño original se ha desarrollado en función de bloques que se articularan, sin necesidad de uso de mezcla en juntas para su unión; dicho formato presenta problemas por roturas en las partes de menor sección (cuello) y que, por el peso final del bloque, su manipulación pone en riesgo su trabajo previo. En tal sentido se experimenta actualmente con un formato sencillo, como el de un ladrillo tradicional, que facilite tanto la ejecución del mismo como su manejo posterior. Las dimensiones del mismo se han previsto en función de garantizar por lo menos cinco centímetros de cobertura total circundante sobre las bolsas. De este modo se evitarán roturas por manipulación y acopio, por lo cual hay que tener especial cuidado en el momento de llenado del molde, observando que la vibración del hormigón no haga descender la bolsa con las pilas, disminuyendo el espesor del material requerido.

6.3.1 CONDICIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD DE LOS LOCALES DE ALMACENAMIENTO[14]

El local debe ser construido de materiales incombustibles, cubierto con un techo ligero en previsión de explosiones y sin dependencias con ocupación de personas en el piso superior.

La puerta de acceso deberá abrir hacia fuera y estará normalmente cerrada.

[14] www.estrucplam.com.ar

El suelo debe ser impermeable, resistente a los ácidos y tener una pendiente para la eliminación de posibles derrames de ácido.

El local no debe dedicarse a otros objetivos que los previstos. No deben almacenarse productos combustibles.

Se debe proceder a una limpieza frecuente del local y a una eliminación mediante aspiración del polvo de los vasos de la batería cuidando de no succionar electrolito.

6.3.2 EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA E INDIVIDUAL[15]

El mayor riesgo con los ácidos de las pilas y baterías se da en caso de salpicadura a los ojos. Se debe actuar de inmediato, rociando agua corriente sobre la parte afectada al menos durante varios minutos y con examen médico lo antes posible. No se debe utilizar disolución neutralizadora. Deberá procurarse atención médica inmediata. Si el contacto del ácido es con la piel también se debe lavar con abundante cantidad de agua. En caso de resultar con quemadura se debe seguir tratamiento médico. Como medida de protección en las situaciones de proyección de ácido, se requiere disponer de ducha y fuente lavaojos a una distancia máxima de 10 m de los puestos de trabajo, libres de obstáculos y debidamente señalizadas. Se deberán probar como mínimo una vez por semana y repararse de inmediato en caso de observarse alguna deficiencia.

En el local, el personal debe disponer para las operaciones con líquidos corrosivos de la ropa apropiada y de equipos de protección y primeros auxilios para ojos y cara, manos, pies y piernas, etc. Los equipos de protección individual se concretan en delantal, guantes cubrebrazos resistentes a los ácidos, pantallas faciales (o gafas de seguridad según la operación) y botas de seguridad.

6.3.3 SEÑALIZACIÓN[16]

Se debe señalizar en el local:

- ✓ Prohibición de fumar e introducir útiles con llama. Para inspeccionar el nivel del electrolito utilizar linternas antideflagrantes.
- ✓ Riesgo corrosivo.

[15] www.estrucplam.com.ar

6.4 DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA. TRATAMIENTO EN EL EXTRANJERO

Para la disposición final adecuada se plantea la posibilidad de su tratamiento en el extranjero enviando las pilas y baterías fuera de uso a Chile a la Empresa ***Hidronor Chile S.A.***, la cual recibe y realiza un proceso de eliminación de las pilas luego que se vuelven residuos. Es un centro integral de gestión, tratamiento y recuperación de residuos industriales que opera en Chile desde julio de 1997.

Las pilas no pueden conducir a la recuperación de recursos, el reciclaje, la regeneración, el reuso u otros usos. Las operaciones que realiza Hidronor en el caso de estos productos son:

- ✓ *Rellenos de seguridad.*
- ✓ *Tratamientos físico químicos para neutralizar los componentes.*

Este proceso Hidronor[17] lo realiza de la siguiente manera, en primer lugar las pilas son sometidas a un proceso de estabilización, que consiste en tratar los residuos para transformarlos en sustancias químicamente inertes, esto es, sustancias estables que tienden a no sufrir alteraciones por procesos físico-químicos o biológicos, por lo que pueden almacenarse en vertederos.

