



**TESIS DE GRADO
EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

PILAS: MITOS Y REALIDADES

**AUTORA
Maria Emilia Strunz**

**DIRECTOR DE TESIS
Gustavo Márquez**

**CONSULTA Y REVISION FINAL
Julio Torti**

2009

RESUMEN EJECUTIVO

A fines de Marzo de 1800 se presenta a la Royal Society de Londres, la primera Pila. La misma fue el resultado de un proceso de investigación impulsado por la necesidad del hombre moderno de desarrollar elementos que se adaptaran a un estilo de vida cambiante y cada vez más independiente. Fueron inventadas hace ya más de 200 años, y constituyen lo que hoy llamamos “energía móvil”.

Aquella Pila presentada por Volta en 1800, es esencialmente igual a la Pila que se utiliza hoy en día. La creciente popularidad de este nuevo dispositivo, principalmente tras la Primera Guerra Mundial y el invento de la Radio, generaron un importante crecimiento en la producción de Pilas. Es así que continuaron las investigaciones y se desarrollaron sistemas constituidos por nuevos elementos químicos que lograron un mejor desempeño energético.

Una vez agotada la energía, la Pila se convierte en un residuo. Durante muchos años, la Pila ha sido uno de los elementos más utilizados para alertar a la sociedad de los problemas que surgen alrededor de los denominados “desechos” o “residuos”, probablemente generados por el hecho de que algunos de los sistemas contenían altos niveles de mercurio. Surgió así un gran interrogante: como disponer las Pilas.

En el presente trabajo se estudian los diferentes tipos de Pilas (Primarias Secundarias), con el fin de comprender no solo su funcionamiento sino también cuales son sus componentes y que efectos generan en el medio ambiente. Asimismo, se analizan las diferentes formas de disposición final de las Pilas, el enterramiento y el reciclaje, y las estrategias hoy utilizadas en Estados Unidos y Europa en relación a este tema.

Al estudiar las diferentes alternativas, se concluye que es necesario aplicar una estrategia diferenciada de acuerdo a cada tipo de Pila. En el caso de las Pilas No Recargables se recomienda la disposición junto con los Residuos Sólidos Urbanos con destino a Rellenos Sanitarios, ya que es esta una alternativa no solo ambientalmente amigable sino también económicamente conveniente.

Por otro lado, en el caso de las Pilas Recargables, se recomienda su recolección y reciclaje. Esto es consecuencia del hecho que estas Pilas contienen elementos como cadmio y plomo que pueden ser riesgosos para el medio ambiente y a que la recuperación de estos metales, la cual es permitida por la recolección de las baterías, y otros como el níquel, puede ser económicamente rentable, lo cual facilita la financiación del programa de reciclaje.

ABSTRACT

At the end of March 1980, the first battery was presented to the Royal Society of London. This battery was the result of a long process of investigations, which were driven by the modern men's necessity to develop instruments that would allow him to adapt to a more independent and ever changing way of life. They were invented more than 200 hundred years ago and they constitute what we call today "mobile energy".

That first battery presented by a man called Volta in the 1800s is essentially equal to the one we use today. This new device's growing popularity, mainly after the World War 1 and the invention of the radio, generated a significant growth on the battery's production. This brought as a consequence the continuity of investigations and the development of new systems, which used new chemical elements that brought a better performance to the battery.

Once the energy of the battery is exhausted, it is considered a residue. For a long time, batteries have been one of the most used elements to alert society of the problems that come around the so called "residues" and what should be done with them, which were probably originated by the fact that the first batteries contained high concentrations of mercury. So, a question emerged: How should batteries be disposed?

The different types of batteries are presented on this paper, with the aim to understand how batteries work and which are the effects brought to the environment by the elements that are contained in them. The different ways to dispose batteries are presented, burial and recycling, as well as the strategies used today on the United States and Europe on this matter.

It is concluded after studying the different alternatives, that it is necessary to apply a different strategy for each type of battery. When it comes to Non Rechargeable batteries, it is recommended they are disposed with domiciliary residues that end up in Landfills. This is an environmentally friendly solution that is also economically convenient.

On the other hand, due to the fact that Rechargeable batteries contain chemical elements such as cadmium and lead, which are considered to be a risk for the environment, the recommendation is that they are collected and recycled. In addition, it is proven that the recovery of such elements, which is allowed due to the collection, and others like nickel, is economically profitable, which would help finance the recycling costs.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 INTRODUCCIÓN	3
II. PILAS 101	5
2.1 EL PRINCIPIO Y LA EVOLUCIÓN DE LAS PILAS: UN POCO DE HISTORIA.....	7
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
2.2.1 Principales Componentes.....	12
2.2.1.1 La Corrientes	12
2.2.1.2. El Voltaje.....	13
2.2.1.3 La Resistencia	14
2.2.1.4 La Potencia	16
2.2.2 Leyes Científicas	16
2.2.3 Tipos de interconexiones entre Pilas.....	19
2.3 PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS PILAS	21
2.4 FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS	24
2.5 COMO PRODUCEN ENERGÍA LAS PILAS	26
2.5.1 Efectos de la Temperatura	28
2.5.2 Tipos de Descarga.....	29
2.5.3 Tipos de diseño	31
2.5.4 Ciclos de Funcionamiento	31
2.6 CLASIFICACIÓN DE LAS PILAS	33
2.6.1 Las Pilas Primarias	33
2.6.1.1 Pilas de Carbón-Zinc	34
2.6.1.2 Pilas Alcalinas.....	40
2.6.1.3 Pilas de Litio.....	44
2.6.1.3.1 Cátodo de Li/MnO ₂	46
2.6.1.3.2 Cátodo de Li/CF _x	47
2.6.1.3.3 Cátodo de Li/FeS ₂	48
2.6.1.3.4 Cátodo de Li/SO ₂	48
2.6.1.3.5 Cátodo de Li/SOCl ₂	49
2.6.1.4 Pilas Botón.....	52
2.6.1.4.1 Pilas Botón de Zinc Plata	53
2.6.1.4.2 Pilas Botón de Zinc Aire	55
2.6.2 Las Pilas Secundarias	58
2.6.2.1 Pilas de Plomo Ácido	60
2.6.2.2 Pilas de Níquel Cadmio	64
2.6.2.3 Pilas de Níquel Metal Hidruro	69
2.6.2.4 Pilas de Ion Litio.....	76
2.6.2.4.1 Pilas de Ion Litio: Li/Li _x MnO ₂	77
2.6.2.4.2 Pilas de Ion Litio: Li/V ₂ O ₅	78
2.6.2.4.3 Pilas de Ion Litio: Li/Nb ₂ O ₅	78
2.6.2.4.4 Pilas de Ion Litio: Li/S.....	79

III. ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN.....	87
3.1 INTRODUCCIÓN	89
3.2 DEPÓSITOS DE RESIDUOS NO CONTROLADOS	90
3.3 DEPÓSITOS DE RESIDUOS CONTROLADOS	92
3.3.1 Etapas Previas a la Construcción de un Relleno	95
3.3.1.1 Ubicación	96
3.3.1.2 Accesos	96
3.3.1.3 Duración del Relleno.....	96
3.3.1.4 Obtención de Datos	96
3.3.2 Estructura de un Relleno Sanitario y/o de Seguridad	99
3.3.2.1 Preparación del módulo	100
3.3.2.2 Módulo	101
3.3.2.3 Liner.....	101
3.3.2.4 Celdas.....	102
3.3.2.5 Sistema de drenaje de agua	103
3.3.2.6 Sistema de recolección de lixiviado	104
3.3.2.7 Sistema de recolección de metano	105
3.3.2.8 Capa Superior.....	106
3.3.2.9 Monitoreo de las napas de agua.....	107
3.3.2.10 Post cierre.....	108
3.3.2.11 Planta de tratamiento de lixiviados	109
3.3.2.12 Operatoria de Recepción de Residuos	109
3.3.3 Las Pilas como Residuos en Rellenos	109
3.3.3.1 Efectos del Cadmio.....	110
3.3.3.2 Efectos del Plomo.....	110
3.3.3.3 Efectos del Mercurio	110
3.4 RECICLAJE.....	112
3.4.1 Procesamiento de las Pilas de Níquel Metal Hidruro	112
3.4.2 Procesamiento de las Pilas de Níquel Cadmio y Plomo	113
3.4.3 Tratamiento de cenizas	114
3.4.4 Control de emisiones gaseosas	115
IV. ESTUDIOS INTERNACIONALES	117
4.1 ESTUDIO DE LA UNIVERSIDAD DE FUKUOKA.....	119
4.2 ESTUDIO DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE FRANCIA.....	126
4.3 ESTUDIO DE SWANA.....	128
V. LEGISLACIÓN	131
5.1 EUROPA	133
5.2 ESTADOS UNIDOS	136
5.3 ARGENTINA.....	137

VI. LA RECOLECCIÓN EN EL MUNDO.....	139
6.1 RBRC	141
6.2 GEMEINSAMES RUCKNAHMESYSTEM BATTERIEN.....	147
VII. PLAN DE GESTIÓN	153
7.1 INTRODUCCIÓN	155
7.2 PILAS PRIMARIAS	157
7.3 PILAS SECUNDARIAS	160
7.3.1 Las iniciativas voluntaristas	160
7.3.2 Plan de Gestión	161
7.3.2.1 Determinación del universo de Pilas a recolectar	161
7.3.2.2 Obligados a la recolección: Sistemas y Consecuencias	163
7.3.2.3 Alternativas de disposición final (Enterramiento y Reciclaje)	164
7.3.2.3.1 El enterramiento	165
7.3.2.3.2 El reciclaje	165
7.3.2.3.3 La exportación	166
7.3.2.4 Puntos o lugares de recolección: Clasificación	166
7.3.2.5 Sistemas de transporte y depósitos intermedios	168
7.3.2.6 Sistemas de difusión y educación.....	168
7.3.2.7 Monitoreo del programa - Deber de información – Objetivos.....	169
VIII. CONCLUSIÓN.....	171
8.1 CONCLUSIÓN	173
XI. BIBLIOGRAFÍA	177
9.1 BIBLIOGRAFÍA	179

I. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Una de las tantas definiciones de Medio Ambiente señala: “Se entiende por Medio Ambiente el entorno o suma total de aquello que nos rodea y que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o de la sociedad en su conjunto”. Durante los últimos años, se ha incrementado la conciencia colectiva social por el cuidado del Medio Ambiente. En este creciente proceso, se han visto involucradas la mayoría de las industrias, y entre ellas la Industria de Pilas y Baterías.

La tecnología que constituye la naturaleza de las Pilas, ha traído como consecuencia el surgimiento de una serie de Mitos alrededor de esta Industria, principalmente en relación al destino final de las mismas, que han llamado la atención de ambientalistas involucrados con el tema de los Residuos. Sin embargo, esta es una Industria que se encuentra en constante investigación y desarrollo en pos de la mejora tecnológica que permita que las Pilas y Baterías tengan un mejor desempeño y sean cada vez más ambientalmente amigables.

A través de este trabajo, se estudiará el universo de las Pilas en profundidad con el objetivo de formular una propuesta tanto realizable desde el cuidado del Medio Ambiente cuanto viable desde el punto de vista social y económico. Para lo mismo, se han determinado una serie de etapas que llevarán al cumplimiento de este objetivo.

La primera etapa consistirá en el estudio de la Pila, de manera de desmenuzar sus componentes y entender su funcionamiento. Se mencionarán las distintas clasificaciones y tipos de Pilas.

Se describirán luego las actuales formas de disposición disponibles y utilizadas en el mundo: el enterramiento y el reciclaje. Por otro lado, se introducirán métodos que se practican en Estados Unidos y Europa, los cuales constituyen el rumbo que debe tomar la Argentina en materia de disposición de Pilas.

Para hacer un análisis profundo, es necesario estudiar la Legislación vigente en la Argentina respecto de este tema, así como en aquellos países que practican la Recolección y Reciclaje. Con toda esta información, se procederá a estructurar un sistema de gestión que permita identificar el destino final de las Pilas usadas.

II. PILAS 101

2.1 EL PRINCIPIO Y LA EVOLUCIÓN DE LAS PILAS: UN POCO DE HISTORIA

En los tiempos modernos, la independencia y movilidad se consideran atributos indispensables de la vida cotidiana. Existen actualmente dos formas de generar electricidad; a través de generadores de corriente eléctrica para instalaciones fijas o mediante el uso de pilas o baterías, las cuales permiten al hombre moderno estar “conectado” en cualquier momento y en cualquier lugar. Estas últimas fueron inventadas hace ya más de 200 años, y constituyen lo que hoy llamamos “energía móvil”.

En 1780 Luis Galvani, profesor de anatomía de la Universidad de Bolonia, Italia, observó, durante la realización de un experimento, que las ancas de una rana recién muerta se crispaban y pataleaban al tomar contacto con dos barras de metales diferentes. Si bien la explicación del fenómeno la dio poco tiempo después Alejandro Volta, éste fue el comienzo del descubrimiento del principio que dio origen a la Pila.

Alessandro Volta fue un físico italiano, nacido en Como, quien centralizó parte de sus estudios en la investigación de la electricidad. En 1774 fue elegido profesor de Física en el Colegio Superior de Como y un año después inventó el electróforo. A raíz de esto, en 1779, se le asignó la cátedra de la Universidad de Pavía, lugar donde continuó con sus investigaciones. Fue el autor de otros inventos ligados al concepto de electricidad, como el eudiómetro y el electroscopio condensador. Finalmente, y como reconocimiento de sus logros, fue nombrado miembro de la Royal Society de Londres.

Más allá de estos logros, el invento que le valió la mayor cantidad de reconocimientos fue aquel que derivó del descubrimiento de Galvani, a raíz del cual, y tras varios años de estudios, en el año 1800 Volta comprobó que el efecto producido en las patas de la rana, era debido al contacto entre dos metales, lo cual daba por resultado una corriente eléctrica. Sigüentes investigaciones le llevaron a concluir que algunas combinaciones de metales producían mayor efecto que otras, permitiéndole construir una lista del orden de eficacia de estos metales, lo que hoy se conoce como la Serie Electroquímica.

Tras continuas investigaciones, Volta inventó un dispositivo capaz de generar lo que luego se denominó “Flujo Eléctrico”, cuya definición describe el viaje espontáneo de electrones de un origen a un destino. Con el fin de lograr este viaje espontáneo Volta construyó un dispositivo compuesto básicamente de dos recipientes colmados de alguna disolución específica, una placa de Cobre y una placa de Plata.

Ambos recipientes se rellenaron con una solución salina y se conectaron a través de arcos metálicos. La conexión de una serie de estos dispositivos dio como resultado

la primera batería eléctrica de la historia. Para reducir complicaciones originadas por la necesidad de utilizar soluciones, construyó el dispositivo de la siguiente manera: colocó pares de discos de metal del tamaño de una moneda, uno de Plata y otro de Zinc, con un separador de pasta o cuero humedecido en agua salada, en medio de estos discos. Los pares de discos y el separador eran apilados uno encima del otro, de manera que los unía formando una serie: cobre, cinc, paño, cobre cinc, paño, etc.; todos ellos apilados formando una columna. A cada extremo de este dispositivo conectó una tira de metal, el cual a su vez estaba inmerso en un recipiente con contenido de mercurio, el cual por su gran conductividad eléctrica, al cerrarse el circuito permitía la generación de corriente eléctrica. El diagrama de lo que puede llamarse la primera Pila puede observarse en la Figura 2.2.1.

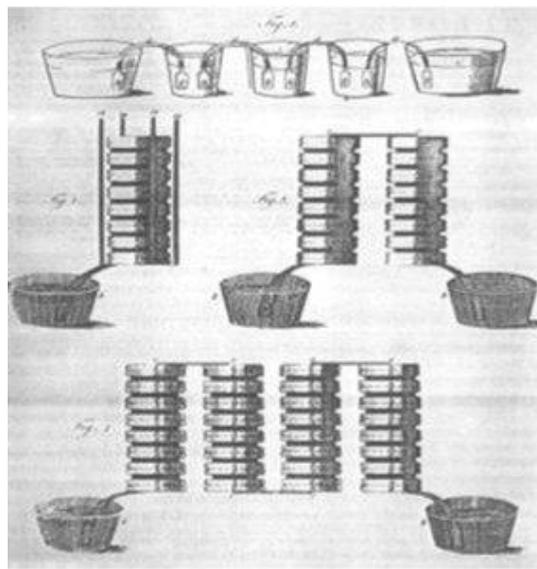


Figura 2.1.1. La primera Pila

En esta sencilla forma de pila primaria, las placas de Zinc y de Plata están separadas por el electrolito. Si se conectan con un alambre, la corriente eléctrica fluye a través del conductor, pero tan pronto como el circuito se interrumpe al desconectarse el alambre, la corriente deja de fluir. Esta pila no dura indefinidamente, ya que el ácido sulfúrico ataca al Zinc, y cuando éste se consume, la pila se agota. Para reactivarla, será necesario reponer la placa de Zinc y el ácido del electrolito. Debido a las reacciones químicas que tienen lugar dentro de la pila, se desprenden pequeñas burbujas de hidrógeno que se adhieren al electrodo de cobre y forman una capa aislante; cuando esto sucede, la corriente no pasa y se dice que la pila está polarizada. Para eliminar este inconveniente, se agregan ciertas sustancias químicas que se combinan con el hidrógeno y evitan los efectos polarizantes.

Así, a fines de Marzo del año 1800 Volta presenta, lo que hoy se conoce como la primera Pila, a la Royal Society de Londres. Un año después, la primera Pila fue dada a conocer en Paris. Desde ese entonces y hasta ahora, la tecnología se ha perfeccionado. Sin embargo, la Pila que hoy utilizamos se basa en los mismos conceptos aplicados por Volta en su primera Pila, los cuales impulsaron grandes descubrimientos, como los de Davy, quien pudo separar compuestos naturales como el sodio y el potasio para aislar sodio puro y potasio metálico por electrolisis; y Faraday, quien demostró que una corriente eléctrica que fluye a través de un alambre, induce un campo magnético en un alambre paralelo, y a la inversa que un magneto en movimiento puede generar electricidad en un alambre cercano; lo que trajo como consecuencia el concepto del electromagnetismo y el dínamo de Faraday en 1831.

En los siguientes años, las celdas de energía primaria recorrieron un largo camino desde la primera celda de Volta. Es así como continuaron las investigaciones con el objetivo de lograr construir un dispositivo que permitiera la generación de “energía móvil y transportable”. Se descubrió que cada paquete de zinc-papel-plata y separador en la batería de Volta era en sí una fuente productora de electricidad de bajo voltaje, de modo que el concepto de una celda simple con un ánodo de un metal y un cátodo de otro metal inmerso en un electrolito evolucionó gradualmente. Las celdas de potencia se fueron haciendo de a poco más confiables, de mayor duración y de menor tamaño. Fue así que en 1860, Georges Leclanché desarrollo la celda de Carbón-Zinc, la cual es considerada la primera de las “pilas” y la cual dio origen a las celdas de hoy.

El sistema original de Leclanché consistía de una varilla de zinc amalgamada (lo cual indica la presencia de mercurio, el cual se había descubierto aumentaba la eficiencia de la celda) y dióxido de manganeso pulverizado mezclado con polvo de carbón. Esta mezcla se colocaba en un vaso poroso en el que se insertaba una varilla de carbón que funcionaba como colector de corriente. Todos los elementos eran luego introducidos en una solución líquida de cloruro de amonio que funcionaba de electrolito filtrándose por los poros del vaso y tomando así contacto con el dióxido de manganeso. Por estar inmersa en una solución líquida es que se llama a este tipo de dispositivo “celda húmeda”. Años más adelante, en 1880, y tras nuevas investigaciones, se logró reemplazar la solución líquida por una pasta, lo cual dio origen a la “celda seca”. Tal como puede verse en la Figura 2.1.2, básicamente, es la celda de Carbón-Zinc tal cual se la conoce hoy en día.

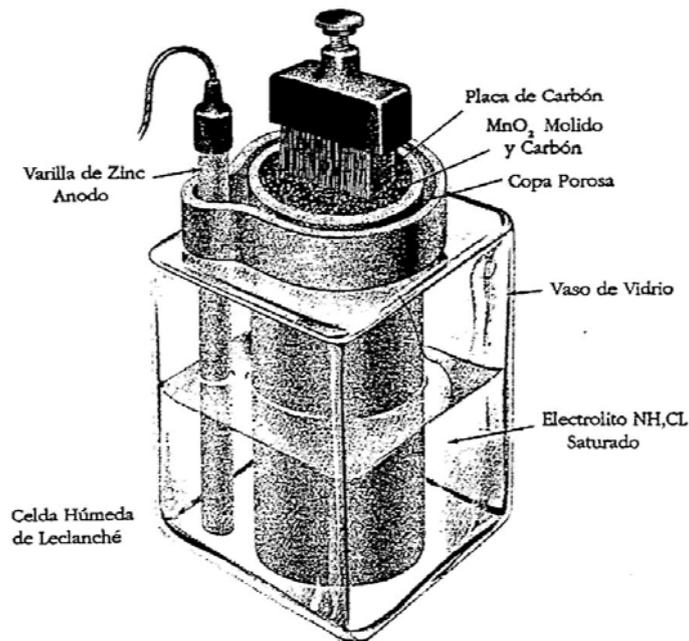


Figura 2.1.2. Celda Húmeda de Leclanché

Las celdas de Leclanché encontraron un mercado cada vez mayor para su aplicación, utilizándose para activar timbres y alarmas o para energizar señales de ferrocarril y circuitos de vías. En 1876 Alexander Graham Bell inventó el teléfono, el cual se convirtió en el principal cliente de las celdas de Leclanché. Para 1880 había más de doscientos mil teléfonos en uso y para 1900 más de tres millones y medio a nivel mundial. Ese mismo año se presentó un invento que con el tiempo se convirtió en el mercado más grande para estas celdas: la Linterna. Esto permitió que las ventas alcanzaran los dos millones de unidades solamente en Estados Unidos, llegando a dos billones para el año 1960.

Después de la Primera Guerra Mundial, se abrió un nuevo mercado que aumentaría considerablemente las ventas: la Radio. Todos los primeros radio receptores funcionaban con corriente directa, mientras en la gran mayoría de las casas solo existía corriente alterna, siendo las baterías entonces la forma de energía requerida para el funcionamiento de estos dispositivos.

Durante la Segunda Guerra Mundial surgió en Estados Unidos un gran inventor que revolucionaría nuevamente el mercado de las baterías desarrollando la celda con cátodo de mercurio, el cual reemplazaría el dióxido de manganeso utilizado desde la celda de Leclanché: Samuel Ruben. Aunque significativamente más costoso, el mercurio podría absorber una mayor cantidad de oxígeno en un espacio limitado, y por lo tanto produciría un cátodo de mayor capacidad. Otra innovación mayor aún fue el seleccionar un electrolito alcalino, hidróxido de potasio, mucho más conductivo que el cloruro de ácido amonio de la celda de Carbón-Zinc. De esta manera, Ruben logró desarrollar un dispositivo de mayor vida útil y con mayor resistencia a

condiciones extremas de temperatura y humedad. Esto permitió que durante la Segunda Guerra Mundial se pudiera maximizar la utilización de linternas, detectores de minas, teléfonos portátiles y otros equipos de comunicación.

La celda de mercurio fue el primer desarrollo de lo que se conoce hoy como la Pila Alcalina. Sin embargo, dado su alto costo, no era posible su comercialización masiva en el mercado. Es por esto que Ruben continuó con sus investigaciones con el objetivo de lograr disminuir los costos manteniendo la performance de las baterías lograda. Así logro la celda alcalina de manganeso, la cual utilizaba los elementos básicos de la celda de Carbón-Zinc pero constituía una fuente de energía más resistente y de mayor duración.

Comenzó entonces la producción de las celdas de mercurio y las alcalinas. La primera aplicación de las celdas de mercurio fue en los auxiliares auditivos, ya que podían fabricarse en tamaños extremadamente pequeños retener todas sus capacidades de emisión de voltaje continuo y larga vida útil.

De ahí en más y hasta la actualidad, han surgido notables avances en lo que se refiere a la composición de las pilas, hasta llegar a aquellas que conocemos y utilizamos hoy en día.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Aunque la celda de energía primaria ordinaria pudiera parecer un objeto inerte más bien simple, es en realidad un eficiente y delicado balance de actividad electroquímica cuando se lo pone en operación. Por lo tanto, antes de comenzar con la descripción de la composición y funcionamiento de las Pilas, es importante mencionar algunos fundamentos teóricos.

2.2.1 Principales Componentes

Para entender con mayor profundidad como se produce la electricidad dentro de la Pila, es importante tener conocimiento de algunos términos utilizados en la descripción de este concepto. A continuación se utilizará una analogía frecuentemente utilizada para realizar esta descripción: El flujo de agua a través de un caño. La corriente sería el flujo de agua que corre a través del caño. El voltaje puede explicarse como la presión con que esta agua fluye, es decir la fuerza que hace que el agua se mueva por el caño. La Resistencia es cualquier restricción que pueda detener el flujo del agua. Por último, la Potencia sería la capacidad del agua de realizar trabajo, el resultado de lo que puede hacer la Pila, lo que el dispositivo necesita para funcionar.

2.2.1.1 La Corriente

En términos eléctricos, la corriente es el flujo de electrones a través de un circuito, el cual debe existir para que haya electricidad. Este circuito está formado por cables por los que fluyen los electrones. Como en el caso del agua, un mayor caño permite un mayor flujo de agua, un mayor cable permite un mayor flujo de corriente. La unidad de medida es el Ampere (A). En una Pila, la corriente está determinada en primer lugar por el tamaño, siendo que una Pila "D" de mayor tamaño tendrá un mayor amperaje que una Pila "AA". En segundo lugar, por el sistema químico utilizado en su construcción, algunos sistemas son más reactivos que otros y por lo tanto pueden producir mayor flujo de corriente. Los principales sistemas químicos son:

- Zn/MnO₂
- Zn/Ag₂O
- ZnO
- Li/MnO₂
- Li/FeS₂
- NiMH

El tercer factor que influye, el cual juega un papel determinante en la producción de flujo de corriente, es la forma en la que está construida la Pila. Los dos tipos de construcción son la construcción en “jellyroll” y la construcción en “bobina”. La primera se caracteriza por contar con un número de celdas formadas de ánodo, separador y cátodo colocados uno al lado del otro. En el segundo tipo de construcción, el ánodo se encuentra o bien en el centro de la Pila o cerca del container y es levemente menos efectiva al momento de permitir el flujo de corriente. En el Diagrama 2 pueden verse ambas formas de construcción de la Pila.



Figura 2.2.1. Tipos de construcción de Pilas
Fuente: Energizer

2.2.1.2 El Voltaje

El Voltaje puede decirse es la fuerza que “empuja” los electrones a recorrer el circuito. Cuanto mayor es el voltaje, mayor es la corriente que fluirá por el circuito, así como a mayor presión mayor cantidad de agua fluirá por un caño. La unidad de medida utilizada es el Volt.

El voltaje de una Pila se determina en primer lugar por los elementos seleccionados como ánodo y cátodo. En la Tabla 2.2.1 que se presenta a continuación pueden verse los elementos utilizados en los diferentes tipos de Pilas:

Sistema	Ánodo	Cátodo	Voltaje
Alcalina	Zinc (Zn)	Dióxido de Manganeso (MnO ₂)	1.5V
Carbón-Zinc	Zinc (Zn)	Dióxido de Manganeso (MnO ₂)	1.5V
Litio (Cilíndrica)	Litio (Li)	Bisulfuro de Hierro (FeS ₂)	1.6V
Litio (Botón)	Litio (Li)	Dióxido de Manganeso (MnO ₂)	3.0V
Plata	Zinc (Zn)	Oxido de Plata (Ag ₂ O)	1.6V
Zinc Aire	Zinc (Zn)	Oxigeno (O ₂)	1.6V
Níquel Metal Hidruro	Metal Hidruro (MH)	Níquel (Ni)	1.2V

Tabla 2.2.1. Componentes de los distintos sistemas de Pilas

Por otro lado, el voltaje también se determina por el número de celdas individuales en la Pila. Por ejemplo, la Pila de 9 Volts Alcalina se compone de 6 celdas individuales de 1,5 Volts cada una (Figura 2.2.2).

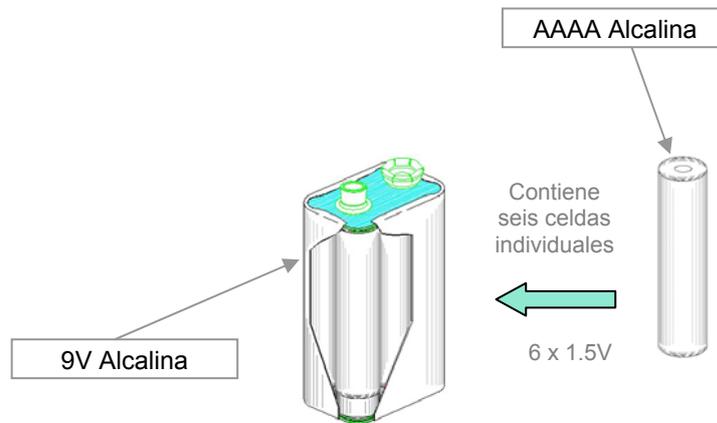


Figura 2.2.2. Construcción de Pila Alcalina de 9 Volts
Fuente: Energizer

El Voltaje Operativo es el Voltaje promedio que la Pila puede producir durante la mayor parte de su vida útil. En general éste es menor al Voltaje inicial y mayor que el Voltaje final. En la Figura 2.2.3 puede observarse cómo es el comportamiento del Voltaje de una Pila de Carbón-Zinc en el tiempo, el cual disminuye con las horas de uso de la Pila.

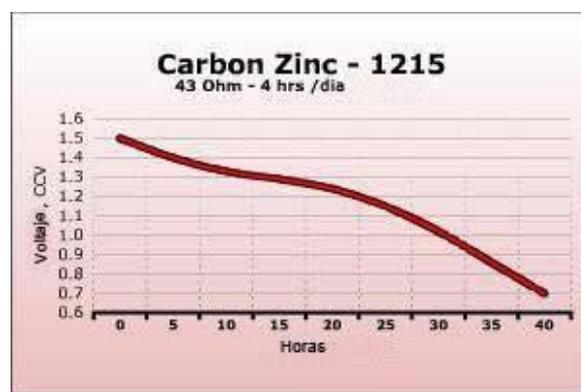


Figura 2.2.3. Gráfico Voltaje-Horas (Pila Carbón-Zinc)
Fuente: Energizer

Por último, es importante mencionar que el Voltaje no está determinado por la cantidad de elementos activos en la Pila, sino por el sistema en su totalidad.

2.2.1.3 La Resistencia

En referencia a la Resistencia, como dijimos anteriormente, la misma puede definirse como aquellas restricciones que pueden estar presentes en el circuito y que

disminuyen el flujo de electricidad. También puede mencionarse que es la forma en la que se puede determinar la facilidad con que la Pila puede producir el flujo de corriente.

Volviendo a la analogía, la resistencia puede asimilarse a una válvula colocada en un caño, la cual al estar completamente abierta no presenta restricciones al flujo de agua. En electricidad puede decirse que a mayor diámetro del cable, menor la resistencia. La unidad de medida utilizada es el Ohm.

Existen dos resistencias dentro de la Pila, la primera es consecuencia de la forma de construcción de la Pila, siendo que la construcción en “jellyroll” presenta mayor resistencia que la construcción en “bobina”. A medida que la Pila está en funcionamiento y en proceso de descarga, la Resistencia Interna aumenta. Esto sucede a medida que los elementos conductores de la Pila se convierten en menos reactivos debido a la utilización de la misma.

El segundo tipo de Resistencia es aquella que presentan los dispositivos electrónicos en donde se utiliza la Pila, por ejemplo en la linterna la resistencia externa sería la lamparita. Es por esto, que los dispositivos que necesitan altos niveles de potencia para funcionar, lo hacen mejor con Pilas con baja resistencia interna, las cuales pueden entregar la corriente necesaria para el funcionamiento. En dispositivos de baja carga, la resistencia interna juega un papel menos importante.

En la Figura 2.2.4 puede observarse como es el comportamiento del Voltaje a diferentes exigencias de carga, bajo la acción de una Resistencia de 10 Ohm y bajo la acción de la Resistencia Interna. En el primer caso, al aumentar el porcentaje de descarga, disminuye el Voltaje, la exigencia a la cual es sometida la Pila es mayor. En el segundo caso, a mayor porcentaje de descarga, mayor voltaje.

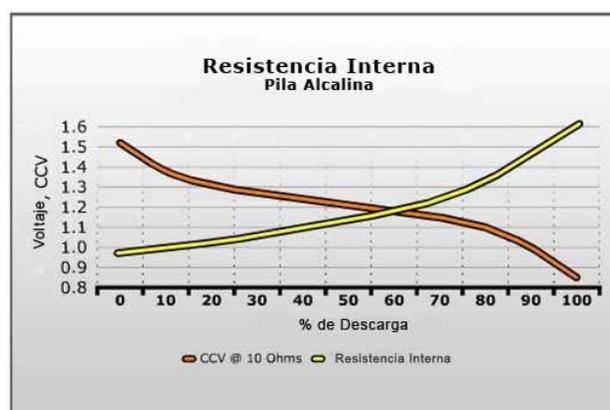


Figura 2.2.4. Gráfico Resistencia Interna: Voltaje-% de Descarga (Pila Alcalina)

Fuente: Energizer

2.2.1.4 La Potencia

El último de los conceptos que es necesarios detallar es la Potencia. La misma puede definirse como la medida de trabajo que la Pila puede realizar al colocarse en un dispositivo. La unidad de medida de la Potencia es el Watt (W).

2.2.2 Leyes Científicas

Una vez presentados los principales conceptos relacionados al funcionamiento de la Pila, es importante conocer las leyes científicas que sustentan el funcionamiento. La primera es la Ley de Ohm, la cual relaciona la corriente (I), el Voltaje (V) y la Resistencia (R) de la siguiente manera:

$$V = I \times R \text{ (1)}$$

Esto significa que el voltaje requerido para un circuito es la multiplicación entre la corriente requerida y el valor de la resistencia del mismo.

La segunda de las leyes a describir es la Ley de Watts, la cual se utiliza para determinar la Potencia (P) necesaria en el dispositivo relacionándola con la Corriente (I) y el Voltaje (V) de la siguiente manera

$$P = V \times I \text{ (2)}$$

A su vez, el funcionamiento de la Pila se basa en el principio de lo que se llama Conducción Iónica o Electrolítica, que se define como la conducción de la corriente eléctrica mediante el movimiento de iones a través de una disolución o de un líquido puro, de manera tal que los iones positivos (+) migran hacia el electrodo negativo (-) y los iones negativos (-) migran hacia el electrodo positivo (+).

Se llama Electrodo a la superficie sobre la que tiene lugar la oxidación o la reducción, procesos que se describirán a continuación y dan lugar a la conducción iónica, es decir a la energía que produce la Pila. Aquel electrodo donde sucede la reducción se denomina cátodo, siendo el electrodo donde tiene lugar la oxidación, el ánodo. Es así como los electrones se liberan en el ánodo y se consumen en el cátodo. Por último, las células galvánicas son aquellas células electroquímicas donde las reacciones de oxidación y reducción espontáneas producen energía eléctrica.

Un término comúnmente utilizado en el mundo de las Pilas es la Capacidad de la misma, es decir la cantidad de energía, expresada en Ampere-Horas, entregada

cuando se descarga totalmente en una unidad de tiempo a corriente constante y a temperatura constante (por ejemplo 25°C).

El Rendimiento de una Pila en unidad de tiempo puede calcularse haciendo el cociente entre la capacidad de la Pila, expresado en Ampere-Horas, y el consumo del equipo electrónico, expresado en Amperes.

La Capacidad es determinada por varios factores. En primer lugar, el tipo de materiales utilizados en los electrodos de las celdas. En segundo lugar, la cantidad de material existente en la Pila. El número de celdas colocadas en paralelo también determina el tiempo que la Pila podrá funcionar. Por último, cada dispositivo cuenta con un Voltaje Operativo, el cual es el mínimo Voltaje al cual la Pila puede funcionar, y una Descarga de Corriente que los caracteriza. Mientras mayores valores tengan ambos, menor será el tiempo de funcionamiento de la Pila. En las Figuras 2.2.5 y 2.2.6 se presentan dos gráficos que muestran el comportamiento de dos Pilas con distintos sistemas, Alcalina y Litio en iguales condiciones de funcionamiento. En estos puede observarse la curva de voltaje de acuerdo a incrementales horas de uso.

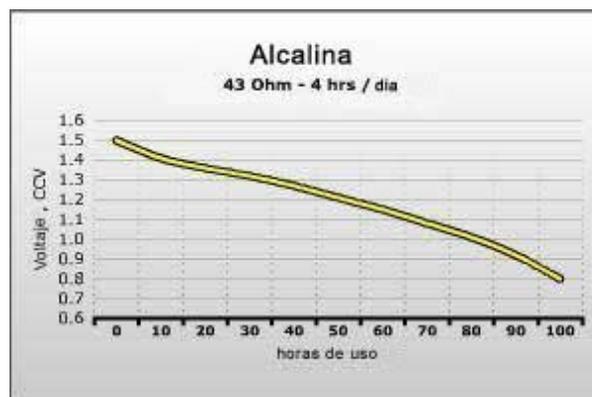


Figura 2.2.5. Gráfico Voltaje-Horas de uso (Pila Alcalina)
Fuente: Energizer



Figura 2.2.6. Gráfico Voltaje-Horas de uso (Pila de Litio)
Fuente: Energizer

En el caso de las Pilas Alcalinas, cuanto mayor es el tiempo acumulado de uso que sufre la Pila, menor es el Voltaje que esta puede entregar. Por otro lado, en el caso de las Pilas de Litio, el Voltaje entregado sufre una pequeña disminución durante las primeras 5 horas de uso, manteniéndose luego constante durante aproximadamente 70 horas. A partir de ese momento, el voltaje cae pronunciadamente. En ambos casos, la exigencia de carga utilizada para medir los voltajes fue idéntica. Este tipo de comportamiento diferencial entre los distintos tipos de Pila, también se presenta en los diferentes equipos electrónicos. Es por esto, que una de las principales formas de optimización del uso de la Pila es seleccionar el sistema adecuado para cada tipo de equipo electrónico.

Para entender en profundidad este proceso, es importante conocer unos últimos conceptos.

Cada célula posee un potencial, el cual es el resultado de la diferencia entre los potenciales de los dos componentes de cada uno de los electrodos. El potencial individual de cada electrodo no puede ser medido, por lo que se lo refiere al potencial del electrodo de hidrógeno, el cual medido en condiciones Standard, se determina en cero.

Un valor trascendente en la medida que provee una medida para la energía disponible en la Pila es la Densidad de energía. En términos volumétricos, la misma se relaciona al tamaño y a los elementos químicos que la conforman. Es mayormente útil en Pilas donde el tamaño adquiere mayor relevancia en el diseño de esta. La unidad de medida es el Watt-Hora/Litro. Por otro lado, en términos másicos, la densidad de energía se relaciona al peso de la Pila. Es importante en aquellas Pilas en las que el peso es un tema clave para el diseño. La unidad de medida es el Watt-Hora/Kilo.

Por último la capacidad de una Pila, expresada en mili-Ampere-Hora, es un indicador del tiempo durante el cual este podrá proveer servicio al dispositivo donde este colocada, a una tasa de descarga específica y un voltaje de corte específico, el cual es el voltaje a partir del cual la Pila puede proporcionar energía a un dispositivo específico. El valor de esta capacidad puede calcularse como el múltiplo de la tasa de descarga (mA) y las horas de funcionamiento al voltaje de corte. En general, las Pilas son más eficientes a tasas de descarga bajas. El voltaje de corte también influye en la capacidad de la Pila. Mientras mayor sea el valor de este, mayor capacidad será almacenada en la Pila sin ser usada.

Otros parámetros importantes incluyen: la capacidad específica, la energía específica, la cual puede medirse por peso o trasladarse a la densidad. Cada uno de

estos parámetros se fija en un valor teórico, el cual cuando la Pila entra en funcionamiento se vuelve variable. De esta manera, tales parámetros pueden definirse de la siguiente forma:

- La capacidad específica, medida en Ampere hora/kg, se mide por el peso equivalente del componente de cada electrodo, el cual es el cociente entre peso atómico y el número de electrones involucrados en la reacción electroquímica.
- La energía específica, da una idea de la energía que puede producir la Pila. La misma puede traducirse a densidad de energía, un término útil para determinar la cantidad de energía útil presente en la Pila.
- Por otro lado, las Pilas deben ocupar un volumen determinado, capaz de caber en los respectivos dispositivos, por lo que es importante conocer la capacidad por unidad de volumen. Al multiplicar la capacidad de cada Pila y el Voltaje teórico de esta, se obtiene la energía específica de la Pila.

2.2.3 Tipos de interconexiones entre Pilas

En los dispositivos electrónicos, existen diferentes tipos de circuitos. En la mayoría de los casos, las Pilas se conectan en serie (Figura 2.2.7), lo que significa que el extremo positivo de cada Pila se conecta al extremo negativo de la siguiente. El potencial de la Pila en serie es igual al número de pilas por el potencial individual de cada Pila, mientras que la corriente o capacidad es la misma que la de una Pila individual, en caso de haber Pilas de diferentes amperajes, la corriente es igual al mayor valor. Por otro lado, la resistencia del total es igual al número de Pilas multiplicado por la resistencia individual de cada Pila.



