



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Mecánica

**Análisis del impacto ambiental de las baterías Níquel Cadmio y la
factibilidad de reciclaje**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz**

Autor:

Juan Carlos López Cáceres

Director:

Juan Rodrigo Calderón Machuca

Cuenca - Ecuador

2012

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por dirigir mi camino en todo tiempo, a mis padres Juan y Carmen por su lucha diarias, a mi Universidad por la oportunidad dada en una nueva etapa de formación y al Dr. Juan Calderón de manera especial por haber apoyado en la ejecución y dirección de este trabajo, y de igual forma gracias a todas la personas que de manera directa e indirecta han colaborado para que este trabajo sea posible.

Juan Carlos López Cáceres.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios dador de sabiduría e inteligencia, a mis padres Juan López y Carmen Cáceres por ser mi pilar fundamental, a mi familia en general por su apoyo incondicional, a mi "pequeña hija" sobrina Evelyn Coronel por ser sinónimo de lucha y esfuerzo. A Verónica Andrade complemento y el amor de mi vida, sus lindos retoños, quienes con sus palabras de aliento, y cariño me levantaron en los momentos difíciles, GRACIAS A TODOS POR SER MI INSPIRACION DE SUPERACION.

Juan Carlos López Cáceres.

Calderón
11/01/13

RESUMEN

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS BATERÍAS NI-CD Y LA
FACTIBILIDAD DE RECICLAJE

Este trabajo de graduación comprendió inicialmente el estudio del impacto ambiental que representan las baterías Ni-Cd, así como la factibilidad para el reciclaje de las mismas. Se analizó los siguientes aspectos: características, impacto ambiental, mercadeo y diversos procesos de reciclaje. Fundamentalmente, se hizo hincapié en los principales metales utilizados en la fabricación como el níquel y el cadmio, este último considerado de mayor toxicidad. Una vez que se indagó los efectos peligrosos de contaminación desde su fabricación, uso y reciclaje, se estableció que existen procesos viables realizados por otros países donde se recupera hasta el 99 % de estos materiales, reutilizándolos en nuevos productos, concluyendo el estudio en que sí es factible aplicar el reciclaje de baterías Ni-Cd para el Ecuador.

Palabras claves: impacto ambiental, fabricación, uso, toxicidad, efectos peligrosos, procesos de reciclaje, recuperar, reutilizar.



Ing. Hernán Viteri
Director de la Junta Académica



Dr. Juan Calderón
Director



Juan Carlos López
Autor

fuera

Handwritten signature
 11/01/13

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF NI/Cd BATTERIES AND THE FEASIBILITY OF RECYCLING

This graduation work initially dealt with the environmental impact of Ni/Cd batteries, as well as with the feasibility of recycling them. The following aspects were analyzed: characteristics, environmental impact, marketing and diverse recycling processes. We primarily highlighted the most important metals employed during the fabrication such as nickel and cadmium, where the latter is considered the most toxic. Once the dangerous polluting effects were studied during the fabrication, use, and recycling periods, we established that there are viable processes. These processes are carried out in other countries, and up to 99% of these materials are recovered and reutilized in new products. The study concluded that it is possible to recycle Ni/Cd batteries in Ecuador.

Key Words: environmental impact, fabrication, use, toxicity, dangerous effects, recycling processes, recovery, reutilize.

Handwritten signature

Ing. Hernán Viteri
 Director of the Board

Handwritten signature

Dr. Juan Calderón
 Director

Handwritten signature

Juan Carlos López
 Author



Handwritten signature
 Translated by,
 Diana Lee Rodas

INDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento.....	i
Dedicatoria.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Índice de Contenidos.....	v
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tablas	x
Índice de Anexos.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I: BATERÍAS NÍQUEL CADMIO (Ni-Cd)

1. Las baterías Níquel Cadmio.....	2
1.1. La batería como elemento crítico contaminante.....	2
1.2. Efecto memoria de las baterías.....	3
1.3. Vida Útil.....	3
1.4. Potencia de cada celda en máxima carga y máxima descarga.....	4
1.5. Características fundamentales.....	4
1.6. Capacidad de carga y Auto descarga.....	4
1.6.1. Funcionamiento en carga.....	4
1.6.2. Auto descarga.....	5
1.7. Ventajas y Desventajas de las baterías.....	6
1.7.1. Ventajas de las baterías.....	6
1.7.2. Desventajas de las baterías.....	7
1.8. Tipos de fallas en las baterías.....	7