Los residuos sólidos son transportados mediante una cinta al mezclador, para luego ser sometidos a un proceso de microencapsulación mediante la adición de reactivos aglomerantes y silicatados según las indicaciones entregadas por su laboratorio. Estos reactivos permiten atrapar los elementos tóxicos peligrosos presentes en el residuo generando una matriz sólida estable, como se muestra en las siguientes imágenes. En base a los estudios desarrollados por el Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental de Argentina, se encontraron tres agentes estabilizadores que neutralizan el plomo, el mercurio, el ácido sulfúrico y el cadmio, principales componentes contaminantes de las distintas pilas o baterías que existen en el mercado:

- ✓ Para el ***plomo*** actúa como neutralizador los ***sulfuros de sodio***
- ✓ Para el ***ácido sulfúrico,*** el agente estabilizador es el ***hidróxido de Sodio***
- ✓ Para el ***cadmio***, el agente de estabilización es el ***carbonato de sodio***
- ✓ Para el ***mercurio***, el agente de estabilización es el ***sulfuro de sodio***

Colocando como neutralizadores o estabilizadores al sulfuro de sodio, hidróxido de sodio y carbonato de sodio, en partes iguales, tendremos la seguridad de inhibir a los elementos contaminantes de cualquier tipo de pila o batería, sin necesidad de realizar la clasificación previa de las mismas, a veces dificultosa por el estado de deterioro de su cubierta y por los riesgos de su manipulación.

[17] www.hidronor.cl

Figura 6.4. *Producto final resultante de la microencapsulación de las pilas. (Hidronor, 2008)*

Los residuos una vez finalizado el proceso de aglomeración, son descargados a un camión para su transporte al depósito de seguridad, donde se controla el reposo futuro de los residuos dispuestos, cerrando su ciclo de eliminación. Este depósito de seguridad está construido según las más exigentes normas internacionales vigentes para la disposición final de los residuos. Su estructura antisísmica está asegurada por siete capas de geosintéticos (como se muestra en la figura), para completar el circuito, un moderno sistema de captación de lixiviación permite bombear el líquido del depósito a una balsa de homogenización donde es analizado y posteriormente enviado a la planta de tratamiento físico-químico para completar el proceso.