Figura 2.2.7. Conexión en serie

Otra forma de conexión, es la conexión en paralelo (Figura 2.2.8), donde todos los extremos positivos de la Pila están conectados entre si y lo mismo ocurre con los extremos negativos. Aquí, el potencial del total es igual al potencial de cada célula individual, mientras que la corriente es igual a la suma de los amperajes individuales. La resistencia total por su parte se calcula mediante la siguiente formula:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (3)$$

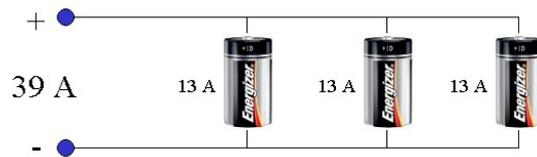


Figura 2.2.8. Conexión en Paralelo

Una última forma de conexión, es aquella que combina las conexiones en serie y paralelo, como se muestra en la Figura 2.2.9.

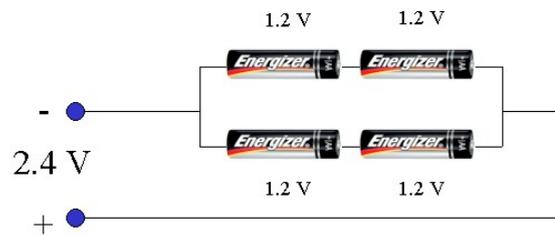


Figura 2.2.9. Conexión combinada: Serie y Paralelo

Este tipo de conexiones se utiliza para maximizar el potencial o la capacidad de la Pila, ya que se combinan ambos esquemas. Es importante, que siempre que se utilice este tipo de diseño, se permita el escape de gases, por ejemplo mediante un mecanismo de ventilación. Además, deben permitir la disipación de calor cuando la corriente esta fluyendo a través de la célula.

2.3 PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS PILAS

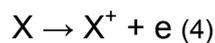
Una vez presentados brevemente los fundamentos teóricos, describiremos a continuación los elementos que conforman las Pilas en general, aquellos elementos que no pueden faltar.

- Container: Dispositivo de acero donde se colocan los componentes que permiten la reacción (Figura 2.3.1).



Figura 2.3.1. Container

- Electrodo Positivo: Elemento donde se produce la reacción electroquímica de oxidación durante la descarga de la Pila:



Se lo denomina *cátodo* (Figura 2.3.2). Se compone de elementos conductores de carga positiva que se colocan dentro del container moldeándolos a las paredes del mismo. El dióxido de manganeso es el material más comúnmente utilizado para el cátodo, por presentar tendencia a ceder rápidamente el oxígeno.

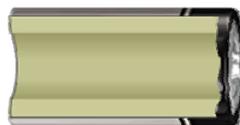


Figura 2.3.2. Electrodo Positivo

- Separador: Elemento fibroso que se coloca para evitar que el Cátodo tome contacto con el ánodo, se utiliza en general algún tipo de papel (Figura 2.3.3).



Figura 2.3.3. Separador

- Electrodo Negativo: Elemento donde sucede la reacción electroquímica de oxidación durante la descarga de la Pila:



Se lo denomina *ánodo* (Figura 2.3.4). Se coloca el elemento de carga negativa en contacto con el separador dentro del container. Una vez que se produce la reacción, los electrones se mueven a través del circuito externo de la celda llegando al otro electrodo. El ánodo es generalmente un metal con fuerte afinidad por el oxígeno. El zinc es uno de los metales más utilizados para el ánodo, no solo por sus propiedades eléctricas sino por ser también relativamente de bajo costo, fácil de producir por varios procesos, estructuralmente fuerte y químicamente estable. Otros elementos utilizados son el cadmio y el litio.



Figura 2.3.4. Electrodo Negativo

- Electrolito: Elemento que da lugar al movimiento de los cationes y aniones hacia los electrodos de signo opuesto, de manera de cerrar el circuito (Figura 2.3.5). Se inserta una solución, la cual puede ser tanto acuosa cuanto una solución de sales o ácidos no acuosa o sólida y esta en contacto tanto con el ánodo como con el cátodo.

La primera clasificación de las Pilas surgió precisamente de la naturaleza de este componente. Si el electrolito era acuoso, las Pilas se denominaban Húmedas, de lo contrario se denominaban Secas. Si bien esta clasificación es válida hoy en día, no es frecuentemente utilizada. La Pila Seca fue el primer tipo de Pila comercializable, marcando el comienzo del desarrollo de esta Industria.



Figura 2.3.5. Electrolito

- Colector, quien conduce la energía eléctrica hacia el circuito exterior. (Figura 2.3.6)



Figura 2.3.5. Colector

En la construcción de la celda, la selección de los materiales utilizados para tanto el ánodo como el cátodo determinan la energía que puede producir la celda. Los aspectos que determinan la cantidad de energía potencial almacenada en la celda son la cantidad de oxígeno que el ánodo puede recibir, la cantidad que el cátodo puede liberar y la rapidez con que ambos hacen esto. Cambios importantes en el desempeño pueden conseguirse variando la calidad, el grado o densidad de los materiales y también por la selección del Electrolito.

2.4 FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS

Las reacciones que tienen lugar en el interior de la Pila como consecuencia de la interacción entre cada uno de los elementos que forman la Pila son las que producen la energía. En la Figura 2.3.1, se muestra un diagrama que esquematiza la composición interna de las Pilas con el fin de explicar el funcionamiento de las mismas. Cada electrodo se coloca fijo a un colector de corriente, estando ambos inmersos en un electrolito.

Una vez que los colectores de corriente de la Pila se conectan, la alta afinidad del ánodo, el cual suele ser un metal, con el oxígeno que está débilmente unido al cátodo, el cual suele ser un óxido de metal, se siente en el circuito. El cátodo se empieza a descomponer y cede su oxígeno ante la atracción generada por el ánodo. Así sucede la transferencia de electrones entre el ánodo y el cátodo, lo que produce la energía. A continuación se detallará paso a paso que sucede a cada momento.

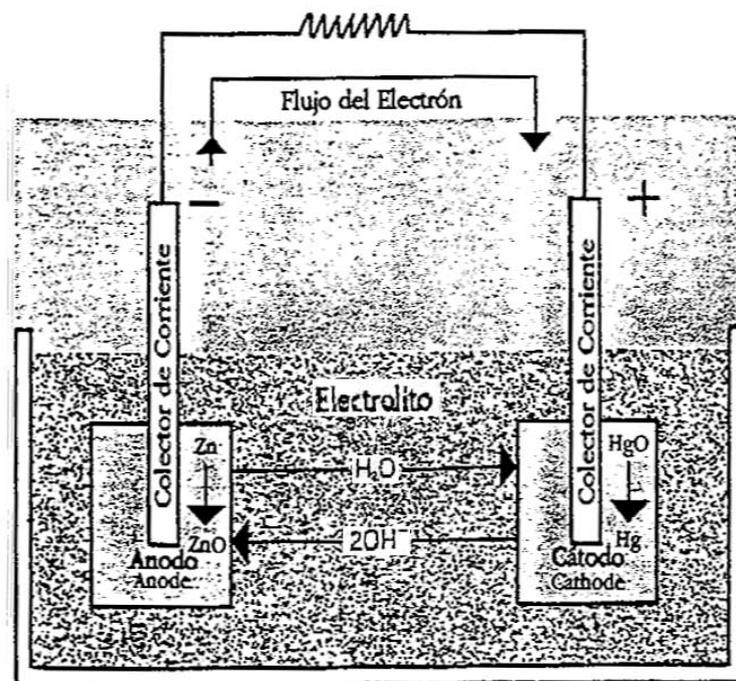


Figura 2.4.1. Esquema del sistema interno de una Pila

En primer lugar se describirá lo que sucede en el cátodo, el cual como se mencionó anteriormente se compone de un óxido de algún metal, al cual en adelante nos referiremos como metal "C" y el cual supondremos tiene dos electrones en su órbita exterior. En el proceso de formación del óxido de C, y teniendo en cuenta que el oxígeno tiene seis electrones en su órbita exterior, el metal M cede sus dos electrones al oxígeno, quedando así positivamente cargado, es decir se "ioniza": C^{++} . El oxígeno recibe entonces estos dos electrones quedando negativamente cargado: O^- . La molécula de agua puede ser vista de esta manera también, donde dos

átomos de hidrógeno han donado un electrón al oxígeno, de modo que el oxígeno del agua también adquiere una carga negativa. Finalmente, el colector del cátodo proporciona dos electrones, los cuales se fijan al ion de metal M reemplazando los electrones que este donó al oxígeno, dejando dos iones de hidrógeno y de oxígeno que forman dos iones hidroxilo: OH^- . La reacción que sucede en el cátodo es la siguiente:



Es decir, los productos finales de la reacción en el cátodo son:

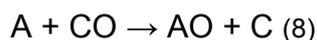
- El metal con carga neutra
- Dos iones hidroxilo

Los dos iones hidroxilo son enviados al electrolito, el cual ya contiene algunos de estos iones, por lo que se genera presión en este que hace que un par de estos iones estén disponibles es el ánodo para reaccionar con él.

En segundo lugar, se describirá que sucede luego con el ánodo, el cual está compuesto de otro óxido de metal, al cual denominaremos metal "A" y tendrá también dos electrones en la última orbita disponible para atrapar átomos de oxígeno. Sin embargo, dado que el oxígeno al estar ligado al hidrógeno ya contiene estos dos electrones, deberá liberarlos para que puedan reaccionar con el metal A. Así quedarán libres dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno que pueden formar una molécula de agua. La reacción puede escribirse de la siguiente manera:



Con todo esto, la estructura queda balanceada. La molécula de agua que se utilizó en el cátodo, se reemplaza por otra que se produce en el ánodo y los dos electrones presados al cátodo son repuestos por el ánodo. El resultado final es un flujo constante de electrones del ánodo al cátodo como consecuencia de los dinámicos y sofisticados procesos electroquímicos dentro de la celda, los cuales dan origen a la energía. Ambas reacciones juntas se escriben de la siguiente forma:



2.5 COMO PRODUCEN ENERGÍA LAS PILAS

La reacción química comienza cuando se inserta la Pila en un dispositivo, cerrando el circuito. Normalmente, estas reacciones producen energía en forma de calor. Sin embargo, en el caso de las Pilas, colocando determinados componentes químicos y controlando su reacción mediante un separador, se produce energía eléctrica. Una vez que se dispara el dispositivo, el electrolito produce la oxidación del elemento componente del ánodo, el cual reacciona con el cátodo produciendo el flujo de electrones que da origen a la electricidad. El estado de carga de cada uno de los electrodos una vez que se enciende el equipo electrónico puede observarse en la Figura 2.5.1.

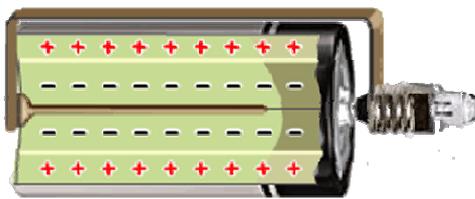


Figura 2.5.1. Estado inicial de carga de los electrodos
Fuente: Energizer

El colector conduce la corriente eléctrica fuera de la Pila y hacia el circuito externo, el cual puede ser puntos de contacto de por ejemplo una linterna o de una radio. En la Figura 2.5.2. se muestra como es el movimiento de electrones desde el interior del sistema de la Pila hacia el exterior a través del colector.

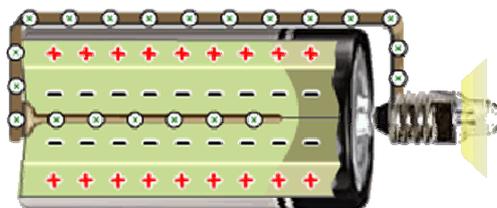


Figura 2.5.2. Conducción de la energía a través del colector
Fuente Energizer

La activación de la Pila también genera la interacción entre el ánodo y el Electrolito, lo cual da origen a elementos reactivos que disminuyen la cantidad de energía eléctrica que libera la Pila, es decir que disminuye su Voltaje. Asimismo, la cantidad de elemento de cátodo disponible se reduce volviéndose incrementalmente menos activo. Ambos factores combinados causan la caída gradual en lo que se llama el "Voltaje Operativo" (Figura 2.5.3), hasta un estado de descarga o agotamiento total de la Pila, en donde ya no se produce energía (Figura 2.5.4).

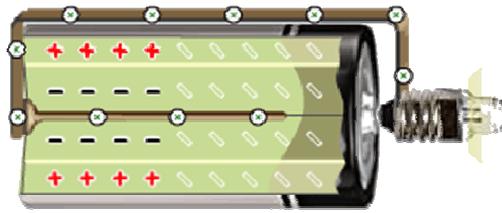


Figura 2.5.3. Caída de Voltaje Operativo
Fuente: Energizer

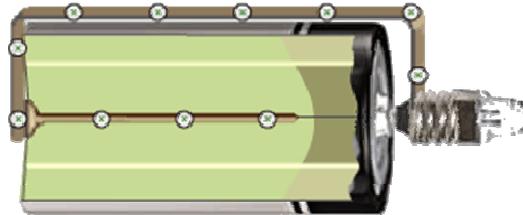


Figura 2.5.4. Estado de agotamiento de la Pila
Fuente: Energizer

Según lo mencionado anteriormente, es decir, la polarización de los electrodos y pérdidas ohmicas debido a la resistencia existente en los electrodos y electrolitos, la Pila no puede ser descargada a cero volts, sino que solo entrega entre un 20% y un 40% de su valor teórico.

La polarización se presenta en dos formas, una es la activación, la cual muestra que tan difícil es, cinéticamente, el movimiento de electrones. La otra es la concentración, la cual considera la acumulación, creciente o decreciente, de iones cerca de los electrodos. La polarización puede resultar en un menor voltaje de la Pila. Cada Pila, tiene una capacidad nominal dada por la naturaleza y cantidad de electrodo presente en la misma. La frecuencia de descarga de una Pila es un múltiplo de esta capacidad, usualmente es la quinta parte de esta. El rendimiento de la descarga de la Pila depende de varios factores:

- Efectos de Temperatura: Al bajar la temperatura, la Pila muestra menor capacidad a menor potencial. Por otro lado, a temperaturas muy altas, la Pila puede autodescargarse y mostrar descomposición de los electrolitos.
- Tipos de descarga: La Pila pueden ser descargada en forma continua o intermitente. La primera puede resultar en un menor rendimiento, al permitir el uso intermitente la recuperación de potencial a través de la reducción de dolarización.

- **Autodescarga:** Los electrodos que componen la Pila están en constante reacción, lo cual da por resultado la autodescarga. A altas temperaturas, la pérdida de energía es más rápida.
- **Diseño:** Las células pueden construirse de dos formas diferentes. Si el principal objetivo de la célula es una mayor capacidad para mayor duración, la misma se construye en forma de bobina, donde hay una gran cantidad de material activo. Por otro lado, si lo que se busca es mayor cantidad de aplicación, se utiliza el diseño en espiral, donde se prioriza el área de contacto para mayor energía. A continuación se explica con mayor detalle el diseño de las células.

2.5.1 Efectos de la Temperatura

La temperatura a la cual la Pila esta expuesta, juega un papel clave en el funcionamiento de esta, al afectar los componentes de esta. La Resistencia Interna aumenta al disminuir la Temperatura. La producción de energía disminuye con la Temperatura al mismo que tiempo que aumenta con la misma. En la Figura 2.5.5 puede verse como la Temperatura afecta la eficiencia del funcionamiento de una Pila Alcalina, tanto en un dispositivo de alta energía, como puede ser una cámara digital, como de baja energía, como puede ser una radio. En el mismo puede verse como la eficiencia aumenta con el aumento de Temperatura, ya que el aumento de esta favorece la producción de las reacciones.

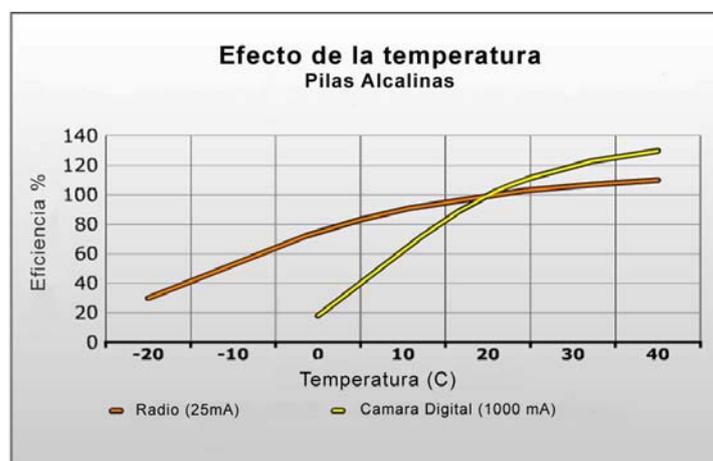


Figura 2.5.5. Efecto de la Temperatura
Fuente: Energizer

Otro fenómeno a considerar es el tiempo de almacenamiento de la Pila y las condiciones en las que se realiza el mismo. En la Figura 2.5.6 puede verse claramente como el porcentaje de energía inicial almacenado en la Pila disminuye a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento y como varía de un tipo de Pila a

otro. Puede observarse como la capacidad de energía inicial almacenada en la Pila disminuye al aumentar el tiempo de almacenamiento.

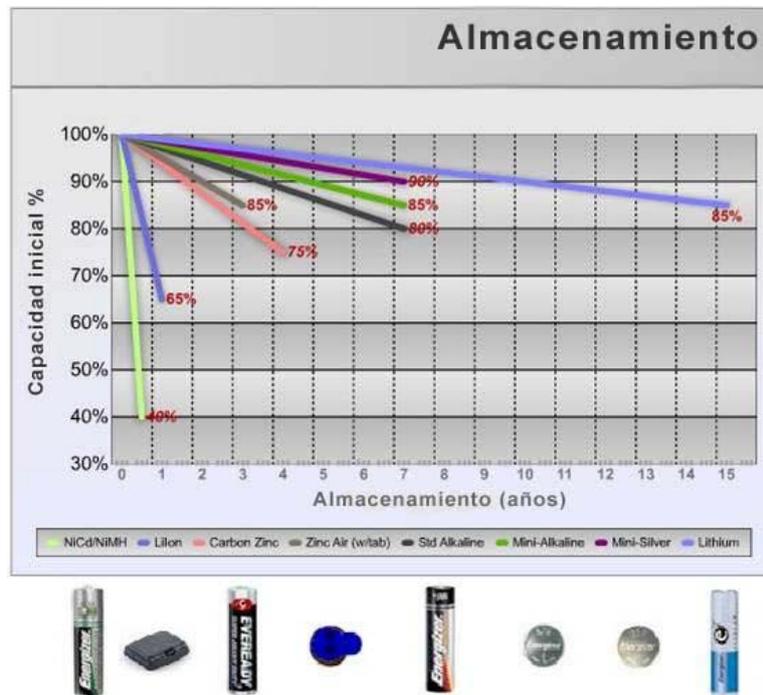


Figura 2.5.6. Efecto del Almacenamiento
Fuente: Energizer

2.5.2 Tipos de Descarga

Otro aspecto a tener en cuenta es la forma en que los distintos dispositivos reaccionan a la energía provista por la Pila y por lo tanto cómo es la descarga de ésta. Existen dos tipos de dispositivos: los Pasivos y los Activos, ambos se describen a continuación.

Los dispositivos Pasivos son aquellos que han sido diseñados en función de la Pila. Ejemplos son las linternas, los juguetes con motor y los flashes de las cámaras fotográficas. El modo de descarga está directamente relacionado a la Resistencia, la cual se mantiene constante durante la descarga de la Pila, a lo que se le da el nombre de Resistencia Constante. La calidad de operación del dispositivo decrece a medida que la Pila se descarga, tal cual puede observarse en la Figura 2.5.7.

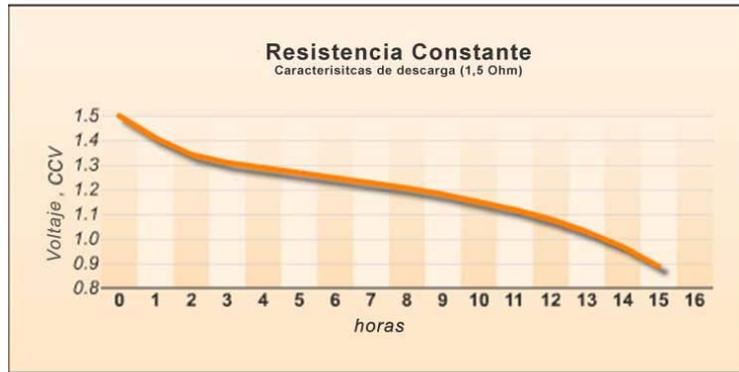


Figura 2.5.7. Resistencia Constante
Fuente: Energizer

El otro tipo de dispositivo, es el Activo, el cual ha sido diseñado alrededor de la funcionalidad. Ejemplos son los CD-Players, Celulares, MP3 Players y Laptops. Los modos de descarga pueden ser a Potencia Constante (Figura 2.5.8) o Corriente Constante (Figura 2.5.9). En estos dispositivos, la Corriente o la Potencia se mantienen constantes durante la descarga, aun con la caída de Voltaje. La calidad de funcionamiento de estos, no depende del estado de carga de la Pila.

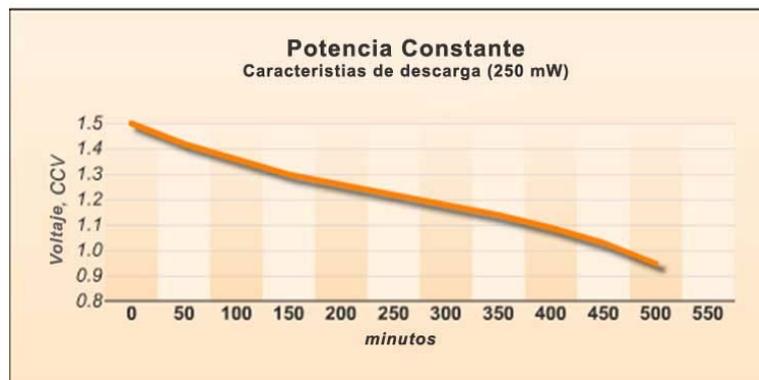


Figura 2.5.8. Potencia Constante
Fuente: Energizer



Figura 2.5.9. Potencia Constante
Fuente: Energizer

2.5.3 Tipos de diseño

Las células pueden construirse en tres formas distintas: cilíndrica, prismática o en forma de moneda. El diseño en forma cilíndrico es el más utilizado por tener dos ventajas fundamentales, la facilidad de construcción y estabilidad mecánica. Esta última ventaja es importante desde el punto de vista de la seguridad, ya que controla posibles altas presiones que puedan desarrollarse ya sea por abuso en la utilización o por características propias de los dispositivos en las que se las introduce.

El diseño prismático, fue diseñado en 1990 para maximizar el aprovechamiento de espacio, sobre todo en aquellos dispositivos que tienden a ser cada vez más pequeños, por ejemplo teléfonos celulares. La construcción de este tipo de Pila es más costosa que el cilíndrico, siendo la energía que produce un poco menor, lo cual se debe a que en las células prismáticas se puede contener menor material activo. En términos de seguridad, este diseño es menos resistente al desarrollo de altas presiones, sin embargo, no se llega a niveles de preocupación.

Por último, la pila en forma de moneda, o Pila Botón, como suele llamársela, es utilizada en aplicaciones que no necesitan grandes cantidades de energía, como por ejemplo relojes y calculadoras. Esto se debe a que dado el tamaño no puede contener grandes cantidades de material para las reacciones. Es importante mencionar que los avances tecnológicos han desarrollado sistemas que permiten maximizar los niveles de energía producidos minimizando la cantidad de elementos químicos que la componen y por lo tanto disminuyen el tamaño de la Pila.

2.5.4 Ciclos de Funcionamiento

El ciclo de funcionamiento depende del porcentaje de tiempo en el que el dispositivo está en funcionamiento versus el tiempo que permanece apagado, lo cual es equivalente al estado en el que se encuentra la Pila. Existen dos tipos de ciclos. El primero es aquel en el que el funcionamiento es intermitente, como por ejemplo sucede con una linterna. El segundo es el de carga continua, donde la Pila se encuentra en continuo funcionamiento.

Los distintos tipos de Pilas presentan diferentes rendimientos dependiendo de cómo sea el dispositivo en que se estén utilizando. En la Figura 2.5.10 se presentan dos curvas que muestran cómo es el comportamiento de una Pila de Carbón-Zinc en un dispositivo de ciclo de funcionamiento continuo y en un dispositivo de funcionamiento intermitente. En el primer caso la curva de capacidad presenta una caída de capacidad más pronunciada, lo que significa que la Pila se agota a una menor tasa de descarga.

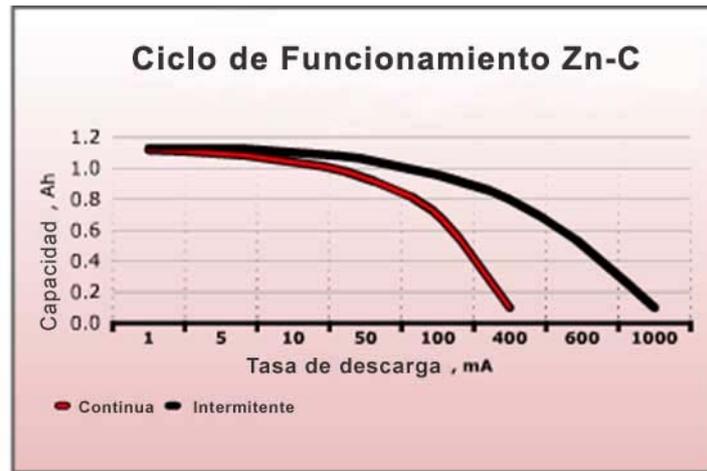


Figura 2.5.10. Potencia Constante
Fuente: Energizer

2.6 CLASIFICACIÓN DE LAS PILAS

Desde la presentación de la primera Pila hasta hoy, se han logrado importantes logros en la tecnología que compone y origina su funcionamiento. En un principio, las Pilas se clasificaban en Secas y Húmedas, de acuerdo a la naturaleza de los componentes de las mismas, siendo las Húmedas aquellas principalmente utilizadas en autos y grupos electrógenos y conocidos como Baterías. Para este tipo de Baterías se cuenta con un proceso de recolección y reciclado funcional, por lo cual se focalizará para el análisis de este trabajo, en el estudio de las Pilas secas, a las cuales se referirá en adelante como Pilas.

Existen distintos tipos de pilas, las cuales se diferencian no solo por su tamaño sino también por los elementos que la componen y la reacción química que se produce en su interior. Como se comentó anteriormente, la Pila se compone de un conjunto de dos o más celdas donde sucede la reacción electroquímica que convierte la energía química almacenada en ella en energía eléctrica. Si esta reacción, de acuerdo a los elementos que se utilizan para generarla, es irreversible, la Pila es clasificada como Primaria. Por otro lado, si esta reacción es reversible, la Pila es recargable y se denomina Secundaria. Esta es la clasificación que mas se utiliza hoy en día y como se conocen las Pilas en el mercado.

2.6.1 Las Pilas Primarias

Las Pilas Primarias representan el 80% del número total de Pilas comercializadas en el mundo hoy en día. Entre las ventajas que presenta este tipo de Pilas puede mencionarse el hecho que no necesitan ningún tipo de mantenimiento, la posibilidad de encontrarlas en distintos tamaños, alto nivel de seguridad, confiabilidad y en algunos casos bajos costos. Los tipos de Pilas Primarias que existen en el mercado son:

- Carbón-Zinc
- Alcalina
- Litio
- Zinc-Plata
- Zinc-Aire

La primer Pila primaria utilizada en el mundo fue la de Carbón-Zinc y hasta 1940 fue la única en el mercado. Desde entonces, varios otros sistemas han sido comercializados. Uno de ellos, basado en el óxido de mercurio como cátodo, ha sido suspendido por los problemas ambientales generados por el mercurio. Otros, especialmente aquellos que cuentan con un ánodo de Litio, han ganado amplia aceptación generando así un gran éxito comercial.

Este éxito también se fundamenta en el hecho que se han realizado continuos esfuerzos diseccionados a mejorar la performance de esta Pila. En particular, la energía generada y la baja temperatura a la que puede operar, en los que se han logrado grandes avances. Estos avances, fueron principalmente estimulados por el crecimiento de los dispositivos portátiles y en menor medida a la contribución de aplicaciones militares. La necesidad de producir una Pila primaria de bajo costo y con mayor producción de energía que la convencional de Carbón-Zinc, provocó el desarrollo de la Pila Alcalina. Además de aumentar la densidad de energía, el ánodo de zinc está ahora libre de mercurio.

Por último, es importante mencionar que los avances más significativos se generaron a partir del lanzamiento de la Pila con sistemas de Zinc-Aire y ánodos de Litio. Estas poseen mayores niveles de densidad de energía lo cual permite una importante reducción en el tamaño de la Pila, permitiendo la disminución en el tamaño de los dispositivos portátiles. Asimismo, estos tipos de Pila tienen suficiente energía para utilizarse en aplicaciones con altas necesidades de energía.

2.6.1.1 Pila de Carbón-Zinc

La Pila de Carbón-Zinc se comercializa en dos categorías: la Clásica y la que se denomina “Super Heavy Duty”. La primera es la menos costosa de las Pilas y la más apropiada para su utilización en linternas y dispositivos de moderada necesidad de energía o uso ocasional. La segunda, tiene un mejor desempeño que la Clásica en dispositivos de moderada a alta necesidad de energía. Es importante aclarar que este tipo de Pila no tienen mercurio ni cadmio agregado, lo que las hace ambientalmente amigables, temas que desarrollaremos más adelante.

La Pila de Carbón-Zinc es una fuente económica de energía para dispositivos con baja a moderada descarga, ya que utiliza elementos de bajo costo. Está compuesta por los siguientes elementos:

- Contenedor: Acero (en contacto con el colector)
- Cátodo: Dióxido de manganeso y Carbón
- Separador: Pasta de papel
- Ánodo: Zinc
- Electrolito (levemente ácido):
 - Leclanché: Amoníaco de zinc y cloruro de zinc en agua
 - Cloruro de zinc: Cloruro de zinc en agua
- Colector: Carbón (presente en el Cátodo)

Por fuera, la Pila se cubre con una capa de film plástico. Luego se coloca una capa de papel sobre este y finalmente la etiqueta identificadora del producto.

En cuanto al container de la Pila, el mismo es una aleación de acero y plata, el cual está diseñado con elementos que garantizan seguridad en tanto no permiten el escape tanto de gases cuanto de ninguno de los elementos químicos que están en el interior de la misma. Asimismo, se coloca por fuera un film plástico, a modo de cobertor, luego una capa de papel y finalmente la etiqueta con el logo y las especificaciones técnicas de la Pila. Por último, ésta se sella con asfalto o plástico, colocando mecanismos de ventilación, que permiten el escape controlado de gases, haciendo que la Pila sea más segura. En líneas generales, estas características se encuentran en los diferentes tipos de Pilas.

Si bien tanto la Clásica como la Super Heavy Duty pueden estar compuestas de cualquiera de los dos sistemas, en general la primera utiliza el sistema de Leclanché y la segunda con el de cloruro de zinc. Asimismo, en el cátodo se encuentra carbón pulverizado, el cual se incluye con el fin de mejorar la conductividad de la mezcla y para retener la humedad.

Las reacciones electroquímicas que suceden dentro de la Pila son:

Leclanché:



Cloruro de Zinc:



Esta Pila no cuenta con un número fijo de Amperes/hora, ya que la Pila funciona con diferentes eficiencias dependiendo de las condiciones. El servicio varía de acuerdo al flujo de corriente, el tipo de funcionamiento y el voltaje de corte, así como también a la temperatura de funcionamiento y condiciones de almacenamiento.

El voltaje con el circuito abierto de la Pila Leclanché es normalmente de 1,55 volts, mientras que la de cloruro de zinc es de 1,60 volts. Una vez que el circuito se cierra el voltaje decrece gradualmente en función de la fuerza de descarga. La energía de salida de la Pila de cloruro de zinc es menos sensitiva a variaciones en la corriente de descarga que la de Leclanché. En la Figura 2.6.1 se muestra el rendimiento de ambos tipos de Pila con un voltaje de corte de 0,75 volts. Se desprende de este gráfico, que el rendimiento de aquellas Pilas de Carbón-Zinc con sistema de Cloruro de Zinc presentan mayores niveles de capacidad a igual valor de corriente que

aquellas con sistema de Lecalnché. Asimismo, las Pilas Alcalinas presentan aun valores más altos que los sistemas de Cloruro de Zinc.

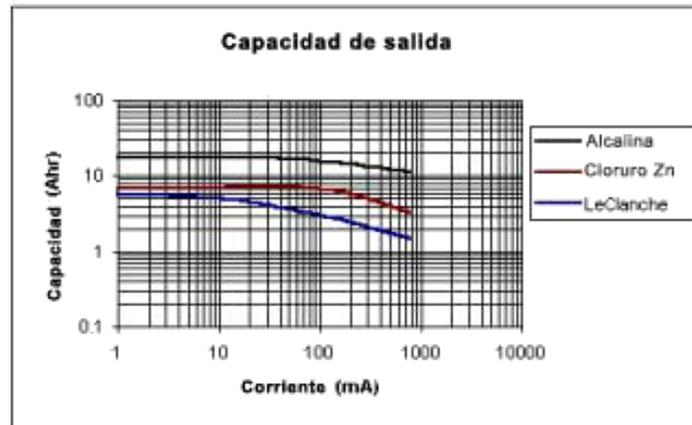


Figura 2.6.1. Capacidad de Pilas Alcalinas y de Carbón-Zinc en función de la corriente
Fuente: Energizer

Como puede verse, la capacidad de la Pila de Carbón-Zinc se incrementa a medida que el flujo de corriente disminuye. Es decir, que para aumentar la eficiencia es necesario utilizar una Pila lo mas grande posible, consistente con las limitaciones físicas, lo que es igual a disminuir la corriente. Esto significa que aumentar el tamaño de la Pila duplicara la energía a cierto valor de corriente.

En la figura 2.6.2 se muestran las diferentes curvas entre las Pilas Alcalinas y ambos sistemas de las Pilas de Carbón-Zinc, en función del ciclo de funcionamiento de estas, es decir las horas de utilización por día. Puede observarse que la capacidad de las Pilas de Carbón-Zinc con sistema de Cloruro de Zinc mantiene su capacidad prácticamente constante, mientras que las de Leclanche muestran una curva de capacidad que disminuye al aumentar los ciclos de utilización. Esto demuestra que los sistemas de cloruro de zinc en líneas generales pueden presentar mejores rendimientos.

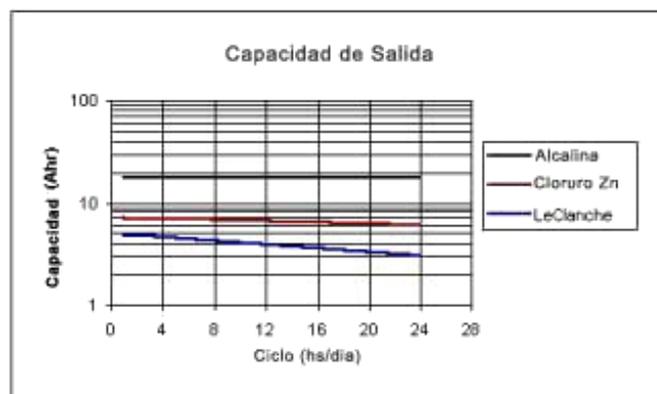


Figura 2.6.2. Capacidad de Pilas Alcalinas y de Carbón-Zinc en función del ciclo de funcionamiento
Fuente: Energizer

En la Tabla 2.6.1 se muestran las diferentes eficiencias que muestran las Pilas de Leclanché y de Cloruro de Zinc, utilizadas en diferentes dispositivos electrónicos:

Prueba	Carga	Ciclo	Leclanché	Cloruro de zinc
Motor de juguete	2,2 Ω	Continuo a 0,8 V	100%	300%
Cassette	10 Ω	4 hs/día a 0,9 V	100%	250%
Linterna	2,2 Ω	4 min/h 8 hs/día a 0,9 V	100%	460%
Radio	24 Ω	4 hs/día a 0,9 V	100%	405%

Tabla 2.6.1. Comparación entre sistema de Leclanché y cloruro de zinc en diferentes equipos

Tal cual se mencionó anteriormente, las Pilas de Carbón-Zinc muestran mayor eficiencia si se utilizan en dispositivos de baja necesidad de energía. De la Figura 2.6.3 se desprende que el voltaje que posee la Pila con sistema de Cloruro de Zinc es mayor a aquel que posee el sistema de Leclanché, además de presentar mayor tiempo de funcionamiento. A baja tasa de descarga el tiempo de funcionamiento es superior a 600 horas en el caso de las Pilas Leclanché y a 800 horas en el caso de las Pilas de Cloruro de Zinc.

En dispositivos de Moderada tasa de descarga (Figura 2.6.4), el tiempo de entrega de energía es significativamente, llegando a superar las 10 horas en el sistema de Leclanché y a 15 horas en el sistema de Cloruro de Zinc. Por último, es importante mencionar que en dispositivos de alta tasa de descarga, este tipo de Pilas no presentan un buen rendimiento.

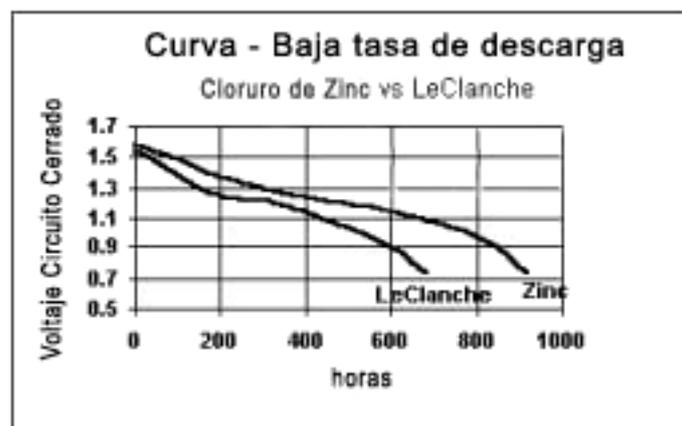


Figura 2.6.3. Curva de voltaje a baja tasa de descarga de las Pilas de Carbón-Zinc
Fuente: Energizer

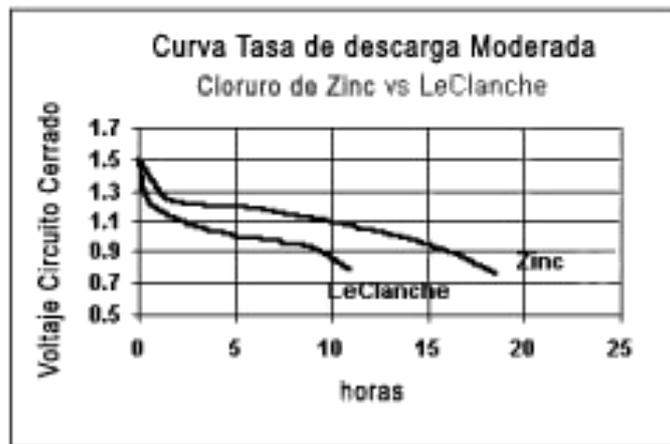


Figura 2.6.4. Curva de voltaje a moderada tasa de descarga de las Pilas de Carbono-Zinc
Fuente: Energizer

Cambios en la temperatura ambiente, afectan la reacción de los componentes químicos de la Pila. Descargas superiores a menores temperaturas tienden a disminuir el rendimiento. El sistema Leclanché es mayormente afectado al de Cloruro de Zinc. Adicionalmente, el rendimiento a altas temperaturas se reduce por el fenómeno de auto descarga. En la Tabla 2.6.2. se muestran los porcentajes de carga retenidos en las Pilas después de 1, 2, 3, y 4 años de almacenamiento a temperatura ambiente. Durante el primer año una Pila puede perder hasta un 5% de su carga y llegar a perder en 4 años hasta un 35% del total de su energía.

Tiempo de almacenamiento (21 °C)	Porcentaje de carga retenido
1 año	100-95%
2 año	82-90%
3 año	74-85%
4 año	65-80%

Tabla 2.6.2. Carga en una Pila de Carbono Zinc en el tiempo

El almacenamiento de estas Pilas a temperaturas menores a 21°C aumenta el rendimiento, ya que disminuye la influencia del fenómeno de autodescarga. Sin embargo, si el almacenamiento ocurre a temperaturas de entre 5 y 10°C, deben lograrse condiciones de packaging que eviten la condensación de humedad que pueda causar escapes de electricidad o destrucción de los containers. Por otro lado, almacenamiento a temperaturas mayores a 21°C por períodos largo puede reducir significativamente el rendimiento, precisamente por favorecer la producción de reacciones químicas. De la Figura 2.6.5 puede concluirse que por efecto de la

Temperatura, una Pila de Carbón-Zinc puede llegar a perder entre un 20% y más de un 30% de su carga inicial tras 4 años, tal cual se mencionó anteriormente.

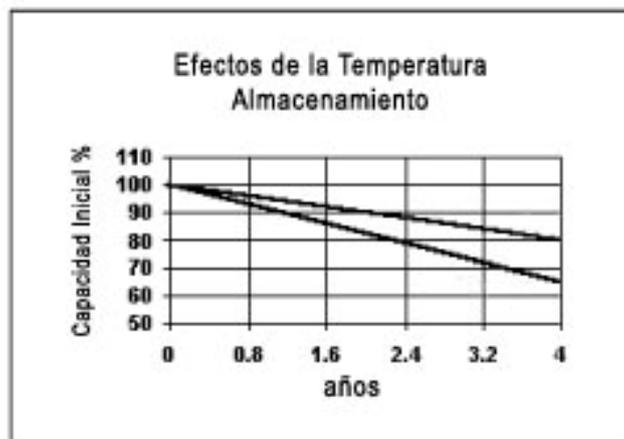


Figura 2.6.5.Efectos de la Temperatura en Almacenamiento
Fuente: Energizer

La Resistencia Interna de la Pila se define como la oposición que esta presenta al flujo de corriente. En todos los casos, esta resistencia aumenta al disminuir la temperatura. Asimismo, es mayor en el sistema Leclanché que en el de Cloruro de Zinc. La Resistencia en las Pilas de Carbón-Zinc aumenta gradualmente hasta alcanzar el final de la vida útil, cuando decrece rápidamente. La misma se mide en dos formas:

- Por la máxima corriente en el circuito corto (Método del amperaje)
- Por la reducción en el voltaje a circuito cerrado al aumentar la carga (Método de reducción de voltaje)

Los valores de la Resistencia Interna efectiva que se muestran a continuación fueron calculados utilizando el Método de reducción de voltaje, por proyectar este con mayor exactitud la capacidad de corriente en aplicaciones.