1.8.1. Pérdida gradual de capacidad.....	7
1.8.2. Carbonización.....	7
1.8.3. Efectos de flotación.....	8
1.8.4. Operación Cíclica.....	8
1.8.5. Formación de hierro en las placas positivas (cátodo).....	8
1.9. Importancia de las baterías.....	8
1.10. Aplicaciones de las baterías.....	9
1.11. Precauciones en las baterías.....	10
1.12. Mantenimiento	10
1.13. Comparación de las diferentes tecnologías en baterías.....	11

CAPITULO II: ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN, FUNCIONAMIENTO, CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

2. Estructura general de una batería Níquel-Cadmio.....	13
2.1. Composición de porcentajes en peso de metales básico.....	14
2.2. Funcionamiento.....	14
2.2.1. Reacciones Electroquímicas.....	15
2.3. Características Físicas y Químicas de las baterías Níquel-Cadmio.....	18
2.3.1. Características en forma general de las Baterías Níquel Cadmio.....	18
2.3.2. Características Físicas y Químicas de las baterías, Principales elementos de la batería: el Níquel, Cadmio e Hidróxido de Potasio.....	19
2.3.2.1. Definiciones de las nomenclaturas de las tablas presentadas.....	19
2.3.2.2. Níquel.....	21
2.3.2.3. Cadmio.....	23
2.3.2.4 Hidróxido de Potasio (electrolito).....	25

CAPITULO III: IMPACTO AMBIENTAL DE LAS BATERIAS NIQUEL-CADMIO

3. Toxicidad de las baterías Níquel-Cadmio.....	27
3.1. Níquel.....	27
3.1.1. Lugares en las que se considera como fuentes potenciales de contaminación por Níquel.....	27
3.1.2. Niveles de tolerancia.....	28
3.1.3. Riesgos toxicológicos.....	29
3.2. Cadmio.....	31
3.2.1. Lugares en las que se considera como fuentes potenciales de contaminación por Cadmio.....	32
3.2.2. Concentración del cadmio en el medio ambiente, niveles de tolerancia.....	32
3.2.3. Riesgos toxicológicos.....	32
3.2.3.1. Efectos en el medio ambiente.....	33
3.2.3.2 Efectos en el hombre.....	34
3.3. Hidróxido de Potasio (electrolito).....	36

CAPÍTULO IV: MERCADO DE LAS BATERIAS NIQUEL-CADMIO

4. Mercado Mundial de las baterías Níquel-Cadmio.....	37
4.1. Mercado mundial de los principales metales de las baterías: el Níquel y Cadmio.....	39
4.1.1. Mercado del Níquel.....	40
4.1.2. Mercado del Cadmio.....	44