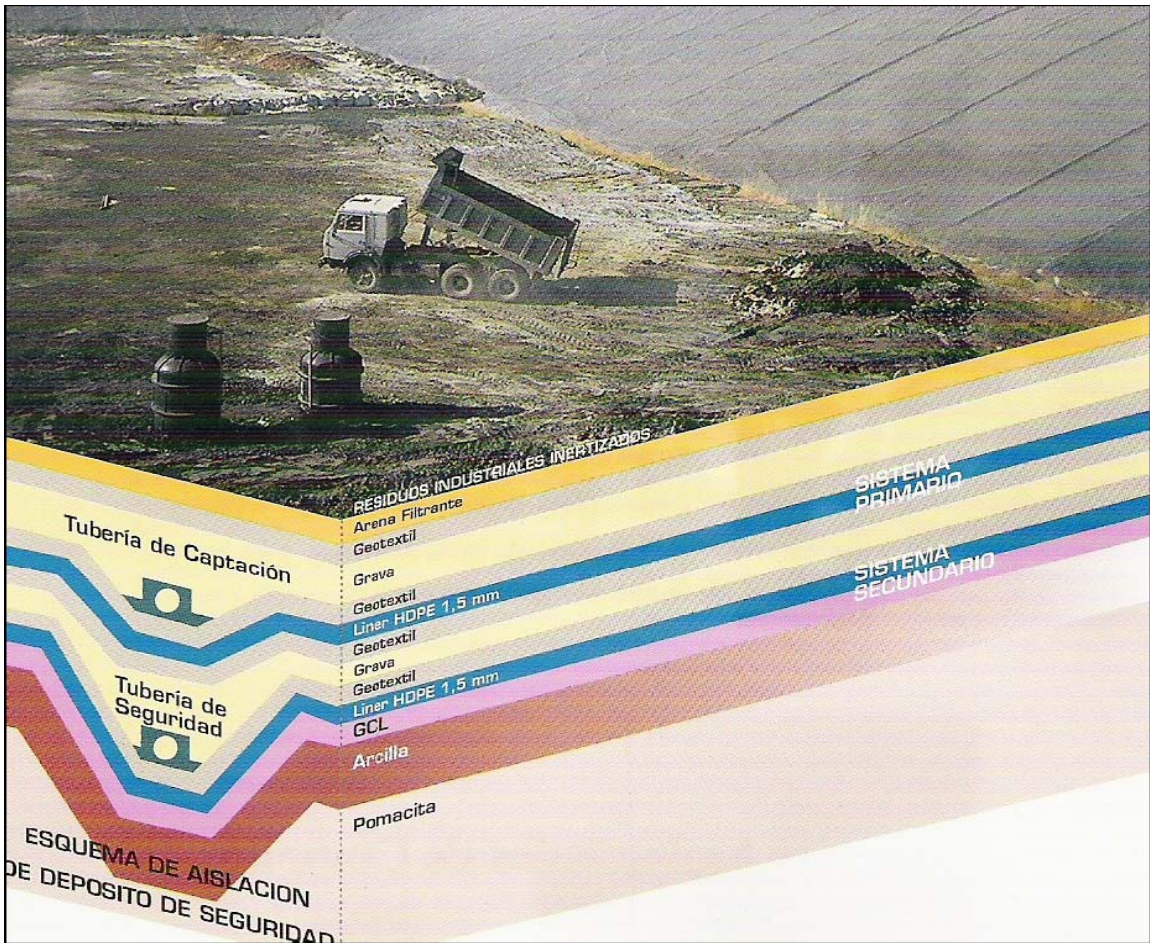

Figura 6.5. *Esquema de aislamiento del Depósito de Seguridad. (Hidronor, 2008)*

Con este proceso los residuos al ser mezclados y homogenizados pasan de una fase inestable a una estable. De este proceso se obtiene un residuo final tratado, estabilizado y solidificado que minimiza cualquier posibilidad de migración de los contaminantes. El resultante es colocado en un sitio de disposición final que garantiza que en el largo plazo no se van a generar ni reacciones químicas ni físicas que provoquen contaminantes.

Otra empresa a la cual se pueden enviar las pilas y baterías fuera de uso es ***IDM S.A.***[18] que nació en 1976 como una empresa de montajes y construcción de equipos, llamándose en ese entonces IDM Ingeniería de Montajes S.R.L. Para realizar el reciclado de productos diseñan y construyen un equipo de termodestrucción capaz de satisfacer las necesidades cautivas de la planta.

Es una empresa que sigue creciendo, realizando las inversiones necesarias que les permiten contar hoy con una infraestructura de ciclo completo capaz de resolver innumerables problemas ambientales.

[18] www.idmsa.com.ar

La síntesis química a partir de productos orgánicos reciclables, el reciclado de maderas residuales, la recuperación de metales de baterías y pilas, el reciclado de cartuchos de impresoras, el tratamiento de tambores usados y tierras contaminadas, son las actividades que incorporan para resolver estos problemas.

Actualmente cuentan con dos plantas de producción y servicios ubicadas en: San Lorenzo (Santa Fe) y Ramallo (Buenos Aires), Argentina.