A continuación se muestran algunos de los dispositivos en los cuales es conveniente utilizar Pilas de Carbón-Zinc:

- Calculadoras
- Controles Remoto
- Detectores de humo
- Dispositivos de movimiento
- Equipos de comunicación
- Flashes de cámaras fotográficas
- Instrumentos de laboratorio

- Juegos electrónicos
- Juguetes
- Juguetes a control remoto
- Linternas
- Radio grabadores portátiles
- Radios
- Relojes
- Sistemas de Alarma

2.6.1.2 Pilas Alcalinas

En 1959 sale al mercado la primera Pila Alcalina, la cual revolucionó el mercado de energía portátil al contar con nueva tecnología que permitió abrir las puertas a dispositivos que hasta ese momento no podían ser portátil y presentaba importantes ventajas respecto de las de Carbón-Zinc:

- Mayor densidad de energía
- Mayor performance
- Menor Resistencia Interna
- Mayor vida del container
- Mayor resistencia al lixiviado

El principal valor agregado que introdujo la Pila Alcalina al mercado, es el hecho que en 1990 se presentó la primer Pila con cero mercurio agregado. El comportamiento ambiental de las Pilas ha sido siempre uno de los temas principales de desarrollo, es por esto que la Pila Alcalina abrió las puertas para el desarrollo de nuevas tecnologías no solo de mayor desempeño sino mas ambientalmente amigables. El proceso de eliminación de mercurio comernos en el año 1980 y culminó una década después. La evolución puede verse en la Figura 2.6.7.



Figura 2.6.7.Reducción del mercurio en las Pilas Alcalinas
Fuente: Energizer

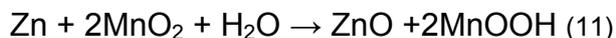
Las Pilas Alcalinas se comercializaron en diferentes tamaños para adaptarse a las diferentes necesidades. Asimismo, se presentaron en distintos “grados”, Económicas, Standard y Premium, cada uno de los cuales está diseñado para maximizar la relación precio-performance para distintos tipos de dispositivos electrónicos.

La Pila Alcalina se compone de los siguientes elementos:

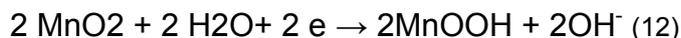
- Contenedor: Acero y Plata
- Cátodo: Dióxido de manganeso y Carbón
- Separador: Pasta de papel
- Ánodo: Zinc pulverizado
- Electrolito (levemente ácido):
 - Leclanché: Amoníaco de zinc y cloruro de zinc en agua
 - Cloruro de Zinc: Cloruro de zinc en agua
- Colector: Carbón (presente en el Cátodo)

Por fuera, la Pila se cubre con una capa de film plástico. Luego se coloca una capa de papel sobre este y finalmente la etiqueta identificatoria del producto.

Las Pilas Alcalinas producen energía una vez que el dióxido de manganeso es reducido y el zinc oxidado. La ecuación es:



Durante la reacción, el agua se consume y el ion hidróxido es producido por el cátodo de dióxido de manganeso según la siguiente reacción:



Al mismo tiempo, el ánodo consume el ion hidróxido produciendo agua, de acuerdo a la siguiente reacción:



Los electrones (e) generados durante las reacciones son los que producen la energía. La rapidez con la que se produce la reacción depende de la calidad de los materiales y la disponibilidad del agua durante la reacción. Este flujo de electrones del ánodo al cátodo solo ocurre cuando se cierra el circuito, es decir cuando la Pila se coloca en un dispositivo y este se enciende.

Las Pilas Alcalinas tienen una curva de descarga con pendiente negativa. La mayoría de los dispositivos está diseñado para operar a cierto rango (por ejemplo de 1,6 a 0,9 volts) de voltajes para acompañar la descarga de la Pila. En estas Pilas esta forma de descarga se debe al aumento en la Resistencia Interna de la Pila por la formación de otros productos, los que se llaman bioproductos en la superficie del electrodo, y a la reducción de algunos elementos como el agua.

El Gas Hidrógeno es un ejemplo de bioproducto que se forma como consecuencia de las reacciones químicas en la Pila Alcalina. En condiciones normales de uso, la cantidad de este gas producida es muy baja. Sin embargo, en condiciones de abuso de funcionamiento, estas cantidades pueden aumentar, especialmente en Pilas de mayor tamaño. En dispositivos con compartimentos sellados fuertemente o a prueba de agua, la producción de Gas Hidrógeno debe ser considerada un tema de seguridad, para evitar la acumulación de este gas dentro del dispositivo.

En la Figura 2.6.8 puede verse cual es el desempeño de las Pilas Alcalinas respecto de las de Carbón-Zinc en función del ciclo de funcionamiento, es decir las horas de funcionamiento por día. Como puede verse el valor de Amperes-Hora de las Pilas Alcalinas es mucho mayor que el de las Carbón-Zinc.



Figura 2.6.8. Capacidad de una Pila Alcalina
Fuente: Energizer

Tal cual se mencionó anteriormente, las Pilas Alcalinas presentan una mayor eficiencia que las de Carbón-Zinc, ya que soportan las demandas de Potencia en dispositivos con altas necesidades de energía (Figura 2.6.9). Sin embargo, tienen un mejor desempeño en dispositivos de bajas necesidades de energía que de altas necesidades de energía. El voltaje operativo de la Pila Alcalina es en promedio de 1,2 Volts.

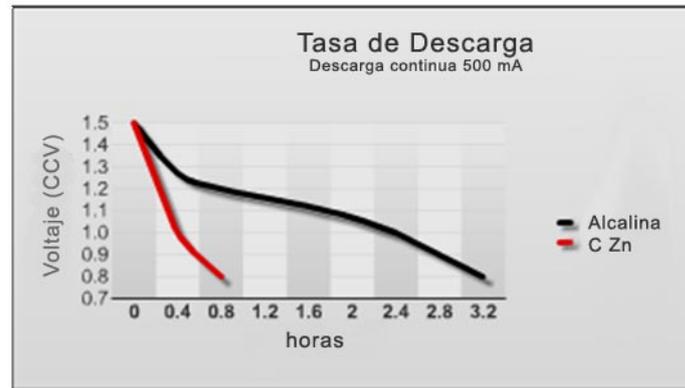


Figura 2.6.9. Tasa de Descarga de la Pila Alcalina
Fuente: Energizer

El desempeño de la Pila es principalmente dependiente de la rapidez con que los “combustibles químicos” como el agua o los iones hidroxil, pueden moverse y reaccionar. Al disminuir la temperatura, disminuirá la capacidad de movilidad de los elementos, lo que traerá como consecuencia una menor eficiencia. Es por esto que las Pilas tendrán una mejor descarga al funcionar en ambientes con mayores temperaturas. Las Pilas Alcalinas trabajan en rangos de temperaturas mayores que las de Carbón-Zinc (Figura 2.6.10). Los valores de temperatura ambiente para el funcionamiento de las Pilas Alcalinas se recomienda estén entre -20°C a 54°C .

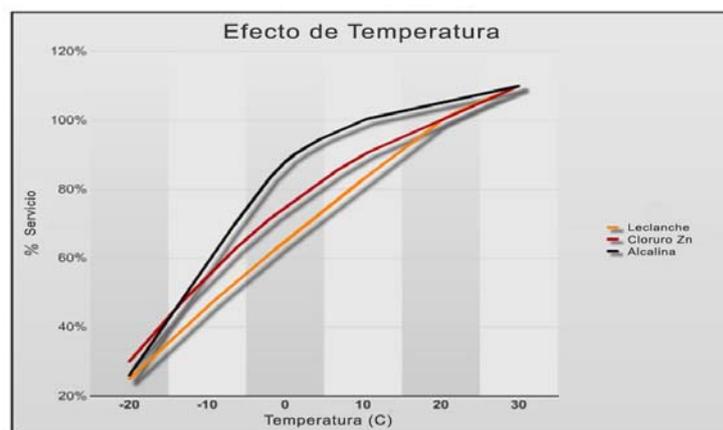


Figura 2.6.10. Efecto de Temperatura de Pilas Alcalinas
Fuente: Energizer

Dos factores influyen en el desempeño de la Pila durante el almacenamiento de la misma. En primer lugar el tiempo de almacenamiento. Las Pilas Alcalinas presentan una disminución del 20% respecto de su capacidad inicial tras 7 años de almacenamiento. En segundo lugar, la temperatura. Se recomienda que la temperatura ambiente sea de entre 10°C y 25°C , para minimizar las pérdidas de energía.

En referencia a la Resistencia Interna, las Pilas Alcalinas poseen valores de aproximadamente 150 a 300 miliOhms, dependiendo del tamaño. En comparación a las Pilas Alcalinas, presentan Resistencias Internas de menores valores a las que presentan las de Carbón-Zinc, siendo asimismo de mayor estabilidad.

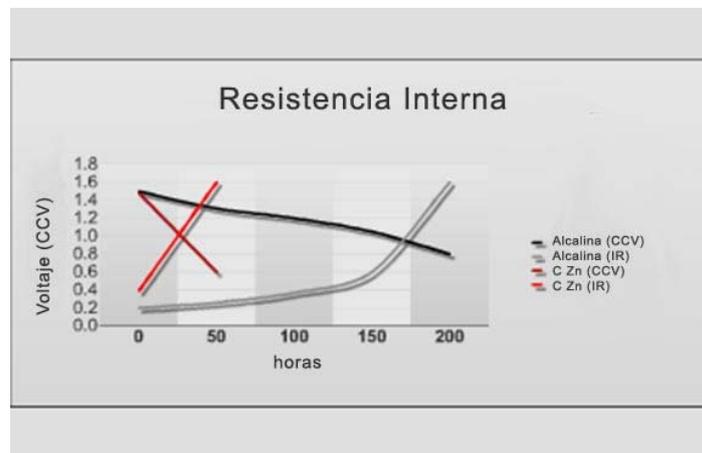


Figura 2.6.11. Comportamiento de las Pilas Alcalinas y de Carbón Zinc frente a Resistencia Interna y Externa
Fuente: Energizer

A continuación se presenta un lista de los principales dispositivos donde puede utilizarse la Pila Alcalina:

- Linternas de alta energía
- Cámaras
- Equipos de audio portátiles
- Equipos de televisión portátiles
- Juguetes motorizados
- Relojes
- Modelos a control remoto
- Juegos Electrónicos
- Dispositivos de seguridad
- Detectores de humo
- Instrumentos médicos
- Pagers

2.6.1.3 Pilas de Litio

En la década del 60 comenzó la investigación sobre la Pila de Litio, rindiendo sus frutos en 1970, cuando salió la primera de estas Pilas al mercado. Inicialmente, este tipo de Pilas era utilizado únicamente en aplicaciones militares y médicas. Hoy en día, gracias a su alta densidad, larga vida y al hecho que funcionan en un amplio

rango de temperaturas, las Pilas de Litio son utilizadas en numerosas aplicaciones portátiles, como cámaras, relojes y calculadoras, entre otras. Sin embargo, dado su alto costo y cuestiones ambientales de seguridad, ambos aspectos desfavorables, las Pilas de Litio ocupan un menor posicionamiento en el mercado en comparación a las Pilas Alcalinas.

Este tipo de Pilas atrajo la atención de investigadores dada su alta capacidad y voltaje (3860 Ah/kg vs. 820 Ah/h en las Pilas Alcalinas y 3 Volts vs. 1,25 V en Pilas Alcalinas). Sin embargo, el Litio es un elemento altamente reactivo, siendo no solo termodinámicamente inestable en solventes capaces de ceder un ion hidrógeno como el agua, sino que también en aquellos que no poseen tal capacidad.

Desde 1970 y hasta mediados de los 80, se ha logrado un significativo progreso en el entendimiento del proceso que ocurre dentro de las celdas de Litio, lo cual ha favorecido el desarrollo y luego la comercialización de varias Pilas Primarias de Litio. El principal punto que permitió este avance, fue la introducción de electrolitos con altos niveles de conductividad y, al mismo tiempo, capaces de formar una capa protectora estable sobre el Litio, la cual lo vuelva cinéticamente más estable. Asimismo, al introducirse como cátodos elementos con mayores niveles de potenciales positivos, lo cual significa mayor poder de oxidación, fue necesario probar que los electrolitos fueran estables frente a la descomposición por oxidación.

Las principales características que hacen que las Pilas de Litio sean utilizadas en dispositivos portátiles son:

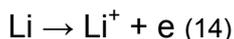
- Alta energía: más de 200 Wh/kg y 400 Wh/l.
- Niveles de potencial altos y estables: aproximadamente 3 V.
- Larga vida
- Amplio rango de temperaturas, algunas celdas soportan hasta -40 °C
- Diferentes formas de construcción: botón, cilíndricas, prismáticas y muy finas.

Uno de los elementos principales de la Pila de Litio es su construcción interna en jellyroll, a diferencia de la Alcalina que cuenta con construcción bobina. Este diseño maximiza el área de interface entre el ánodo y el cátodo, trayendo como consecuencia un mejor desempeño. Asimismo, en las Pilas cilíndricas es imprescindible utilizar un diseño que contenga la energía productiva de manera segura. Para lograr esto se colocó un dispositivo que limita la temperatura de la Pila a 85 °C, manteniéndola en niveles seguros, superados estos valores de temperatura la célula limita el valor de corriente que pasa a través de la misma. En casos de riesgo mayor, se coloca un mecanismo de venteo, el cual tiene como fin disminuir la

presión acumulada en la célula mediante el escape de gases una vez que se alcanzan valores de presión y temperatura establecidos.

El Ánodo de este tipo de Pilas es una lamina de Litio, ya que las aleaciones de Litio y Aluminio, con bajas cantidades de Aluminio, han probado ser beneficiosas para la capacidad de retención en almacenamiento, mientras que altas cantidades de Aluminio pueden causar un baja en el voltaje de descarga.

La reacción que sucede en el Ánodos es la de oxidación, cuya reacción se muestra a continuación:



Las Pilas de Litio se componen de:

- Celdas con cátodo líquido
- Celdas con cátodo sólido
- Celdas con electrolitos sólidos

Dada su larga vida y a la capacidad de producir corrientes efectivas, aquellas Pilas de Litio con cátodos sólidos son las de mayor utilización en el mercado. A continuación se mencionan los diferentes tipos de Pilas según los cátodos que las conforman.

2.6.1.3.1 Cátodo de Li/MnO₂

Comercializadas desde 1975, la Pila de Litio con cátodo de dióxido de Manganeso, a la cual nos referiremos en adelante como Li/MnO₂, es la más utilizada en el mercado, ya que cuenta con todas las ventajas de las Pilas de Litio: alto voltaje, alta producción de energía, amplios rangos de temperatura, buena potencia, larga vida, seguridad y bajo costo. Adicionalmente, su forma de diseño puede ser tanto cilíndrica, botón o prismática.

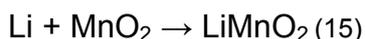
La Pila de Li/MnO₂ fue una de las primeras en ser desarrolladas, teniendo inicialmente un voltaje relativamente de bajo desempeño. Es por esto que importantes mejoras debieron llevarse a cabo con el desarrollo del electrolito orgánico y el MnO₂, para poder llegar al producto de excelente calidad que hoy se encuentra en el mercado.

El MnO₂, el cual es sometido a un tratamiento termal con el objeto de eliminar el contenido de agua, mejorar la estructura del cristal de Li/MnO₂ y reducir el área de superficie, lo cual mejora las capacidades electroquímicas del elemento.

El electrolito utilizado en Pilas comercializables en el mercado no esta siempre disociado. En algunas Pilas el LiClO₄ o el LiC₃SO₃ (sales de Litio) son

frecuentemente utilizados como sustancias solubles, mientras que una solución basada en éter es el solvente. La mezcla es una sustancia altamente conductiva. Adicionalmente, para lograr un mejor rendimiento a bajas temperaturas, se mezcla el electrolito en un tercer solvente, buteno.

En el cátodo el Mn_4 es reducido a Mn_3 , lo que sucede como consecuencia de la inserción del Li^+ en la estructura cristalina de MnO_2 . La reacción final es la siguiente:

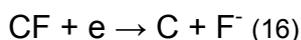


Los electrones (e) generados durante las reacciones son los que producen la energía. La reacción que se muestra anteriormente, corresponde a la reacción de descarga total, es decir un Li^+ es insertado en la molécula de MnO_2 . Estados de descarga intermedia son mejor descritos bajo la forma Li_xMnO_2 , siendo x un valor entre 0 y 1, lo que muestra la acomodación progresiva del ion Li^+ en la estructura cristalina.

2.6.1.3.2 Cátodo de Li/CF_x

Otro tipo de cátodo utilizado es el de fluoruro de policarbonato, el cual fue uno de los primeros en ser comercializados dado su alto contenido de energía y su voltaje estable. Este es compuesto por la fluorización del carbón en forma de grafito o coque, con gas fluoruro a temperaturas de entre 300 °C y 600 °C. El valor de X varía entre 0,9 y 1,2, siendo mayor a 1 para poder ser utilizado como cátodo eficientemente.

En el cátodo sucede la siguiente reacción:



Siendo la reacción final:



La formación de carbono mejora la conductividad electrónica del cátodo. Los electrolitos que son más comúnmente utilizados en este tipo de Pilas de Litio son una mezcla entre $LiAsF_6$ o $LiBF_4$ (sales de Litio) y algún solvente de base éter.

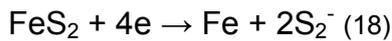
Las Pilas de Li/CF_x tienen un voltaje operativo estable de 2,8 Volts, un rango de temperaturas que varía entre los -40 °C y los 85 °C, pudiendo en algunos casos llegar a 125 °C, y una tasa de auto descarga que es menor que la de cualquier

Pila de Litio hoy en producción, siendo que la pérdida es menor al 0,5% en el primer año de almacenamiento a temperatura ambiente.

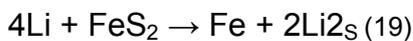
2.6.1.3.3 Cátodo de Li/FeS₂

Este tipo de Pila tiene un voltaje nominal de 1,5 V y son por lo tanto intercambiables con las Pilas Húmedas del mismo voltaje.

La reacción que se lleva a cabo en el cátodo es la siguiente:



Siendo la reacción final:



La principal utilización de este tipo de Pilas era como reemplazo de las Pilas de Zinc-Aire, las cuales se desarrollaran mas adelante. Sin embargo actualmente su producción se ha reducido y el único diseño disponible es el cilíndrico. La capacidad de estas Pilas es de 2,5 Ah, siendo el flujo de corriente continua aplicable de 0,2 A. Estos altos valores de capacidad son los que justifican dispositivos de seguridad como los mencionados anteriormente.

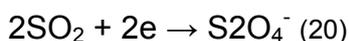
El voltaje operativo es relativamente estable a bajos niveles de necesidades de descarga y con una curva con pendiente moderadamente negativa en dispositivos de altas necesidades. Al compararse este sistema con las Pilas Alcalinas, este presenta un mayor y más estable voltaje, por lo que producen mayor energía y potencia.

Los rangos de temperatura a los que funcionan estas Pilas varían entre -40 °C y los 60 °C. Su desempeño es claramente menor a temperaturas menores a 0 °C, y sin embargo mayor al de las Alcalinas.

2.6.1.3.4 Cátodo de Li/SO₂

Estas Pilas se caracterizan por contener valores altos de potencia, y posibilidad de funcionar a temperaturas de hasta -60 °C. Son especialmente útiles en dispositivos militares y aeroespaciales.

La reacción que se lleva a cabo en el cátodo es la siguiente:



Siendo la reacción final:



El $\text{Li}_2\text{S}_2\text{O}_4$ forma una fina capa sobre el Litio cuando este está expuesto al SO_2 protegiéndolo. El electrolito solvente es un tipo de acetona que en el cual se disuelve en SO_2 . Su alta conductividad aun a bajas temperaturas permite la utilización de estas Pilas en dispositivos con altas necesidades de carga, aun en amplios rangos de temperatura.

Estas Pilas están disponibles en diseños cilíndricos. La presencia de las requiere un diseño especial en el que el electrolito se mantiene en estado líquido manteniendo la presión a valores de 2 atmósferas dentro de la célula. Un dispositivo de venteo de seguridad es colocado dentro de la Pila.

Los valores de capacidad varían entre el 1 Ah y los 8 Ah. Sin embargo, se encuentran disponibles en el mercado Pilas con capacidades de hasta 25 Ah. Su gran contenido de energía se demuestra con el hecho que pueden mantener altos porcentajes de capacidad aun durante una tasa de descarga de 1 hora, mientras que las Pilas de Zinc empiezan a decaer a tasas de entre 20 y 50 horas.

Los altos rangos de temperatura que soportan son realmente notables. Estas Pilas pueden ser almacenadas durante largos periodos de tiempo a temperatura ambiente de hasta más de 70 °C, lo cual es permitido por el tipo de construcción de la celda.

2.6.1.3.5 Cátodo de Li/SOCl₂

Se caracterizan por contener la mayor densidad energética entre los diferentes tipos de Pilas de Litio y contienen una vida útil de entre 15 y 20 años. Estas capacidades y el hecho que tienen una tasa de auto descarga significativamente baja, hacen que sean ideales para dispositivos con dificultades de acceso.

La reacción que se lleva a cabo en el cátodo es la siguiente:



Siendo la reacción final:



El electrolito es un tipo de carbón teflonado poroso, al cual debe agregarse catalisis para favorecer la reacción de reducción. Asimismo, el agregado de aditivos puede mejorar el desempeño del electrolito. El Azufre y el SO_2 se disuelven en el mismo, quien a su vez forma una capa de Lic. Sobre el ánodo de Lirio para prevenir reacciones adicionales que puedan comprometer la vida de la Pila.

Este tipo de Pilas pueden ser producidas en diferentes diseños, cilíndricos, botón o prismáticos, siendo en todos los casos sellados herméticamente.

Las Pilas de Litio encontraron su principal aplicación en cámaras fotográficas. A continuación se muestra un grafico comparativo entre el costo por foto utilizando Pilas de carbón Zinc, Alcalinas y de Litio. Al referirnos a las Pilas de Litio nos referiremos a aquellas con cátodos de MnO_2 y FeS_2 , las cuales son las más comercializadas en la actualidad.

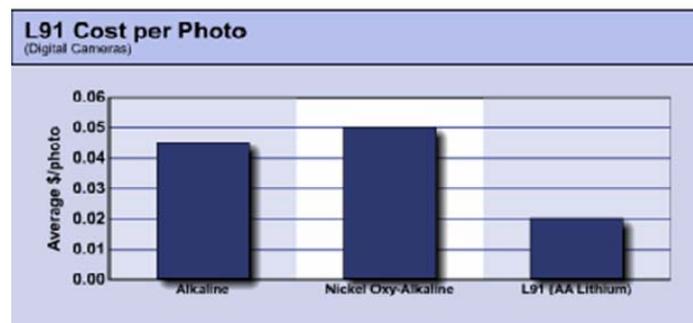


Figura 2.6.13. Costo por Fotos a diferentes tipos de Pilas
Fuente: Energizer

De la misma manera, las Pilas de Litio llegan a rendir, de acuerdo al dispositivo donde se utilicen, hasta nueve veces el rendimiento de una Pila Alcalina en el mismo dispositivo, tal cual puede observarse en La Figura (2.6.14).

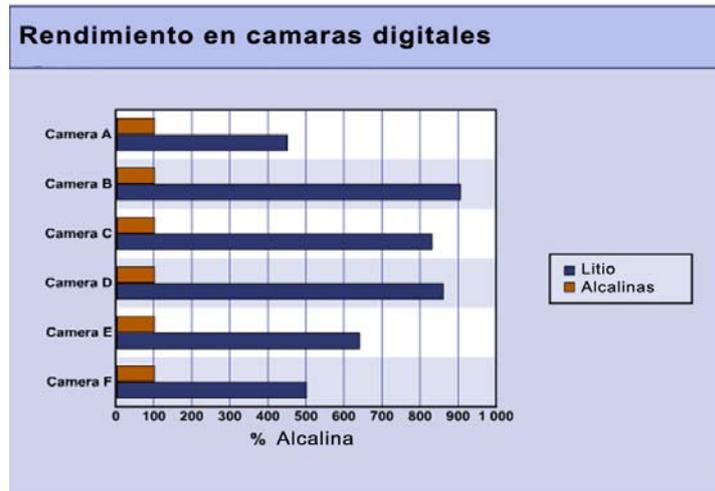


Figura 2.6.14. Rendimiento en cámaras digitales entre Pilas Alcalinas y de Litio

Fuente: Energizer

Las Pilas de Litio muestran una curva de descarga más plana que las Alcalinas, lo cual se muestra en la Figura 2.6.16, lo que significa que estas proveen una forma de potencia más consistente y que la calidad del dispositivo no disminuye con la descarga. La desventaja de esto es que no puede calcularse con exactitud el fin de la vida útil de la Pila basándose en el voltaje. El voltaje teórico es de 1,5 Volts en promedio, mientras que el Voltaje Operativo es de 1,2 Volts.

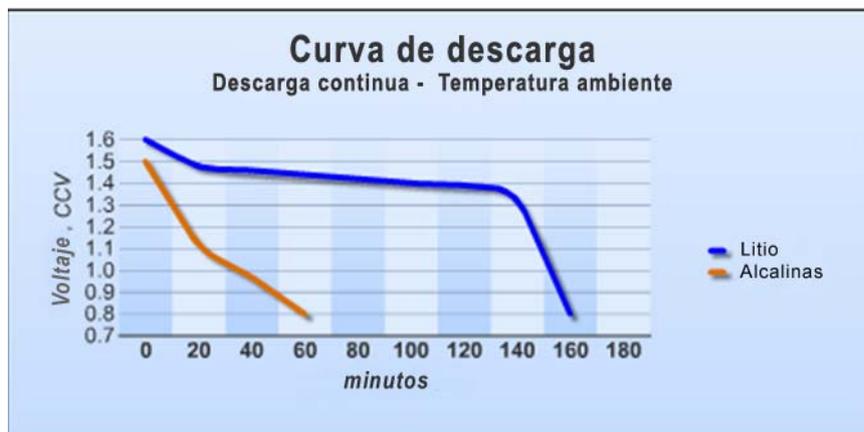


Figura 2.6.15. Curva de descarga de Pilas Alcalinas y de Litio

Fuente: Energizer

En cuanto al desempeño a diferentes temperaturas, puede resaltarse que las Pilas de Litio son menos sensibles a la temperatura. El desempeño aun disminuye con la temperatura, sin embargo a temperaturas menores a 0 °C, aun pueden proveer la mitad de su potencia (Figura 2.6.16).

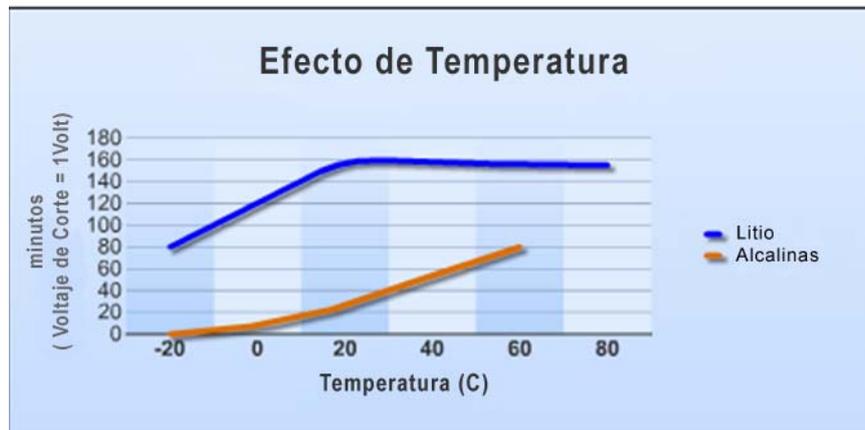


Figura 2.6.16. Efecto de Temperatura en Pilas Alcalinas y de Litio
Fuente: Energizer

A continuación se presenta un lista de los principales dispositivos donde pueden utilizarse las Pilas de Litio:

- Cámaras Digitales
- Cámaras de video
- Dispositivos de alta carga
- Controles Remoto de autos de juguete
- Linternas Halógenas
- Reproductores de Mini Disc
- Teléfonos celulares
- Unidades de flash fotográfico

Como puede observarse, el mismo tipo de dispositivos en donde se utilizan Pilas Alcalinas, puede funcionar con Pilas de Litio. Sin embargo, para optimizar el funcionamiento, es importante aclarar que estas últimas presentan mayor eficiencia en aquellos dispositivos con mayores necesidades de energía.

2.6.1.4 Pilas Botón

Las Pilas botón se definen como aquellas cuyo diámetro presenta mayores dimensiones que su altura. Principalmente, este tipo de Pilas es utilizado en relojes, dispositivos de audición y determinados dispositivos electrónicos. En la década del 60, con la finalización de la Guerra Mundial, los productores de relojes concentraron sus esfuerzos en desarrollar diseños pensando en el consumidor, lo cual impulso el desarrollo de las Pilas botón. A continuación se mencionaran los principales sistemas comercializados en este tipo de Pilas.

2.6.1.4.1 Pilas Botón de Zinc Plata

Las Pilas de Zinc Plata constituyen una fuente de energía que cuenta con un potencial relativamente estable. Asimismo, tiene un buen desempeño a bajas temperaturas y un largo ciclo de vida. Se presentan en un amplio rango de voltajes, desde 1,5 a 6 Volts y en varios tamaños. Por otro lado, estas Pilas presentan un alto costo, dada la presencia de Plata.

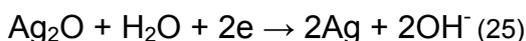
Las Pilas de Zinc Plata se componen de los siguientes elementos:

- Contenedor: Acero y Cobre
- Cátodo: Oxido de Plata
- Separador: Pasta de papel
- Ánodo: Zinc pulverizado
- Electrolito: Solución acuosa de Hidróxido de Na o Hidróxido de Potasio
- Colector: En este caso es el mismo contenedor

El Zinc que constituye el ánodo, debe ser altamente puro, dado que las impurezas favorecen la corrosión de este, lo que impulsa la formación de hidrogeno generando altos niveles de presión en la celda. Es por esto que se agrega Mercurio a las Pilas comercializables de manera de controlar la corrosión. Solo pequeñas cantidades de Mercurio son permitidas, de acuerdo a las diferentes legislaciones de los distintos países.

El Oxido de Plata que constituye el cátodo consta de potencial estable y no necesita ser estabilizado por metales pesados. Por otro lado, su conductividad no es tan alta, por lo que es necesario agregar entre un 1 y un 5% de grafito con el fin de lograr un mejor nivel de conductividad. Adicionalmente, la reducción del Oxido de Plata en el cátodo, produce Plata, lo que ayuda a reducir la resistencia en el mismo.

A continuación se muestran las reacciones que suceden tanto en el ánodo como en el cátodo:



Siendo la reacción final:

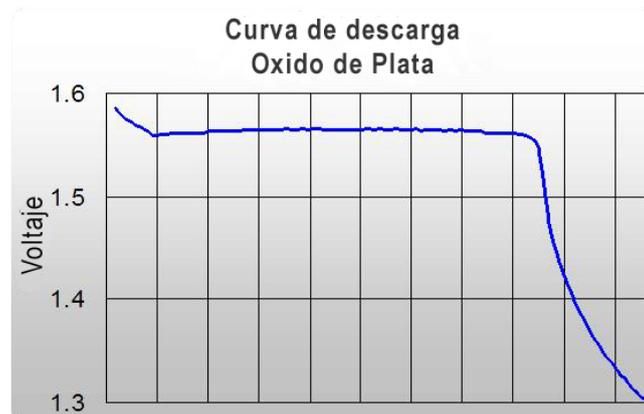


El electrolito alcalino contiene KOH o NaOH para controlar la producción de gases, siendo el primero preferido sobre el segundo dada su mayor poder de conductividad.

Los electrones (e) generados durante las reacciones son los que producen la energía. La rapidez con la que se produce la reacción depende de la calidad de los materiales y la disponibilidad del agua durante la reacción. Este flujo de electrones del ánodo al cátodo solo ocurre cuando se cierra el circuito, es decir cuando la Pila se coloca en un dispositivo y este se enciende.

En cuanto a la construcción de estas celdas, es importante mencionar que la capacidad del ánodo es entre un 5 y un 10% menor a la del cátodo, lo cual evita que el Zn reaccione con el Níquel o el Hierro presente en el container del cátodo, lo cual produciría la formación de gas hidrogeno. Adicionalmente, una capa de celofane o una membrana de plástico de grafito es colocada sobre el cátodo con el fin de prevenir la migración de iones Ag^+ al ánodo.

En la Figura 2.6.17 se muestra como es la curva de descarga a temperatura ambiente. Este tipo de Pilas tiene un buen desempeño también a bajas temperaturas, especialmente si se utiliza KOH en el electrolito, cuando las temperaturas pueden llegar a los $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ bajo cero. Adicionalmente, tras cinco años de almacenamiento a temperatura ambiente, se mantiene el 90% de su carga.



- Baja resistencia interna

2.6.1.4.2 Pilas Botón de Zinc Aire

Las Pilas de Zinc Aire están diseñadas principalmente para proveer energía a los dispositivos auditivos. Existen 4 tipos de estos dispositivos. Los mas utilizados y de menor costo son aquellos que se colocan detrás de la oreja, los cuales son adecuados para los distintos grados de perdida de audición, desde suave a severo. El otro tipo de dispositivos, son aquellos que se colocan dentro de la oreja, los que son más confortables pero no son propicios para perdidas de audición severas. El modelo de Canal solo pueden utilizarse en pérdidas de audición suaves a moderadas. Por ultimo los dispositivos de Canal Completo son los mas pequeños y mas cosméticos, son usualmente utilizados por personas con perdidas de audición suaves a moderadas y estilos de vida activos. A continuación se muestran fotografías de los diferentes tipos.

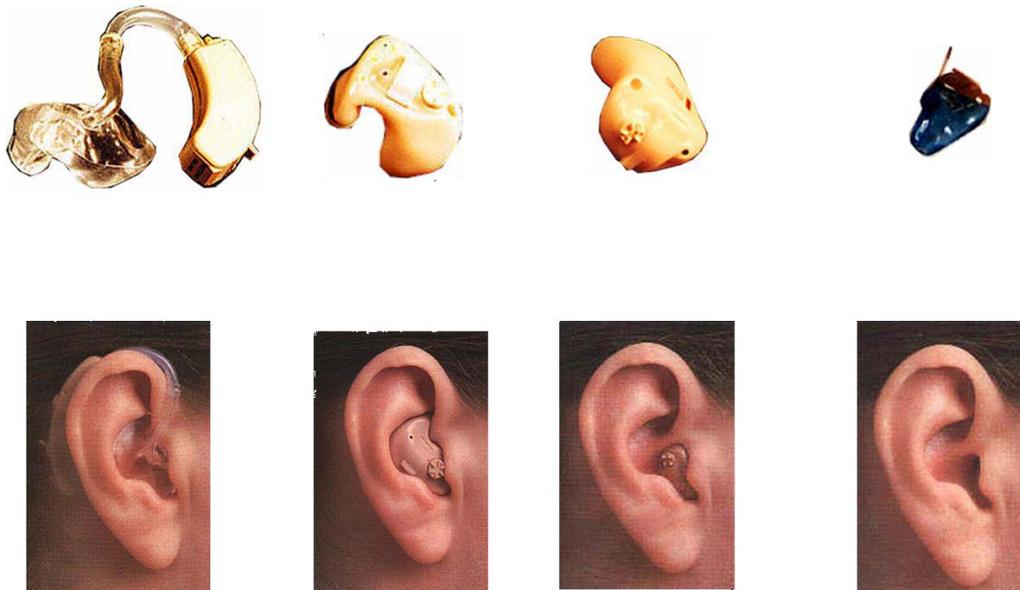


Figura 2.6.18. Dispositivos auditivos para Pilas Botón de Zinc Aire

Los cuatro principales modelos de dispositivos auditivos presenta una subdivisión basada en el tipo de tecnología utilizada para amplificar el sonido. La primera tecnología es analógica, la cual amplifica la continua onda de sonido simplemente alargándola. El segundo tipo es el que se conoce como push/pull, el cual es una forma avanzada de la tecnología analógica. Estos dependen del ambiente y automáticamente compensan los cambios en el sonido de background. El último tipo de tecnología es el digital, el cual divide la onda continua de sonido en pequeños pedazos de información. Un microprocesador o chip amplifica determinados pedazos basándose en el nivel de pérdida de audición del usuario.

Como puede verse, tanto el diseño de estos dispositivos como la tecnología que los sustenta ha tenido un gran desarrollo desde su aparición, lo cual significó una adaptación de las Pilas que entregaban la energía a estos, exigiendo principalmente igual desempeño en términos energéticos pero menor tamaño. Con el tiempo, se desarrollaron dispositivos de similares características como termómetros digitales o testers de glucosa, los que exigían características similares en las Pilas que utilizaban.

Las Pilas de Zinc Aire utilizan el Oxígeno del aire como el elemento activo del cátodo. Este se difunde a través del cátodo hasta que alcanza la interface del cátodo con el electrolito alcalino, momento en el que es catalíticamente reducido. Dado que el material de uno de los electrodos, el aire, se encuentra fuera de la celda, el otro electrodo, el Zinc, ocupa la mayor parte del volumen, lo que significa que la celda posee una alta densidad de energía, dado que la capacidad de la celda solo depende del ánodo.

Las principales características de las Pilas de Zinc Aire son:

- Alta densidad de energía
- Curva de descarga relativamente plana
- Voltaje estable a altas corrientes
- Resistencia interna constante
- Activada al remover la envoltura que cubre el acceso del aire
- Capacidad constante
- Bajo costo

Las Pilas de Zinc Aire se componen de los siguientes elementos:

- Contenedor: Acero y Cobre
- Cátodo: Oxígeno
- Separador: Pasta de papel
- Ánodo: Zinc pulverizado
- Electrolito: Solución acuosa de Hidróxido de Na o Hidróxido de Potasio
- Colector: En este caso es el mismo contenedor

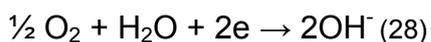
Como mencionamos anteriormente, el ánodo está formado de una gran superficie de Zinc y electrolito. Al convertirse el Zinc en Óxido de Zinc durante la reducción, se produce un aumento de volumen, por lo que una porción del volumen que ocupa el ánodo debe acomodarse a esta expansión. La región del cátodo es levemente compleja: los agujeros deben permitir el acceso de aire, una capa de difusor de aire distribuye el oxígeno uniformemente sobre el cátodo, una capa de teflón hidrofóbico limita el acceso de vapor de agua por ser impermeable al oxígeno, el

cátodo de aire es formado por una malla metálica que soporta la capa catalítica (carbón mezclado con óxidos de manganeso y polvo de teflón),

El ritmo al cual el oxígeno entra y sale de la celda depende no solamente de la superficie de los agujeros presentes en la Pila sino también de la porosidad de la membrana difusora. En realidad la corriente máxima que la celda puede soportar depende de la disponibilidad de oxígeno presente. Cada Pila de Zinc Aire posee su propio limitante de corriente. La porosidad del cátodo y la actividad catalítica son críticos al momento de determinar la cantidad real de oxígeno que puede ser reducida.

En principio, uno se inclinaría a pensar que el acceso del aire no debería ser regulado, de manera de tener acceso al oxígeno y a altas tasas de descargas. De hecho, es necesario contar con regulaciones estrictas que limitan la entrada de vapor de agua y otros gases que degradarían la celda. El electrolito es típicamente de un 30% de Hidróxido de Potasio en agua. En días secos, se tiende a perder agua, mientras lo opuesto sucede en días húmedos. En ambos casos, la vida de útil de la celda es afectada, lo cual explica la necesidad de los agujeros y la membrana de difusión.

A continuación se muestran las reacciones que suceden tanto en el ánodo como en el cátodo:



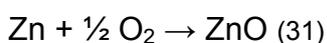
Siendo la reacción final



El hidróxido se transforma en óxido de zinc según la siguiente reacción:



Siendo entonces la reacción final:



En referencia a la curva de descarga, la misma muestra como el potencial se mantiene relativamente constante a tasas de descargas cercanas a niveles Standard aun a temperaturas bajo cero, como puede verse a continuación.



Figura 2.6.18. Curva de descarga Pila de Zinc Aire
Fuente: Energizer

Dado que las celdas de estas Pilas están en constante contacto con la atmósfera lo cual significa directa oxidación de Zinc, carbonización del electrolito y transferencia de gas, la vida de estas Pilas es relativamente corta, lo cual representa la principal desventaja en las Pilas de Zinc Aire. Es por esto que su utilización se optimiza en dispositivos de continua aplicación o en dispositivos con cortos tiempos de no utilización.

Adicionalmente a su utilización en dispositivos de audición, las Pilas de Zinc Aire son utilizadas en monitores cardiacos, simuladores de crecimiento óseo, receptores de telecomunicaciones (pagers).

2.6.2 Las Pilas Secundarias

Como mencionamos anteriormente, las Pilas Secundarias, también denominadas comúnmente Recargables, son aquellas en las que las reacciones químicas que provocan la descarga energética pueden revertirse, lo cual trae como consecuencia la “re-carga” de la Pila y lo cual permite su re utilización. El gran desarrollo de dispositivos electrónicos portátiles no hubiera sido posible sin la introducción de las Pilas Secundarias, las cual a lo largo de los años han mostrado importantes avances en lo que respecta a su tamaño, energía, tiempo de vida útil, confiabilidad, seguridad y costo.