**CAPITULO V: FACTIBILIDAD DEL RECICLAJE DE LAS BATERIAS
NIQUEL-CADMIO**

5. Reciclaje de las baterías Níquel Cadmio.....	48
5.1. Porque es importante el reciclaje.....	48
5.2. Ciclo de vida útil de las baterías Níquel-Cadmio.....	48
5.2.1 Norma Europea, Directiva 2006/66/EC relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores eléctricos.....	49
5.3. Proceso general para el reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio.....	52
5.4. Tipos de tecnologías utilizadas en el reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio.....	53
5.4.1. Proceso de Pirometalurgia.....	53
5.4.2. Proceso de Hidrometalurgia.....	57
5.4.3. Otras tecnologías.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto Memoria de las baterías Niquel-Cadmio	3
Figura 2. Comparación de Wh/l frente a Wh/Kg en las baterías.	12
Figura 3. Estructura general de las baterías Niquel-Cadmio	13
Figura 4. Reacciones de carga de las baterías Niquel-Cadmio	14
Figura 5. Información de ventas a nivel mundial de distintos tipos de baterías	37
Figura 6. Pronostico de producción de baterías a nivel global 1989-2009.	38
Figura 7. Pronostico de ventas de baterías de distintos tipos 1998- 2008	39
Figura 8. Principales usos del níquel.	41
Figura 9. Cotizaciones t/ dólares por año del níquel (2001-2011)	43
Figura 10. Cotización del último año lb/dólares del níquel (Mayo 2011-Mayo 2012)	44
Figura 11. Principales industrias de cadmio	45
Figura 12. Producción Minera mundial del Cadmio en refinerías 2004-2008.	46
Figura 13. Cotización de los últimos 3 años, lb/dólares del cadmio	47
Figura 14. Ciclo de vida útil de las baterías Níquel-Cadmio.	48
Figura 15. Cuadro general de un proceso para el reciclaje de las baterías Niquel-Cadmio	52
Figura 16. Proceso de reciclaje de las baterías Niquel-Cadmio utilizado por SAFT.	55
Figura 17. Ciclo de las baterías industriales Niquel-Cadmio de acuerdo al proceso STAF	56
Figura 18. Ciclo de las baterías portátiles Niquel-Cadmio de acuerdo al proceso STAF	56
Figura 19. Proceso Hidrometalúrgico Batintrec	58
Figura 20. Proceso Hidrometalúrgico Batintrec	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de diversas tecnología- Parámetros	11
Tabla 2. Composición de porcentajes en peso de metales básicos	14
Tabla 3. Temperaturas que soportan las baterías Niquel-Cadmio	18
Tabla 4. Características generales del níquel.	21
Tabla 5. Características Físicas del níquel.	21
Tabla 6. Características Generales del cadmio.	23
Tabla 7. Características Físicas del cadmio.	23
Tabla 8. Características Físicas del hidróxido de potasio.	25
Tabla 9. Concentracion del cadmio en el medio ambiente, niveles de tolerancia.	32
Tabla 10. Producción minera mundial de níquel (t de Niquel contenido)	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. DIRECTIVA 2006/66/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 6 de septiembre de 2006	73
---	----

López Cáceres Juan Carlos

Trabajo de Graduación

Dr. Juan Calderón

Enero del 2013

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS BATERÍAS NÍQUEL CADMIO Y LA FACTIBILIDAD DE RECICLAJE

INTRODUCCIÓN

Las baterías Níquel-Cadmio es una tecnología alcalina (recargables) de gran eficiencia, no requieren mantenimiento constante, son utilizadas en diversas aplicaciones industriales así como en vehículos híbridos o eléctricos, siendo ésta una mejor tecnología a comparación con las de plomo-acido, sin embargo los materiales utilizados para su fabricación presentan una gran toxicidad especialmente el cadmio, lo que produce un gran impacto ambiental afectando de manera directa a la naturaleza, así como a los seres humanos, razón por la cual se eligió como tema de estudio las baterías Níquel-Cadmio, ya que al conocer y analizar sus desventajas al terminar su vida útil, se obtendrá una solución viable en factibilidad de reciclaje mediante varios procesos que permitan recuperar y reutilizar estos materiales en nuevos productos, reduciendo al mínimo esta contaminación.

El uso de estas baterías en la actualidad ha ido disminuyendo radicalmente no por ser una mala tecnología, debido a normas Europeas que prohíbe su utilización en casi todas sus aplicaciones por el alto grado de toxicidad que estas presentan.

Con este estudio se logró obtener información clara que sensibilizará al usuario que utilice este tipo de tecnología Níquel-Cadmio, preguntándose que son en realidad, cuál es su funcionamiento y ventajas, si son fabricados de materiales libres de altos efectos toxicológicos que conllevaran a un gran impacto ambiental , así como conocer la factibilidad del reciclaje, es preciso tener en cuenta también un estudio del mercado de estas baterías de forma global e independiente que permita conocer a cada uno de sus metales, para saber que sucede en el ámbito de extracción y producción y, si la disminución de la utilización en baterías ha afectado.

CAPÍTULO I

BATERÍAS NÍQUEL CADMIO (Ni-Cd)

1. Las baterías Níquel-Cadmio

Las baterías Níquel-Cadmio se encuentran dentro de la tecnología alcalina, las cuales utilizan como electrolito el hidróxido de potasio, poseen dos polos, uno positivo de hidróxido de níquel (NiOOH), y otro negativo de cadmio metálico la capacidad de carga máxima va disminuyendo a lo largo de su vida útil debido al efecto memoria que poseen. (Juan Viera, 2003).