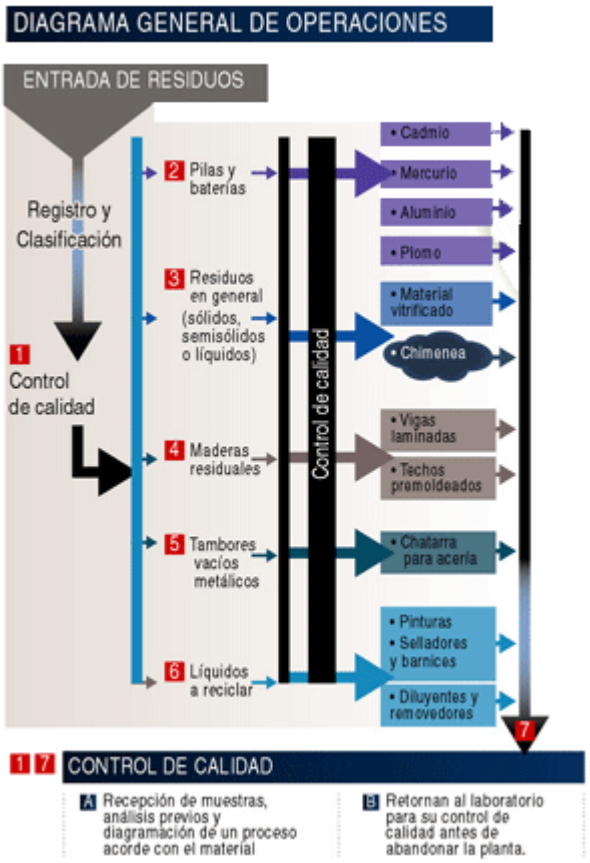

Figura 6.6. *Diagrama general de operaciones (IDM, 2008)*

Cuentan con un área de ***Oxidación por Combustión*** en la cual se procede al ***Tratamiento de Baterías de Celulares y Acumuladores.***
El programa de reciclado de baterías de celulares se está llevando a cabo con la colaboración de empresas de telefonía celular y el auspicio de organismos no gubernamentales, realizándose la recolección en Argentina. Las baterías recibidas son dispuestas en un galpón de almacenamiento donde se clasifican en: Níquel-Hidruro, Níquel-Cadmio, con Contenido de Plomo y Otras.

Figura 6.7. *Galpón de almacenamiento de pilas y baterías (IDM, 2008**)***

Las baterías de níquel-hidruro y otras son sometidas a proceso de termodestrucción en hornos rotativos a 1100ºC, manteniéndose los gases de salida a 1200ºC durante 2,5 segundos en cámara de post-combustión. Las cenizas de incineración son vitrificadas.

Las baterías de níquel-cadmio son enviadas a un horno multitubular asistido con calefacción indirecta, introduciéndose las mismas en dichos tubos.

En la primera parte de la operación se separan los componentes plásticos y luego, en una segunda fase, el cadmio destila, separándose de metales más pesados como níquel y el hierro. Esto se debe a la característica distintiva del cadmio que es su destilabilidad a temperaturas relativamente bajas.

Se obtiene como producto secundario de este proceso un destilado de productos livianos de craqueo, que son recogidos en un tanque para su posterior utilización como combustible alternativo. El cadmio recuperado es recogido para su posterior purificación. La aleación de níquel-hierro acumulada puede ser utilizada como materia prima en fundiciones de aceros especiales.

Los residuos derivados de esta actividad son tratados por termodestrucción y las cenizas obtenidas son vitrificadas.

El mismo procedimiento se aplica a las baterías con contenido de plomo.

Baterías de Plomo-Ácido: Este tratamiento comienza con la descarga de la solución ácida y el lavado del receptor plástico. La solución ácida es neutralizada en un reactor de acero inoxidable, y luego enviada a incineración. Las cajas de las baterías se desarman y se separan los materiales plásticos de las placas de

plomo, que son enviadas al horno de vitrificado para su fusión. El plomo obtenido en este proceso se deriva a fundiciones. Todos los residuos de esta operación son incinerados y vitrificados para garantizar su inertización.