En sus inicios, las Pilas Secundarias eran recargadas por las Pilas Primarias, de ahí fue que surgió su denominación, la cual aún seguimos utilizando.

Los sistemas mas utilizados hoy en día en las Pilas Recargables son:

- Plomo ácido
- Níquel Cadmio
- Zinc
- Níquel Metal Hidruro
- Ion Litio

El primero de estos fue desarrollado en 1859, mientras que el Sistema de Níquel Cadmio se presento en 1909. Los restantes sistemas son relativamente jóvenes, sin embargo su contribución ha producido un significativo avance en permitiendo el desarrollo de un mundo verdaderamente electrónico.

La primera de las Pilas Recargables, la Pila de Plomo ácido, fue desarrollada por Gastón Planté en 1859. La celda confeccionada utilizaba dos placas finas de Plomo separadas por láminas de goma. Para el funcionamiento de la Pila, se enrolló la combinación y se la sumergió en disolución de ácido sulfúrico. Su capacidad inicial fue extremadamente limitada debido a que la placa de Plomo tenia una cantidad limitada de material activo que permitiera la reacción, sin embargo éste fue el comienzo de las Pilas Recargables, y particularmente de las Pilas de Plomo ácido que hoy encontramos en autos.

Posteriormente, en 1899, Waldmar Junger desarrolló en Suiza un nuevo dispositivo reemplazando Níquel como electrodo positivo y Cadmio como electrodo negativo. Sin embargo, este tipo de Pilas no fue muy popular en sus comienzos debido a su alto costo. Más adelante, se convirtió en la primera Pila Recargable comercializada. En los primeros años de su comercialización, la esta Pila fue catalogada con la capacidad de tener memoria, lo cual significaba que si no se descargaba completamente la Pila y se cargaba con cada ciclo, esta “aprendía” el patrón de uso y solo entregaría la potencia a la cual era generalmente utilizada y no la potencia para la cual había sido diseñada.

Si bien la Pila de Níquel Cadmio dio origen al mundo de las Pilas Recargables, con el tiempo se buscó desarrollar un sistema que fuera más amigable con el medio ambiente. Es así que en la década de 1980, se presentó la Pila de Níquel Metal Hidruro, la cual no solo se consideraba ambientalmente más segura, sino que también se había librado del efecto de “memoria” con el que contaba la Pila de Níquel Cadmio.

Por último, las Pilas Recargables de Ion Litio no fueron desarrolladas hasta 1990, con el principal objeto de utilizarlas en videocámaras. Más adelante se amplió su uso a otros dispositivos.

2.6.2.1 Pilas de Plomo Ácido

La primera Pila recargable de Plomo Ácido la invento Raymond Gaston Planté en 1859. La Pila estaba constituida de dos discos de bajo espesor de Plomo separados por láminas de goma. La Pila fue enrollada e insertada en una solución ácida de azufre. Su capacidad inicial era extremadamente limitada, ya que el electrodo positivo contaba con poca cantidad de material activo disponible para reaccionar. Esta Pila fue el origen de lo que hoy son las Baterías utilizadas en autos.

Dada su relativamente baja densidad de energía, las Pilas Recargables de Plomo ácido no pueden ser utilizadas en aplicaciones como computadoras o teléfonos celulares, sino que se utilizan en otro tipo de dispositivos, generalmente de pequeños tamaños. Estas Pilas poseen capacidades de 1,2 Ah y su peso es menor a 300 gr.

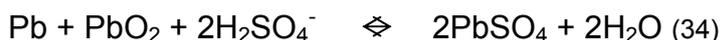
Las Pilas de Plomo ácido se componen de los siguientes elementos:

- Contenedor: Acero
- Cátodo: Dióxido de Plomo
- Separador: Pasta de papel
- Ánodo: Plomo
- Electrolito: Solución acuosa de H₂SO₄ concentrada
- Colector: En este caso es el mismo contenedor

Las reacciones reversibles se describen a continuación:



Siendo la reacción final:



En estas reacciones la descarga de la Pila sucede de izquierda a derecha, siendo el proceso de carga de derecha a izquierda.

Existen dos denominaciones para este tipo de Pilas, las cuales se diferencian entre sí por el tipo de válvula de seguridad de las que dispongan. Por un lado

están las Pilas SLA (sealed lead acid, en castellano plomo ácido sellado), las cuales se caracterizan por estar completamente selladas y contar con una baja capacidad de energía. Por otro lado están las denominadas VRLA (valve regulated lead acid, en castellano plomo ácido con válvula reguladora), las que cuentan con una válvula de escape de gases que permiten liberar el interior de la Pila de excesivas altas presiones.

En cuanto a la construcción de este tipo de Pilas, la misma puede realizarse tanto en formas prismáticas como cilíndricas.

El diseño cilíndrico se comercializa generalmente en bloques de entre dos y seis de este tipo de Pilas. El diseño consiste en cuadrículas de Plomo de bajo espesor y aproximadamente un 0,6% de Sn, adicionado para aumentar la recuperación tras la descarga, las cuales se adhieren con Dióxido de Plomo y colocadas dentro del container de polipropileno en forma espiral junto con una esterilla de vidrio, que funciona de separador. Luego, se coloca la tapa y se instala la correspondiente válvula de venteo. Por último, se adhiere la solución y la celda es envuelta por el container de metal sobre el cual se coloca una capa plástica. Este tipo de Pilas tiene puede soportar altas corrientes aun a bajas temperaturas.

Por otro lado, se encuentra el diseño prismático, el cual cuenta con cuadrículas planas con aleaciones de Ca-Pb que reducen la corrosión de la celda. Sin embargo, esta composición hace que los electrodos sean más sensibles a la descarga, para lo cual se adhiere H_3PO_4 que ayudan a evitar este efecto. El electrolito es absorbido en un separador de fibra óptica o en sílica fundido.

Un aspecto a tener en cuenta al analizar el desempeño de estas Pilas es la tasa de descarga, la cual muestra la exigencia medida en horas a la cual esta expuesta la Pila. A temperatura ambiente una celda con una tasa de descarga de 1 hora produce el 60% de la capacidad total de una celda a una tasa de descarga de 1 hora. A una temperatura de $-40\text{ }^\circ\text{C}$ y una tasa de descarga de 20 horas el 50% de la capacidad puede ser recuperada.

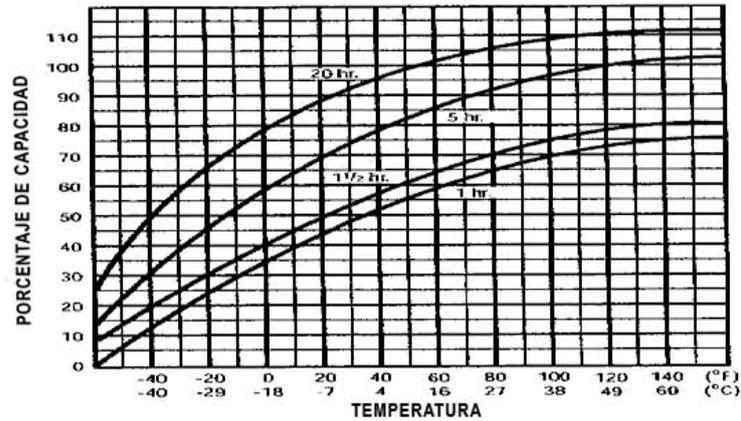


Figura 2.6.19. Curva de capacidad en función de la Temperatura y tasa de descarga
Fuente: Batteries for Portable Devices

El estado de carga de una Pila de Plomo ácido durante el almacenamiento es un aspecto importante a tener en cuenta. Los efectos de auto descarga según la temperatura pueden verse en la Figura 2.6.20. A temperatura ambiente, la capacidad de retención de energía es normal.

Si las Pilas son guardadas en el estado de descarga, se produce lo que se llama la sulfuración de la los electrodos. Durante el proceso de descarga se forma $PbSO_4$, el cual se adhiere a los electrodos como una capa fina de partículas muy pequeñas. Con el paso del tiempo, estas pequeñas partículas aumentan su tamaño, lo cual impide que sus componentes se vuelvan elementos activos, perdiendo así rendimiento de la Pila. Se recomienda la recarga de las Celdas una vez que el voltaje cae en un rango de entre 2,05 y 2,07 Volts, lo cual corresponde a una capacidad de entre el 60 y el 70%.

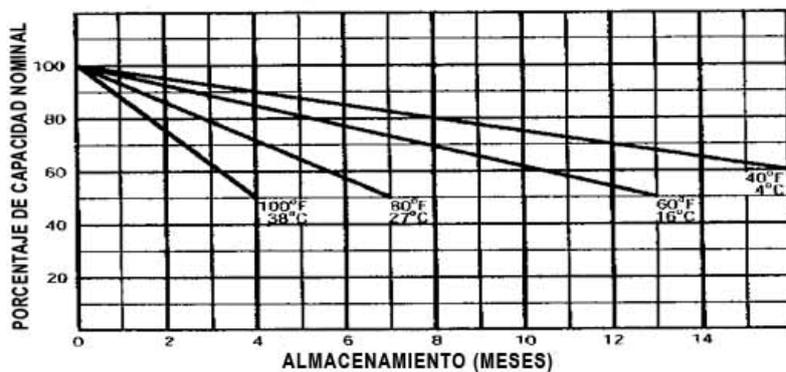


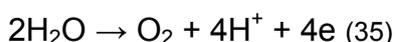
Figura 2.6.20. Curva de capacidad nominal por tiempo de Almacenamiento a diferentes Temperaturas
Fuente: Batteries for Portable Devices

La carga de las Pilas de Plomo ácido a corriente y voltaje constante es la que presenta los mejores rendimientos. La misma demora entre 4 y 7 horas. Existe una carga inicial, donde el voltaje de la celda aumenta gradualmente mientras que la concentración ácida aumenta. Una vez que la celda alcanza un voltaje de aproximadamente 2,45 Volts, el cargador cambia a voltaje constante y controla la disminución de los valores de corriente, por lo que la carga termina a valores bajos de corriente.

Existen dos maneras de prolongar la carga. Para una celda única, es posible dejar la Pila en el cargador en “stand by” de manera que se mantenga la carga a un voltaje de 2,25 Volts, lo cual contraindica la auto-descarga. En Pilas “multicelda”, la carga extra puede contrariar el efecto de variación del ciclo del Oxígeno presente en cada una de las Celdas individuales. En aquellas Celdas con una tasa mayor para el ciclo del Oxígeno, lo cual actúa como una corriente parásita, esta puede no llegar a presentar carga completa, es mas, puede hasta presentar una descarga posterior, efecto que se profundizara con cada carga. Para eliminar este efecto, se aplica un periodo corto de voltaje constante, lo cual disminuye la corriente a valores por debajo que aquellos determinados teóricamente.

Una importante característica de estas Pilas es su capacidad de operar en cualquier posición. Esta es generada por la inmovilización del electrolito, la cual se produce por absorción de la solución acuosa de $2\text{H}_2\text{SO}_4^-$ por una esterilla de vidrio o mediante la gelificación de la misma a través de la adición de SiO_2 humeado. Adicionalmente, se elimina la estratificación ácida y hay suficiente espacio libre dentro de la celda como para permitir la difusión del oxígeno en su fase gaseosa, lo cual es 105 veces mas rápida que en su estado disuelto.

Adicionalmente, en este tipo de Pilas es importante destacar el ciclo del oxígeno, el cual además se recicla con las reacciones. En el electrodo positivo sucede entonces la siguiente reacción:



El oxígeno, ya en estado gaseoso, puede colarse en los poros de la esterilla de vidrio que absorbió el electrolito o en las grietas que se produzcan en el electrolito vuelto gel. Es así como el oxígeno llega al electrodo negativo y volver a formar las moléculas de agua al tomar contacto con los iones hidrógeno de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción sucede rápidamente y permite recuperar el oxígeno generado en el electrodo positivo y también mantener prácticamente inalterable la cantidad de agua en el electrolito. Además, la producción de iones hidrógeno es muy pequeña, siendo estos liberados a través del sistema de venteo o del mismo container. Sin embargo, si la celda sufre una sobrecarga, la presión interna causada por el exceso de hidrógeno y oxígeno es liberada a través de la válvula y el proceso de recombinación de elementos es parcial. Es por esto que debe evitarse la sobrecarga de este tipo de Pilas.

Estas Pilas pueden utilizarse en los siguientes dispositivos:

- Televisores portátiles
- Radios
- Equipos fotográficos
- Instrumentos de medición
- Equipos de iluminación
- Juguetes

2.6.2.2 Pilas de Níquel Cadmio

En la década del 50 comenzó en Europa la producción de las Pilas Recargables de Níquel Cadmio, siendo durante 40 años la Pila más utilizada en dispositivos portátiles. Luego, salieron al mercado las Pilas de Níquel Metal Hidruro y Ion Litio, las cuales se posicionaron considerablemente en especial en países desarrollados, sin llegar a destituir completamente a las Pilas de Níquel Cadmio debido a su bajo costo..

Las Pilas Recargables de Níquel Cadmio se componen de los siguientes elementos:

- Contenedor: Acero
- Cátodo: Níquel Oxi-Hidrogeno (β -NiOOH)
- Separador: Pasta de papel
- Ánodo: Cadmio
- Electrolito: Solución alcalina de KOH mas LiOH
- Colector: En este caso es el mismo container

Las reacción general es la que se muestra a continuación:



Siendo las reacciones en los electrodos las siguientes:



Las reacciones que suceden en el electrodo son reversibles en el largo plazo, lo cual se debe a que la reducción de NiOOH a Ni(OH)₂ envuelve la intercalación de un ion Hidrogeno en la estructura de del oxy-hidrógeno de Níquel, lo cual da origen a una solución sólida.

Uno de los conceptos más relevantes en el desarrollo de los electrodos de Níquel, es la tecnología de Plata aglomerada. Un sustrato de Plata aglomerada es impregnado al material activo. Esta placa es preparada mediante un proceso denominado "wet-slurry": a ambos lados de una cuadrícula de níquel o níquel plata, se aplica una mezcla húmeda viscosa de carbonilo de níquel. Una vez que esta se seca, eliminando el H₂O, la placa es aglomerada a una temperatura de entre 800 y 1000 °C en una atmósfera reducida. Las partículas sueltas de níquel se adhieren fuertemente entre si formando una superficie con un innumerable número de poros finitos y un diámetro de varios micrones. Estos poros se llenan con solución acuosa de Ni(NO₃)₂, la cual es convertida química o electroquímica mente en Ni(OH)₂.

La placa porosa se caracteriza por contar con una alta resistencia mecánica y alta conductividad. Los electrodos formados son relativamente inertes, lo cual limita su capacidad y son apropiados para aplicaciones con altos drenajes y cargas rápidas. Finalmente el cátodo tiene una estructura fibrosa lograda por el agregado de níquel/plata a una esterilla de fibra sintética de plástico o grafito y posterior aglomerado con el fin de lograr sustratos con un 90% de volumen libre, los cuales son impregnados con el material activo.

El ánodo, a su vez, puede ser aglomerado o no. En el primer caso, los microporos de l sustrato son rellenos con Cd(OH)₂. En el segundo caso, el electrodo se forma colocando sobre la placa de níquel-plata con una pasta basada en CdO.

En estas Celdas también sucede la recombinación del oxígeno generado en el cátodo durante la sobrecarga. Es mas, la celda se construye de manera que el Oxigeno formado durante la sobrecarga, se difunda a través del separador al ánodo, donde es reducido a OH⁻. El Cd(OH)₂ formado se convierte así en cadmio metálico durante la carga. Asimismo, las repetidas sobrecargas, generan OH⁻ y H₂. El primero se recombina con el cadmio mientras que el segundo se consume lentamente de manera tal de permitir su acumulación en la celda, lo cual permite

que se escape a través de la válvula de escape en caso de presencia de sobre presión.

Las Pilas de Níquel Cadmio se comercializan en diseños cilíndricos y prismáticos, y en menor medida con forma de Pila botón.

El diseño cilíndrico utiliza normalmente, el cátodo de Plata aglomerado, un polipropileno y el ánodo. El rollo es colocado dentro de un container de plata y colmado con solución alcalina. La Pila es luego sellada con una tapa con dispositivo de venteo, el cual permite el escape de gases. El venteo repetido, reduce la capacidad y vida útil de la Pila.

El diseño prismático de estas Pilas se produce con una configuración de bajo espesor. En las Pilas multi-celda, la forma permite un mejor aprovechamiento del espacio, por lo que posee una mayor densidad de energía volumétrica. Los electrodos son producidos bajo los procedimientos expuestos anteriormente, y cortados en placas planas. En estas Pilas también se coloca el dispositivo de venteo.

En general, estas Pilas pueden soportar altas corrientes, tal como se desprende de la Figura 2.6.21. Si se aumenta 16 veces la tasa de descarga, aun se recupera el 85% de la capacidad estimada de la Pila.

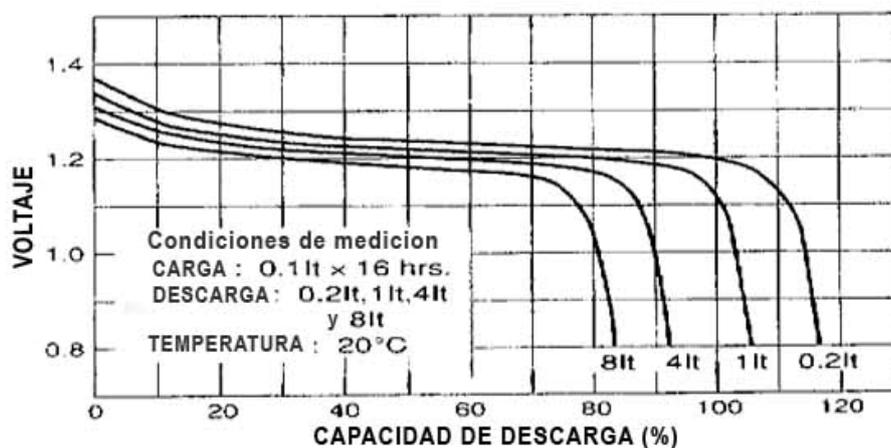


Figura 2.6.21. Curva de Voltaje en función de la capacidad de descarga
 Fuente: Batteries for Portable Devices

Otro efecto positivo de las Pilas Recargables de Níquel Cadmio, es su comportamiento a bajas temperaturas. A una tasa de descarga Standard de 5 horas, una amplia fracción de la capacidad estimada puede ser recuperada. Esto es debido al hecho de que la resistencia interna se mantiene en valores bajos aun a temperaturas bajo 0°C. El rango de temperaturas típicos de operación varía entre los -20 °C y los 60 °C. Sin embargo, ambos límites pueden ser aumentados.

En la Figura 2.6.22 puede observarse como es la curva de voltaje en función del porcentaje de descarga de la Pila entre estos rangos de temperatura, donde puede verse hasta con un 80% de capacidad de descarga, el Voltaje se mantiene relativamente constante, mientras que a valores superiores el Voltaje cae significativamente. A $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ la Pila se vuelve inutilizable a un 80% de porcentaje de descarga, mientras que a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta el 100% de capacidad de descarga, la Pila posee valores de Voltaje altos que permiten su adecuado funcionamiento.

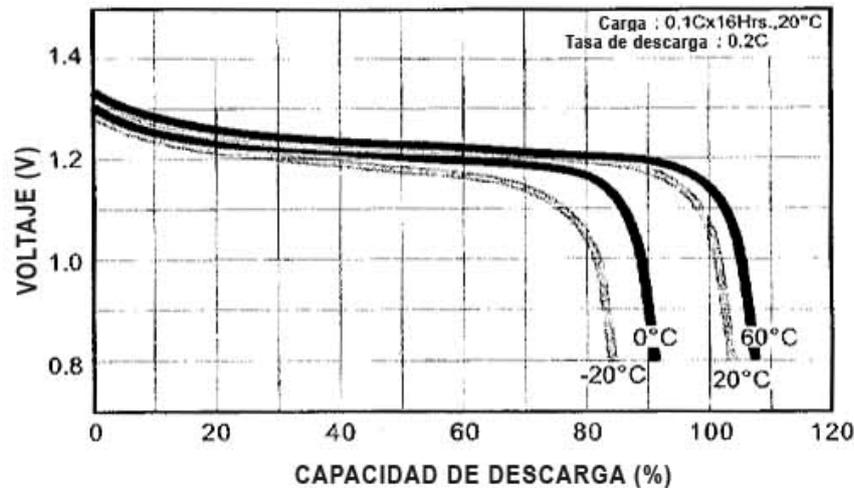


Figura 2.6.22. Curva de Voltaje en función de la capacidad de descarga a diferentes Temperaturas
Fuente: Batteries for Portable Devices

Respecto de su comportamiento en condiciones de almacenamiento, estas Pilas pueden guardarse en un rango de temperaturas que varía entre los $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin presentar deterioros significativos en su desempeño. Estas Pilas pueden ser almacenadas durante un periodo de 10 años y aun contar con hasta el 100% de su capacidad estimada original. Sin embargo, la habilidad de mantener esta carga en el tiempo no es tan favorable, ya que los electrodos pierden su carga con rapidez, como figura en las Figuras 2.6.23 y 2.6.24, donde se muestra como es la autodescarga de estas Pilas a diferentes temperaturas y con electrodos aglomerados y no aglomerados respectivamente.

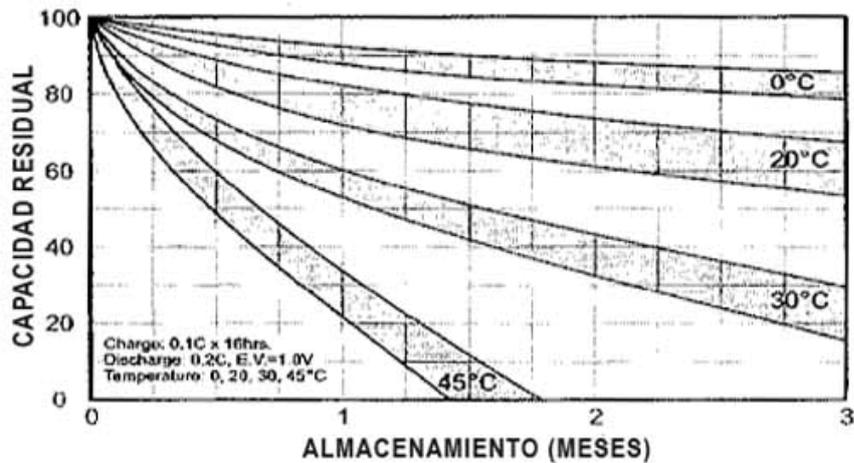


Figura 2.6.23. Curva de Auto descarga a diferentes Temperaturas
 Fuente: Batteries for Portable Devices

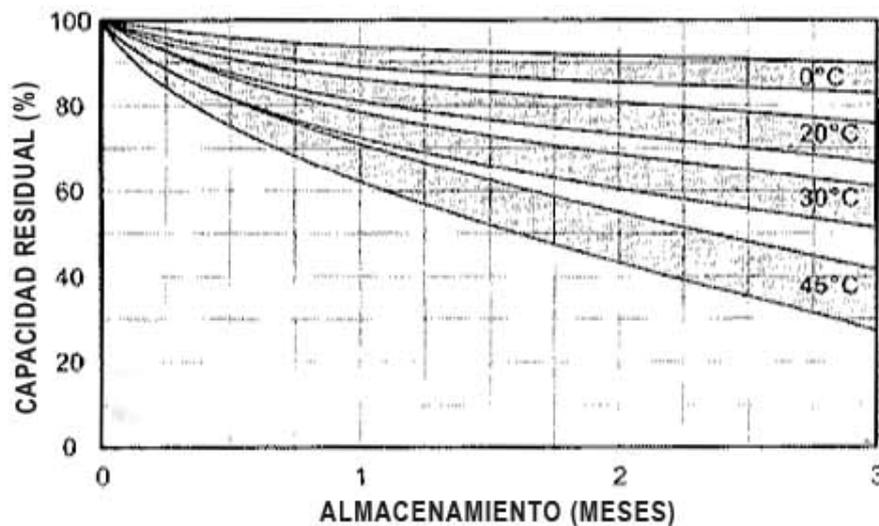


Figura 2.6.24. Curva de Auto descarga a diferentes Temperaturas
 Fuente: Batteries for Portable Devices

En cuanto a la carga de estas Pilas, la misma se realiza a corriente constante. En general el rango de corrientes varía entre 0,1 y 0,2. Sin embargo, algunas celdas pueden ser cargadas a 1C con control de carga. En la figura que se muestra a continuación, pueden verse dos curvas de carga. El máximo voltaje se evidencia por la oxidación del Níquel en el Cátodo. Como se dijo anteriormente, una vez que se detecta el voltaje pico se detiene la carga. Sin embargo, como puede verse en los gráficos, la determinación de el voltaje pico es cada vez mas difícil de determinar con la disminución de la tasa de carga. Lo mismo sucede con temperaturas sobre los 40 °C. En estos casos, puede aplicarse otro criterio, como por ejemplo el aumento de la temperatura. Para completar la carga, un ingreso que provea una capacidad mayor que la teórica debe ser entregada, por ejemplo 140%. Adicionalmente, la auto descarga puede contrarrestarse dejando la celda cargando a baja corriente.

En este tipo de Pilas puede presentarse el efecto “memoria” explicado anteriormente. En los casos en que la celda es repetitivamente descargada a valores superficiales, una vez recargada, no podrá generar la capacidad total para la cual fue confeccionada. Esta capacidad puede ser recuperada mediante descargas completas y su posterior carga completa. Con la tecnología actual, se ha logrado disminuir este efecto a niveles imperceptibles para el usuario.

A continuación se nombran los principales dispositivos donde puede utilizarse este tipo de Pilas:

- Calculadoras
- Instrumentos
- Equipos fotográficos con flash
- Herramientas portátiles
- Radios
- Cepillos de dientes eléctricos
- Cámaras digitales
- Pagers
- Laptops
- Afeitadoras
- Sets de televisión
- Equipos de comunicación portátiles

2.6.2.3 Pilas de Níquel Metal Hidruro

Las Pilas de Níquel Metal Hidruro salieron al mercado con el fin de suplir las Pilas de Níquel Cadmio, las cuales con el desarrollo del concepto de protección ambiental, comenzaban a perder popularidad por considerarse poco amigables con el medio ambiente al contener Cadmio. Es así, que muchas de las características de las Pilas Recargables de Níquel Metal Hidruro son similares a las de las Pilas de Níquel Cadmio. Sin embargo, las primeras tienen una mayor densidad de energía, un mayor ciclo de vida útil y una superior capacidad de descarga, lo cual puede verse en la Figura 2.6.25.

En la misma puede observarse como a capacidades mayores a 1400 mAh la Pila de Níquel Cadmio ya no es capaz de entregar voltaje, mientras que las Pilas de Níquel Metal Hidruro pueden funcionar a valores de descarga superiores a los 1800 mAh. A una tasa de descarga típica de 0,2C, las Pilas de Níquel Metal Hidruro proveen un 40% más de capacidad y por lo tanto mayor densidad de energía. Gracias a la gran cantidad de similitudes entre ambos sistemas, el usuario puede fácilmente reemplazar las Pilas de Níquel Cadmio con aquellas de Níquel Metal Hidruro obteniendo así mayor energía. Adicionalmente, esto significa

un beneficio en términos de cuidado del medio ambiente, ya que como mencionamos anteriormente, las Pilas de Níquel Metal Hidruro no poseen Cadmio.

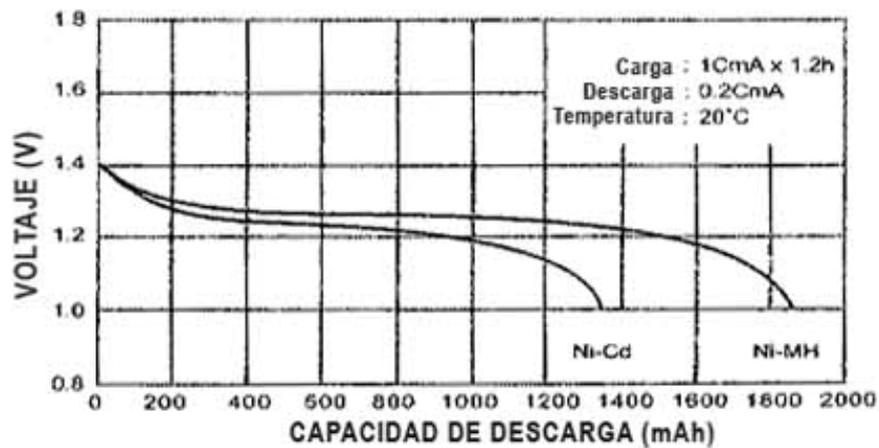
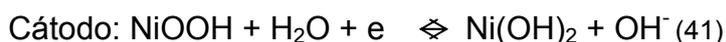
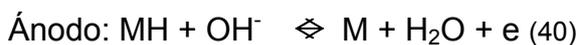


Figura 2.6.25. Curva de Voltaje en función de la capacidad de descarga comparativa entre las Pilas de Níquel Cadmio y las Pilas de Níquel Metal Hidruro
Fuente: Batteries for Portable Devices

Las Pilas Recargables de Níquel Metal Hidruro se componen de los siguientes elementos:

- Contenedor: Acero
- Cátodo: Níquel Oxi-hidrógeno (β -NiOOH)
- Separador: Pasta de papel
- Ánodo: aleación de Níquel Metal Hidruro
- Electrolito: Solución alcalina de KOH mas LiOH
- Colector: En este caso es el mismo contenedor

Durante la carga, un átomo de hidrógeno formado por la reducción del H_2O , se deposita en la superficie de la aleación para luego difundirse en esta para formar el Metal Hidruro. Las reacciones que suceden en los electrodos se muestran a continuación:



Siendo la reacción general la siguiente



Como puede verse, la reacción que sucede en el cátodo es la misma que en el electrodo presente en una Pila de Níquel Cadmio.

Durante el funcionamiento de una Pila de Níquel Metal Hidruro, sucede la transferencia reversible de los electrones de un electrodo a otro, según puede observarse en la Figura 2.6.26:

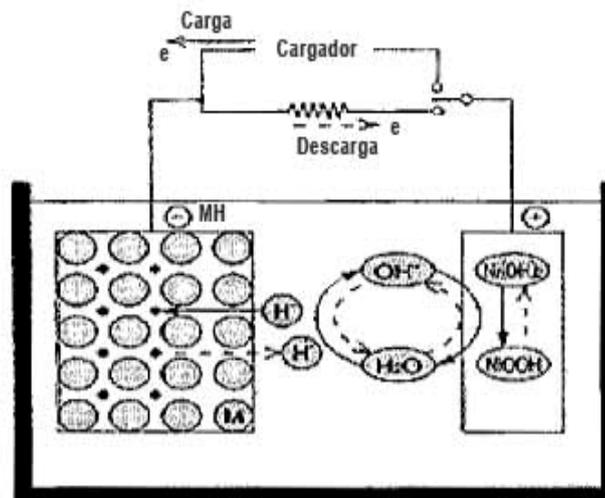


Figura 2.6.26. Esquema del Proceso de Carga y Descarga en una Pila de Níquel Metal Hidruro
Fuente: Batteries for Portable Devices

El electrón liberado de la aleación durante la descarga es absorbido por el grupo OH^- para formar H_2O y luego transferido al NiOOH para formar $\text{Ni}(\text{OH})_2$. El proceso se revierte en la carga. Por lo tanto, comparando con el sistema de Níquel Cadmio, donde en el electrodo de Cadmio se produce la reacción a través de un proceso de disolución y precipitación, en la Pila de Níquel Metal Hidruro, se reemplaza por un electrodo donde sucede un proceso en estado sólido más simple. Esto elimina los cambios negativos que ocurren durante la vida del electrodo de Cadmio en su estructura cristalina, integridad mecánica, morfología de su superficie y conductividad eléctrica.

Otra diferencia a mencionar entre ambos sistemas radica en el hecho que en el sistema de Níquel Cadmio, el H_2O se consume durante la descarga y se regenera durante la carga. En las Pilas de Níquel Metal Hidruro, por otro lado, la concentración y conductividad de la solución no cambian, ya que no existe ninguna reacción que involucre H_2O . Esta ventaja es contrarrestada por características de menor potencia energética, mayor rapidez en la auto descarga y menor tolerancia a la sobre carga.

Estas Pilas también están expuestas a fenómenos de sobrecarga y auto descarga. Durante la sobrecarga, el Oxígeno se desarrolla en el cátodo y se difunde hacia el ánodo para formar H_2O . Durante la auto descarga, el hidrógeno

se desarrolla en el cátodo y una vez más da origen a presencia de H_2O en el ánodo. Por lo tanto, a diferencia que en la Pila de Níquel Cadmio, ambos el hidrógeno y el oxígeno se recombinan para formar H_2O , así asegurando una operación cerrada en la Pila de Níquel Metal Hidruro.

Las aleaciones utilizadas han sido desarrolladas a lo largo de los años de manera de mejorar sus características, de las cuales las más significativas son un amplio rango de temperaturas, alta capacidad y energía, larga vida útil, alta actividad electroquímica, alta velocidad de difusión del hidrógeno, bajo costo, características amigables con el medio ambiente. Las aleaciones utilizadas actualmente, producen una capacidad de descarga de 330 mAh/g, lo cual es un 10% mayor que las aleaciones utilizadas anteriormente. Se espera que se sigan desarrollando nuevas aleaciones que sigan mejorando el desempeño de estas Pilas, las cuales tienen baja resistencia a la corrosión, corta vida útil, bajo voltaje operativo, pero capacidad de entre 700 y 1000 Ah/kg.

El desempeño de estas Pilas también depende de la construcción del cátodo y la naturaleza del separador. Se realiza la adición de $Co(OH)_2$ al cátodo, lo cual produce óxido de cobalto que posee una mayor conductividad que el $NiOOH$. Para conformar el separador se utiliza un elemento químicamente estable como el polipropileno sulfurado.

En relación a la construcción de estas Pilas, las mismas presentan los mismos diseños que las Pilas de Níquel Metal Hidruro. Los electrodos tienen una superficie de relativamente gran tamaño con el fin de lograr soportar altas tasas de corriente. En el diseño cilíndrico, el cátodo tiene un sustrato espumoso, en el cual se impregna el material activo. El ánodo, tiene también una estructura porosa, la cual soporta la aleación de hidrógeno-plástico. Ambos electrodos son colocados en forma de espiral en un container de Níquel Plata. La parte superior cuenta con un dispositivo de venteo, para permitir el escape de gases.

Las Pilas prismáticas son generalmente de bajo espesor, ya que están destinadas a proveer energía a dispositivos de pequeños tamaños. La optimización en la utilización del espacio permite que se logre una entrega de un 20% más de capacidad. Los electrodos son planos y rectangulares. El resto de las características son similares a aquellas presentes en la Pila cilíndrica.

Haciendo referencia al proceso de descarga, en los gráficos que figuran a continuación, se muestran curvas de descarga de estas Pilas Recargables a diferentes tasas. Como puede verse, la celda pierde bajos valores de capacidad a medida que aumenta la tasa, a expensas del voltaje. A diferencia de las Pilas de Níquel Cadmio, en estas la descarga es endotérmica. Por lo tanto, se balancea el

calor producido por la corriente que fluye a través de la celda. A pesar de que las Pilas de Níquel Metal Hidruro pueden soportar altas corrientes de descarga, repetidas descargas a estos niveles de corriente disminuye la vida útil de la Pila.

Los efectos de la temperatura se muestran en la Figura 2.6.27. Claramente, estas Pilas no deben utilizarse a temperaturas fuera del rango de entre 0 °C y 40 °C, ya que disminuirá el desempeño de las mismas. La sensibilidad a la temperatura durante periodos de almacenamiento es también relevante. La auto descarga se debe a la reacción del hidrógeno liberado por la aleación con el cátodo y a la lenta descomposición del cátodo de acuerdo a las siguientes reacciones:



La primera de estas reacciones es influenciada por la capacidad de la aleación para retener el hidrógeno.

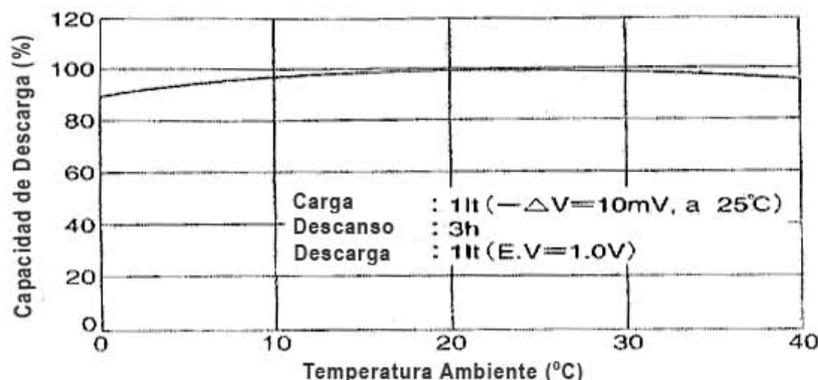


Figura 2.6.27. Efecto de la Temperatura en la Capacidad de Descarga
Fuente: Batteries for Portable Devices

El proceso en las Pilas de Níquel Metal Hidruro es exotérmico, mientras que en las de Níquel Cadmio es endotérmico, por lo que la temperatura aumenta más rápidamente en la primera a igualdad de condiciones. Una vez que se ha llegado al 80% de la carga, lo cual es simultáneo con la evolución del oxígeno, la temperatura de ambos sistemas aumenta significativamente debido a la reacción exotérmica de recombinación del oxígeno. Este aumento de temperatura, hace que el voltaje caiga o se nivele cuando la Pila alcanza su carga total y entra en la zona de sobre carga.

Por lo anterior, la temperatura de carga debe ser controlada para obtener un alto rendimiento. Como puede verse en la Figura 2.6.28, la temperatura no podría alcanzar los 30 °C, ya que aumentaría la evolución del oxígeno, la cual sucede a

altas temperaturas. Por otro lado, se obtienen mejores resultados en la carga a temperaturas mayores a los 10 °C.

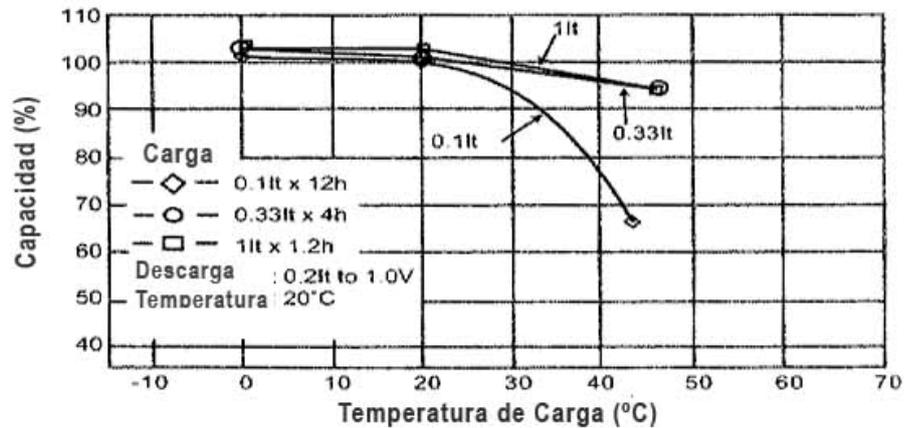


Figura 2.6.28. Efecto de la Temperatura en la Capacidad recuperable en Descarga
Fuente: Batteries for Portable Devices

La caída de voltaje, el aumento de temperatura y el cálculo de la carga de entrada (Ah) pueden tomarse como indicadores del final de carga. La necesidad de controlar este proceso es evidente en procesos de carga rápidos, donde la temperatura y la presión pueden alcanzar valores excesivamente altos, aun con dispositivos de venteo. Los métodos de control de carga son:

- Carga de entrada: A partir del valor de corriente y del tiempo, la carga en Ah puede calcularse. Este procedimiento solo puede aplicarse en procesos de carga lenta ($<0,3C$) para evitar sobrecargas que pueden ocurrir en celdas con descarga incompleta.
- Caída de voltaje: Este fenómeno puede utilizarse a tasas de descarga altas y bajas temperaturas. No debería seguir la carga con potenciales de entre 5 y 10 mV por sobre el valor pico.
- Nivelación del voltaje: Solo para casos donde efectivamente el voltaje se nivela.
- Corte por temperatura: El dispositivo dejara de cargar cuando se alcance una temperatura pre-establecida, la cual indicaría sobrecarga. Este método se utiliza en forma adicional a los anteriormente mencionados.
- Aumento de temperatura: Este método mide el aumento de temperatura respecto del valor inicial. El límite de temperatura depende de varios factores y en particular depende del tipo de Pila.

- Tasa de aumento de temperatura: Este método mide la tasa de aumento de temperatura en relación al tiempo y deja de cargar cuando se alcanza un valor predeterminado.

El ciclo de vida de estas Pilas está determinado por la temperatura, la corriente, el almacenamiento, la sobrecarga y la auto carga, entre otros que se mencionaron anteriormente. En condiciones adecuadas de utilización, carga/descarga a 0,2C, 20 °C y sobrecarga limitada, las Pilas de Níquel Metal Hidruro pueden llegar a entregar más de 500 ciclos antes de que su capacidad caiga a un 80% del valor inicial.

La temperatura es una variable de particular importancia. Ciclos de carga y descarga a temperaturas sobre 20 °C puede causar una reducción severa de la vida útil, como se ve en la Figura 2.6.29. La operación de las Pilas a altas temperaturas, especialmente en estado de carga, puede producir una excesiva cantidad de gas y venteo. Por otro lado su operación a bajas temperaturas impiden la recombinación del oxígeno y nuevamente generar venteo.