1.1. La batería como elemento crítico contaminante

Los componentes de las baterías Níquel-Cadmio son metales pesados, tóxicos; al ser desechadas al final de su vida útil sin un control adecuado o normas que establezcan un proceso de reciclaje responsable y amigable con el medio ambiente, ya que eventualmente estas baterías se liberan y comprometen: agua, suelo, atmosfera, provocando contaminación. El cadmio es el elemento más tóxico que ha producido enormes estragos a grandes países en las zonas cercanas a las plantas industriales emisoras de cadmio en sus partículas a la atmósfera. (PENUA, 2010)

La batería es considerada como un principal desafío en su reciclaje por su continuo desarrollo, pues de ella depende que el vehículo híbrido o eléctrico (en el área automotriz), tenga una fiabilidad semejante a los vehículos convencionales y una autonomía comparable. El parámetro crítico en este aspecto es la densidad energética, pues determinará en mayor medida la autonomía del vehículo. El problema que se plantea para el desarrollo de los vehículos híbridos de gran autonomía es el tamaño y el peso de este dispositivo, ya que ocupa la mayor parte de volumen del vehículo, por otro lado las diversas aplicaciones industriales que poseen estas baterías y que aún no han podido ser sustituidas debido a las características que poseen en su funcionamiento y ubicación, sería un punto importante a tener en cuenta ya que las mismas podrían contaminar su entorno al no poseer un proceso factible en su reciclaje. (Tyler Hamilton, 2009)

1.2. Efecto memoria de las baterías

Efecto que se produce al recargar una batería que no se encuentra descargada completamente, ya que parece "recordar" el nivel de carga que tenía cuando se comienza a recargar, de forma que al utilizarse nuevamente, sólo se descarga hasta dicho nivel, disminuyendo obviamente su tiempo de uso, es decir si una batería de Níquel-Cadmio que se ha descargado un 35 % de su capacidad, se recarga, su capacidad se reduce a un 65 % del valor inicial. Este efecto se debe a que los cristales de Níquel y Cadmio se acumulan y crecen, lo que termina por romper el separador aislante y producir altos niveles de auto descarga.

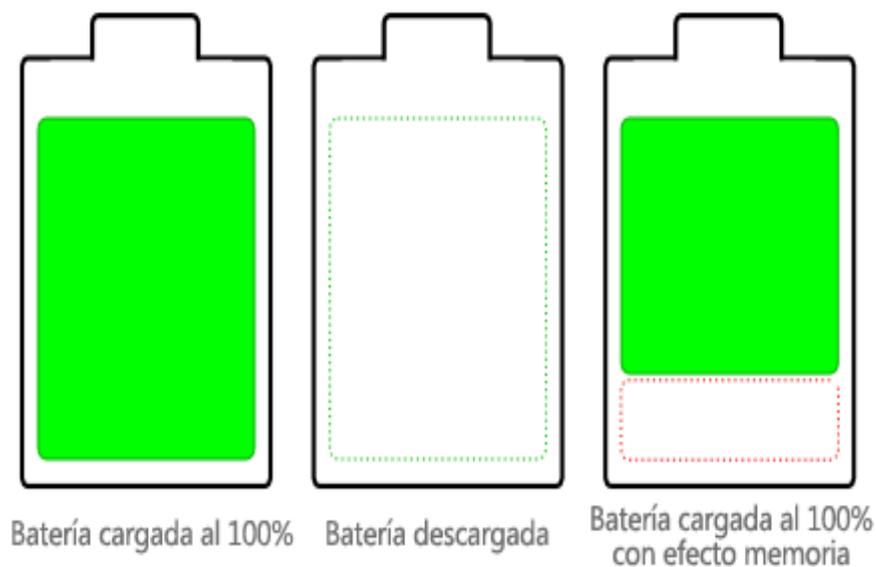


Figura 1. Efecto Memoria de las baterías Níquel-Cadmio

Fuente: [http://www.emezeta.com/articulos/pilas-recargables-efecto memoria#axzz1prCATpwJ](http://www.emezeta.com/articulos/pilas-recargables-efecto-memoria#axzz1prCATpwJ);

Febrero del 2012

1.3. Vida Útil

La vida útil es aproximadamente de 1500 ciclos de carga, posee una pequeña resistencia interna (100-200 mΩ) por lo que tienen a descargarse en una tasa muy alta.