Pilas Domésticas y Pilas Botón: En este caso la clasificación se realiza en origen, dividiéndose en: *Baterías con contenido de Cadmio y Otras (alcalinas, de litio,etc).*

Aquellas que contienen cadmio en su composición son sometidas al mismo proceso que las baterías de celular de níquel-cadmio, mientras que las restantes se envían a termodestrucción y luego, a vitrificación de las cenizas resultantes.

Recuperación de Metales

El horno de vitrificación es utilizado también para la recuperación de metales. El plomo procedente del tratamiento de baterías de acumuladores se funde en el horno de vitrificado y se descarga en lingoteras para su derivación como materia prima. Del mismo modo se procesa aluminio.

Figura 6.8. *Horno de vitrificación para la recuperación de metales (IDM, 2008)*

OBSERVACIONES

1. Lo que ha impulsado la creación del presente trabajo de graduación es el tipo de información contraria entre consumidores, organizaciones ecologistas y empresas representantes de grandes marcas; así como también la falta de pronunciamiento de organismos competentes acerca de la peligrosidad de las pilas una vez que se vuelven residuos. Por tanto, el fin del presente trabajo ha sido realizar una recopilación objetiva y clara acerca de la peligrosidad de las pilas agotadas, ya que si bien existe información en medios de comunicación, no es fácil encontrar datos objetivos de este tema.

2. Existe por parte de la comunidad salvadoreña un desconocimiento para dar un buen manejo de las pilas o baterías al final de su vida útil y por lo tanto se desechan sin importar lugar y destino. Es difícil evaluar los daños ambientales o el impacto a la salud ya que el ámbito geográfico donde se depositan las pilas es muy amplio (todo el país). Para evitar el desecho indiscriminado, es necesario considerar el enfoque precautorio, donde se proponga investigar e informar a la población que está potencialmente expuesta al riesgo que existe en los elementos tóxicos que componen a la pila. Se debe de llevar con la finalidad de contrarrestar los posibles impactos a la salud y al ambiente.

3. No todas las pilas cuentan con la información necesaria para que el consumidor elija el producto más apropiado, el cual debe poseer información en español, precauciones, procedencia y vencimiento. En El Salvador se podría realizar un estudio de este tipo y comprobar en terreno que las múltiples marcas de pilas no cumplen con lo requerido.

4. Al revisar la normativa internacional se ha visto los países que tienen regulación en el tema de las pilas, algunos recién están en camino de normar como Argentina, mientras que otros ya están promoviendo mayores niveles de reciclaje que es el caso de la Directiva Española.

5. En El Salvador no se cuenta con ningún tipo de legislación o normativa específica que regule el manejo, almacenaje y disposición final adecuada para pilas y baterías, lo que no sucede en otros países como Brasil, España, entre otros. La Legislación actual con la que cuenta El Salvador en materia de desechos peligrosos es La Ley de Medio Ambiente y el Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos, además El Salvador ha ratificado el Convenio de Basilea.

6. Con relación a los tratamientos realizados a las pilas, en muy pocos países se realiza un verdadero reciclaje, es decir, una disposición selectiva y una recuperación de componentes. En América Latina, Argentina es el único país que recicla pilas y baterías de Níquel-Hidruro, Níquel-Cadmio, con Contenido

de Plomo, alcalinas, de litio, entre otras; en Chile existe una empresa que recibe pilas agotadas, Hidronor, que realiza una estabilización con solventes y luego hacen una mezcla con las pilas, siendo dispuestas en un relleno de seguridad.

7. En Estados Unidos, algunas empresas han establecido programas para recolectar y reciclar sus propios productos, como el programa de recolección de Kodak para sus cámaras descartables. También en ese país se lanzó el Programa “Charge up to Recycle”, el cual fue el primero en la recolección de baterías de Ni-Cd a escala nacional en Estados Unidos que involucró a todo tipo de industria, y la creación de una organización independiente, la Rechargeable Battery Recycling (RBRC) para manejar y financiar dicho sistema. En1998 el Programa “Charge up to Recycle” se lanzó además en Canadá. En Estados Unidos se encuentra ubicada la empresa International Metals Reclamation Company (INMETCO), ubicada en Ellwood City, Pennsylvania, esta empresa recicla baterías de Ni-Cd, incluyendo las usadas en aparatos inalámbricos, herramientas, instrumental médico, teléfonos celulares, radios y equipos de luz de emergencia. También recicla otros tipos de pilas tales como níquel-hierro, níquel-hidruro metálico y cinc-carbón. En Europa existen varias empresas que han patentado sus procesos para reciclaje de los componentes de pilas y baterías ente ellos el Proceso Wälz en Alemania, Batrec-Sumitomo en Suiza, Erachem en Bélgica, Proceso RVD en Alemania.