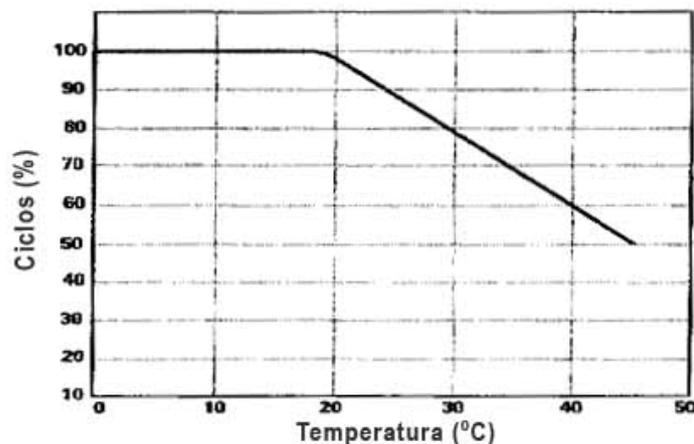


Figura 2.6.29. Efecto en el ciclo de vida de una Pila de Níquel Metal Hidruro del ciclaje a diferentes Temperaturas

Fuente: Batteries for Portable Devices

En resumen, las Pilas de Níquel Metal Hidruro presentan una mayor energía que las Pilas de Níquel Cadmio. Actualmente presentan energías de 100 Wh/kg y densidades de energía superiores a los 300 Wh/l. Sin embargo, el continuo desarrollo seguirá aumentando estos valores. El efecto “memoria” es casi imprescindible en las celdas de hoy en día, ya que la pérdida de capacidad respectiva es menor al 5% de la capacidad total.

Debido a los altos valores de energía, la Pila de Níquel Metal Hidruro ha reemplazado a la de Níquel Cadmio, con excepción de aplicaciones donde el costo es la principal consideración.

Los dispositivos en donde se utilizan estas Pilas son:

- Teléfonos celulares
- Notebooks
- Videograbadoras
- Equipos portátiles de audio y video
- Instrumentos de medición
- Equipos médicos

2.6.2.4 Pilas de Ion Litio

En el momento en que se demostró la posibilidad de utilizar Litio como electrodo en las Pilas con electrolitos orgánicos, se la comenzó a explorar exhaustivamente, ya que se consideraba un hecho que traería como consecuencia importantes avances en el funcionamiento de las Pilas. Sin embargo, debido a la radioactividad del Litio con el electrolito, surgieron inconvenientes que debían ser resueltos. El Litio tiende a ser encapsulado por elementos de descomposición del electrolito, volviéndolo inactivo. Dada esta pérdida de Litio activo, el desempeño de los procesos de carga y descarga presenta mayor eficiencia utilizando entre 3 y 4 veces mayor cantidad de Litio que de aquel elemento que conforme el cátodo.

Las Pilas recargables aparecieron en el mercado a mediados del 1800. Inicialmente, estas Pilas eran “cargadas” por las Pilas Primarias, por lo que recibieron el nombre de “Pilas Secundarias”. La primera Pila Recargable de Litio, sin embargo, no estuvo listas para su comercialización hasta 1990, cuando Sony presento la primera Pila de Ion Litio, la cual sería utilizada en videograbadoras. La innovación en el funcionamiento de esta Pila impulso a los productores a adaptarla para ser utilizada como fuente de energía en celulares, computadoras y cámaras.

Desde su presentación inicial hasta el día de hoy, se realizan estudios respecto de los materiales a utilizar con el fin de optimizar su funcionamiento. En el pasado, existieron tres sistemas de Pilas de Ion Litio, las cuales fueron retiradas del mercado por diferentes razones: su bajo numero de ciclos de vida útil, cuestiones de seguridad e inconvenientes a la hora de la recarga.

Actualmente, existen tres tipos de Pilas de Ion Litio en el mercado, las cuales presentan mejoras respecto de los problemas mencionados anteriormente y utilizan una aleación de Litio y Aluminio, la cual mejora las características de la Pila en almacenamiento y previene la formación de dendritas. Sin embargo, el inconveniente más significativo que presentan estas Pilas hoy en día es la gran

expansión de volumen, la cual produce la pulverización del electrodo y pérdida de contacto eléctrico en ciclos de larga duración. Para solucionar esto investigadores encontraron que al adherir aditivos especiales, como el Cromo y el Manganeso, se puede controlar el deterioro de la aleación. Debido a que las aleaciones de Litio y Aluminio no pueden ser moldeadas en finas laminas, este tipo de Pila solo existe en la forma de botón.

2.6.2.4.1 Pilas de Ion Litio: $\text{Li}/\text{Li}_x\text{MnO}_2$

Esta es la más importante de las Pilas Secundarias con electrodo negativo basado en Litio. El material utilizado en el cátodo se obtiene del lixiviado con MnO_2 con el compuesto conveniente de Litio, como por ejemplo LiOH , LiNO_3 o LiI , a una temperatura adecuada. Dadas sus características, el óxido de manganeso lixiviado cuenta con una capacidad de aproximadamente 200 mAh/g, un voltaje plano de alrededor de 2,5 Volts y buen ciclaje.

La reacción reversible es:



El ion de Litio es insertado durante la descarga en túneles tridimensionales presentes en la estructura el óxido de manganeso lixiviado. Asimismo, es separado durante la carga.

En la Figura 2.6.30 puede verse una curva de descarga típica de una celda botón. Como estas Pilas cuentan con una auto descarga de entre un 1 y un 2% de su carga por año a temperatura ambiente, pueden ser utilizadas tal cual se las compra en el mercado, sin necesidad de carga. El porcentaje de capacidad de la celda agotado durante un determinado proceso de descarga respecto de su capacidad total, determina la vida útil de la Pila. Con una capacidad extraída del 100% se obtienen 50 ciclos, mientras que con una capacidad extraída del 20% sobre la capacidad total pueden llegar a obtenerse hasta 500 ciclos. En rango de temperaturas de funcionamiento es de entre $-20\text{ }^\circ\text{C}$ y $60\text{ }^\circ\text{C}$.

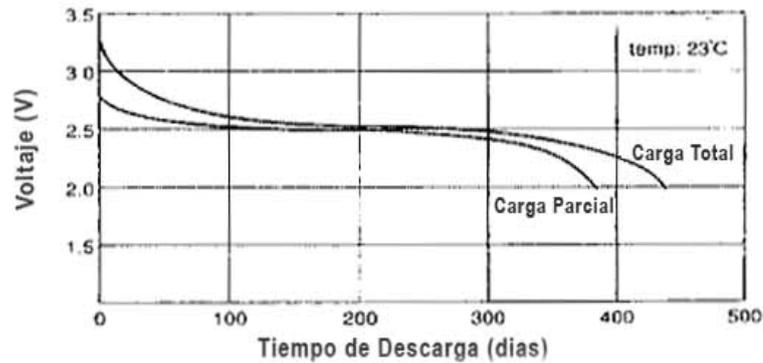


Figura 2.6.30. Curva de descarga de una Pila Botón
Fuente: Batteries for Portable Devices

Las celdas botón recargables, tienen una capacidad que varía entre 1 y 100 mAh a corrientes de entre 5 y 500 μ A. La carga se realiza en el modo de voltaje constante. El cargador contiene un resistor que controla la corriente durante los estados inicial y final de carga.

Este tipo de Pila Recargable se utiliza en:

- PC
- Calculadoras
- Memory cards
- Electrodomésticos con timer
- Fuentes de poder híbridas, combinadas con celdas solares

2.6.2.4.2 Pilas de Ion Litio: $\text{Li/V}_2\text{O}_5$

Las características de las Pilas conteniendo este sistema son similares a aquellas con óxido de manganeso. Sin embargo, la curva redescarga es diferente, al contener un perfil de dos estados: el primero a 3 Volts y el segundo a aproximadamente 2,8 Volts, la cual sigue la intercalación en la estructura del V_2O_5 . Una de las principales características de esta Pila es que cuenta con una excelente resistencia a la sobrecarga. Las capacidades varían entre 1,5 y 100 mAh.

2.6.2.4.3 Pilas de Ion Litio: $\text{Li/Nb}_2\text{O}_5$

El voltaje operativo que se obtiene con la utilización de este sistema es de 1,2 Volts. Estas Pilas se producen solamente en Pilas botón de muy bajo espesor. La capacidad es de entre 1 y 4 mAh, y se utilizan como backups de memoria. Son utilizadas en dispositivos con tecnologías de última generación, como por ejemplo los celulares.

2.6.2.4.4 Pilas de Ion Litio: Li/S

El azufre puede proporcionar una capacidad específica de 1675 mAh/g y una energía específica de 2600 Wh/kg, lo cual lo vuelve un material de lo más atractivo para las Pilas de Ion Litio. Sin embargo, no ha sido fácil construir un electrodo eficiente debido a la baja conductividad y alta solubilidad del azufre. Constantes investigaciones han rendido fruto, obteniendo importantes avances. El azufre es ahora reducido en dos pasos. Durante la primera etapa, la cual se realiza a 2,4 Volts, se forman varios poli sulfuros de Litio (Li_2S_4 , Li_2S_8), los cuales tienden a disolverse y migrar hacia el electrodo de Litio donde pueden ser reducidos nuevamente. Los poli sulfuros reducidos, pueden migrar nuevamente hacia el electrodo positivo, donde son oxidados. Este transporte electroquímico previene la carga completa de estas Pilas.

Se han desarrollado técnicas para proteger al Litio del ataque de los poli sulfuros, lo cual trae como consecuencia una auto descarga de aproximadamente un 10% por mes. Si la protección del ánodo se combina con un electrolito mejorado, puede adquirirse una eficiencia de carga del 100%. Como resultado, la utilización de azufre puede alcanzar un 70% de eficiencia en la carga y una capacidad específica de 1200 mAh/g. La adición de un catalizador puede aumentar a 90% y 1500 mAh/g la capacidad específica de la celda.

Este tipo de Pilas fue desarrollado particularmente en Estados Unidos, siendo los prototipos apropiados para aplicaciones en dispositivos portátiles.

Habiendo presentado los principales sistemas que puede conformar las Pilas Recargables de Ion Litio, se desarrollará a continuación un detalle sobre el funcionamiento en general de las mismas. La presentación de estas ha sido un hito en el avance de los dispositivos electrónicos, en especial de aquellos portátiles. Esto se debe que las ventajas que presentan las Pilas Recargables de Ion Litio:

- Energía y capacidad específicas altas
- Baja auto descarga
- Larga vida útil
- Bajo mantenimiento
- Ausencia de efecto de memoria
- Amplio rango de temperaturas operativas
- Amplio rango de capacidad
- Miniaturización y formas de muy bajo espesor

Sin embargo, estas Pilas también presentan algunas desventajas:

- Costo inicial alto
- Inclusión de un circuito protector para prevenir la sobrecarga, sobredescarga y alta temperatura
- Degradación a altas temperaturas
- Baja potencia (respecto de las de Níquel Cadmio y Níquel Metal Hidruro), especialmente a bajas temperaturas

Es importante aclarar que se está trabajando para eliminar progresivamente estas desventajas.

Las Pilas de Ion Litio se basan en dos electrodos capaces de insertar iones Litio en sus estructuras cristalinas. Varios compuestos han sido utilizados como electrodos positivos, entre ellos algunos sulfuros (MoS_2 , TiS_2 y NbS_3) y óxidos (V_2O_5 , V_6O_{13} y LiCoO_2 , los cuales han demostrado su capacidad de inserción reversible de Iones Litio. Es por esto que los primeros intentos de sustituir el Litio como electrodo negativo en celdas recargables fueron también aplicados a materiales inorgánicos como MoO_2 y WO_2 . Sin embargo, estos materiales fueron abandonados debido su baja habilidad de realizar ciclos y al avance en el descubrimiento de las características favorables que presentan los electrodos negativos basados en Carbón. En el presente la gran mayoría de las Celdas de Ion Litio comercializadas tiene Carbón como ánodo, LiCoO_2 como cátodo y un electrolito polimérico o orgánico líquido.

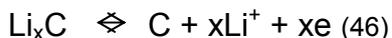
Ánodo

Los Carbones capaces de intercalar Iones Litios pueden ser clasificados en grafiticos y no grafiticos, siendo estos últimos re clasificados en carbonos "soft" y carbonos "hard". Esquemas de la estructura de estos tres tipos de carbono pueden verse en la Figura 2.6.31.



Figura 2.6.31. Estructura interna de los distintos tipos de Carbón
Fuente: Batteries for Portable Devices

La reacción reversible que muestra la intercalación de los Iones Litio que sucede en el ánodo es la siguiente:



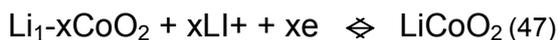
La intercalación completa en las capas de grafito cambia la distancia entre las capas de 1,335 nm a 0,372 nm, la cual es totalmente revertida durante la descarga, cuando se produce la des-intercalación. En el largo plazo, la expansión/contracción de la estructura de la celda puede afectar la capacidad de realizar ciclos de la celda. Sin embargo, la optimización de la estructura de la misma, permite compensar la deformación del electrodo, haciendo que el grafito sea actualmente el ánodo mas utilizado en las celdas de Ion Litio.

Cátodo

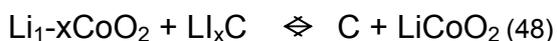
Como se mencionó anteriormente, el cátodo mas utilizado en las celdas de Ion Litio es el LiCoO_2 , el cual presenta una estructura hexagonal en la que los bloques del CoO_2 son separados por las capas de Litio. Los iones de Litio puede ser totalmente removidos enteramente de la estructura, lo cual corresponde a una capacidad de 273 mAh/g. Adicionalmente, el LiCoO_2 se caracteriza por contar con un alto potencial respecto del ánodo de grafito. Asimismo, las curvas de descarga a tasas moderadas ocurren a voltajes de entre 4 Volts y 3,5 Volts. Esta característica sumada a los altos valores de capacidad especifica mencionados anteriormente, aseguran altos valores de energía.

Otras características que posee el LiCoO_2 incluye la eficiencia de carga y descarga, estabilidad térmica y química y larga vida de la capacidad de realizar ciclos. La principal desventaja que presenta este material es su alto costo. Sin embargo, al comparar costos en función de la energía entregada, se relativiza la importancia de esta desventaja.

Las reacciones reversibles de intercalación son las siguientes:



La reacción combinada con el grafito trae como resultado el siguiente proceso:



Es relevante aclarar que las Pilas que utilizan cátodo de LiCoO_2 han alcanzado valores de densidad de energía superiores a los 150 Wh/kg y 400 Wh/L, una vida útil de sobre 1000 ciclos y auto descarga menor al 3% mensual.

Electrolito Líquido

El electrolito orgánico debe cumplir esencialmente con dos características. Por un lado, debe garantizar una interfase en grafito estable y eficiente, capaz de limitar la auto descarga. Por otro lado, la estabilidad electroquímica debe estar entre los 0 y 4,3 Volts. Los más utilizados son sales basadas en LiPF_6 y una mezcla solvente binaria (EC-DMC o EC-DEC).

Una de las principales preocupaciones con los electrolitos líquidos es su inflamabilidad, lo cual se vuelve una fuente de riesgo en caso de venteo. Aditivos pueden ser incluidos para disminuir la inflamabilidad de la celda. Algunos son el trimetil y fosfato trietil. Por último, es necesario agregar separadores porosos para sostener los electrolitos, los cuales cuentan con las siguientes características:

- Estabilidad química
- Estabilidad mecánica
- Espesor de 10 a 30 μm
- Absorción del electrolito

Los más utilizados son el polietileno y el propileno. Los mismos también actúan como difusores térmicos. Cuando la temperatura alcanza valores de fusión (aproximadamente 140 °C) la fusión del separador cierra los poros y la corriente deja de fluir.

Las celdas de Ion Litio que se comercializan en el mercado se construyen principalmente en forma cilíndrica y prismática. Actualmente, una producción menor de celdas botón está siendo desarrollada.

El ánodo es soportado por una lámina fina de Cu, siendo el cátodo soportado por una lamina fina de Aluminio. El separador se inserta entre los tres anillos y se enrollan alrededor del eje cilíndrico o prismático. El container se realiza de acero inoxidable, si embargo la última generación de pilas prismáticas utiliza aluminio para tomar ventaja de su menor peso. Se coloca también un sistema de venteo.

Las celdas cilíndricas tienen una capacidad que varía entre 0,7 y 2,5 Ah y tienen buenas características de temperatura. El diseño del electrodo permite una buena tasa de capacidad a pesar de las bajas conductividades del electrolito orgánico. Las características de descarga a diferentes temperaturas se muestran en la

Figura 2.6.32. La pérdida de capacidad es limitada aun a temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero a esta temperatura el voltaje cae.

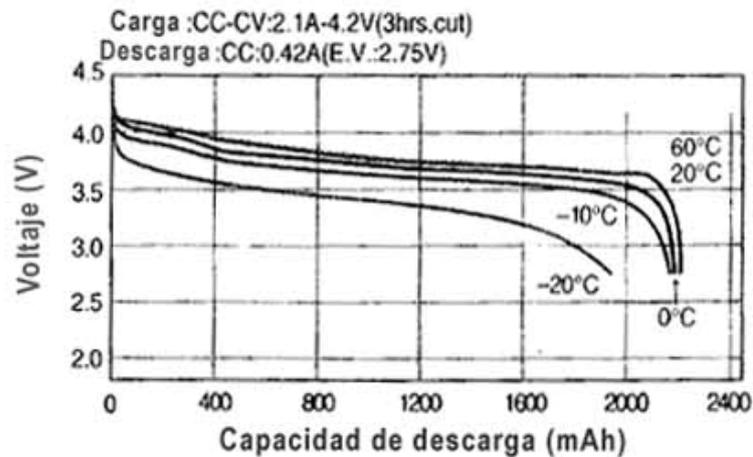


Figura 2.6.32. Curva de Descarga en función de la Temperatura de Pila Cilíndrica
Fuente: Batteries for Portable Devices

En las celdas prismáticas se evidencia una pérdida de capacidad mayor que la encontrada en celdas cilíndricas, lo cual se debe a la diferente geometría de diseño de ambas celdas.

La técnica de carga de las celdas de Ion Litio se lleva a cabo en dos etapas. La primera se realiza a corriente constante, la cual se aplica hasta que el voltaje alcanza un valor predeterminado. En la segunda etapa, la celda se mantiene constante al valor de voltaje alcanzado en la etapa anterior, mientras la corriente decae. La carga finaliza cuando la corriente alcanza valores de entre $C/10$ y $C/30$. El tiempo típico de carga es de entre 2 y 3 horas, parámetro que se utiliza también para determinar el fin de la carga.

La última generación de celdas de Ion Litio pierde una fracción pequeña de su capacidad durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Como ejemplo, una celda cilíndrica almacenada con carga completa a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante seis meses pierde una capacidad mensual de 1,7%. La carga completa tras almacenamiento, seguida de una descarga completa muestra que se produce una pérdida irreversible de capacidad, la cual puede ser de un 3%. El almacenamiento durante seis meses a una temperatura de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ la pérdida de capacidad puede ser de 40% mientras que a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ la pérdida puede ser del 80%.

Las Pilas de Ion Litio, presentan ciclos de larga vida útil. Pueden soportar cientos de ciclos de descarga completa a altas tasas de descarga y a un rango de temperatura relativamente amplio. A temperatura ambiente y una corriente C , la celda puede producir 500 ciclos extracción del 100% de extracción de su capacidad total, al 80% de su capacidad inicial.

Electrolito polimérico

El uso de electrolitos poliméricos en Pilas de Ion litio tuvo varios comienzos fallidos hasta 1999, cuando finalmente la primera de estas Pilas fue comercializada. Se han realizado intentos con el fin de utilizar electrolitos poliméricos libres de solvente en celdas trabajando en lugares con temperatura ambiente o menor, sin embargo estos no han sido exitosos por ser su conductividad muy baja. Por otro lado, el uso del gel polímero como electrolito ha logrado características que la vuelvan tan eficiente como aquellas con electrolito líquido.

El gel polímero se conforma mediante la inmovilización de un líquido electrolítico en una matriz polimérica. Existen dos formas de lograr el gel polimérico. La primera consiste en agregar el líquido electrolítico a la matriz polimérica, el cual la inmoviliza a través de sus poros. La segunda consiste en la mezcla de polvo polimérico y electrolito en un solvente común, el cual es luego evaporado. Utilizando ambas técnicas se logra la conformación del gel polimérico que presenta las siguientes ventajas:

- El solvente es encerrado dentro de la estructura polimérica
- Baja presión de vapor de los solventes
- Alta conductividad a temperatura ambiente o menor
- Buena adhesión a los electrodos

Las celdas constituidas por este tipo de sistemas tienen un espesor de entre 3 y 4 mm, pudiendo llegar a tener 2 mm. Un esquema de estas Pilas puede verse en la Figura 2.6.33. Como se menciono anteriormente, el ánodo esta conformado de grafito y el cátodo de LiCoO_2 .

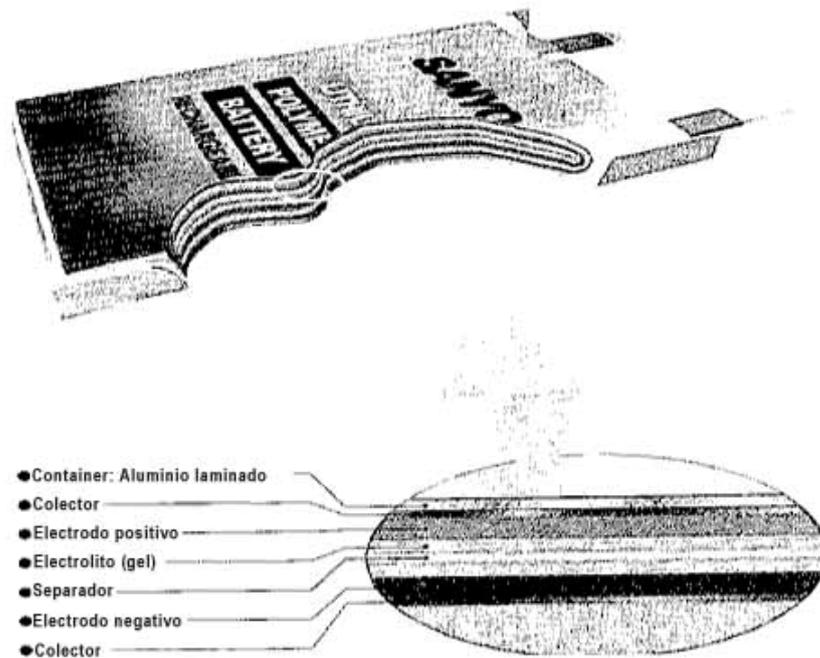


Figura 2.6.33. Corte transversal de una Pila de Litio
Fuente: Batteries for Portable Devices

El desempeño de la celda de ion Litio polimérica puede verse en el gráfico que figura a continuación, el cual muestra como se pueden mantener altas tasas de capacidad. La estructura compacta de la celda polimérica, junto con la excelente adhesión entre el electrodo y el electrolito, se piensa que es la razón de la alta eficiencia. Asimismo, estas celdas presentan un buen desempeño en un amplio rango de temperaturas. A una temperatura de -20 °C una de estas celdas puede retener el 60% de su capacidad, tal cual puede observarse en la Figura 2.6.34.

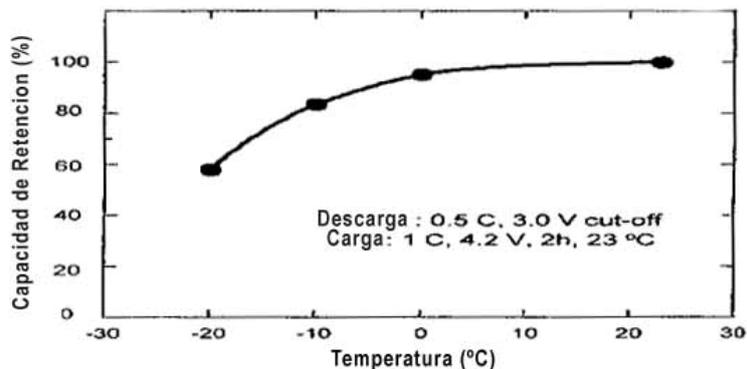


Figura 2.6.34. Capacidad de Retención de una celda de Litio en función de la Temperatura
Fuente: Batteries for Portable Devices

En cuanto a los ciclos de estas Pilas, se pueden obtener más de 1000 ciclos con una extracción del capacidad del 100% sobre la capacidad total por descarga, siendo la capacidad del ciclo 1000 del 85% de la capacidad inicial.

Las Pilas de Ion Litio pueden producirse en una gran variedad de tamaños.

Actualmente, las celdas de Ion Litio son utilizadas principalmente para proveer energía a teléfonos celulares, donde es necesaria la habilidad de mantener pulsos de alta corriente. Una curva típica de carga en un teléfono celular con tecnología GSM puede verse en la Figura 2.6.35. El desempeño de estas Pilas es bueno a temperaturas de hasta -20 °C. Asimismo, estas Pilas soportan sobrecargas y pueden ser construidas sin la necesidad de incluir un circuito protector.

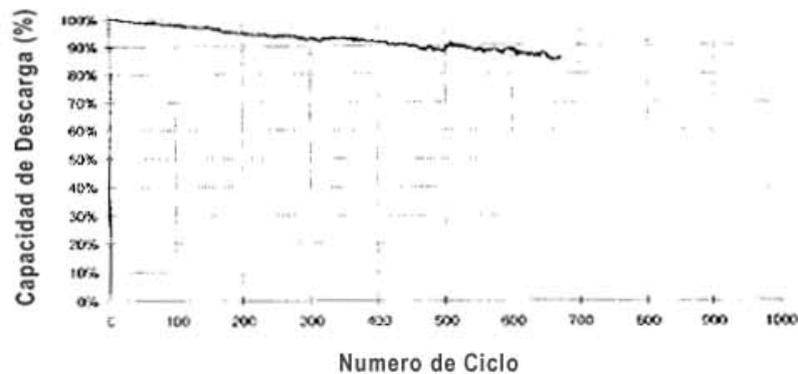


Figura 2.6.35. Características de descarga de una Pila de Litio en régimen GSM
Fuente: Batteries for Portable Devices

III. ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, la Pila ha sido uno de los elementos más utilizados para alertar a la sociedad de los problemas que surgen alrededor de los denominados “desechos”, probablemente generados por los altos niveles de toxicidad que los materiales utilizados en algunas de estas Pilas poseían. Como consecuencia, es que comenzó en 1991 en Europa la primera legislación de Pilas.

A nivel técnico, existe hoy en el mercado una gran variedad de tipos de Pilas. Una vez finalizado su ciclo de vida útil, algunas de estas Pilas pueden calificarse como residuos realmente peligrosos y otras no. Es importante destacar, que se definen como residuos peligrosos a aquellos que en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad, pueden presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al ambiente. La evolución de la tecnología utilizada en la Pila, se ha desarrollado rápidamente, generando nuevos sistemas electroquímicos que son más amigables al medio ambiente.

Desde el punto de vista económico, la mejor forma de lidiar con este tipo de desechos es aquella que minimiza su costo social, lo cual incluye los costos externos y todo tipo de impacto ambiental. Realizando un análisis de costo-beneficio, puede determinarse si realmente el reciclaje es o no el camino a seguir, desde un punto de vista social.

A lo largo del presente Capítulo, se evaluará la contribución de las “Pilas Usadas” a las emanaciones ambientales de metales, asociados a la fase post-consumo de la Pila. En el pasado, existía muy poca información acerca de la contribución real de los metales contenidos en las Pilas a la contribución total de estos metales. Con los años, se han realizado numerosos estudios que pretenden clarificar la realidad respecto de qué hacer con las Pilas una vez que se ha agotado su energía.

Las principales estrategias consideradas a nivel mundial son:

- El enterramiento
- El reciclaje

3.2 DEPÓSITOS DE RESIDUOS NO CONTROLADOS

Se define como “Deposito No Controlado” a una superficie que funciona como destino final de los residuos en la cual no se realiza lo que se denomina “Gestión del Recurso”. Actualmente, en la Argentina un gran numero de este tipo de Depósitos, los que usualmente se denominan “Basurales a Cielo Abierto”. Durante siglos los residuos de las poblaciones se arrojaron en forma indiscriminada, creando basurales en las cercanías de las ciudades, los que dieron origen a estos Basurales a Cielo Abierto, los que son más que un pozo en la tierra donde se entierran los residuos. En la Figura 3.1 pueden observarse fotografías tomadas a Basurales a Cielo Abierto.



Figura 3.2.1. Fotos de Basurales a Cielo Abierto

Este tipo de terrenos no contempla ningún tratamiento que evite la contaminación tanto del suelo como de las napas de agua, es decir no están diseñados con la tecnología necesaria para soportar ningún tipo de desecho que contenga metales pesados o sustancias químicas calificadas como residuos peligrosos que puedan filtrarse y tomar contacto con el ambiente. De la misma manera, esta es un tipo de práctica que tiende a desaparecer fuertemente a nivel mundial, debido a la falta de medidas de seguridad con las que cuenta, principalmente por no contar con la tecnología necesaria para evitar que cualquier tipo de residuo tome contacto y afecte el medio ambiente en el que se encuentra y sus alrededores, significando así un riesgo para las poblaciones que se ubican en las cercanías del Basural. Los Basurales a Cielo Abierto, pueden encontrarse principalmente en los países denominados “emergentes”.

Pero el reemplazo de los basurales a cielo abierto por Rellenos Sanitarios debidamente contruidos y monitoreados, tienen un costo que no todas las comunidades de Sudamérica están en condiciones de afrontar. Sin dudas más del cincuenta por ciento (50%) de los residuos de la región son destinados a este tipo de basurales.

Es mas, la mayoría de ellos están asentados en la rívera de los ríos, justamente para provocar que las subidas de las aguas arrastren (limpien) los basurales y los disminuyan periódicamente.

Por otra parte, una gran cantidad de personas de muy bajos recursos (verdaderos indigentes) viven y se alimentan de estos residuos, lo cual constituye una fuente de contaminación y enfermedades hoy casi imposible de controlar.

Pero mas allá de esta realidad regional, los países desarrollados comenzaron a tomar conciencia del valor de la tierra y de los problemas que este tipo de basurales acarrearía en el futuro.

Con la revolución y la concientización ambiental, comenzaron a surgir técnicas de ingeniería sanitaria con el fin de desarrollar terrenos de aislamiento de residuos que eviten la contaminación ambiental. Diferentes propuestas fueron presentadas, como ser la incineración, el relleno sanitario, el relleno de seguridad y el reciclaje.

3.3 DEPÓSITOS DE RESIDUOS CONTROLADOS: RELLENOS SANITARIOS Y RELLENOS DE SEGURIDAD

Un Depósito Controlado, es aquel en el que se desarrolla una técnica de “Gestión de Residuos”, lo que significa que los mismos son depositados y tratados de manera que no tomen contacto en forma dañina con el medio ambiente.

Los dos tipos de Depósitos Controlados son el Relleno Sanitario y el Relleno de Seguridad, los cuales se definen como técnicas para la disposición final de residuos sólidos en terrenos, sin causar perjuicio para el ambiente u ocasionar molestias o peligros para la salud y seguridad pública.

En la Argentina existen actualmente algunos Rellenos Sanitarios y muy pocos Rellenos de Seguridad ubicados principalmente en la Provincia de Buenos Aires y en Córdoba. Rellenos Sanitarios pueden encontrarse en varias provincias del país, muchos en funcionamiento y otros en construcción, pero aun se está lejos de que puedan cubrir la totalidad de los residuos de todas las ciudades, localidades, pueblos y/o comunidades del país.

Bastará decir que las ciudades de Bariloche y Mar del Plata, dos ciudades importantes de la Argentina y con poblaciones relevantes en número, carecen de Rellenos Sanitarios, y sus residuos son arrojados a basurales a cielo abierto.

A lo largo de la última década, con el aumento de la conciencia ambiental, cada gobierno provincial argentino se ha preocupado por o bien auditar el Relleno Sanitario presente en su provincia o en desarrollar un proyecto para la construcción del mismo. Asimismo, existe una campaña de concientización en las provincias, la cual tiene como foco convertir los vertederos o basureros a cielo abierto en Rellenos Sanitarios. Para ello, se están llevando a cabo estudios con el fin de construir una serie de rellenos sanitarios en varias provincias como Formosa, San Juan, Entre Ríos y Mendoza. Algunas de estas obras han comenzado y están actualmente en construcción. Respecto de la cantidad de residuos generados, solo en el área metropolitana se generan más de 14 mil toneladas diarias de residuos.

Expresado este verdadero panorama dantesco, es importante mostrar cual es el diagrama de producción de residuos, y cual es el diagrama de construcción de rellenos sanitarios y de seguridad. Podrá apreciarse en los mapas que se muestran en las Figuras 3.3.1 y 3.3.2, que hay una directa correspondencia entre la generación de recursos y la concentración demográfica del país. Es importante destacar que ambos mapas representan la realidad en el año 2004. Hoy, cinco años después, la realidad actual presenta una distribución de la población de gran similitud a aquella presentada en el 2004, pero con un mayor número de habitantes.

De la misma manera, los focos de generación de residuos siguen siendo las zonas mas densamente pobladas, siendo el volumen de residuos generados hoy considerablemente mayor a aquel generado en el 2004.

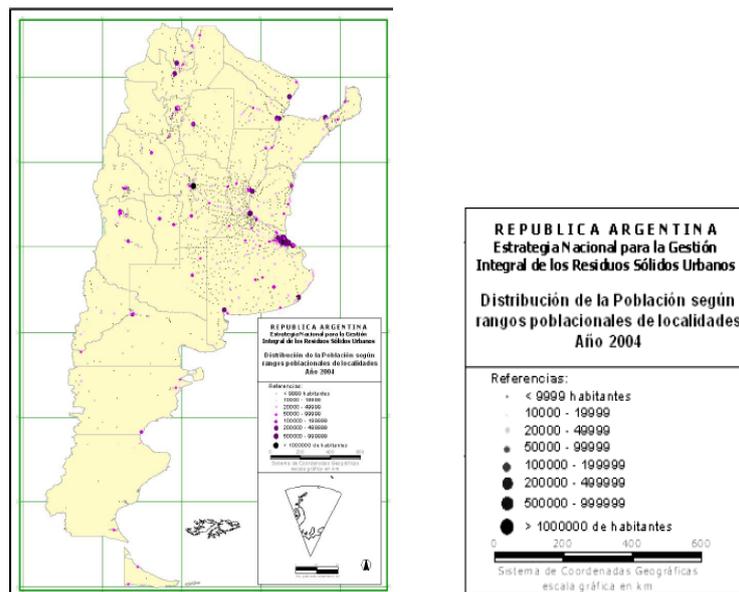


Figura 3.3.1. Mapa de distribución de la población (Año 2004)

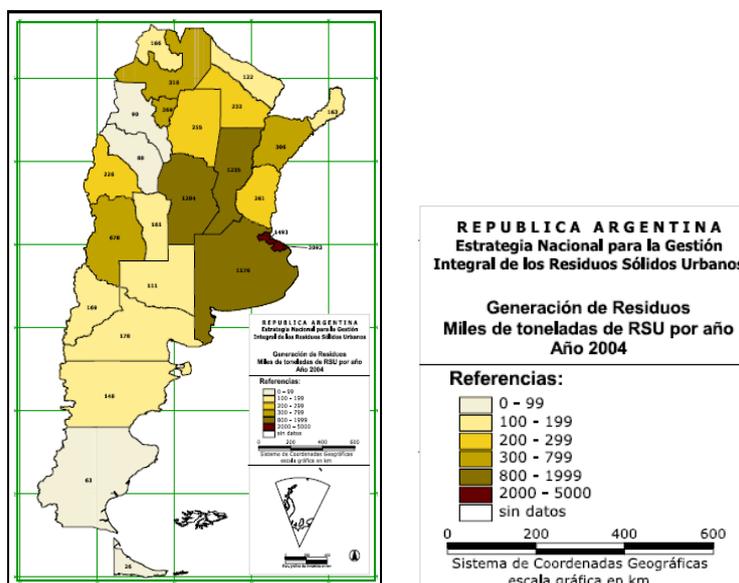


Figura 3.3.2. Mapa de generacion de Residuos (Año 2004)

Hablando de la historia de los residuos, es importante destacar que en tiempos pasados el desecho de basura no era una preocupación mayor, dado que las poblaciones eran pequeñas como así la cantidad de residuos generada. Con el crecimiento de las ciudades y el desarrollo de la tecnología, se comenzó a generar una conciencia social alrededor de los posibles problemas generados por la

contaminación de estos residuos al ambiente. Uno de los desarrollos industriales más grandes de la historia, como fue la revolución Industrial a fines del siglo XVIII, fue una de las mayores contribuciones al aumento de generación de residuos en la historia, ya que significó un crecimiento importante en el tamaño de ciudades y sus poblaciones.

Con el tiempo, el concepto de “protección ambiental” fue tomando relevancia generando una conciencia social que llevó al desarrollo de tecnologías que permitan evitar la contaminación.

Con el fin de entender con mayor profundidad como funciona un Relleno Sanitario o un Relleno de Seguridad, es importante conocer cual es la composición de los residuos y su fuente de generación. Existen cuatro categorías de clasificación de residuos de acuerdo a su origen.

En primer lugar se encuentran los Residuos Domiciliarios, los cuales provienen de casas de familia, colegios e instituciones públicas y privadas, y están compuestos por Residuos sólidos orgánicos, papel, cartón, plásticos, textiles, residuos de jardín (podas), vidrios, latas, entre otros.

En segundo lugar, pueden mencionarse los Residuos Comerciales, que provienen de comercios, supermercados, oficinas, hoteles y restaurantes. Estos están compuestos por residuos sólidos orgánicos, papeles plásticos, cartones, vidrio y madera principalmente.

Luego, están los Residuos de Construcción y Demolición provenientes de obras nuevas, remodelaciones o demoliciones. Se componen de hormigón, escombros, maderas y metales.

Por último, los Residuos Industriales, compuestos de elementos industriales compatibles con los residuos domiciliarios (industriales no peligrosos). A todos estos se los denomina Residuos Sólidos Urbanos y son los que tienen como destino final los Rellenos Sanitarios.

En la Figura 3.3.3 se muestra un diagrama de la composición porcentual de los Residuos Sólidos Urbanos según el tiempo de material:

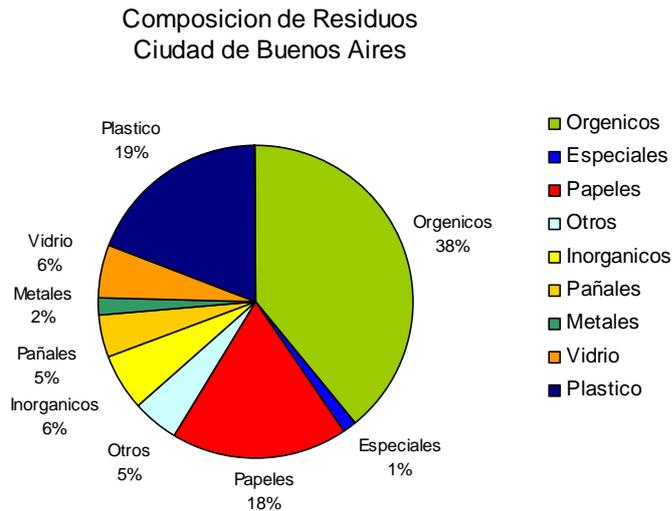


Figura 3.3.3.Composición de Residuos en la Ciudad de Buenos Aires

En los Rellenos de Seguridad, se le da destino final a residuos especiales provenientes de diferentes orígenes, y los cuales deben ser tratados de manera diferencial debido a su composición de metales pesados. Existen actualmente cuatro Rellenos de Seguridad en la provincia de Buenos Aires y uno en la provincia de Córdoba.

3.3.1 Etapas Previas a la Construcción de un Relleno

El Relleno Sanitario y los Rellenos de Seguridad tienen como principal finalidad, proveer un destino final seguro a los residuos sólidos que se generan en los núcleos urbanos e industriales. Es así que dado que este necesita contar con una serie de características que garanticen el correcto funcionamiento de los mismos, es muy importante realizar una etapa previa a la construcción del mismo que conste principalmente de la planificación y análisis exhaustivo de cada una de las etapas que permitirán la instalación del Relleno.

Entre estas etapas se encuentra el análisis de las características del emplazamiento seleccionado y sus alrededores, la preparación del terreno, el diseño de las obras de infraestructura, entre otras. Una vez desarrollado el predio, es importante realizar un seguimiento del estado del suelo y las napas cercanas al terreno, realizando estudios de control ambiental y su integración al paisaje circundante.

Una de las primeras etapas a llevar adelante para la instalación de tanto del Relleno Sanitario como del Relleno de Seguridad es la selección del terrenos donde se ubicará el mismo, siendo ésta un de las etapas fundamentales para el adecuado funcionamiento del proyecto. Es por esto, que el análisis del terreno seleccionado debe contar con el estudio de los siguientes aspectos:

3.3.1.1 Ubicación

Debido a la tecnología que presentan los Rellenos Sanitarios, los mismos pueden instalarse en sectores cercanos a zonas urbanizadas, siempre contando con la aprobación de los vecinos de la zona. Asimismo, la legislación vigente requiere distancias mínimas necesarias entre el Relleno y las zonas urbanas, por lo que estos suelen emplazarse a determinada distancia de centros densamente poblados. La presencia de este tipo de instalación genera un incremento en la población avícola del lugar, por lo que distancias mínimas a aeropuertos son requeridas, al significar las aves un riesgo para el seguro funcionamiento del aeropuerto. Por último, uno de los puntos a focalizar al momento de presentar el proyecto de instalación del Relleno es la planificación de usos futuros del terreno: urbanizaciones, gasoductos, líneas de alta tensión, trazado de caminos, y demás.

3.3.1.2 Accesos

Actualmente, los residuos se trasladan en camiones, por lo que es fundamental que el emplazamiento seleccionado cuente con caminos que permitan el fácil acceso al mismo durante todo el año. En ocasiones, si el Relleno está localizado en áreas metropolitanas, es necesario contar con rutas alternativas que permitan desviar el tránsito de vehículos de manera que no atraviesen el Relleno.