1.4. Potencia de cada celda en máxima carga y máxima descarga

La potencia nominal de la celda a plena carga es de 1,25 V pero totalmente cargadas ofertan una potencia máxima de 1,4 V durante un corto periodo de tiempo. La tensión de máxima descarga es de 1 V por celda (donde se consideran totalmente descargadas). (Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, [s.a])

1.5. Características fundamentales

Establecidas según la Conferencia, Bioingeniería y Física médica Cuba, 2001

- Como máximo permiten lograr niveles medios de potencia.
- Su autodescarga es moderada con niveles típicos de un 15 % al mes a una temperatura de 20 ° C.
- Tienen un buen comportamiento a bajas temperaturas.
- Contienen cadmio, sustancia muy contaminante para el medio ambiente.
- Generalmente se recomienda descargar la batería antes de cargarla.
- Si se requiere, pueden ser cargadas rápidamente en 1-2 horas.
- Admiten cargas
- después de un largo tiempo de almacenamiento.

1.6. Capacidad de carga y Auto descarga

Según datos obtenidos en España por el Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo tenemos.

1.6.1. Funcionamiento en carga

Como norma general la carga de las baterías Níquel-Cadmio debe realizarse a intensidad constante, no es aconsejable a tensión constante, pues puede dar lugar a intensidades muy elevadas si los elementos están muy descargados.

1.6.2. Tiempo de carga

Las baterías no almacenan toda la energía eléctrica que reciben, por lo que debe ser mayor la cantidad suministrada, a 5 y 25 °C el factor de carga es de 1,4 V con lo que se suministra una carga con 40 % superior a la deseada.

1.6.3. Intensidad de la carga

Debe realizarse a intensidad constante aunque es posible realizarla a intensidades distintas sólo en el caso si las baterías están completamente descargadas y la temperatura es superior a 20°C.

1.6.4. Sobrecargas admisibles

En una batería si se excede los tiempos recomendados de carga no se puede almacenar la energía eléctrica ya que todo ello se convierte en calor, efecto que produce el aumento de la temperatura eléctrica, lo que puede ocasionar daños en la batería.

En general, las baterías de Níquel-Cadmio pueden aceptar sobrecargas a la intensidad nominal durante períodos más o menos prolongados (los fabricantes dan cifras desde "varios días" hasta 20 000 horas)

1.6.5. Temperatura durante la carga

En la batería, si la carga se realiza a temperaturas comprendidas entre 5 y 25 °C (temperatura óptima establecida por los fabricantes), puede recuperar el 100 % de su capacidad nominal, en caso contrario en temperaturas mayores como a los 45 °C solo alcanza el 70 % de su carga.

1.7. Autodescarga

El ritmo de auto descarga aumenta con la temperatura. Una batería con electrodos sinterizados a 40°C en 1 semana se descarga totalmente, y a 20-25°C pierde el 50%

de la carga en un mes, mientras que a temperaturas bajo cero puede conservar el 90% de su carga varios meses. El ritmo de autodescarga aumenta con la temperatura.

1.8. Ventajas y Desventajas de las baterías. (Cristina Pérez, [s.a.]

Según los estudios realizados en un proyecto de graduación efectuado en la Universidad Carlos III de Madrid.

1.8.1. Ventajas de las baterías

- Tecnología muy establecida
- Elevada estabilidad de la tensión en sus terminales durante gran parte de la descarga.
- Alta energía específica (por encima de 60 Wh/ Kg un 30 por ciento superior a lo alcanzado con las baterías de plomo-acido).
- Densidad de energía aceptable (en torno a 90 Wh/l, un 10 por ciento superior a lo alcanzado en baterías de plomo-acido).
- Buen comportamiento funcionando en un amplio margen de temperaturas -40°C y + 45°C.
- Vida cíclica larga (por encima de los 1 000 ciclos de carga-descarga, 2 o 3 veces lo alcanzado por la tecnología de plomo-acido).
- Buena aceptación de carga utilizando razones elevadas de carga.
- Gran robustez ante abusos tanto eléctricos como mecánicos.
- Gran fiabilidad, no fallan de forma repentina como las baterías de plomo-acido.
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacenan.
- El mantenimiento que se le debe efectuar es muy bajo.

Wh/kg: energía específica, energía que puede almacenar una batería por unidad de peso.

1.8.2. Desventajas de las baterías

- Tienen efecto memoria
- Pierden un 10 % de carga las primeras 24 horas.
- Se auto descargan.
- Son más caras, el doble que las baterías de plomo - ácido.
- Sufren envejecimiento prematuro con el calor.
- El cadmio es uno de los elementos utilizados en la fabricación de estas baterías, el cual es muy contaminante lo que obliga a aumentar la eficiencia en el reciclado de estas baterías una vez terminada su vida útil.
- La tensión nominal es de 1,2 V por celda frente a 2 V de la tecnología de plomo ácido, lo que requiere la conexión en serie de un mayor número de celdas para alcanzar una determinada tensión de batería en una aplicación específica.