CONCLUSIONES

1. Respecto a la peligrosidad de las pilas agotadas, en El Salvador no existe normativa concerniente a regular el ingreso de pilas con determinada cantidad de elementos tóxicos, por lo que el criterio usado es el Reglamento Especial en Materia de Residuos y Desechos Peligrosos, el cual incluye ciertos elementos constituyentes de las pilas. Sin embargo se debe contar con una legislación especial para pilas y baterías que contemple los límites en el contenido de elementos tóxicos y realizar a las pilas que ingresan a El Salvador un análisis característico como el Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) o Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad para determinar que esos valores límites fijados se cumplan.

2. La totalidad de pilas y baterías de todo tipo que se encuentra en el mercado Salvadoreño corresponden a importaciones. Según cifras de la Dirección General de Aduanas de El Salvador para el año 2006 el 97 % de las pilas y baterías primarias importadas corresponden a la partida arancelaria cuya clasificación es “Pilas cilíndricas secas de 1.5 V, de volumen exterior inferior o igual a 300 cm^3 y peso unitario inferior o igual a 100 g”. De lo anterior se concluye que la clasificación de las partidas arancelarias con la que se cuenta actualmente es muy general y no arroja datos específicos de cantidades de pilas y baterías importadas por sistema químico, marcas, contenido de metales, etc. Además en el momento de la importación no se contabilizan las pilas y baterías que se introducen a El Salvador en el interior de artefactos como juguetes, teléfonos celulares, relojes, calculadoras, computadoras, etc lo que hace que los datos sobre las cantidades importadas no sean lo suficientemente representativos de la cantidad actual en el mercado y que serà desechada una vez que termine su vida útil.

3. Según el Boletín Estadístico de Telecomunicaciones del año 2007 presentado por la Superintenencia General de Electricidad y Telecomunicaciones SIGET, el usuario está cambiando sus preferencias de telefonía fija por servicios móviles, para el año 2007 a la telefonía móvil le corresponde una densidad de 105, es decir, que por cada 100 habitantes se tienen aproximadamente 105 teléfonos móviles. Cabe señalar que los datos de población tomada fue $5_1$800,000 habitantes. Lo que significa que la penetración en cuanto a telefonía móvil ha ido en aumento ya que quien no puede tener acceso a telefonía fija lo hace por medio de la móvil la cual no se necesita de infraestructura de cableado. Esto se traduce en una mayor utilización de baterías recargables en cualquiera de sus tipos Ni-Cd, Ni-MH y Li, baterías que no son contabilizadas en el ingreso a El Salvador por importarse dentro de los aparatos pero que a la hora de ser desechadas pueden generar contaminación si su disposición final es inadecuada.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Realizar el Test de Toxicidad por Lixiviación a muestras representativas de pilas de todas las marcas; luego de los resultados del Test es necesario establecer si corresponde normar y crear mecanismos aduanales que impidan el ingreso de pilas con determinado nivel de metales pesados. Para esto se deben reunir los organismos competentes además de los representantes de las marcas interesadas.

2. Establecer un contacto más estrecho con las autoridades correspondientes, como el Ministerio de Hacienda, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Educación, entre otros, con la finalidad de desarrollar estrategias para el control de las pilas que entran ilegalmente al país. Por consiguiente no se aplica una regulación ambiental.