3.3.1.3 Duración del Relleno

En tercer lugar, es necesario definir el período de tiempo durante el cual se pretende utilizar el emplazamiento seleccionado como Relleno Sanitario o de Seguridad, de manera de definir la superficie de terreno necesaria. En ocasiones, el tiempo es determinado por la superficie de terreno con la que se cuenta para la instalación del Relleno. Variables que permiten estos cálculos son: la producción de residuos, la compactación pretendida, la altura y el grado de asentamiento, entre otras.

Una vez tomada la decisión en cuanto a la ubicación del Relleno Sanitario, se efectúa una serie de estudios de manera de terminar de definir las últimas variables que permiten el planeamiento final del proyecto.

3.3.1.4 Obtención de Datos

Durante esta etapa se realiza un proceso de investigación y recolección de datos estadísticos con el fin de contar con información actualizada que permita profundizar en el diseño del Relleno en función de esta. Los principales datos a obtener pueden clasificarse de la siguiente manera:

a. Legislación Vigente

La finalidad es investigar las leyes, decretos y reglamentaciones relacionada con la gestión de residuos sólidos en las diferentes etapas (almacenamiento, transferencia, recolección, transporte, tratamiento y disposición final), protección del medio ambiente en cuanto a afectación del aire, agua y suelo, normas vigentes que reglamenten la construcción, instalación y equipamiento industrial que habilite la preservación de la seguridad e higiene ambiental y por ultimo leyes de ordenamiento territorial y uso del suelo.

b. Datos Estadísticos

La búsqueda de información se oriente a la generación de residuos sólidos (cantidad de calidad de residuos generados), cantidad de habitantes y la tasa de crecimiento poblacional prevista para el tiempo en el que dure la utilización del Relleno. Estas variables contribuyen a la determinación de la vida útil del mismo o dimensiones a construir, al proporcionar información acerca de la cantidad de residuos que podrán ingresar al Relleno. Adicionalmente, un estudio que identifique las actividades principales que se llevan a cabo en la zona de instalación, proporciona información acerca de los tipos de residuos que tendrán como destino final el Relleno.

c. Impacto Ambiental

Se define Impacto Ambiental como toda alteración provocada en el ambiente por la alteración del hombre, sea esta positiva o negativa, lo cual incluye la instalación de un Relleno. Es por esto que es de suma importancia realizar un análisis previo y evaluación del impacto que este provocara, para lo cual se cuenta con metodologías recomendadas por organismos internacionales que permiten la evaluación de tal Impacto, las cuales cuentan con básicamente tres etapas: en primer lugar la preparación de la infraestructura necesaria previa, en segundo lugar el periodo de recepción de residuos y por ultimo el post-cierre y control del área rellenada. La naturaleza del impacto ambiental generado puede ser inmediata o mediata y estable o temporal. Todo efecto negativo generado ya sea que este sea a corto o largo plazo, debe ser tratado correctivamente de manera de lograr su neutralización.

d. Datos Climáticos

Es relevante conocer información acerca de las condiciones climáticas que afectan el emplazamiento seleccionado al influenciar estas en aspectos que

involucran a este tipo de disposición final, en cuanto a intensidad y dirección de los vientos, precipitaciones, temperaturas tanto medias cuanto extremas y evapotranspiración. Conocer la intensidad y dirección de los vientos predominantes es importante para prevenir la posibilidad de problemas potenciales relacionados con el polvo y residuos livianos que pueden ser dispersados por el viento. Las precipitaciones son una de las principales preocupaciones en un Relleno Sanitario, ya que influyen en la determinación de la superficie del modulo, el diseño del sistema de drenaje para el escurrimiento, la influencia del agua en la generación de lixiviado y por otro lado la circulación de los camiones por los caminos de acceso del Relleno y por los caminos internos.

En lo referente a la evapotranspiración, la misma debe ser estudiada al considerar la generación de lixiviado y las condiciones de humedad presentes en la atmósfera, ya que determinaran el desarrollo de vegetación tras la cobertura del Relleno. Por último, información acerca de las temperaturas máximas y mínimas que se presentan en la zona son relevantes en cuanto a que altas temperaturas aceleran el proceso de degradación biológica de los residuos, así como las bajas temperaturas lo retrasan.

e. Estudio Hidráulico

Un punto fundamental en el estudio de viabilidad de instalación del Relleno Sanitario es el diseño de un adecuado sistema de drenaje del área de emplazamiento y zonas aledañas tanto aguas abajo como aguas arriba del mismo. Esto permitirá minimizar el efecto que el Relleno pueda tener sobre la topografía del terreno, teniendo en cuenta la situación de la cuenca hídrica sobre la que influirá el mismo. Es así que deben analizarse cuidadosamente la pendiente del modulo, la cobertura y la vegetación a implantar en la superficie del Relleno, ya que es necesario diseñar las mismas en función de la erosión que puedan sufrir.

Por último, se definen los criterios y metodologías necesarias para realizar el manejo de aguas superficiales que proviniendo de la superficie del relleno, deben ser incorporadas al caudal de líquido aguas abajo. Asimismo, el estudio de condiciones hidráulicas debe tener en cuenta la evacuación de aguas de lluvia para evitar la filtración de agua, diseñando un sistema que permita el escurrimiento de las aguas hacia canales que se dirijan fuera del área, para lo que también es necesario tener en cuenta la sobre elevación del terreno, ya que presentaría un obstáculo en el manejo de las aguas.

Una forma de manejar esta situación es mediante la proyección de canales que eviten el embalsamiento de estas, colocándolos de manera que rodeen el terreno.

Finalmente, en el caso que el Relleno Sanitario se planee cerca de algún curso de agua, es importante considerar los ciclos de crecienta del mismo y los niveles de crecimiento, de manera de no ignorar variables de inundación, y de ser necesario contemplar la construcción de perímetros con la incorporación de alguna cota que impidan el ingreso del agua al módulo.

f. Hidrogeología

Uno de los aspectos de mayor relevancia en el estudio de las condiciones del área seleccionada es el estudio de aspectos Hidrogeológicos, ya que los cuales determinan la viabilidad de instalación del Relleno y las limitaciones que las condiciones geológicas pueden presentar, al aportar información tanto acerca de las propiedades mecánicas y estructurales de los suelos y su permeabilidad cuanto de la ubicación, condiciones y escorrentía de las napas de agua subyacentes. Estos estudios definen los tipos de materiales a ser utilizados en las capas finales del Relleno, coberturas y construcciones, ya que presentan las características principales del área.

g. Topografía

Con el fin de realizar planos adecuados a los planos de la tierra, se estudian las características topográficas del terreno, recolectando información acerca de las curvas de nivel y cortes transversales de manera de realizar un adecuado balance de suelos. Asimismo, se realiza un relevamiento de las instalaciones eléctricas, de comunicaciones, cursos de agua, vías férreas, cañerías subterráneas que se encuentren disponibles en el área y zonas cercanas.

3.3.2 Estructura de un Relleno Sanitario y/o de Seguridad

Tanto el Relleno Sanitario como el Relleno de Seguridad están contruidos de manera tal de evitar que los residuos tomen contacto con el Medio Ambiente. Para ello, cuentan con una serie de capas que mantienen el aislamiento entre ambos sectores. En la Figura 3.3.4 puede observarse una fotografía aérea de un Relleno Sanitario.



Figura 3.3.4.Fotografía de un Relleno Sanitario

En la Figura 3.3.5 se muestra un esquema donde pueden verse las diferentes capas que constituyen un Relleno.

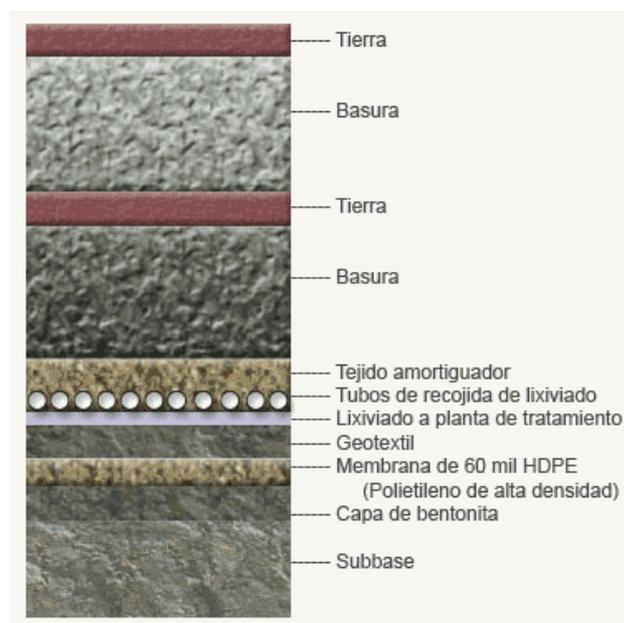


Figura 3.3.5.Fotografía de un Relleno Sanitario

3.3.2.1 Preparación del módulo

En primer lugar se realiza el retiro del suelo presente en el terreno seleccionado son el objeto de construir un hoyo en el suelo, el cual dará lugar al Relleno de Seguridad o Relleno Sanitario. Una parte de esta tierra debe ser acopiada adecuadamente con el fin de asegurar su utilización como cobertura final del terreno. La parte inferior del mismo, se utiliza en la conformación de espacios perimetrales, confirmación de bases y protección superior de la membrana de polietileno y primera capa de cobertura de los residuos, construcción de caminos y bermas interiores.

3.3.2.2 Módulo

Se denomina módulo al espacio en la tierra que según su unidad de diseño se rodea perimetralmente de un adecuado cerramiento y caminos que permitan el tránsito de vehículos recolectores tanto antes como después de la descarga.

El módulo a construir consiste en una unidad de diseño circundada perimetralmente por un terraplén de cerramiento y circulación, por donde transiten los vehículos recolectores antes y después de la descarga de los residuos. Desde el punto de vista constructivo, el módulo conforma un recinto estanco que impide la migración de líquidos lixiviados hacia el exterior del mismo, o se infiltren hacia el acuífero. Debe evitar además el ingreso de agua del exterior, (crecientes, lluvias).

3.3.2.3 Liner

El mayor propósito, y uno de los mayores desafíos del Relleno Sanitario y del Relleno de Seguridad, es contener los residuos de manera que no causen inconvenientes en el ambiente. El denominado "liner", que no es más que la capa final del Relleno, evita que los residuos tomen contacto con el suelo exterior a este. Asimismo, es imprescindible evitar mediante la colocación del liner, que tanto líquidos como gases migren hacia el exterior del módulo poniendo así en riesgo de contaminación a los suelos adyacentes y a sus aguas superficiales.

En primer lugar, al momento de la excavación del pozo, se prepara la Tierra que servirá de suelo del Relleno de manera que el mismo esté compacto y uniforme. A continuación, se agrega una barrera geológica artificial, para lo cual se utiliza la colocación de arcilla. Sobre ésta, se adhiere una capa de bentonita de por lo menos 0,5 m de espesor, cuyo valor de la constante k es igual a 1×10^{-7} cm/seg, lo cual la vuelve altamente impermeable. A continuación, se coloca un revestimiento artificial compuesto de una capa de espesor mayor o igual a 1,5 mm de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) recubierto con un material geotextil. Ambos materiales se caracterizan por ser altamente resistentes e impermeables. Sobre esto, se coloca lo que se denomina una geonet, cuya funcionalidad consiste en evitar que el PEAD sufra perforaciones producidas por las capas de roca y gravilla o por materiales duros presentes en los residuos.

En las capas que se colocan a continuación se define la principal diferencia entre un Relleno Sanitario y un Relleno de Seguridad. En el primero, luego de la geonet se coloca una capa de tierra y sobre esta los residuos. En el Relleno de Seguridad en cambio, se coloca otra capa de PEAD de al menos 2,5 mm de espesor y sobre el

mismo el geotextil nuevamente. Esta nueva capa de PEAD asegura la absoluta impermeabilidad del terreno.

A continuación, en ambos Rellenos, se coloca lo que se denomina Capa de Drenaje, las cuales consisten en la instalación de tubos de recolección de lixiviado y capa drenante. El lixiviado se forma al caer agua de lluvia en el Relleno y tomar contacto con los residuos, pudiendo arrastrar todo tipo de elementos químicos, incluidos metales. El Relleno esta construido con pendientes que permiten el funcionamiento de las capas de drenaje. El agua de lluvia, ahora lixiviado, es recolectada por los tubos y depositada en las capas de drenaje que las llevan hacia las Plantas de Tratamiento. Por ultimo, sobre los tubos se coloca un tipo de tejido amortiguador o geotextil que será lo que estará en contacto con los residuos. Por ultimo, suele colocarse una capa de tierra y luego los residuos.

3.3.2.4 Celdas

Probablemente, la mayor preocupación en un Relleno de Seguridad es el espacio, el cual esta directamente relacionado con la capacidad y vida útil del mismo. Si el espacio se incrementa, puede extenderse la vida útil del Relleno, lo cual puede lograrse mediante la compactación de los residuos en celdas que contienen solo los residuos acumulados durante un día. Estas celdas se construyen mediante la subdivisión del hoyo denominado módulo en diferentes sectores mediante la colocación de bermas de separación de carácter impermeable, las cuales no son mas que terraplenes de menor altura.

Uno de los principales motivos por los que se construyen las celdas es la intención de mantener los posibles líquidos lixiviados encerrados en la menor área posible, evitando así que entren en contacto con otros residuos o con el agua de lluvia. Es de especial cuidado el tratamiento del suelo de estas celdas, el cual debe ser de una superficie impermeable uniformemente tratada en todo el módulo. Asimismo, debe contar con pendientes que permitan el escurrimiento, control y extracción de lixiviado hacia los sistemas de recolección. A modo de ejemplo puede mencionarse que una celda puede tener aproximadamente las siguientes dimensiones: 15.25m x 15.25m x 4.26 m, siendo la cantidad de residuos acumulables dentro de una celda de 2,500 toneladas.

Mediante la compactación, puede reducirse el volumen de los residuos a aproximadamente 900 kg/m^3 . Este proceso se lleva a cabo mediante la utilización de maquinarias pesadas como tractores y demolidores, rodillos y niveladoras, que circulan sobre los residuos varias veces. Una vez que la celda está finalizada, es cubierta por 0,18 metros de tierra que también son luego compactadas. Las celdas se ubican en filas en forma contigua. De esta manera, una vez que los camiones

descargan los residuos al borde de la celda, maquinaria, como puede ser una topadora sobre orugas trabajando conjuntamente con un compactador de ruedas de acero, los conduce hacia el interior de esta, alejándolos del área de descarga. Al mismo tiempo, el compactador realiza las tareas de trituración y compactación de los residuos logrando un desgarramiento y desmenuzamiento de estos, tal cual puede observarse en la Figura 3.3.6.



Figura 3.3.6.Fotografía de tareas de compactación en un Relleno Sanitario

3.3.2.5 Sistema de drenaje de agua

Es de suma importancia mantener el Relleno lo más seco posible de manera de reducir la cantidad de lixiviado que pueda producirse. Existen dos maneras de realizar esto. La primera consiste en excluir todo tipo de líquidos del residuo sólido, lo cual significa que deben realizarse pruebas de agua a estos antes de ingresar al Relleno. Estas pruebas consisten en pasar los residuos a través de filtros durante aproximadamente diez minutos. Si una vez transcurrido este tiempo no se obtiene ningún líquido, el residuo es aceptado e ingresa al Relleno. La segunda manera consiste en no permitir que el agua de lluvia se acumule en el Relleno, para lo cual debe instalarse un sistema de drenaje para agua de lluvia. El mismo consiste de un sistema de cañerías de plástico que recolecta el agua de lluvia del Relleno y la conduce hacia cunetas que se encuentran alrededor de la base del mismo, tal cual se menciono anteriormente y como puede verse en la Figura 3.3.7.



Figura 3.3.7.Fotografía de las cañerías de drenaje

Las cunetas pueden construirse de hormigón o de grava (arena gruesa) y conducen el agua hacia estanques de recolección contruidos al costado del Relleno. Una foto de estos puede verse en la Figura 3.3.8. En estos, se permite que se asientan partículas de tierra. Luego, se realizan pruebas al agua de manera de determinar la presencia de químicos de lixiviado. Una vez que el agua resulta limpia de químicos, se permite que la misma fluya fuera del Relleno naturalmente o se impulsa mediante la utilización de bombas.



Figura 3.3.8. Fotografía de los estanques de recolección

En algunos Rellenos no se colocan las cunetas de drenaje alrededor del Relleno, sino que se llevan directamente hacia las piletas de recolección de lixiviados que están directamente conectadas a la Planta de Tratamiento de Lixiviado.

3.3.2.6 Sistema de recolección de lixiviado

Si bien los sistemas de drenaje de agua son cada vez más eficientes, existe una determinada cantidad de agua que logra ingresar al Relleno. Esta se filtra a través de las celdas tomando contacto con los residuos y recolectando sustancias contaminantes como químicos orgánicos e inorgánicos, metales, productos de desecho biológico, entre otros. El componente conformado de agua y los contaminantes se denomina lixiviado, y es típicamente de naturaleza ácida.

Estos lixiviados deben ser extraídos del Relleno de Seguridad o Relleno Sanitario de manera de ser transportados a plantas de tratamiento donde sean depurados hasta alcanzar parámetros de concentración que permitan su vuelco. El diseño y construcción de las bermas y drenaje en el interior del módulo, debe ser tal que se logre una separación efectiva de las aguas de lluvia de los líquidos lixiviados, y minimicen al máximo el volumen a tratar. Es así que con el fin de recolectar el lixiviado, cañerías perforadas se colocan a lo largo del Relleno, las cuales luego drenan en una cañería de lixiviado que lo conduce hacia un estanque de recolección de lixiviado (Figura 3.3.9), mediante la utilización de bombas o naturalmente mediante el aprovechamiento de la gravedad.



Figura 3.3.9. Fotografía de los estanque de recolección de lixiviado

Se realizan pruebas en el estanque de lixiviado con el fin de determinar los niveles de diferentes químicos como demandas de oxígeno químicas y biológicas, químicos orgánicos, pH, calcio, magnesio, hierro, sulfuros y clorhídricos, presentes en el lixiviado. Tras el testeo, el lixiviado debe ser tratado como cualquier agua residual, lo cual puede realizarse en el mismo predio o fuera de el.

3.3.2.7 Sistema de recolección de metano

En los Rellenos de Seguridad se evita la presencia de aire, lo cual trae como consecuencia la falta de oxígeno. Las bacterias que se encuentren en el Relleno, en ausencia de oxígeno (proceso anaeróbico), descomponen los residuos. Uno de los productos de este proceso es el gas natural, el cual contiene aproximadamente un 50% de metano y un 50% de dióxido de carbono, más pequeñas cantidades de nitrógeno y oxígeno. La presencia de estos componentes representa un riesgo significativo ya que el metano puede producir explosiones o inflamarse, lo cual vuelve la necesidad de remover el gas natural del Relleno de suma importancia. Para esto, se coloca una serie de cañerías empotradas dentro del Relleno (Figura 3.3.10) con el fin de recolectar el gas, el cual puede ser luego venteado o incinerado (Figura 3.3.11).



Figura 3.3.10. Cañerías de recolección de metano



Figura 3.3.11. Sistema de incineración de metano

Recientemente, investigaciones han probado que este gas puede ser una fuente de energía. El metano puede ser extraído del gas y utilizado como combustible o comercializado. El sistema de extracción consiste de un sistema de división, lo cual significa que el metano puede ser conducido hacia la caldera o hacia el sistema de ignición donde puede quemarse. Otra alternativa posible, es la compresión del gas convirtiéndolo en líquido (Gas Natural Licuado) con el fin de comercializarlo.

3.3.2.8 Capa Superior

Una vez que se alcanza la cota final de la celda, se realiza la cobertura final de la misma. Diariamente, cada celda se cubre de 0,2 m de mínimo espesor de tierra compactada y luego una capa de suelo arcilloso compactado de alrededor de 0,4 m de mínimo espesor, las cuales sellan los residuos compactados previniendo su contacto con el aire y con animales que pueden dañar la estructura del terreno como pájaros, ratones o insectos, minimiza el ingreso de agua de lluvia, evita la emanación de olores y posibilita que comience la etapa de descomposición anaeróbica de los residuos.

Esta capa ocupa espacio, el cual es una de las principales preocupaciones en un Relleno, por lo cual investigadores han comenzado a experimentar con materiales como cemento, papel o telas impermeables que reduzcan el espacio ocupado por las capas cobertoras, reduciendo en 6 centímetros el espacio ocupado. Es importante mencionar que la capa superior del módulo debe ser uniforme y libre de depresiones que permitan y/o faciliten la acumulación de agua sobre el terreno, y en el caso que se originen asentamientos diferenciales se debe proceder a su corrección.

Una vez finalizada una sección del Relleno, la misma se cubre de manera permanente con una capa de Polietileno de Alta Densidad de 1,5 milímetros, sobre la cual se coloca la malla drenante compuesta por la geored cubierta de geotextil. Sobre esta estructura se coloca en primer lugar tierra soporte y luego tierra vegetal.

Sobre esta tierra se realiza trabajos de vegetación con el fin de prevenir la erosión del suelo por la acción de lluvias y viento (Figura 3.3.12). En general la vegetación plantada consiste de pasto y kudzu, un tipo de planta cultivada originalmente en China. Es importante seleccionar adecuadamente el tipo de vegetación a plantar. No se permite la plantación de árboles, arbustos o plantas con raíces largas y penetrantes para evitar que estas tomaran contacto con los residuos que se ubican debajo de la capa de tierra y pudieran producir el filtrado de lixiviado fuera del Relleno.



Figura 3.3.12. Vista final del Relleno cerrado

Ocasionalmente, el lixiviado puede filtrarse a través de puntos débiles de la capa cobertora y salir a la superficie, lo cual puede verse como una sustancia burbujeante de color negro, como puede observarse en la Figura 3.3.13. Con el tiempo, puede teñir la tierra de color rojo. Este tipo de filtraciones es rápidamente reparada mediante la excavación de la superficie que se encuentra alrededor de la zona afectada, la cual se rellena con tierra compactada. Esto se realiza de manera tal que el flujo de lixiviado es desviado de vuelta al Relleno.



Figura 3.3.13. Filtración de lixiviado

3.3.2.9 Monitoreo de las napas de agua

En varios puntos de la superficie que rodea el terreno, se instalan estaciones de monitoreo de las napas de agua, las cuales pueden verse en la Figura 3.3.14. Estas estaciones son cañerías que se inundan en las napas de manera que el agua pueda

ser muestreada y evaluada en la presencia de químicos de lixiviado. Asimismo, se mide la temperatura del agua, ya que en la medida que los residuos sólidos se descomponen, la temperatura de las napas de agua aumenta, por lo que si se detectan aumentos de temperatura, esto podría indicar que el lixiviado se pudo haber filtrado a las napas. De ocurrir esto, el pH del agua se vuelve ácido, por lo que el pH es otro de los factores testeado.



Figura 3.3.14. Estaciones de monitoreo de las napas de agua

3.3.2.10 Post cierre

Periódicamente se realizan relevamientos del Relleno terminado con instrumental topográfico apropiado, a fin de seguir la evolución de los asentamientos producidos. Antes de la instalación, durante la operación y luego del cierre del Relleno se llevan a cabo las correspondientes tareas de control ambiental para comprobar que no se estén produciendo afectaciones al aire, al suelo o a las aguas subterráneas y superficiales.

Una vez cerrados los módulos del Relleno, continúan los trabajos de seguimiento y control. En efecto, durante la descomposición de los residuos depositados, éstos disminuyen su volumen, descendiendo el nivel superior del módulo cerrado. En vista de la heterogeneidad de los residuos, se pueden producir diferentes magnitudes de asentamientos en distintas áreas del relleno, generándose desniveles o hundimientos en los que se puede acumular agua que luego podría entrar al relleno y sumar volumen al líquido lixiviado. Se debe controlar y corregir la producción de estos asentamientos diferenciales.

Asimismo, se pueden producir horadaciones por efecto de la erosión hídrica que deteriorarían la cobertura y por lo tanto deben ser rápidamente corregidas. De la misma manera, en caso de producirse pérdidas de líquido lixiviado deben ser rápidamente corregidas y no permitir que el líquido salga fuera de los límites del módulo. Sobre el módulo también se debe controlar y corregir la cobertura vegetal,

cortando el pasto regularmente y resembrando cuando sea necesario, a fin de mantener la estética del relleno y evitar la erosión hídrica. También continúa la extracción y tratamiento de gases y líquidos lixiviados. Permanentemente se debe controlar el estado de los canales de desagüe y alcantarillas, efectuando las correcciones y tareas de limpieza que fueran necesarias para mantenerlos permanentemente operativos.

3.3.2.11 Planta de tratamiento de lixiviados

Las Plantas de Tratamiento reciben lixiviado de una serie de piletas de recolección, por lo que tiene un funcionamiento continuo. Una vez que llega el lixiviado a la Planta, se realiza en primer lugar una adecuación del pH, para lo cual se realiza la precipitación de hidróxidos y óxidos que se hayan recolectado en el lixiviado. Luego, se utiliza un floculante, el cual es usualmente Cloruro Férrico, con el fin de formar agregados por agrupación de cantidad de carga y adsorber materia orgánica. Al formarse los agregados estos quedan flotando en la solución de lixiviado. En tercer lugar, se utiliza un poli electrolito para neutralizar las cargas y aglomerar los agregados. De esta manera, se logra la formación de barros, en completa separación del agua. Por último a través de un ligante se persigue la estabilización. Una vez que se realizan pruebas de pureza al agua, se determina que está totalmente libre de óxidos e hidróxidos. El barro es re-direccionado nuevamente al Relleno.

3.3.2.12 Operatoria de Recepción de Residuos

- Ingreso al Relleno Sanitario
- Control de recepción (Generadores Privados)
- Pesaje de los residuos a disponer
- Control Técnico en la descarga
- Descarga de los residuos
- Tareas de distribución de los residuos descargados
- Tareas de Compactado de los residuos
- Verificación de la tara del vehículo transportador de los residuos

Como ejemplo, puede mencionarse que un Relleno Sanitario localizado en la provincia de Buenos Aires puede recibir diariamente más de 15.000 toneladas de Residuos Sólidos Urbanos por día.

3.3.3 Las Pilas como Residuos en Rellenos

Como mencionamos anteriormente, los residuos municipales son aquellos que se generan en casas de familia, colegios, instituciones públicas y privadas. Las Pilas

pueden considerarse dentro de este tipo de residuos. Elementos como Plomo, Cadmio, Mercurio, Níquel, Cobalto, Cromo, Vanadio, Fósforo, y Litio se encuentran presentes en las Pilas y pueden llegar a tener, en grandes concentraciones, efectos adversos tanto en el ambiente como en la salud humana de tomar contacto con esta. A continuación, se detallan algunos de los efectos que estos elementos pueden generar en las personas.

3.3.3.1 Efectos del Cadmio

En caso de ser inhalado, el cadmio puede producir efectos adversos en los pulmones, entre las cuales puede mencionarse la irritación pulmonar. De prolongarse la inhalación en el tiempo, pueden producirse efectos crónicos como acumulación de cadmio en los riñones, lo cual puede derivar en enfermedades de riñón. Estudios en animales han demostrado que exposiciones prolongadas pueden generar cáncer de pulmón.

3.3.3.2 Efectos del Plomo

La exposición al plomo puede ocurrir de respirar aire contaminado en un lugar de trabajo, o del polvo presente en los hogares o de tipos de comida contaminada. El plomo es un elemento considerablemente tóxico que puede generar una serie de efectos importantes en bajos niveles de exposición. Entre ellas puede mencionarse daño cerebral y renal y stress gastrointestinal, como consecuencia de exposiciones de corto plazo. Exposiciones crónicas en humanos pueden resultar en efectos en la sangre, sistema nervioso, presión sanguínea y riñones. Los niños son particularmente sensibles a la exposición al plomo, pudiendo sufrir desarrollo cognitivo lento, crecimiento reducido y otros efectos.

3.3.3.3 Efectos del Mercurio

Exposición aguda al mercurio puede producir efectos graves como ceguera o sordera. En el tiempo puede generar alteraciones en el sistema nervioso produciendo visión borrosa, dificultad en el habla y constricción visual del espacio.

Una vez depositadas en Rellenos de Seguridad, las Pilas toman contacto con otros residuos sólidos municipales y se espera que sufran un proceso natural de descomposición del container, el cual está compuesto en general de acero o plástico. Esta descomposición depende de la resistencia eléctrica del container y de su contenido de agua, salinidad, temperatura, pH, contenido de oxígeno, composición química y la cantidad de bacteria que rodee la Pila.

Una vez que esto sucede, existe la posibilidad que se produzca lo que se denomina el lixiviado, que no es más que la sustancia producto de la disolución de metales en agua. Si esto sucede, esta sustancia puede migrar a través de las zonas del Relleno no saturadas hacia las zonas saturadas. Dependiendo de la calidad de la capa final utilizada en la construcción del Relleno Sanitario o Relleno de Seguridad, estos metales estarán contenidos dentro de un sistema de control que impedirá que los metales pesados lleguen al ambiente fuera del Relleno y con el riesgo de llegar a las napas de agua. Es por esto que la construcción del Relleno es uno de los puntos esenciales para cuidar el medio ambiente de la contaminación.

Estudios realizados demuestran que las contribuciones de los metales pesados presentes en las Pilas depositadas en rellenos sanitarios a las emanaciones al agua son en el peor de los casos menores al 1,3%.

3.4 RECICLAJE

Actualmente en la Argentina existe un centro de Reciclaje de Pilas que cuenta con la suficiente tecnología y capacidad como para procesar un total de 3.500.000 Pilas Secundarias por año. El mismo se encuentra en la provincia de Santa Fe. Actualmente, dado que no existe en la Argentina un procedimiento nacional de recolección, este centro no se encuentra reciclando Pilas. En el pasado, ha realizado experiencias con compañías de teléfonos celulares que de forma independiente han tenido la iniciativa de enviar una determinada cantidad de Pilas a este centro, siendo los resultados ampliamente positivos.

Luego de la recepción de las Pilas en la Planta mismas son almacenadas en depósitos, una vez realizado un pre-tratamiento para su acondicionamiento. 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. Los containers de las Pilas se desarman y se separan los materiales plásticos de los metales.

3.4.1 Procesamiento de las Pilas de Níquel Metal Hidruro

Uno de los procesos más directos, es aquel que se realiza a las Pilas de Níquel Metal Hidruro. La planta cuenta con dos hornos rotativos que trabajan a 1000 °C, y una variación de $\pm 100^{\circ}\text{C}$, uno de los cuales puede verse en la Figura 3.4.1. Estos hornos están conectados a una cámara de post-combustión en la cual la temperatura de trabajo es de 1000 °C, y una variación de $\pm 100^{\circ}\text{C}$ y el tiempo de residencia de los gases de combustión es de 2,5 segundos.



Figura 3.4.1. Fotografías del horno rotativo

Los hornos trabajan con oxígeno puro como comburente, que proporciona mayor eficiencia y menor emisión de gases contaminantes (NO_x). Los gases producidos en

la incineración son tratados en un complejo tren de lavado (Figura 2.4.2) de humos, donde se regula su pH y se retiene el material particulado.



Figura 3.4.2. Fotografía del tren de lavado de humos

En el tren de lavado se controlan con un analizador de gases marca Testo 350 (calibrado semestralmente) y con un pHmetro on line

Las Pilas de Níquel Metal Hidruro son sometidas a proceso de termo destrucción en hornos rotativos a 1100°C, manteniéndose los gases de salida a 1200°C durante 2,5 segundos en una cámara de post-combustión. Una vez terminado el proceso, las cenizas de incineración son vitrificadas, procesos que se explicarán mas adelante.

3.4.2 Procesamiento de las Pilas de Níquel Cadmio y Plomo

Por otro lado, las Pilas de Níquel Cadmio son enviadas a un horno multitubular asistido con calefacción indirecta, introduciéndose las mismas por la parte superior del horno en 12 tubos dispuestos de manera oblicua. Una vez terminado el proceso de carga, los tubos son tapados. Se enciende el quemador oxi-gas, el cual eleva la temperatura a 400 °C, condición que se mantiene durante una hora. Esta etapa es la que se denomina etapa de craqueo de plásticos, donde precisamente se separan los componentes plásticos.



Figura 3.4.3. Fotografías del horno multitubular

En una segunda etapa, se aumentan los caudales de oxígeno, lo cual permite alcanzar una temperatura de 1000 °C, temperatura que se mantiene durante aproximadamente tres horas y media. Durante esta etapa, se realiza la destilación del cadmio, separándose de metales más pesados como el níquel y el hierro. Esto se debe a la característica distintiva del cadmio que es su destilabilidad a temperaturas determinadas. Cumplido el período de tres horas y medias, el horno se apaga y se deja enfriar.

Como producto principal del proceso se obtiene cadmio, el cual es retirado y trasladado a un crisol donde se realiza la colada en lingoteras para su purificación. Se obtiene adicionalmente una aleación de Níquel Hierro que puede ser utilizada como materia prima en fundiciones de aceros especiales.

Por último, se obtiene como producto secundario un destilado de productos livianos de craqueo, que son recogidos en un tanque para su posterior utilización como combustible alternativo. Los residuos derivados de esta actividad son tratados por termo-destrucción en el que se realiza la fundición de los mismos y las cenizas obtenidas son vitrificadas. El mismo procedimiento se aplica a las Pilas con contenido de plomo.

El horno de vitrificación es utilizado también para la recuperación de metales. El plomo procedente del tratamiento de Pilas 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 el aluminio.

3.4.3 Tratamiento de cenizas

Las cenizas generadas durante la incineración y aquellas separadas de las operaciones de lavado, decantación, filtración, etc. son sometidas a un proceso de vitrificación en un horno diseñado para tal fin (Figura 3.4.4). Regularmente se

realizan análisis de lixiviado a las cenizas vitrificadas. La vitrificación permite que materiales no utilizables y ambientalmente riesgosos (cenizas) se transformen en un material totalmente inerte (vidrio) que puede ser reutilizado, por ejemplo, como material de carga en pisos y contrapisos y en la fabricación de abrasivos.

El vidrio posee baja conductividad eléctrica y térmica, es relativamente impermeable a los gases y es inerte a los agentes químicos, excepto ácidos fluorhídricos, fluosilícico y soluciones fuertemente alcalinas en caliente. No es combustible, ni tóxico.



Figura 3.4.4.Horno de Vitrificación

3.4.4 Control de emisiones gaseosas

Los gases provenientes de la cámara de post-combustión, después de pasar por el sistema de enfriamiento-lavado-neutralización, son monitoreados con un analizador de gases modelo Testo 350 que es calibrado semestralmente. Este equipo trabaja en frecuencia horaria y cada análisis se imprime y queda archivado.

IV. ESTUDIOS INTERNACIONALES

A lo largo de la historia, diversos países han realizado estudios científicos con el fin de determinar el impacto que las Pilas puedan tener sobre el Medio Ambiente. En todos ellos se evalúa teniendo en cuenta la toxicidad de los elementos que componen las Pilas, así como las cantidades de estos elementos que presentan las mismas. Por último, se considerará como estos elementos pueden o no tomar contacto con el ambiente.

4.1 ESTUDIO DE LA UNIVERSIDAD DE FUKUOKA

El estudio más significativo presentado hasta el momento, fue realizado por científicos de la Universidad de Fukuoka en Japón junto con científicos de la Asociación de Pilas de Japón. El mismo se inició en el año 1983 cuando comenzó a cuestionarse el impacto que el mercurio presente en las Pilas pudiera tener en el Medio Ambiente, a raíz de un artículo publicado en una revista de alta difusión de ese país.

Para ese entonces, Japón demostraba un gran crecimiento tecnológico, especialmente en la miniaturización de elementos electrónicos. La producción de pilas aumentaba año a año, generando una serie de programas de disposición final de pilas, donde las mismas eran tratadas tanto como elementos combustionables como no combustionables. Estas pilas eran o bien enviadas a hornos de incineración o depositadas en Rellenos Sanitarios o de Seguridad. Con el tiempo, comenzó a cuestionarse el impacto del mercurio en el Medio Ambiente. En 1983 se consumía en Japón un total de 230 toneladas de mercurio por año, de las cuales alrededor del 45% correspondía a Mercurio proveniente de Pilas secas. Así es como la Asociación de Pilas de Japón comenzó a involucrarse en el estudio de reducción de mercurio en Pilas y en el efecto que el mercurio proveniente de Pilas usadas podía causar en el Medio Ambiente, comenzando así el estudio que mencionaremos a continuación.

En 1993 el mercurio se utilizaba en las pilas como un anticorrosivo en el electrodo negativo de las mismas. En ese momento se consideraba muy difícil la extracción de mercurio del sistema energético de las Pilas. Sin embargo, en 1990 se presentó la primera pila de Carbón Zinc sin agregado de mercurio y para el año 1991 salió al mercado la primera pila Alcalina sin agregado de mercurio. Adicionalmente, en 1995 se presentó la primera pila de Zinc Aire, la cual reemplazó totalmente, es decir en todos sus usos, a la pila de mercurio. A partir de ese momento, los avances tecnológicos alcanzados en los sistemas que conforman las Pilas fueron cada vez mayores, disminuyendo así la presencia de los metales pesados en la misma.

Mas allá de esto, el Estudio de Fukuoka continuó y hoy nos permite evaluar el comportamiento del container de las Pilas una vez depositado en un Relleno, lo que nos permite evaluar, con los sistemas de hoy en día, el efecto que las Pilas de hoy

pueden tener en el Medio Ambiente. Asimismo, dentro de los estudios realizados, se evaluó la presencia de Plomo y Cadmio en el lixiviado y sus emanaciones al ambiente.

Los principales objetivos de la investigación consistieron en el estudio de la tasa de lixiviado del mercurio y otros metales pesados, el estudio de la tasa de vaporización del mercurio y finalmente el estudio del grado de corrosión de las Pilas usadas cuando enterradas en tanques que simulan el estado en un Relleno Sanitario. Este último punto, nos permite evaluar, más allá de la presencia de mercurio, el impacto de todas las Pilas en el Medio Ambiente.

En una primera instancia, el estudio se focalizó en el comportamiento del mercurio como elemento en residuos, el cual luego dio lugar en 1985 el estudio de larga escala: el estudio del comportamiento a largo plazo del mercurio contenido en Pilas depositadas en Rellenos Sanitarios o de Seguridad.

El estudio se realizó con dos tipos de Rellenos utilizados en Japón: semi-aeróbicos y anaeróbicos. Se construyeron ocho tanques experimentales de larga escala cilíndricos de 1m de diámetro y 4,3 m de altura.

Este consistió en el armado de 4 tanques anaeróbicos de las mismas características estructurales que aquellas necesarias en un Relleno Sanitario. En cada uno de los tanques se colocaron diferentes tipos de Pilas Primarias cada 10 cm de altura de basura colocada en el Tanque de manera de simular la distribución normal en un Relleno, de la siguiente manera:

- Tanque 1: Pilas de Mercurio, Alcalinas y Zinc Carbón
- Tanque 2: Alcalinas
- Tanque 3: Zinc Carbón
- Tanque 4: Sin Pilas

Un esquema de los Tanques utilizados para el estudio puede verse en la Figura 4.1.1 y una foto de los mismo en la Figura 4.1.2.

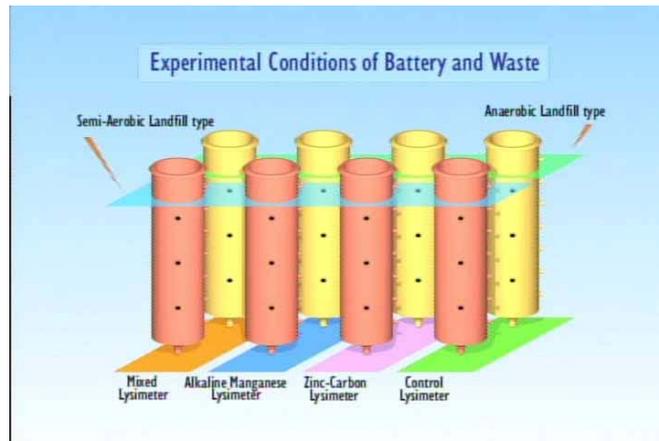


Figura 4.1.1. Esquema de los tanques aeróbicos y anaeróbicos



Figura 4.1.2. Foto de los tanques (Año 2005)

Cada tanque tenía una capacidad de 4 toneladas de basura, principalmente no combustible. El mercurio total contenido en cada tanque se colocó de manera de imitar la cantidad habitual de mercurio en un Relleno. Para eso se colocó una cantidad de 0,2 gramos de mercurio por tonelada proveniente de los residuos depositados en el tanque, y entre 0,2 y 3, dependiendo del tipo de Pilas contenidas en el tanque, proveniente de las Pilas, según se muestra en la Tabla 4.1.1.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4
Residuo	0,20			
Pilas	2,48	2,95	0,22	0
Total	2,68	3,15	0,42	0,20

Tabla 4.1.1. Cantidad de mercurio en el residuo por Tanque

Diez, quince y por último veinte años en 2005, después del sellado de los Tanques, los mismos fueron desenterrados obteniéndose las Pilas inicialmente enterradas (Figura 4.1.3) y sometidos a diferentes estudios. El objetivo era comparar los resultados obtenidos en los diferentes tanques de manera de determinar la influencia de las Pilas Primarias en los resultados.



Figura 4.1.3. Muestra de Pilas obtenidas de los Tanques sometidos a estudio.

En cuanto a la cantidad de mercurio en el lixiviado, se obtuvieron volúmenes de entre 0 y 0,0004 mg/l, los cuales son menores al nivel ambiental Standard el cual es 0,0005 mg/l, tal cual puede observarse en la Figura 4.1.4. Asimismo, no se encontraron diferencias significativas entre las cantidades de mercurio presentes en los distintos Tanques, incluyendo el Tanque 4, el cual no contiene Pilas Primarias. Es así que el Estudio concluye que el impacto de las Pilas puede considerarse insignificante. Los mismos resultados se obtuvieron respecto de otros metales como el plomo y el cadmio. Como conclusión, puede decirse que la migración y descarga de estos fueron insignificantes.