3. Realizar modificaciones al marco legal, con la finalidad que propicie un buen manejo, o la disposición final de las pilas y baterías. Que se defina claramente, que instancia es la reguladora ambientalmente, en base a una normatividad, así como las responsabilidades de los productores, distribuidores y del consumidor.

4. Establecer quienes serán los responsables directos de la recolección, almacenamiento y disposición final adecuada de las pilas y baterías fuera de uso; para lo que se propone a los productores y/o importadores como responsables directos

5. Que el sector educativo, como el sector salud, en conjunto con las municipalidades y el Gobierno en general deberán de realizar campañas de difusión de la problemática correspondiente al contenido de las sustancias toxicas presentes en las pilas o baterías y, por consiguiente los daños a la salud y al medio ambiente. Así mismo, es importante seguir el ejemplo de otros países donde hay programas para el manejo de desechos de pilas. Donde participan el sector público, privado y social, con estrategias y acciones como son: difundir información, instalar depósitos de recolección y crear centros de acopio, a su vez crear conciencia en los usuarios para que depositen sus desechos de pilas una vez que pierdan su vida útil.

6. Crear una Organización no Gubernamental (ONG) con la participación directa de importadores y productores, con la supervisión directa del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Educación y Ministerio de Hacienda para llevar a cabo un plan estratégico para la recolección, almacenamiento y disposición adecuada de una forma ordenada y apegada a las necesidades actuales de El Salvador, así como para su puesta en marcha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreo, N., 2000, "***Diseño de una Metodología para la disposición de las baterías de celular Ni-Cd y Ni-MH***", Trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

2. Aceves, C.; García, J. J., 2007, ***"La Percepción de una Comunidad Universitaria referente a los Desechos de Pilas y Repercusiones a la Salud y Medio Ambiente"***, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México.

3. Buchmann, Isidor, 2002, ***"Batteries in a Portable World: A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers"***, 2ª Edición, Cadex Electronics Inc., Canadá.

4. Cortinas de Nava, C., 2004, ***"Bases para integrar planes de manejo de pilas y baterías eléctricas a base de Mercurio o de Níquel/Cadmio"***, Red Queretana de Manejo ambiental de los Residuos, México.

5. Crompton, T.R., 2000. "***Battery Reference Book***", 3ª Edición. Londres, Inglaterra: Planta Tree.

6. De Carlo, P.; Stancich, E., 2000, **"Residuos Tóxicos Domiciliarios. 5º Informe Técnico de la Campaña: Poné las Pilas en el Taller Ecologista"**, México.

7. Díaz, J.; Arias, M. L., 2004, ***"Contaminación por Pilas y Baterías en México"***, Instituto Nacional de Ecología, México.

8. Dirección General de Aduanas de El Salvador, 2007, ***"Reportes estadísticos por partida arancelaria de las importaciones de pilas y baterías en el periodo comprendido del año 2002 al 2006"***.

9. González Magaña, C. I., 2000, Trabajo de Graduación para optar al título de Lic. En Administración de Empresas: ***"Un modelo de Reconversión Ambiental para empresas dedicadas a la fabricación de Baterías para vehículos. Caso práctico: Baterías de El Salvador, S.A. de C.V. (RECORD)"***, Universidad Tecnológica de EL Salvador, Facultad de Ciencias Económicas "Lic. Benjamín Cañas".

10. Hernández Valladares, R., 2002, ***"Manejo Ambientalmente adecuado de Baterías Ácido-Plomo usadas en Centroamérica y el Caribe"***, Ministerio de medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN).

11. Kiehne, H.A., 2003. ***"Battery Technology Handbook"***, 2ª Edición, Expert Verlag, United States of America.

12. Linden, D.; Reddy, T. B., 2002, "***Handbook of Batteries***", 3ª Edición, McGraw-Hill, United States of America.

13. Martínez, J., 2005, ***"Guía para la Gestión integral de Residuos Peligroso"***, Fichas temáticas, Tomo II, Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, Uruguay.