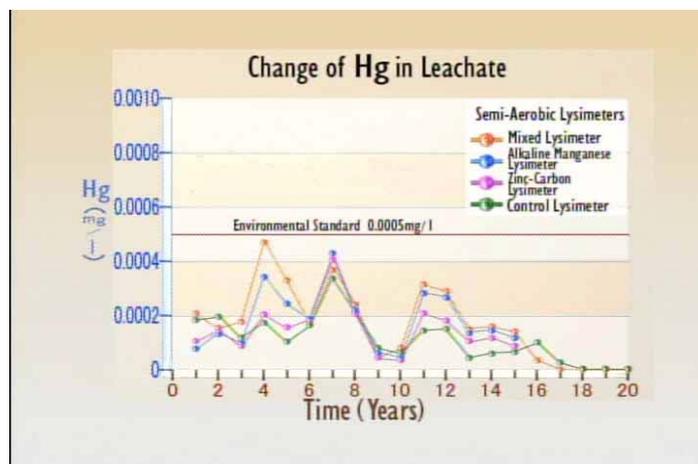


Figura 4.1.4. Gráfico de evolución del lixiviado en los Tanques aeróbicos.

	Tanque 1	Tanque 4
Mercurio	0,16 %	0,16%
Cadmio	0,58 %	0,69 %
Plomo	0,03 %	0,03%

Tabla 4.1.2. Porcentaje de mercurio en el lixiviado respecto de la cantidad inicial de mercurio presente en los tanques de estudio

Las conclusiones obtenidas respecto de la difusión de mercurio vaporizado se basaron en la medición de la concentración de mercurio vaporizado en rellenos sanitarios. Los tanques fueron divididos en tres sectores: superior, media y baja. Los resultados obtenidos en el sector medio de los tanques semiaeróbicos (Figura 4.1.5.), un promedio de entre un décimo y cuatro decimos de un microgramo por metro cúbico de concentración de mercurio vaporizado fue encontrado, lo cual significa entre un décimo o un centésimo del nivel Standard ambiental. De la misma manera que en las conclusiones obtenidas respecto del lixiviado, no se encontraron diferencias entre las emanaciones de los diferentes Tanques, por lo que se concluye que la influencia de estas Pilas es también insignificante.

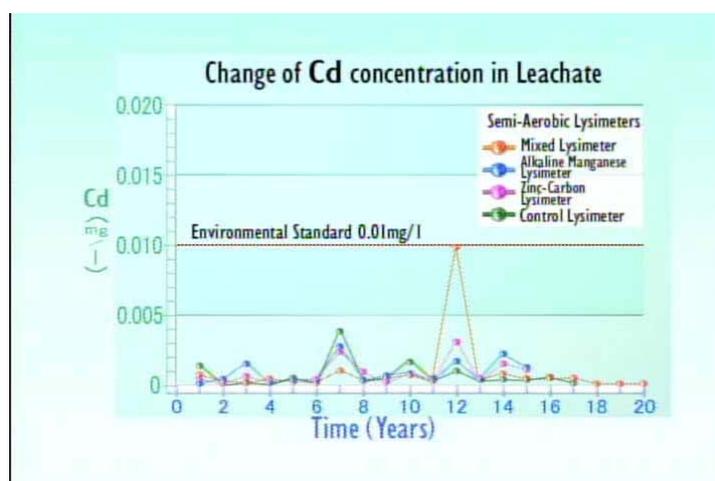


Figura 4.1.5. Gráfico de evolución del lixiviado en los Tanques semi-aeróbicos.

Con el fin de establecer los niveles de vaporización emanados por la superficie del tanque experimental, se utilizó el método de cámara para medir la tasa de vaporización. Durante un año se midieron los niveles de emanación de mercurio, descubriéndose que un total de entre dos decimos y cinco decimos en porcentaje de la concentración inicial de mercurio se difundió por la superficie hacia la atmósfera durante veinte años.

En 2005, los tanques fueron desmantelados, concluyendo el estudio experimental. Durante las primeras instancias de la experiencia, se sospechaba que los containers fueran a descomponerse por acción electrolítica de los Rellenos, y el mercurio fuera a filtrarse hacia las napas de agua y el medio ambiente. Sin embargo, tras veinte años, la mayoría de las Pilas conservaban su estructura inicial, solo algunas habían sufrido descomposición. Las variables que facilitaban la descomposición se encontraron en los tanques anaeróbicos, lixiviado y sobretiempo. Más allá de esto, se descubrió que las Pilas usadas no sufren el proceso de descomposición. Por último, tras medir la cantidad de mercurio presente en las Pilas depositadas en los tanques, se descubrió que el 94% del Mercurio estaba presente aun tras 20 años en

la Pila y que un 90% del contenido total del Mercurio inicialmente depositado en el tanque permanecía dentro del mismo tanque.

Los factores que se investigaron como influyentes en la corrosión del container de las Pilas fueron: en primer lugar las condiciones del Tanque, cuyo efecto tiende a disminuir con el tiempo, lo cual significa que en el largo plazo las diferentes composiciones tienden a tener el mismo efecto; y en segundo lugar el voltaje al momento del enterramiento de la Pila Primaria, el cual es importante durante el primer año cuando se produce la corrosión electrolítica y luego se anula.

Se descubrió que mayores grados de corrosión se obtienen al enterrar Pilas cargadas en basura anaeróbica. Asimismo, se observó que la corrosión sucede principalmente durante el primer año de enterramiento, siendo luego su influencia mucho menor.

Más allá de estos datos, en los Tanques iniciales se observó que el grado de corrosión evidenciado tras 10 años es significativamente chico. Asimismo, la corrosión sucedió principalmente en el exterior de la Pila Primaria, manteniéndose el interior prácticamente intacto. Es importante destacar que estos resultados fueron obtenidos de Pilas Primarias enterradas con carga, lo cual aumenta las posibilidades de corrosión. En los rellenos sanitarios, las Pilas Primarias son principalmente enterradas con carga residual.

Como conclusión, puede resaltarse que el Mercurio de las Pilas depositadas en Rellenos Sanitarios o Rellenos de Seguridad, se evapora parcialmente difundiéndose hacia la atmósfera, sin embargo estos niveles fueron insignificantes. Adicionalmente, es importante mencionar que no se encontraron rastros de mercurio en el lixiviado. Se descubrió que el mercurio que conseguía filtrarse de las Pilas que habían sufrido el proceso de descomposición, se mantiene dentro del Relleno al encapsularse con los residuos del mismo, no migrando hacia el Medio Ambiente. Por último, no se detectó mercurio orgánico tras veinte años dentro del Relleno.

A raíz de todos estos resultados, puede concluirse que el mercurio proveniente de Pilas depositadas en Rellenos Sanitarios o de Seguridad no migra hacia el Medio Ambiente, aun en el largo plazo.

Si bien este Estudio se focaliza en el estudio del mercurio, un elemento que en los sistemas actuales que conforman las Pilas Primarias no presenta una concentración relevante, muestra cual es la tendencia del comportamiento de los metales pesados una vez depositados en un relleno sanitario. A grandes rasgos, el Estudio muestra como el impacto del mercurio en el ambiente fuera del relleno sanitario es prácticamente insignificante. Esta misma conclusión puede extenderse a otros

metales pesados, lo cual significaría que si la estructura actual de las Pilas Primarias y la construcción del relleno sanitario poseen la suficiente tecnología como para impedir que los elementos potencialmente tóxicos tomen contacto con el Medio Ambiente. Como conclusión, puede recomendarse que las Pilas Primarias sean depositadas junto con los Residuos Domiciliarios con destino a rellenos sanitarios.

4.2 ESTUDIO DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE FRANCIA

En Abril del 2006 la agencia principal de investigación del Ministerio de Medio Ambiente de Francia emitió un informe por medio del cual cuestiona las políticas de gobierno vigentes en ese país durante un largo periodo de tiempo. Estas políticas incluyen la separación de las Pilas de los Residuos Sólidos Urbanos y ordenan la aplicación de programas de reciclado subvencionados por los productores.

El informe, “Eficiencia de los Procedimientos de Pilas” indica que los programas de recolección y reciclado discriminados en vigencia desde mediados de la década del 90 son medios costosos e ineficientes desde el punto de vista económico para la gestión de los riesgos ambientales relacionados con las Pilas gastadas. Asimismo, remarca que los límites estrictos del contenido de mercurio redujeron radicalmente los potenciales impactos ambientales de la mayoría de las pilas comunes. La incineración o los Rellenos son alternativas eficaces al reciclado. Según el informe, ambas representan un mínimo nivel de riesgo para el medio ambiente no aumentan el nivel existente.

La metodología utilizada tiene como eje el análisis económico de los métodos utilizados en Francia hasta ese momento, desglosando los costos de la siguiente manera para el proceso de Reciclaje:

- Recolección Primaria: A través de los Rellenos o de los Distribuidores
- Recolección Secundaria: Centros de Recolección y transporte a Deposito Transitorio
- Clasificación y Transporte a Centro de Reciclaje
- Reciclaje
- Costos administrativos y de comunicación

En cuanto a los costos de inclusión de las Pilas en el canal de Residuos Sólidos Urbanos, los costos considerados son:

- Recolección de Pilas junto con los Residuos Sólidos Urbanos
- Incineración
- Deposito en Rellenos Sanitarios o de Seguridad

Una vez analizados los costos, se comparan los costos totales de ambas alternativas. En el caso del Reciclaje los costos varían de acuerdo a los distintos tipos de Pilas. Los resultados muestran que tanto el costo total de Incineración como los de Depósito en Relleno Sanitario o de Seguridad representan entre 3% y un 10% de los costos totales derivados del Reciclaje.

Considerando entonces que actualmente las Pilas de Carbón Zinc, Alcalinas, Zinc Aire y Litio no generan un impacto ambiental significativo al entrar al canal de los Residuos Sólidos Urbanos y que el costo de Reciclaje es hasta un 97% mayor al costo de Incineración o Deposito en Rellenos, el informe concluye que desde el punto de vista de costos sociales, el Reciclaje no se justifica para este tipo de Pilas, aún en los casos en que el beneficio posible de obtener mediante la recuperación de metales pesados sea considerable o que el contenido de mercurio sea mayor al nivel legal permitido, 0,5%.

En cuanto a las Pilas botón de mercurio, estas poseen un costo social tan alto, que su Recolección y Reciclaje es altamente recomendable. Lo mismo se recomienda para las Pilas Recargables de Níquel Cadmio. Sin embargo, este tipo de Pilas ha disminuido considerablemente su nivel de comercialización, y se espera que no sean comercializadas en el corto plazo. Finalmente, en relación a las Pilas Recargables de Níquel Metal Hidruro, el informe menciona la falta de información y que debido a que los costos actuales no son tan altos, se recomienda continuar con su Deposito en Rellenos e Incineración, al menos hasta que el beneficio obtenido por la comercialización de los metales recuperados sea suficiente como para soportar los costos de Reciclaje, lo cual puede suceder especialmente con la comercialización de Níquel.

4.3 ESTUDIO DE SWANA

La Fundación de investigación de SWANA (Solid Waste Association of North America) presentó en marzo del 2004 un informe en el cual se estudió la efectividad de los Rellenos Sanitarios en controlar la liberación de metales pesados al Medio Ambiente. SWANA es una organización fundada en 1961 con el fin de ampliar la investigación sobre el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos. El informe realizado presenta datos y conclusiones basados en el análisis de literatura existente respecto del tema, básicamente considerando los últimos 5 informes presentados, y de investigaciones en curso.

Basados en los análisis realizados, el informe presentado por SWANA establece que las concentraciones de metales pesados en los Residuos Sólidos Urbanos es significativamente baja respecto de los valores regulatorios establecidos por "TCLP" (Toxicity Characteristic Leaching Procedure), el cual es un procedimiento analítico desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA – Environmental Protection Agency) que establece lineamientos de análisis según los cuales pueden clasificarse como peligrosos o no peligroso los residuos cuyo destino final pretende ser el enterramiento en Rellenos, de acuerdo a su composición.

Adicionalmente, la concentración de metales pesados encontrada en el lixiviado proveniente de los Rellenos se encuentra alineada con los valores establecidos por la EPA en 1999. Las razones por las cuales la presencia de metales pesados en el lixiviado es tan baja se debe tanto a la forma en la que los metales pesados son depositados en los Rellenos como de la composición de los Rellenos en si. Estas condiciones desmotivan el lixiviado de estos metales de los productos depositados. Para aquellos que si lixivian, el Relleno prevé la eliminación de estos del lixiviado por precipitación y/o por absorción de ellos dentro de la masa de residuos, es decir los mecanismos de estabilización de residuos, los cuales han logrado niveles de eficiencia muy altos.

Si bien el número de estudios de emisiones gaseosas fuera de los Rellenos no es alto, los informes realizados demuestran que la concentración de metales pesados en los gases provenientes del Relleno son muy bajas.

Estudios recientes demuestran que la geomembrana utilizada en Rellenos Sanitarios y en Rellenos de Seguridad tiene una duración estimada de alrededor de 1000 años. De la misma manera, estos estudios manifiestan que la migración de los metales pesados fuera del Relleno por falla de esta geomembrana podría durar miles de años, siendo las probabilidades de su ocurrencia muy bajas.

En resumen, los Rellenos Sanitarios y de Seguridad proveen en la actualidad un manejo de residuos en el largo plazo seguro y eficiente, no exceder los límites establecidos por los organismos competentes con el fin de proteger la salud pública y el medio ambiente. Finalmente, SWANA promueve la implementación de reducción de residuos y reciclaje en un marco de productividad económica y ambiental. Los Rellenos son un sistema de contención efectivo para aquellos productos **que** contengan metales pesados y no sean afectados por la reducción de residuos o el reciclaje.

V. LEGISLACIÓN

5.1 EUROPA

La Legislación Europea está constituida por las denominadas Directivas. Estas Directivas Europeas definen los “requisitos esenciales” que los productos han de cumplir para ser puestos en el mercado. Luego, en cada país se dicta un propio decreto con las condiciones para dar cumplimiento a las Directivas Europeas:

Una Directiva de la Unión Europea o Directiva comunitaria, es un acto normativo dispuesto por el Consejo de la Unión Europea o la Comisión Europea.

De acuerdo con lo establecido en los Tratados de Roma, una directiva es una decisión colectiva mutuamente obligatoria aprobada por los Estados miembros. Obliga a todos o parte de los Estados miembros en cuanto al objetivo a alcanzar, pero les permite elegir la forma y los medios para conseguir tales objetivos.

Los actos legislativos de la Unión Europea pueden tener diferentes formas: reglamentos, directivas, decisiones, recomendaciones y opiniones, aprobadas por las instituciones de la Unión de acuerdo con los tratados.

Las directivas, al contrario que los reglamentos comunitarios, no son de aplicabilidad directa en los ordenamientos jurídicos de los Estados miembros. La directiva obliga a los Estados miembros a aplicar una serie de medidas, lo cual conllevará una transposición de las mismas al Derecho nacional de cada Estado. Sólo será a partir de la transposición que los ciudadanos podrán alegar o reclamar los derechos que en la directiva se les reconozca. Por otra parte, se ha reconocido en ocasiones el derecho de un particular a reclamar daños y perjuicios a un Estado miembro que hayan sido ocasionados por la transposición defectuosa de una directiva. La directiva puede dirigirse a uno o varios estados miembros.

Con el impulso del cuidado del Medio Ambiente, Europa se focalizó en la creación de Directivas de Pilas, que contribuyeran a mejorar la gestión de residuos. Uno de los principales objetivos fue la separación de elementos peligrosos del canal de Residuos Sólidos Urbanos, en particular Mercurio, Cadmio y Plomo. Con el fin de lograr que estos elementos no fueran encontrados en los residuos, se implementaron dos enfoques complementarios. El primero constaba de colocar limitaciones a lo denominado “Upstream”, donde se ubica a los productores, respecto del contenido de los mencionados elementos en Pilas. En segundo lugar, se focalizó en la recolección y clasificación de Pilas usadas que contengan tales elementos químicos.

La primera Ley se promulgó el 18 de marzo de 1991, entrando en vigencia a partir del 1 de enero de 1993: Directiva 91/157/EEC. Por un lado, esta ley prohíbe la

comercialización de Pilas Alcalinas que con un porcentaje de contenido de mercurio mayor al 0,025% en su peso. Asimismo, limita el contenido de mercurio en Pilas Secas a 25 mg (exceptuando las Alcalinas), 0,025% de su peso de Cadmio y 0,4% de su peso de Plomo. Aquellas Pilas que se encontraran fuera de estas especificaciones, se encuentran sujetas a recolección y clasificación.

El 4 de Octubre de 1993, se promulgó una segunda Directiva (Directiva 93/86/EEC) a través de la cual se establece la obligatoriedad de especificar, de acuerdo a lo establecido en la Directiva 91/157, en cada Pila si ésta debe ser recolectada separadamente o no. Se establece colocar en el packaging de las pilas y baterías el símbolo del “tacho cruzado”, especificado en el Anexo I de la Directiva 91/157 para las pilas y baterías que deban ser separadas del flujo de residuos y ser recolectadas y recicladas. El origen de esta ley consiste en que según estudios realizados en Europa, el principal obstáculo a la hora de encarar la recolección selectiva de Pilas, consiste en la dificultad que se le presenta al usuario al momento de determinar el tipo de Pila, con este packaging se aclara esta cuestión para el usuario.

Adicionalmente, el 22 de Diciembre de 1998, se promulga una nueva Ley, a través de la cual se amplían las restricciones del contenido de metales legisladas hasta el momento (Directiva 98/101/EEC), efectiva a partir del 1 de enero del 2000. A través de esta ley, se prohíbe la comercialización en la comunidad económica europea de las siguientes categorías:

- Pilas Alcalinas y de Carbón Zinc, excluyendo las Pilas Botón, con contenido de mercurio mayor a 5ppm
- Pilas Botón con contenido de mercurio mayor al 2% de su peso

Por ultimo, es importante mencionar que si bien hasta la actualidad se ha focalizado en los contenidos de mercurio, se está actualmente trabajando para modificar constantemente las Leyes con el fin de perfeccionar la gestión final de las Pilas. Es así que se están ampliando las restricciones de contenidos de elementos, como Cadmio y Plomo, en las Pilas.

El 3 de Mayo de 2006 se alcanza un Acuerdo de Conciliación entre el Parlamento y el Consejo Europeo sobre el texto legislativo de la nueva Directiva de Pilas y Baterías Usadas, que previsiblemente se aprueba formalmente a finales de Septiembre de 2006 y que establece un régimen de responsabilidad de los productores de pilas y baterías, que a partir de entonces deben contribuir financieramente a la recogida selectiva y reciclaje de las pilas usadas.

La nueva Directiva establece objetivos de recolección selectiva del 25% y del 45% sobre las ventas anuales medias de los últimos tres años a ser alcanzados cuatro y

ocho años desde la entrada en vigencia de la Directiva, respectivamente. El objetivo de reciclado se establece en el 50% para las Pilas sin Cadmio ni Plomo, en el 75% para las Pilas con Cadmio y en el 65% para las Pilas con Plomo. Según datos facilitados por la Comisión Europea, el mercado europeo da salida, cada año, a cerca de 800.000 toneladas de baterías de automóviles, 190.000 toneladas de baterías industriales y 160.000 toneladas de Pilas.

La nueva legislación también afecta al contenido de las baterías, ya que sólo se permite la comercialización de aquellas Pilas que contengan menos de un 0,002% de Cadmio y un 0,0005% de Mercurio, excepto en sistemas de emergencia y alarma, equipos médicos y herramientas inalámbricas.

5.2 ESTADOS UNIDOS

Como en todas las Legislaciones actuales, el manejo de Pilas se realiza focalizando en los componentes químicos y concentraciones de los mismos en las Pilas y no en los tipos de Pilas. En Estados Unidos se promulga el 18 de Marzo de 1991 una Ley denominada "Battery Act" mediante la cual se limita la cantidad de Mercurio límite autorizada en Pilas. La misma se efectiviza desde el 18 de Septiembre de 1992 y restringe la comercialización de Pilas con contenidos de mercurio de acuerdo a lo siguiente:

- Más de 25 mg de mercurio, excepto Pilas Alcalinas
- Más de 0,025% de su peso en Cadmio
- Más de 0,4% de su peso en Plomo
- Más de 0,025% de su peso en Mercurio para Pilas Alcalinas.

Asimismo, esta Ley contempla una reducción paulatina del contenido de Mercurio, siendo que a partir del 1 de enero de 1999, se extiende la prohibición de comercialización de Pilas que contengan más de 0,0005% de su peso en Mercurio y 0,002% en Cadmio. Adicionalmente, exige que se especifique en las etiquetas el contenido de Mercurio y Cadmio que la Pila posee. Adicionalmente, exige que se especifique en las etiquetas el contenido de Mercurio y Cadmio que la Pila posee.

Finalmente, en Septiembre de 2006 se presenta la última actualización respecto de la Legislación de Pilas. En la misma, no solo se ratifica la aplicación de las Leyes mencionadas anteriormente, sino que adicionalmente se prevé la eliminación de mercurio agregado en Pilas Botón esperada para Junio de 2011.

Es importante destacar que otras Pilas, como las de Níquel Metal Hidruro y Ion Litio no se encuentran bajo estudio desde la perspectiva legal debido a que actualmente las cantidades de elementos peligrosos contenidos en estos tipos de Pilas no son considerados como un riesgo para el Medio Ambiente.

5.3 ARGENTINA

Siguiendo los pasos de Estados Unidos y Europa en el año 2007 se reglamenta La ley de Energía Portátil Numero 26184, en la cual siguiendo la legislación europea y de Estados Unidos y también de Japón, Canadá, etc., se prohíbe el ingreso de Pilas con contenido de Mercurio intencionalmente agregado, es decir que se vuelve obligatorio realizar una certificación en el INTI (Instituto Nacional de tecnología Industrial), quien corrobora técnicamente que las Pilas y Baterías cumplen con los límites de concentración de metales establecidos en las Directivas europeas y de Estados Unidos.

El artículo establece:

“El Senado y Cámara de Diputados, etc.

Art. 1º – Prohibición. Se prohíbe en todo el territorio de la Nación la fabricación, ensamblado e importación de Pilas y Baterías primarias, con forma cilíndrica o de prisma, comunes de Carbón Zinc y Alcalinas de Manganeso, cuyo contenido de Mercurio, Cadmio y Plomo sea superior al:

- 0,0005 % en peso de Mercurio;
- 0,015 % en peso de Cadmio;
- 0,200 % en peso de Plomo;

Asimismo, se prohíbe la comercialización de Pilas y Baterías con las características mencionadas a partir de los tres años de la promulgación de la presente ley.

Esta, en materia de Pilas, es la única Ley actualmente vigente para Argentina. La misma, ha favorecido al medio ambiente, ya que desde su promulgación, el ingreso de Pilas y Baterías con Mercurio ha sido considerablemente menor al año anterior. Según mediciones realizadas por organismos competentes, solo queda un 3% de estas Pilas con contenido de Mercurio incorporado intencionalmente en el mercado argentino.

Sigue esta tendencia también la Resolución 257 de la CONAMA en Brasil y también en Paraguay pendiente de reglamentación la Ley 3107.

VI. LA RECOLECCIÓN EN EL MUNDO

6.1 RBRC

En 1994 se fundó “RBRC”, una organización sin fines de lucro sponsorada por la industria de las Pilas con el fin de facilitar un seguro y eficiente proceso de reciclaje de Pilas Recargables, tanto en los Estados Unidos como en Canadá. Con la ayuda de quienes apoyan a esta organización, se han recolectado más de 42 millones de libras de Pilas Recargables. Las Pilas recolectadas por RBRC son únicamente Pilas Recargables o también denominadas Secundarias, es decir aquellas que poseen reacciones fisicoquímicas reversibles: Níquel-Cadmio, Níquel Metal Hidruro, Ion Litio, Níquel-Zinc y algunas con pequeñas cantidades de Plomo. Este tipo de Pilas se utiliza en equipos electrónicos portátiles, teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, laptops, cámaras digitales, radios, videocámaras, controles remoto y juguetes, entre otros.

El programa de recolección funciona buscando aliados comerciales que estén en contacto directo con los clientes, los consumidores de Pilas. Estos comercios se adhieren al Programa de Recolección y Reciclaje de RBRC y reciben una serie de procedimientos y elementos que les permiten funcionar como Recolectores. Siguiendo estos lineamientos es que se le entrega a cada tienda comercial, gratuitamente, una caja en donde deben colocarse las Pilas, tal como puede verse en la Figura 6.1.1.



Figura 6.1.1. Cajas de recolección de Pilas de RBRC

Dado que las Pilas contienen un porcentaje de carga aun cuando el usuario considere que se ha quedado sin energía, es de suma importancia tomar las precauciones necesarias para prevenir que las baterías cortocircuiten entre si. Es por esto que es necesario prevenir el contacto entre las terminales de las Pilas y algún tipo de metal durante el almacenamiento transitorio como durante el transporte. Con este fin, RBRC entrega, junto con las cajas, un número de pequeñas bolsas de plástico (Figura 6.1.2), donde debe colocarse cada Pila Recolectada individualmente, con el fin de aislarla del resto de las Pilas que se encuentren en la

caja. En caso de no contar con suficientes bolsas se deben cubrir las terminales con cinta adhesiva resistente.



Figura 6.1.2. Bolsas de recolección de Pilas de RBRC

Las cajas de recolección pueden obtenerse en dos tamaños: el pequeño, que contiene aproximadamente 20 libras y el grande, que contiene aproximadamente 40 libras. Las mismas deben ubicarse a la vista de personal entrenado para el manejo de estas Pilas, quien pueda asesorar a los consumidores. Asimismo, el lugar debe ser fresco y seco, lejos de todo tipo de material inflamable o fuentes de calor.

Una vez que la caja ha sido llenada, es importante controlar que cada Pila que ha sido colocada en la misma, haya primero sido aislada en una bolsa de plástico individualmente o que sus terminales hayan sido cubiertas. Con este control realizado, se cierra la caja cuidadosamente y se completan los datos del remitente en la estampilla prepagada que se encuentra en el lado superior de la caja, tal como puede verse en la Figura 6.1.3. Por ultimo, esta se envía a través de los puestos de recolección de estas cajas. De no haber uno de estos puestos cercanos al comercio, se puede llamar al centro de atención de RBRC, quien envía personal autorizado a recolectar la caja directamente al comercio.



Figura 6.1.3. Envío de las cajas a la organización

Es relevante destacar, que los socios comerciales que participan de este programa, no deben enfrentar ningún tipo de costo adicional por estar inscriptos en el mismo, ya que tanto los materiales como los costos de envío son absorbidos por la propia agencia. Estas cajas son enviadas a centros de reciclaje para su procesamiento, donde se realiza un procedimiento termal de recuperación de los siguientes metales de la Pila: níquel, hierro, cadmio, plomo y cobalto, los cuales son luego preparados para ser utilizados en nuevas Pilas.

El otro aliado fundamental, quien soporta el funcionamiento de esta organización, son los productores de Pilas, quienes no sólo contribuyen económicamente con el programa, sino que también son una parte fundamental que permite el contacto con el cliente. Estas empresas obtienen una licencia de parte de RBRC que les permite exponer los diferentes símbolos y marcas de la organización en sus Pilas. De la misma manera, las empresas contribuyen con una tarifa tabulada de acuerdo a la cantidad y tipo de pila que cada empresa produce anualmente.

Los símbolos desarrollados por RBRC, los que se presentan en la Figura 6.1.4, permiten al consumidor identificar cuales son las Pilas que son parte del programa de recolección de RBRC y cuales no. Esto no significa que si no contiene el símbolo no puede ser depositada en las cajas. Es importante aclarar que mientras las Pilas sean de Níquel Cadmio, Níquel Metal Hidruro, Ion Litio, Níquel-Zinc y algunas con pequeñas cantidades de Plomo, son parte del programa de reciclaje.



Figura 6.1.4. Símbolos de reciclaje de RBRC

Las tarifas a abonar por las empresas productoras de Pilas, se calculan de acuerdo a un cuadro tarifario que contempla la tarifa por Pila de acuerdo al tipo de Pila que corresponda y a la cantidad de Pilas objeto de esta licencia. Asimismo, RBRC

realiza reembolsos por aquellas Pilas de Níquel Cadmio que recolecten y envíen a RBRC.

En las Figuras 6.1.5 y 6.1.6 muestran los cuadros tarifarios originales de RBRC.

Ni-MH

	A	B	A X B
Total Voltage of Licensed Battery	Quantity of Licensed Batteries	Fee per Licensed Battery	License Fee
Large Battery packs 8.1 volts and greater		\$0.02	
Small battery Packs 1.5 volts to 8 volts		\$0.01	
Retail "Round Cell" Less than 1.5 volts		\$0.0025	

Li-ion

	A	B	A X B
Total Voltage of Licensed Battery	Quantity of Licensed Batteries	Fee per Licensed Battery	License Fee
Large Battery packs 8.1 volts and greater		\$0.02	
Small battery Packs 1.5 volts to 8 volts		\$0.01	
Retail "Round Cell" Less than 1.5 volts		\$0.0025	

Figura 6.1.5. Cuadros tarifarios de las Pilas de Níquel Metal Hidruro y Níquel Ion

LICENSEE FEE REPORTING TABLE NICKEL-CADMIUM ROUND CELL RATES			
CELL SIZE	QUANTITY	FEE/CELL	TOTAL DUE
1/3A		0.006	
2/3A		0.010	
4/5A		0.014	
1/1A		0.017	
4/3A		0.022	
1/3AA		0.004	
2/3AA		0.006	
1/1AA		0.012	
7/5AA		0.016	
1/3AAA		0.002	
1/1AAA		0.005	
1/1AAAA		0.001	
2/3sC		0.016	
4/5sC		0.019	
1/1sC		0.025	
5/4sC		0.032	
½-3/5C		0.018	
1/1C		0.037	
1/2D		0.040	
2/3D		0.056	
1/1D		0.073	
F		0.116	
M		0.248	
1/3N		0.004	
1/1N		0.004	
9V		0.022	
NICKEL-CADMIUM BUTTON CELL RATES			
AVERAGE WEIGHT	QUANTITY	FEE/CELL	TOTAL DUE
<2.0 grams		0.001	
2.1 to 4.0		0.002	
4.1 to 6.0		0.003	
6.1 to 8.0		0.004	
8.1 to 10.0		0.005	
10.1 to 12.0		0.006	
12.1 to 14.0		0.007	
14.1 to 16.0		0.008	
16.1 to 18.0		0.009	
18.1 to 20.0		0.010	
20.1 to 22.0		0.011	
22.1 to 24.0		0.012	
24.1 to 26.0		0.013	
26.1 to 28.0		0.014	
28.1 to 30.0		0.015	
30.1 to 32.0		0.016	
NICKEL-CADMIUM PRISMATIC CELL RATES			
CELL SIZE	QUANTITY	FEE/CELL	TOTAL DUE
400 mAh		0.008	
600 mAh		0.012	
900 mAh		0.015	
≥ 1200 mAh		0.025	
GRAND TOTAL			

Figura 6.1.6. Cuadros tarifarios de las Pilas de Níquel Cadmio

Como puede verse, las tarifas se determinan tanto por la composición química de la Pila como por su tamaño y forma, es decir si son cilíndricas, botón o prismáticas. En el año 2004, se determinó una reducción de las tarifas en un 75% y un valor anual máximo a pagar por las compañías igual a 50.000 USD. El nuevo esquema permite un cálculo de mayor facilidad en la tarifa mensual a abonar por las compañías. Las nuevas tarifas se detallan a continuación:

- Pilas de una celda con voltaje menor a 1,5 V: 0,0025 USD/Pila
- Packs de Pilas de entre 1,5 y 8 V: 0,1 USD/Pila
- Packs de Pilas con voltajes mayores a 8 V: 0,2 USD/Pila

Esta reducción es solo aplicable a las Pilas de Níquel Metal Hidruro, Litio Ion y Plomo, no así a las de Níquel Cadmio las cuales permanecen bajo vigencia de las tarifas adicionales.

Bajo este esquema, en Estados Unidos y Canadá se recolectan aproximadamente 5 millones de libras por año.

6.2 GEMEINSAMES RUCKNAHMESYSTEM BATTERIEN

GRS, en alemán Gemeinsames Rucknahmesystem Batterien, es una asociación sin fines de lucro, creada por los principales productores de Pilas (Energizer, Duracell, Philips, Panasonic, Saft, Sanyo, Sony y Varta, entre otras) y por la Asociación Alemana de Productores Eléctricos y Electrónicos (ZVEI) de Alemania en 1998 a través de la emisión de un Decreto, con el fin de garantizar la recolección uniforme de Pilas usadas en ese país.

Este Decreto distribuye las obligaciones a distintos grupos de personas. En primer lugar, los usuarios finales de las Pilas, quienes deben devolver las Pilas usadas a través de un canal de servicios de disposición final. En segundo lugar, los productores e importadores, quienes deben aceptar las Pilas usadas devueltas sin trasladar ningún costo al usuario.

GRS es financiada por los productores e importadores, quienes abonan contribuciones a la asociación por los servicios que esta provee a través de un fondo de acuerdo a la cantidad y tipo de Pila que estos comercializan en Alemania.

El objetivo principal consiste en aumentar el número de Pilas que es recolectado cada año. Asimismo, la asociación está en constante búsqueda de nuevas y mejores tecnologías de clasificación y reciclaje de Pilas que permitan la constante optimización de procesos. Desde 1998, GRS garantiza a sus usuarios el transporte, clasificación, reciclado y disposición de las Pilas usadas.

GRS realiza un extensivo trabajo de relaciones públicas y publicidad focalizados en la disposición de Pilas. A través de reportes de prensa, programas periodísticos en televisión y radio, proyectos escolares, campañas ambientales entre otros, los consumidores y asociados de la fundación reciben valiosa y detallada información, elevando así el perfil del programa.

Con el fin de optimizar la recolección de Pilas usadas, GRS entrega sin costo en todo comercio que comercialice Pilas, una caja de plástico diseñadas especialmente para el almacenamiento de las mismas. De la misma manera, estas cajas podrán ser entregadas en municipalidades, escuelas y a usuarios comerciales. Estas cajas tienen capacidad para aproximadamente 5 kg. de Pilas.

Adicionalmente, se entrega otra caja, de aproximadamente 30 kg. de capacidad para el transporte de las cajas recolectadas. Una vez que estas cajas han colmado su capacidad, el usuario debe comunicarse con la asociación con el fin de que se recojan las cajas, también libre de costo. Asimismo, se distribuyen material de

publicidad como stickers, folletos, flyers y banners también libre de costo. En la imagen que se muestra en la Figura 6.2.1 se presenta una de estas cajas.



Figura 6.2.1. Cajas de recolección de GRS

Otro de los puntos de recolección de Pilas es el Canal Público de disposición de residuos, quienes deben aceptar las Pilas usadas tanto de usuarios finales como de pequeños comercios, libre de costos. Para esto, GRS entrega a las empresas públicas y privadas de disposición de residuos las cajas de recolección y almacenamiento también libre de costo. Adicionalmente, este canal recolecta Pilas usadas en edificios públicos.

En Alemania existen mas de 140.000 puntos de venta y mas de 1.300 puntos de recolección generados por los servicios de disposición final publica de residuos y mas de 30.000 usuarios finales industriales, quienes deben recibir el material necesario para llevar adelante la recolección de Pilas sin incurrir un costo alguno. En consecuencia, GRS debe soportar los costos de logística, clasificación, reciclado y disposición así como de los costos de publicidad y difusión del programa y trabajo administrativo.

Esto significa un costo total anual de aproximadamente 15 millones de Euros. Quienes financian estos costos son los propios fundadores de GRS, es decir productores e importadores de Pilas, quienes son definidos como los usuarios de GRS. Es así que los usuarios deben abonar una tarifa a la asociación por cada Pila que ponen en circulación en Alemania. Esta tarifa se basa en la lista de contribuciones, la cual se divide en diferentes categorías de acuerdo al peso de las distintas Pilas y a su tipo de composición química. Dado que GRS es una asociación sin fines de lucro, las tarifas son diseñadas de acuerdo a los costos necesarios para cubrir el funcionamiento de la asociación.

De acuerdo a los lineamientos establecidos en el Decreto que dio origen a la recolección de Pilas, todas aquellas que contengan sustancias dañinas deben

presentar el logotipo que se muestra en la Figura 6.2.2, incluyendo el símbolo químico representativo de la sustancia (plomo, cadmio o mercurio). En el caso de las Pilas Botón, la normativa establece que se incluya el logo en todas aquellas Pilas que contengan mas de 5 ppm de contenido de mercurio.

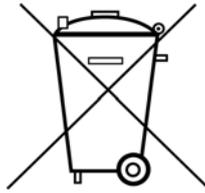


Figura 6.2.2. Logo de recolección de Pilas GRS (Fuente: GRS)

En cuanto a las condiciones en las que los productores e importadores participan de este programa, las mismas se establecen en un contrato administrado por GRS, en el cual se detallan los derechos y obligaciones de cada una de las partes. La principal obligación de la asociación consiste en la operación del sistema de recolección y reciclaje de Pilas de acuerdo a lo establecido en el Decreto De Pilas de Alemania. Las obligaciones generales de los usuarios consisten en el pago de la tarifa por cada Pila que ponen en circulación, la instrucción de los consumidores en cuanto a la sola disposición de Pilas en las respectivas cajas en estado de absoluta descarga o con protección de las terminales ante cortocircuito.

Respecto de la tarifa a abonar, como se menciona anteriormente, la misma es clasificada en categorías de acuerdo al peso de las Pilas y el sistema químico presente en cada una. Asimismo, la misma se calcula a partir de los costos estimados de la disposición actual y de acuerdo al número esperado de Pilas recolectadas. El monto total es el producto de las tarifas por la cantidad de Pilas puestas en circulación. Los fondos se administran a través de una empresa que funciona como fideicomiso. En la Figura 6.2.3 pueden verse las diferentes tarifas para las Pilas cuyo peso sea menor a 1000 gr:

Weight (gram)	Type	System	Abbreviation	Cent/ Piece
I -50	primary	Zinc Carbon	ZnC	0,9
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	0,9
		Zinc Air	Zn Air	0,9
		Lithium	Li	1,5
	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	1,0
		Nickel Metal Hydride	NiMH	0,5
		Alkaline Manganese	AlMn	0,9
		Sealed Lead Acid	Pb	0,6
		Nickel Cadmium	NiCd	1,2
II 51-150	primary	Zinc Carbon	ZnC	4,0
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	4,0
		Zinc Air	Zn Air	4,5
		Lithium	Li	7,8
	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	3,4
		Nickel Metal Hydride	NiMH	2,4
		Alkaline Manganese	AlMn	3,9
		Sealed Lead Acid	Pb	2,7
		Nickel Cadmium	NiCd	5,1

III	primary	Zinc Carbon	ZnC	8,0
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	8,0
		Zinc Air	Zn Air	9,0
		Lithium	Li	15,6
151-250	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	6,8
		Nickel Metal Hydride	NiMH	4,8
		Sealed Lead Acid	Pb	5,5
		Nickel Cadmium	NiCd	10,2
IV	primary	Zinc Carbon	ZnC	15,0
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	15,0
		Zinc Air	Zn Air	16,9
		Lithium	Li	20,3
251-500	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	12,8
		Nickel Metal Hydride	NiMH	9,0
		Sealed Lead Acid	Pb	10,3
		Nickel Cadmium	NiCd	19,1
V	primary	Zinc Carbon	ZnC	25,0
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	25,0
		Zinc Air	Zn Air	28,1
		Lithium	Li	48,8
501-750	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	21,3
		Nickel Metal Hydride	NiMH	15,0
		Sealed Lead Acid	Pb	17,1
		Nickel Cadmium	NiCd	31,9
VI	primary	Zinc Carbon	ZnC	35,0
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	35,0
		Zinc Air	Zn Air	39,4
		Lithium	Li	68,3
751-1000	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	29,8
		Nickel Metal Hydride	NiMH	21,0
		Sealed Lead Acid	Pb	24,0
		Nickel Cadmium	NiCd	44,6

Figura 6.2.3. Cuadro tarifario de Pilas cuyo Peso es menor a 1000 gr
Fuente: GRS

En la Figura 6.2.4 se presenta el cuadro de las tarifas para Pilas con peso mayor a 1000 gr.:

Weight (gram)	Type	System	Abbreviation	Euro/ Kg
VII	primary	Zinc Carbon	ZnC	0,39
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	0,39
		Zinc Air	Zn Air	0,45
		Lithium	Li	0,78
1001-2000	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	0,34
		Nickel Metal Hydride	NiMH	0,24
		Sealed Lead Acid	Pb	0,27
		Nickel Cadmium	NiCd	0,51
VIII	primary	Zinc Carbon	ZnC	0,39
		Alkaline Manganese / Nickel Zinc	AlMn/NiZn	0,39
		Zinc Air	Zn Air	0,45
		Lithium	Li	0,78
2001-4000	secondary	Lithium Ion / Lithium Polymer	Li-Ion	0,34
		Nickel Metal Hydride	NiMH	0,24
		Sealed Lead Acid	Pb	0,27
		Nickel Cadmium	NiCd	0,51

Figura 6.2.4. Cuadro tarifario de Pilas cuyo Peso es mayor a 1000 gr
Fuente: GRS

Por ultimo en la Figura 6.2.5 pueden verse las tarifas vigentes para las Pilas Botón:

Weight (gram)	Type	System	Abbreviation	Cent/ Piece
Button Cells	primary	Silver Oxide	AgO	0,0
		Alkaline Manganese	AlMn	0,4
		Zinc Air	Zn Air	0,2
		Lithium	Li	0,4
	secondary	Lithium Ion	Li-Ion	0,4
		Nickel Metal Hydride	NiMH	0,4
		Nickel Cadmium	NiCd	0,4
	primary	AgO componed of button cells		0,0
		AlMn componed of button cells		1,0

Figura 6.2.5. Cuadro tarifario de Pilas Botón

Fuente: GRS

Con el fin de garantizar un proceso de reciclaje costeable y ambientalmente sano, todas las Pilas recolectadas son clasificadas mediante sistemas electroquímicos. Para esto, GRS utiliza dos métodos:

Rayos X: Una vez que las Pilas han sido clasificadas mediante su tamaño, las células cilíndricas se pasan por un censor de Rayos X. Los sistemas de las diferentes Pilas son identificadas de acuerdo al nivel de área gris que se identifique en la imagen obtenida. Utilizando este sistema se clasifican alrededor de 20 Pilas por segundo, siendo la efectividad de un 98%.

Método electromagnético: Este proceso utiliza un censor electrodinámico para identificar los sistemas magnéticos de las células. Dependiendo de cual sea el sistema electroquímico que este pasando por el censor, el campo magnético sufre una serie de cambios, mediante los cuales se pueden identifican hasta 6 Pilas por segundo, con una efectividad del 98%.

La capacidad total de las plantas de clasificación es de 15.000 toneladas por año.

Independientemente de cual sea el método utilizado, las Pilas Alcalinas y de Carbón Zinc son sometidas a otro proceso de clasificación mediante un censor de rayos UV. Hasta el 2005, los productores europeos de Pilas agregaban en las células de este tipo de Pilas libres de mercurio agregado, un pigmento sensible a los rayos UV, que al pasar por el censor, son identificadas como libres de mercurio. Dado que las Pilas con contenido de mercurio han sido prohibidas desde 2001, a excepción de las Pilas Botón, todavía existen en el mercado una cantidad de Pilas que contienen mercurio. Análisis realizados por GRS con el fin de cuantificar el mercurio que permanece en el mercado de las Pilas, muestran año a año que la cantidad de mercurio permanece en continua disminución.



Figura 6.2.6. Procesos de clasificación de las Pilas
Fuente: GRS

En el año 2005, el 82% de las Pilas recolectadas fue reciclado. Cada tipo de Pila es tratado con un sistema diferente. Para el reciclado de las Pilas Alcalinas y de Carbón Zinc se utilizan dos métodos. Por un lado se utiliza el método de explosión en un horno diseñado especialmente, produciendo hierro y zinc concentrado. Por otro lado, se utilizan métodos en los que se aplastan las Pilas separando luego los componentes de hierro de los componentes de zinc. Los elementos de hierro son luego pasados por sistemas de acero y procesados con óxido de zinc en hornos rotativos. Los elementos producidos son ferro manganeso y óxido de zinc.

Las Pilas Botón con contenido de mercurio utilizan un método de reciclado mediante el cual se somete a todo residuo con mercurio a un proceso termal de aspiración. Dado El mercurio se evapora a temperaturas de entre 350 °C y 650 °C y se condensa a menores temperaturas, pudiendo reinsertarlo en los canales usuales de circulación. El acero ahora libre de mercurio es comercializado.

En cuanto a las Pilas Recargables, existen diferentes sistemas para los distintos tipos de Pilas. Aquellas de Níquel Cadmio, son sometidas a un proceso de destilación y aspiración o a un proceso de atmósfera inerte. El acero residual y la mezcla de níquel son luego enviados para el procesamiento de acero. El cadmio obtenido, es generalmente utilizado en la producción de nuevas Pilas de Níquel Cadmio. Por otro lado, las Pilas de Metal Hidruro son procesadas con el fin de extraer el níquel. Dado que existe la posibilidad de liberación de hidrogeno durante el proceso de aplastamiento, el mismo debe realizarse en una atmósfera monitoreada. Tras la separación de los plásticos presentes en la Pila, se obtiene un producto con alto contenido de níquel, el cual se utiliza luego como aleación en la producción de acero.

Por ultimo, en lo relativo al reciclaje de las Pilas de Litio, el mismo se realiza mediante un proceso de destilación que focaliza en la extracción de hierro y ferro manganeso, siendo el litio el agente reductor. En este tipo de procesos se obtienen principalmente cobalto y níquel.

VII. PLAN DE GESTIÓN

7.1 INTRODUCCIÓN

Las Pilas son dispositivos capaces de convertir la energía liberada por las reacciones químicas en energía eléctrica. Su tensión eléctrica está relacionada con las sustancias químicas presentes y los procesos electroquímicos que se establecen entre ellas. Desde su presentación, las Pilas han permitido el desarrollo de un concepto que acompañó la constante evolución de la tecnología: la “energía móvil o portátil”. Con los años, las Pilas han adquirido un nivel de popularidad entre los usuarios que las convirtieron en uno de los temas centrales a considerar respecto de su impacto en el medio ambiente.

Una de las principales razones de esto es que algunos de los componentes que las integran son, en la mayoría de los casos, ácidos, álcalis, sales y metales. En particular, los compuestos de mercurio, cadmio y plomo pueden ser, dependiendo de los niveles de concentración presentes, tóxicos para los seres humanos y el ambiente en general. Sin embargo, el desarrollo tecnológico ha permitido que las concentraciones de estos componentes presentes en las Pilas, hayan disminuido considerablemente, volviéndolas cada vez más ambientalmente amigables con nuestro ambiente.

El ciclo de vida final de una Pila comienza en el momento en que la energía que la misma puede entregar se agota. Es en ese instante, cuando el usuario se plantea que es lo que debe hacer con esa Pila, ahora considerada un residuo. Actualmente, existe en la conciencia colectiva de los argentinos una serie de mitos que ocasionen el mal manejo de las Pilas Residuos. En muchos casos, se almacenan Pilas en tambores o contenedores de plástico que se localizan en escuelas o edificios municipales, sin ningún tipo de medidas de seguridad, ni plan de destino final de las mismas. Estos centros, generan focos de contaminación considerables y que es necesario evitar. Como consecuencia, puede establecerse que uno de los puntos más importantes de toda campaña ambiental es la educación social.

Como vimos anteriormente, tanto Estados Unidos como Europa (en particular se ha presentado como ejemplo el país de Alemania) cuentan con programas de recolección, clasificación y reciclaje de Pilas que han logrado ser razonablemente efectivos en cuanto al nivel de respuesta obtenido de las respectivas comunidades y los cuales se basan en principios similares. Los mismos han sido acompañados de campañas publicitarias que han ido de a poco aumentando la tasa de recolección. Siendo que este sistema ha probado ser efectivo, es que se propone realizar en la Argentina un programa de recolección que siga los lineamientos de aquellos que actualmente funcionan en Estados Unidos y Alemania.

El primer punto a establecer, es la creación de una entidad que se encargue de la logística y administración del programa. Esta entidad debería ser solventada por los importadores de Pilas en la Argentina, ya que actualmente no existen plantas de producción de Pilas en nuestro país. Así como en ambos modelos internacionales presentados en este trabajo, las empresas involucradas en el programa deberán tomar a su cargo, por distintos medios, el costo de recolección y disposición final del residuo que ingresan al mercado. Lo que nos lleva a definir uno de los puntos fundamentales del programa:

¿QUE PILAS MERECEAN UNA RECOLECCION DIFERENCIADA?

Ya hemos hecho la gran primera clasificación entre:

- Pilas PRIMARIAS (no recargables)
- Pilas SECUNDARIAS (recargables)

Esta clasificación es la base para establecer un plan de gestión de estos residuos, dado que sus características son tan diferentes que no merecen un tratamiento ni siquiera similar.

7.2 PILAS PRIMARIAS

En el comienzo del estudio de las Pilas PRIMARIAS como residuos, las que se encontraban en el mercado contaban con la presencia en sus sistemas de Mercurio en cantidades considerables, por lo que con los años se volvió un objetivo principal evitar que estas Pilas llegaran al canal de Residuos Urbanos y tengan como destino final un Relleno Sanitario. Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, el desarrollo de la tecnología en los sistemas químicos que conforman las Pilas Primarias ha apoyado en primer lugar la progresiva reducción hasta su total eliminación de Mercurio agregado en estas Pilas, con excepción de algunas Pilas Botón, y en segundo lugar, la creación de una serie de diferentes tipos de Pilas Primarias conformadas con elementos ambientalmente mas amigables y con diferentes sistemas electroquímicos que generan diferentes niveles de energía.

Esto permite afirmar que las Pilas Primarias puedan ser desechadas con el resto de los residuos domiciliarios sin que ello implique un problema para el medio ambiente.

Adicionalmente, dado el nivel de eficiencia que han alcanzado las estructuras de los Rellenos Sanitarios, éstos pueden ser considerados “pozos de contención seguros” que evitan que cualquier sustancia que pueda llegar a filtrarse fuera de la Pila y hacia el lixiviado, tome contacto con el ambiente, dado los sistemas de recolección de lixiviados y plantas de tratamientos de los mismos.

Sumado a esto, los sistemas de sellado de las Pilas han adquirido una eficiencia suficiente como para soportar sin roturas ni desgastes significativos el paso del tiempo sometidos a las influencias orgánicas de los elementos presentes en un Relleno Sanitario.

Uno de los estudios de mayor prestigio presentados en Europa (SWANA), al considerar los efectos de contaminación generados por las Pilas depositadas en Rellenos Sanitarios en comparación con aquellos generados por los procesos de recolección, transporte, almacenamiento y reciclaje de Pilas, concluye que la disposición en Rellenos presenta menores niveles de contaminación que el propio reciclaje y básicamente un menor consumo de energía.

Otro de los estudios también presentado en Europa (Estudio de Francia), se concentra en los costos sociales generados por ambas alternativas, concluyendo igualmente que los costos sociales de la disposición en Rellenos son considerablemente menores a aquellos incurridos mediante los procesos de reciclaje, sobre todo cuando éste es innecesario. Obviamente siempre estamos hablando de las Pilas Primarias.

En diciembre de 2006 se sancionó la Ley 26.184 (LEY DE ENERGIA ELECTRICA PORTATIL) por la cual se implementa la obligatoriedad de obtener una certificación previa para ingresar al país pilas y baterías, lo cual está a cargo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Esta certificación acredita que las pilas que se importen no superan un valor máximo establecido en la ley, para el contenido de metales pesados (plomo: 0,2 %; mercurio: 0,0005 % y cadmio: 0,015 %). Adicionalmente, la normativa fija las condiciones de etiquetado que deben cumplir junto con los requisitos de duración mínima en los ensayos de descarga, según las normas IRAM y/o IEC y/o ANSI.

En lo referente a las Pilas de Carbón Zinc y a las Pilas Alcalinas, las cuales representan el 75% de las Pilas utilizadas en la Argentina, dado que con la sanción de la nueva ley se han limitado los contenidos de mercurio, cadmio y plomo, y por lo tanto puede afirmarse que las Pilas están “libres” de metales tóxicos agregados, se consideran dos opciones. Una de ellas consiste en incluir a estas Pilas en el canal de depósito de los Residuos Sólidos Urbanos, los cuales tendrán como destino final los Rellenos Sanitarios. La otra consiste en la recolección de estas Pilas y su depósito en Rellenos de Seguridad. En ambos casos, no es relevante el impacto ambiental de las Pilas en el medio ambiente.

El principal riesgo de filtración de sustancias al lixiviado del Relleno consiste en la rotura del container de la Pila, cuya principal amenaza es la producción de reacciones químicas que puedan producirse entre los elementos presentes en la Pila al momento de su disposición, que puedan generar altas presiones o formaciones de óxidos que afecten el sellado de la Pila. Esto es un riesgo debido a que toda Pila posee una carga residual al momento de comenzar su trayecto como “residuo”, aun cuando el usuario la considere agotada. De no cerrarse el circuito, no se produce ninguna reacción química, por lo que ésta permanece sellada y las sustancias químicas presentes, contenidas dentro de la Pila. Una de las principales formas en que puede cerrarse un circuito es a partir del contacto entre los terminales de dos Pilas.

¿Como se puede evitar entonces que esto suceda? En el caso de la inclusión de las Pilas en el canal de Residuos Sólidos Urbano, sucede lo que se denomina el fenómeno de dispersión, el cual se basa en el hecho que las Pilas estén distribuidas azarosamente dentro del Relleno Sanitario, por lo que la probabilidad de encontrar dos Pilas juntas es prácticamente despreciable.

En el caso del Relleno de Seguridad, antes de su depósito en el Relleno, las Pilas son introducidas en una mezcladora de cemento y depositadas en el Relleno antes de que el mismo fragüe. De esta manera, las Pilas permanecen aisladas y protegidas.

En ambos casos, para disminuir aun más el riesgo de producción de reacciones químicas, puede colocarse cinta adhesiva bloqueando ambas terminales de la Pila, antes de depositarla tanto en el canal de Residuos Sólidos Urbanos como en el dispositivo de recolección con destino al Relleno de Seguridad, mediante la utilización de cinta adhesiva o bolsas contenedoras de Pilas. Este es un tema que esta siendo actualmente estudiado en varios países europeos con el fin de aumentar los controles de protección ambiental.

En el caso de los Rellenos de Seguridad, deben seguirse medidas de seguridad durante el proceso de recolección, las cuales detallaremos a continuación, y durante el proceso de almacenamiento y traslado. Una de las soluciones consiste en colocar cal en los tachos de almacenamiento transitorio de las Pilas que neutralicen cualquier sustancia que pueda producirse.

Dado que ambas opciones significan el mismo resultado, y considerando que la inclusión en el canal de Residuos Sólidos Urbanos no significa costo alguno para la sociedad, se establece que es esta la opción que genera los mejores resultados en cuanto al cuidado del medio ambiente.

De tal forma, no parece hoy razonable invertir esfuerzos para darle a este tipo de pilas un destino diferente al de los Residuos Sólidos Urbanos.

7.3 PILAS SECUNDARIAS

Lo dicha hasta aquí sólo se relaciona con las *Pilas Primarias*, ya que las *Secundarias*, cuya característica principal es que son *recargables*, merecen un tratamiento totalmente diferente. En los estudios mencionados se reafirma la importancia de dar un tratamiento diferente a este tipo de pilas, tales como las Pilas Botón con alto contenido de Mercurio, las de Níquel Cadmio y las de Níquel Metal Hidruro, todas ellas secundarias.

Por la aplicación de la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos, las Pilas Secundarias pueden ser consideradas residuos peligrosos, sin embargo, con la excepción de algunos municipios, no existe normativa ni organización que permita la recolección selectiva de Pilas Secundarias para su reciclado o disposición final adecuada, a pesar de los esfuerzos desarrollados por diversos organismos del Estado y ONG'S en tal sentido.

7.3.1 Las iniciativas voluntaristas

Las iniciativas desde organizaciones sociales para “juntar pilas” han proliferado en todo el país. Al no disponerse de una normativa acerca de qué hacer con las pilas agotadas, las campañas suelen terminar generando problemas (como las explosiones producidas en un container lleno de pilas agotadas, en Ushuaia), o en la elección de una solución incorrecta (como los baldosones conteniendo pilas usadas, que estallaron en un gimnasio en Mendoza debido a que las reacciones químicas que continuaron actuando, generaron gases y productos de mayor volumen).

Un centenar de municipios en Argentina realiza recolección diferenciada de desechos domiciliarios con el objeto de reciclarlos, sin embargo sólo en pocos casos se menciona a las Pilas. En el caso del Municipio de Laprida, no se indica cómo son tratadas. En la planta de tratamiento de la Municipalidad de Tapalqué, las pilas y baterías son estabilizados en bloques de cemento con una sustancia secuestrante y neutralizante. El caso de Bahía Blanca incluye la separación por tipo de las Pilas, y el almacenamiento de las mismas inmovilizadas dentro de ladrillos huecos de cemento debidamente identificados para permitir su reciclado cuando las condiciones técnico-económicas así lo permitan. Las Pilas recargables de níquel-cadmio son enviadas para la recuperación de ambos metales.

A nivel de ONG's y empresas, están en ejecución diversas experiencias con la comunidad, entre las cuales son de destacar la llevada a cabo por la Municipalidad de Tigre (las pilas recolectadas son derivadas a rellenos de seguridad) y el proyecto Megapilas. En este proyecto participaron nueve escuelas, con la dirección de profesores universitarios y el auspicio de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y

Política Ambiental. Los alumnos cuantificaron la lixiviación de pilas en diferentes tipos de terrenos, realizaron ensayos de bio-toxicidad e implementaron una técnica de recuperación electroquímica de los metales constituyentes de las pilas.

En el Centro Atómico Bariloche (CNEA), se desarrolló una técnica, a nivel laboratorio, para la “mineralización/vitrificación” de las pilas usadas, tratándolas a alta temperatura junto con vidrios de deshecho. El sistema es costoso en energía y no posibilita la recuperación de los metales, por lo que nunca fue llevado a una escala industrial.

La empresa IDM, ubicada en la localidad de San Lorenzo, Provincia de en Santa Fe, recibe todo tipo de Pilas, entre ellas las de níquel-cadmio y recupera ambos metales. La pureza alcanzada hasta ahora, no es aceptable para la industria metalúrgica pero han concretado la exportación de lingotes de distintas aleaciones.

7.3.2 Plan de Gestión

La primera conclusión respecto de las Pilas Secundarias es que no es conveniente disponerlas con el resto de los residuos domiciliarios y que merecen tener un tratamiento diferenciado.

Toda programación de una campaña de recolección y disposición final de Pilas recargables o secundarias, debe partir de una planificación previa de todos los aspectos relacionados de lo que se denomina un “Plan de Gestión”, el cual debe contemplar como mínimo los siguientes aspectos:

1. Determinación del universo de pilas a recolectar.
2. Obligados a la recolección: Sistemas y Consecuencias
3. Alternativas de disposición final (Enterramiento y Reciclaje)
4. Puntos o lugares de recolección: Clasificación
5. Sistema de transporte y depósitos intermedios: Transporte hacia el lugar de tratamiento/depósito final
6. Sistemas de difusión y educación
7. Monitoreo del programa - Deber de información

7.3.2.1 Determinación del universo de Pilas a recolectar

A mayor abundamiento las autoridades del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a través de la AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL, ha dictado recientemente un proyecto de resolución que en forma concreta encara la problemática con notable claridad. Así sostiene:

- Que, en este orden de ideas, la industria de estos dispositivos habiendo tomado conciencia de la necesidad de reducir la peligrosidad de sus productos y basándose en los avances tecnológicos disponibles en el mercado, ha impulsado la disminución de las principales sustancias contaminantes, específicamente de las Pilas primarias, minimizando así el contenido de mercurio, cadmio y plomo de las mismas;
- Que, en esta inteligencia, la necesidad impostergable de minimizar los efectos contaminantes de estos dispositivos masivamente utilizados, ha sido receptada tanto a nivel internacional como nacional, sancionándose específicamente en nuestro país, en noviembre de 2006 la Ley 26.184 de Energía Eléctrica Portátil, por imperio de la cual se prohíbe en todo el territorio de la Nación la fabricación, ensamblado e importación de Pilas Primarias, con forma cilíndrica o de prisma, comunes de Carbón Zinc y Alcalinas, cuyo contenido de mercurio, cadmio y plomo supere el 0.0005 %; 0.015 % y 0.200 / en peso respectivamente;
- Que, asimismo, dicha prohibición ha sido extendida a las Pilas y baterías de Pilas cuyo diámetro sea superior a su altura, comúnmente conocidas como “moneda” o “botón”, determinando que el contenido en peso de mercurio de las mismas deberá ser inferior o igual al 2%, de conformidad con las disposiciones de la Resolución 484/2007 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación;
- Que, al respecto, resulta fundamental dejar de manifiesto que a partir de la sanción de los mencionados cuerpos normativos, se ha obligado a los sujetos responsables de la fabricación, ensamble e importación de las Pilas y Baterías Primarias especificadas, a llevar a cabo un proceso de certificación para su comercialización, ante organismos específicamente designados al efecto, entre los cuales cabe mencionar al Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI - a los fines de demostrar y garantizar que el contenido de Mercurio, Cadmio y Plomo no supera los límites fijados por la norma;
- Que, en razón de lo expuesto en los párrafos precedentes, y tomando en consideración, la nueva tecnología empleada en la fabricación de Pilas y Baterías Primarias, como el trabajo llevado a cabo tanto por el INTI en tanto organismo certificador, como por la Dirección General de Aduanas, en tanto responsable del contralor de los productos que ingresan al país, resulta factible afirmar que, si bien todo residuo impacta en el ambiente, aquellos provenientes de Pilas y Baterías Primarias que cumplimentan con la legislación vigente, no requieren del diseño e implementación de programas especiales de gestión que procuren su separación de la corriente de residuos sólidos urbanos;

Los argumentos antes expuestos llevan a concluir que los planes de gestión focalicen sus esfuerzos en las pilas Secundarias o Recargables.

7.3.2.2 Obligados a la recolección: Sistemas y Consecuencias

Los agentes que operan en el mercado tienen o deben tener una activa participación en los diagramas y en la implementación de los Planes de Gestión.

Así deben participar necesariamente:

- El Estado
- Los consumidores
- Los importadores, intermediarios y minoristas

Con respecto a los sistemas, se han desarrollado internacionalmente distintos sistemas, pero básicamente se ha puesto a disposición de los obligados a la recolección tres sistemas básicos:

- Plan de Gestión Individual

Los sistemas individuales de gestión integral de pilas y/o baterías recargables usadas son aquellos implementados independientemente por cada responsable post consumo para gestionar exclusivamente los residuos provenientes de sus propios productos.

Algunas empresas han tomado la decisión de poner en práctica su propio plan de gestión de recupero y disposición final de los productos que incorporan al mercado.

- Plan de Gestión Colectivo

Los sistemas colectivos de gestión integral de pilas y/o baterías recargables usadas son aquellos implementados conjuntamente entre dos o más responsables post consumo de los residuos de pilas y/o baterías recargables. Los mismos se conformarán en virtud de acuerdos suscriptos por las partes intervinientes.

En este caso varias empresas resuelven aunar esfuerzos y economizar recursos formando parte de una misma asociación cuyo objeto es justamente prestar este servicio.

También existen empresas ajenas a los fabricantes, importadores intermediarios y minoristas que cumplen este servicio para aquellos que están obligados a recuperar sus productos una vez que estos se convierten en residuos.

En estos dos últimos sacos es normal que cada empresa haga un aporte económico proporcional a las pilas que introdujo al mercado el año anterior.

- Adhesión al Plan de Gestión Estatal

Siendo que el Estado, sea nacional, provincial o municipal, conformará un sistema de recolección de residuos oficial y entre ellos sistemas de recolección diferenciada atendiendo las distintas características de los mismos (papel, aluminio, vidrio, etc.), podrá trasladar proporcionalmente los costos que ello implique a aquellos que no hubieran conformado su plan de gestión individual o colectivo, imponiéndoles un canon económico.

- Free Ryders

Se ha adoptado esta denominación a aquellos fabricantes o importadores o intermediarios que no participan de ningún sistema de recolección y que no han adherido a ningún plan de gestión. De allí que la mayoría de los emprendimientos contemplan este concepto como un gastos muerto incorporado al costo total del plan de gestión.

7.3.2.3 Alternativas de disposición final (Enterramiento y Reciclaje)

Como se ha mencionado anteriormente, lamentablemente las experiencias de recolección conocidas han comenzado por juntar las pilas y luego buscar un destino para ellas. Así en la mayoría de los casos han terminado en procesos de cementización no aprobados, en tambores de 200 libras sin control alguno, y hasta en terrenos sanitarios sin discriminación alguna.

Es esencial a la hora de diseñar un plan de gestión, establecer la metodología de disposición final de estos residuos, y básicamente la posibilidad de agregarle valor para su eventual reutilización en el mismo o en otro proceso productivo.

Existen básicamente dos alternativas disponibles:

- El enterramiento
- El reciclaje
- La Exportación

7.3.2.3.1 El enterramiento

La primer alternativa es el depósito de estas pilas en Rellenos de Seguridad (Security landfills). Anteriormente se ha analizado la tecnología que hoy se utiliza en las construcciones de estos rellenos, y no hay evidencias hasta ahora que esta disposición de residuos genere algún tipo de afectación ambiental.

El riesgo de rotura de la carcasa de la pila, cuya principal amenaza es la producción de reacciones químicas que puedan producirse entre los elementos presentes en ella es muy reducido dada la eficiencia de los actuales sistemas de sellados utilizados en su fabricación. El estudio realizado en la Universidad de Fukuoka es una clara demostración de ello.

La provincia de Buenos Aires tiene cuatro rellenos pero al mismo tiempo el Artículo 28 de la Constitución Provincial prohíbe el ingreso de residuos tóxicos al territorio provincial, lo cual limita la disponibilidad de ellos a los residuos que se generen exclusivamente en esa provincia. Córdoba, por su parte no tiene esa restricción. Estas limitaciones jurisdiccionales pueden constituir en el futuro un serio problema.

Más del 70% de las provincias de la Argentina carecen de Rellenos de Seguridad, lo cual sin dudas genera una dificultad, ya que apestas deberán celebrar convenios con aquellas provincias que si los tengan, o tendrán que recurrir necesariamente a las empresas de reciclado.

Finalmente, hoy comienzan a escucharse fuertes críticas a la disposición final por enterramiento, dado que las pilas recargables contienen metales en niveles relativamente altos de concentración, lo cual justificaría holgadamente un tratamiento de recuperación de metales o de reciclado. Así muchas empresas hoy se oponen a “enterrar dinero”.

7.3.2.3.2 El reciclaje

La tecnología de reciclado no ha sido aún suficientemente difundida ni se ha generalizado su utilización, sobre todo en los países emergentes.

En la Argentina existen centros de reciclaje con la suficiente tecnología para poder llevar adelante el proceso de reciclaje que se plantea, tal cual lo expuesto anteriormente, Actualmente, estos centros se encuentran en funcionamiento y con capacidad ociosa que les permitiría soportar el tratamiento de 3.500.000 Pilas Secundarias por año. Siendo que se comercializan 4.100.000 Pilas Secundarias cilíndricas por año y 4.500.000 Pilas Secundarias de celulares por año, la tasa de recolección esperada sería como máximo del 40% del valor total de Pilas importadas

anualmente, de acuerdo a lo experimentado a nivel mundial. Es importante destacar que estos procesos requieren la participación activa de la sociedad, una fuerte campaña de publicidad y que la participación en el programa sea de fácil acceso.

7.3.2.3.3 La exportación

Este posiblemente constituye el tema más urticante hoy con relación a las pilas y baterías recargables. Sabido es que de las baterías de Litio (Lithium) se extrae Cobalto, y que el precio del cobalto es muy alto a los niveles actuales de cotización internacional. Esto implicaría para quienes comercializan baterías de litio en el país, (básicamente las empresas de telefonía celular) tendrían un alto recupero con la recolección de sus propias baterías de Ion-Litio.

Ahora, la limitación legal existente es el Convenio de Basilea. Este tratado internacional, prohíbe el tránsito interjurisdiccional de residuos, es decir el traslado de residuos de un país a otro, salvo que en el país de origen no exista tecnología para su tratamiento o reciclado, y si lo exista en el país de destino.

Esto ha provocado y provoca serios problemas con aquellas empresas localizadas en Argentina que manifiestan tener tecnología suficiente y apropiada, y aquellos que sostienen lo contrario. Es más, hace dos años, una de las empresas de reciclado más importantes está tratando de exportar una aleación de hierro cobalto, que la Aduana de Buenos Aires sostiene que es un residuo, por lo que actualmente el tema está en manos del INTI quien en definitiva deberá resolver la cuestión, es decir si es un residuo o un producto obtenido luego del proceso de reciclaje.

Esto es una clara muestra de las ventajas económicas e incluso ambientales que trae aparejado el reciclado, ya que en lugar de un costo termina siendo un verdadero negocio, con beneficio para todos.

7.3.2.4 Puntos o lugares de recolección: Clasificación

Es importante destacar que los lugares de recolección deben ser apropiados, de fácil acceso, de bajo riesgo y tener condiciones básicas de seguridad.

En Argentina se han utilizado frecuentemente a las escuelas, donde los niños son los encargados de recolectar las pilas, con los graves riesgos que ello implica, desde llevarse a la boga una pila botón, hasta tomar contacto con el lixiviado de alguna pila de mala o baja calidad. Esto debe ser desechado por completo y las campañas de recolección no deben involucrar a niños ni a personas no entrenadas a tales efectos.

Las experiencias de USA y de algunos países de Europa, han sido exitosas a la hora de elegir supermercados o cadenas de negocios, más allá de algunos lugares públicos u oficiales cuando las campañas son del Estado.

Sin embargo, también en estos casos deben tomarse precauciones que tienen básicamente relación con el “objeto” de la campaña (sorting primario) y con la “seguridad” de la misma.

El primer aspecto tiene que ver directamente con lo que se denomina “Recolección Asistida”, es decir que el consumidor a la hora de desprenderse de la pila usada, debe contar con el debido asesoramiento respecto de qué pila debe ser objeto de recolección y cual debe arrojarse directamente a la basura, evitando así un dispendio económico innecesario.

El segundo aspecto está relacionado con la seguridad. Sabido es que toda pila o batería posee una carga residual cuando se la comienza a considerar como un residuo, aun cuando el usuario la considere agotada. De no cerrarse el circuito, no se produce ninguna reacción química, por lo que esta permanece sellada y las sustancias químicas presentes en esta, contenidas dentro de la Pila. Una de las principales formas en que puede cerrarse un circuito es a partir del contacto entre los terminales de dos Pilas. De allí que lo aconsejable es que cada pila, antes de ser introducida al recipiente de recolección, deba ser puesta en una bolsa de polietileno o de cualquier otro material que evite el contacto entre sus bornes con los de otra pila.

Con respecto a los recipientes, en la mayoría de los países del mundo con campañas en ejecución han utilizado con éxito cajas de catón de diferentes tamaños (no mucho mas grandes que una caja de zapatos) para facilitar su traslado y evitar que la gran cantidad de pilas pueda provocar la rotura del fondo de la caja.

En diseño habitual es que en uno de los costados de la caja de recolección se instale un rollo de las bolsitas de polietileno en la cual se introducirá la pila antes de ponerla en la caja.

La obligatoriedad de que los fabricantes o importadores incluyan en los envases o en los propios productos de ser posible una identificación que permita determinar si el mismo puede o no ser arrojado a la basura, es información no sólo conveniente sino que constituye también un derecho del consumidor. Ejemplos como las tres flechas concéntricas (símbolo de reciclado) o el tachito de basura cruzado (signo de disposición diferenciada) constituyen algunos de los ejemplos que están disponibles.

7.3.2.5 Sistemas de transporte y depósitos intermedios: Transporte hacia el lugar de tratamiento/deposito final

El transporte de pilas usadas también tiene algunos aspectos que han debido ser resueltos por los países e incluso por las distintas jurisdicciones de un mismo país.

Así, por ejemplo en los Estados Unidos de Norte América, el local comercial o punto de recolección, tiene la facultad de llevar la caja, una vez que está completa, a cualquier correo para que sea entregada directamente a la empresa de reciclado (obviamente con todos los servicios postales pagados). Sin dudas este es el sistema más eficiente y económico, dado que no involucra una recolección a través de transportes e incluso de depósitos intermedios.

En otros países como en Alemania o Suiza, existen empresas de transporte que periódicamente recorren los puntos de recolección a efectos de vaciar las cajas o cambiarlas por otras vacías en el mismo punto o local de recolección. Estos pequeños vehículos no son transportes de residuos peligrosos, y están expresamente excluidos de toda normativa al respecto.

Los depósitos intermedios también deberán estar habilitados para almacenar este tipo de residuos, contando con las habilitaciones municipales pertinentes.

Estos vehículos trasladan las cajas o sus contenidos hasta lugares o depósitos intermedios de recolección, donde se almacenan las pilas hasta que exista una cantidad suficiente que justifique su traslado hasta la planta de reciclaje o hasta el terreno de seguridad. En Argentina este transporte debería efectuarse necesariamente con camiones especialmente habilitados para el transporte de residuos peligrosos.

Llegadas las pilas a su lugar de destino de disposición final, y tratándose de una empresa de reciclado, deberá inicialmente efectuarse un segundo sorting, es decir una nueva clasificación y separación de las pilas según sus componentes químicos a fin de darles el mejor tratamiento y obtener el mejor rendimiento en el resultado del reciclado.

7.3.2.6 Sistemas de difusión y educación

No obstante lo expuesto, y aún diagramando todo este proceso en forma correcta y minuciosa, seguramente el Plan de Gestión fracasará si no va acompañado de una muy importante campaña de difusión, concientización y educación del consumidor. Será fundamental que tanto el Estado como los ejecutores del Plan de Gestión,

realicen importantes esfuerzos para que el consumidor colabore con el éxito del programa.

No resulta fácil crear una conciencia ciudadana cuando ésta no ha sido nunca impulsada, pero también es cierto que en algún momento hay que comenzar a generar esta conciencia social tendiente a que cada consumidor asuma su responsabilidad social que le corresponde. Muchas veces se ha sostenido que la educación a temprana edad es la más eficiente y que incluso presiona a los adultos a cumplir con ciertas prácticas que fueron inculcadas a los menores.

Obviamente siempre está el poder coercitivo del Estado, pero no siempre en estos casos ha dado resultado, sobre todo porque la pila usada, aún cuando está totalmente agotada, sigue siendo un bien propiedad del consumidor.

Afiches, folletos, gráfica, radio, TV y cualquier otro medio de comunicación masivo constituyen alternativas válidas, pero creo que básicamente la concientización se logra con la reiteración y no con campañas temporales que aparecen y luego desaparecen. De allí la necesidad de diseñar un plan de comunicación efectivo y eficiente y posiblemente no tan efectista.

7.3.2.7 Monitoreo del programa - Deber de información - Objetivos

Todo programa de gestión, es decir todo Plan de Gestión debe necesariamente tener una etapa de monitoreo, no sólo para los propios ejecutores del plan de gestión, sino también para las autoridades y los consumidores.

Es aconsejable que periódicamente, por lo menos cada seis (6) meses, los responsables de cada plan de gestión informen dos elementos fundamentales:

- a) La cantidad de pilas y baterías, por tipo, ingresadas al país
- b) La cantidad de pilas y baterías recolectadas durante los últimos seis meses

Este debe constituir un deber de información para todos aquellos que presenten su plan de gestión de recolección y disposición final de baterías. Es de destacar que el Estado debería tener el mismo deber de información que los importadores privados.

Con esta información y luego de por lo menos tres (3) años de ejecución, se estaría en condiciones de comenzar a fijar metas o límites mínimos de recolección, que obviamente tendrán en cuenta los logros obtenidos, la performance de cada plan de gestión, el comportamiento del consumidor medido en términos geográficos y económicos, etc.

VIII. CONCLUSIÓN

VIII. CONCLUSIÓN

El desarrollo industrial incentivó, especialmente en los años posteriores a la Primera Guerra Mundial, un uso creciente de la Pila como fuente de energía, llegando en la actualidad a un volumen anual de comercialización en la Argentina de aproximadamente 20 millones de Pilas, entre las cuales se incluyen las Pilas Primarias y Secundarias, cuyas características han sido anteriormente presentadas.

Las Pilas constituyen, una vez agotada su vida útil, un tipo de “residuo” alrededor del cual han surgido una serie de “mitos y realidades” que pretenden determinar el destino final de estos residuos, teniendo como finalidad la protección ambiental. A lo largo del presente trabajo, se han presentado una serie de fundamentos teóricos que buscan clarificar la cuestión para luego constituir un posible y adecuado destino final.

El primer concepto a resaltar, es la existencia de diferentes sistemas de Pilas, desarrollados a lo largo de los años, que se constituyen de una serie de distintos elementos químicos. Particularmente en la actualidad, las Pilas Primarias se componen de metales más amigables con el medio ambiente, mientras que en las Pilas Secundarias pueden encontrarse químicos como el cadmio, el plomo y el mercurio, todos ellos elementos nocivos para el ambiente, aun en cantidades pequeñas. Lo relevante de esto, es la necesidad de que cada sistema se trate de forma independiente y de acuerdo con el grado de impacto ambiental que estos elementos puedan tener en el medio ambiente, en el caso de llegar a tomar contacto con este.

A lo largo de este trabajo se han presentado las diferentes formas de disposición final, detallando la tecnología con la que cada uno de éstos cuenta. Se han analizado así los Depósitos de Residuos No Controlados (Basurales a Cielo Abierto). Estos constituyen un medio primitivo de disposición de residuos que significa un alto riesgo para el ambiente ya que no contempla tratamiento alguno para ningún tipo de desechos. Es por esto que no se consideran un medio adecuado para la disposición de las Pilas.

Con el fin de continuar el análisis, se han examinado los Depósitos de Residuos Controlados, en los cuales se aplica una técnica de Gestión de Residuos que busca proteger el medio ambiente. Son estos los que, de acuerdo a la estructura que presentan, se introducen como una alternativa viable de disposición final para las Pilas Primarias: El Relleno Sanitario y el Relleno de Seguridad.

Respecto del comportamiento que las Pilas Primarias evidencian en un Relleno Sanitario o De Seguridad, la Universidad de Fukuoka (Japón) ha llevado adelante un

estudio con el objetivo de estudiar la tasa de lixiviado del mercurio, la tasa de vaporización del mercurio y el grado de corrosión de las Pilas, al ser depositadas en un Relleno Sanitario. Los resultados del mismo demostraron que dado el nivel de corrosión de la Pila y el alto grado de conservación del container, los niveles de emanaciones de mercurio, y por extensión de otros metales, tanto a través del lixiviado como a través de la vaporización, pueden considerarse insignificantes y menores a los standards legales establecidos. El estudio concluye que el mercurio y otros metales provenientes de Pilas depositadas en Rellenos Sanitarios o De Seguridad no migran hacia el Medio Ambiente, aun en el largo plazo.

Complementando lo determinado por el Estudio de Fukuoka, la Fundación de investigación de SWANA (Solid Waste Association of North America) presentó en marzo del 2004 un informe en el cual se estudió la efectividad de los Rellenos Sanitarios en controlar la liberación de metales pesados al Medio Ambiente. Las conclusiones determinan que dada la composición de los residuos que se encuentran en el Relleno y la forma en la que se depositan las Pilas en el mismo, la concentración de metales pesados en el lixiviado se encuentra, en todos los casos estudiados, por debajo de los límites establecidos por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos. Esto fortalece la estrategia de disposición de Pilas Primarias en Rellenos Sanitarios.

Sumándose a las conclusiones obtenidas en los estudios presentados, un informe presentado por el Ministerio de Medio Ambiente de Francia recomienda, tras un análisis económico-social, para aquellas Pilas Primarias, la disposición en Rellenos Sanitarios o De Seguridad frente a la alternativa del reciclaje, cuyos costos son un 97% mayores a la de disposición en Rellenos. Este estudio refuerza entonces la necesidad de aplicar estrategias diferentes a los distintos tipos de Pilas. Por otro lado, en relación a las Pilas Botón de Mercurio y las Pilas de Níquel Cadmio, y dado el alto nivel de toxicidad de estos elementos, el informe recomienda el reciclaje.

El estudio de las legislaciones existentes tanto en Estados Unidos como en Europa y ahora en Argentina, fortalecieron la conclusión de disposición de Pilas en Rellenos Sanitarios. En los tres casos, las legislaciones establecen límites máximos de concentración de mercurio, cadmio y plomo en los sistemas constitutivos de la Pila, principalmente en Pilas Primarias. Esto significa que la tecnología de la Pila se desarrolla en pos de que las mismas sean cada vez más ambientalmente amigables.

Las conclusiones presentadas hasta el momento involucran el universo de las Pilas Primarias, siendo la realidad para las Pilas Secundarias completamente diferente. Estas últimas Pilas, se componen de elementos como mercurio, cadmio y plomo, tres metales considerados "peligroso" para el Medio Ambiente. La estrategia que se considera adecuada para estas Pilas es el camino de la recolección y el reciclaje.

Actualmente, tanto en Estados Unidos como en Europa (en este caso se ha presentado Alemania como caso para Europa), existen Organismos que llevan adelante exitosamente esta estrategia (RBRC y GRS respectivamente). Ambos organismos son financiados por productores e importadores que contribuyen proporcionalmente al número de Pilas Secundarias que comercializan, aportando un cargo fijo por Pila, siendo estos cargos diferentes de acuerdo al tipo de Pila. Es importante que, tal como se ha detallado en el Plan de Gestión presentado en este trabajo, se tengan en cuenta, además del proceso de recolección y reciclaje, la clasificación, el transporte, la educación social y el monitoreo del programa integral.

En conclusión, y dado todo lo expuesto, para el caso de las Pilas Primarias, el destino final que se considera adecuado con miras a la protección ambiental es la disposición en Rellenos Sanitarios, al haberse demostrado que los metales que constituyen las Pilas Primarias no migran fuera del Relleno, aun en el largo plazo. Por otro lado, las Pilas Secundarias se componen de metales que pueden presentar mayores riesgos para el Medio Ambiente, por lo que se considera que el destino final de estas debe ser aquel de la recolección y reciclaje. Finalmente, cabe destacar que dado el avance tecnológico que han desarrollado las Pilas a lo largo de los años, es importante diferenciar entre los diferentes sistemas a la hora de seleccionar el destino final, eliminando así los mitos que han surgido alrededor de la Pila.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

IX. BIBLIOGRAFÍA

Sitios de Internet consultados:

- Energizer www.energizer.com
- Duracell www.duracell.com
- Panasonic www.panasonic.com
- RBRC www.rbrc.com
- GRS www.grs.com
- Infoleg www.infoleg.com.ar

Libros

- “Batteries for Portable Devices”, G. Pistoia, Elsevier, 2005.

Papers

- “The effectiveness of Municipal Solid Waste Landfills in Controlling Releases of Heavy Metals to the Environment”, SWANA Applied Research Foundation, March 2004.
- “Contribution of Spent Batteries to the Metal Flows of Municipal Solid Waste, EURAS, October 2005

Fuentes Consultadas

- Federico Garavano, IDM
- Osvaldo Casella, Hera Ailinco