14. Ramírez, G., 2003***, "Baterías y pilas, Energía, Producción electricidad, Pila voltaica y galvánica. Componentes, Funcionamiento, Aplicaciones",*** Universidad de San Carlos (USAC), Guatemala.

15. Rentz, O., 2001, ***"Untersuchung von Batterieverwertungsverfahren und -alagen hinsichtlichtlich ökologischer und ökonomischer Relevanz unter besonderer Berücksichtigung des Cadmiunproblems"***, Alemania.

16. Rihm, A., 2006, ***"Trabajo de titulación en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero en Ejecución en Ambiente: Diagnóstico de la Gestión de Pilas y su Peligrosidad como residuos en Chile"***, Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Geográfica.

17. Solórzano, G., 2003, ***"Revisión y Análisis de las Experiencias de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México respecto a los cinco elementos claves para el manejo ambiental de Pilas y Baterías".*** Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, México.

18. Ullmann, F., 2004, ***"Encyclopedia of Industrial Chemistry",*** 7ª Edición, WILEY-VCH, United States of America.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. BBC News (27 Febrero, 2003), ***"Riddle of Baghdad's Batteries"***, Science/nature http://www.bbcnews.com. (abril, 2007)

2. British Broadcasting Company BBC (27 Febrero, 2003) ***"Riddle of Baghdad's batteries"***, Science/Nature http://www.bbcnews.com (abril, 2007).

3. Club Ala RC, departamento eléctrico, "***Baterías de Ión-Litio***", (marzo, 2007), *http://www.clubalarc.com/pages/ionlitio.htm., España*

4. ECO-PIL, www.ecopil.com, (febrero, 2008).

5. EPA, United States Environmental Protection Agency, 2003, ***"Guía para el ciudadano sobre vitrificación"***, www.epa.gov/superfund/sites

6. Estrucplan, ***"Condiciones de higiene y seguridad de los locales de almacenamiento"*** (septiembre, 2007), www.estrucplan.com.ar

7. Fisicanet, (abril, 2007) "***Electroquímica, Electrolisis y Pila***" http://www.fisicanet.com.ar/monografias/monograficos2/es14_electroquimica.php.

8. HIDRONOR, (febrero, 2008), www.hidronor.cl, República de Chile, Sur América.

9. IDM, S.A., (marzo, 2008), www.idmsa.com.ar, Argentina, Sur América.

10. iepe.org, 2003, Subsecretaría del medio Ambiente Municipalidad de General Pueyrredón, ***"Campaña de las pilas"***, (abril 2007), http://www.iepe.org/ecoclubes/documents/campana_pilas_2003.pdf.

11. ***"Informe sobre el uso de pilas y baterías"***, (enero, 2008), www.educacionconsumidor.org.ar/consumo_sustentable/Informe_sobre_el_uso_de_pilas_y_baterias.doc

12. Ministerio de Medio Ambiente, "***Resolución de 25 de noviembre de 1999"***, (abril, 2007), http://www.boe.es/boe/dias/1999/11/27/pdfs/A41163-41163.pdf, España.

13. Taller Ecologista Rosario, Argentina. Noticia: ***"Poniéndose las pilas"***, (abril, 2007), http://www.taller.org.ar/Ciudades_sustentables/noticia2.htm.

14. ParqueChas Web, ***"Un proyecto de ley para recuperar las pilas"***, (febrero, 2007), http://www.parquechasweb.com.ar/parquechas/notas/proy_pilas.htm, Argentina.

15. ***"Pilas y Baterías por Octavio Klimek"***, (abril, 2007), http://www.acapulcoamigo.com//AcaAmigo/Ecologia/ArticulosSur/PilasBaterias

16. SIGET, Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (diciembre, 2007), www.siget.gob.sv

17. Wikipedia, La Enciclopedia Libre, ***"Cementación",*** (abril, 2007) http://es.wikipedia.org/wiki/Cementaci%C3%B3n

18. Wikipedia, La enciclopedia libre. ***"La Pila Eléctrica"***, (abril, 2007) http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pila_el%C3%A9ctrica&oldid=7900029