1.9. Tipos de fallas en las baterías

Según los estudios realizados por Megger en una guía de pruebas para baterías, establece los siguientes fallos para las baterías Níquel-Cadmio. (Megger, 2004).

1.9.1. Pérdida gradual de capacidad

Es irreversible pero no catastrófico, no como el crecimiento de rejilla en las baterías plomos- ácidos, esto ocurre debido al proceso normal de envejecimiento.

1.9.2. Carbonización

Es causada por la absorción de dióxido de carbón del aire dentro del electrolito de hidróxido de potasio por lo que es un proceso gradual y reversible. Sin un mantenimiento apropiado la carbonización puede provocar que no se soporte la carga, lo cual puede ser catastrófico para el equipo soportado. Se puede revertir cambiando el electrolito.

1.9.3. Efectos de flotación

Es la pérdida gradual de capacidad debido a los largos periodos en flotación sin operación cíclica, por lo que puede causar una falla catastrófica en la carga soportada. Sin embargo, a través de mantenimiento de rutina, esto se puede evitar se detecta fácilmente por la prueba de Impedancia. Los efectos de flotación son reversibles operando extensamente en forma cíclica la batería una o dos veces.

Prueba de impedancia._ Una prueba óhmica interna, es la medición de resistencia en términos AC (corriente alterna), se determina aplicando una señal AC, midiendo la caída de tensión AC a través de la celda o conectores entre celdas sin dañar las baterías.

1.9.4. Operación Cíclica

Las placas gruesas de las baterías Níquel-Cadmio no son muy adecuadas para aplicaciones cíclicas, al contrario de las placas delgadas de otros tipos de baterías de corta duración que generalmente poseen una descarga más rápida debido a un área de superficie mayor.

Lo que significa que placas más delgadas, serían más placas para un tamaño de caja y capacidad dado, y más área de superficie. Por otro lado las placas gruesas (en el mismo tamaño de caja) tienen menos área de superficie.

1.9.5. Formación de hierro en las placas positivas (cátodo)

La formación de hierro es provocado por las placas corroídas, y es irreversible.

1.10. Importancia de las baterías

Las baterías de Níquel-Cadmio, durante su periodo de transición, la fabricación se ha considerado de gran importancia con una tecnología estable y mucho mejor en comparación con las de Plomo- Acido, debido a cada uno de sus características, ventajas, tamaño y sobre todo la aplicación a las cuales han sido introducidas; sin

embargo al mismo tiempo se volvieron un gran problema ambiental, debido a que uno de sus elementos como el cadmio es muy tóxico.

1.11. Aplicaciones de las baterías

Las aplicaciones en cuales las baterías han sido introducidas son muchísimas, tomando en cuenta desde una pila muy pequeña en elementos móviles como teléfonos, ferroviarios, barcos y grandes motores estacionarios.

A continuación citaremos algunos ejemplos de aplicaciones: En la medicina

Turismos eléctricos

Flotas Connecticut

Vehículos híbridos

En la medicina (Conferencia, Bioingeniería y Física médica Cuba, 2001): Los tipos de baterías recargables más usadas en los equipos médicos con fines de respaldo son las baterías plomo ácido y las de Níquel-Cadmio. Las primeras utilizadas generalmente cuando el peso del equipo no es un factor determinante en la elección del tipo de batería y las segundas, porque su pequeño tamaño ofrece mayor portabilidad, aunque estas se encuentren limitadas por la razón de su poca corriente máxima de salida que brindan, pero al contrario; su régimen de recarga es un beneficio muy aprovechado para este tipo de aplicaciones.

Turismos eléctricos: Las autonomías típicas de los turismos eléctricos con baterías Níquel-Cadmio son de 80 a 100 km, aproximadamente. (Manual técnica del automóvil, 3ra. Edición)

Flotas: Connecticut (estado norteamericano), se realizaron pruebas en sus flotas con baterías Níquel-Cadmio dentro de la tecnología BEV (Battery Electric Vehicle) en el año 1999 y 2003. Cuyo resultado clave fue a las 30.000 millas de conducción, dando como resultado que estas baterías eran fiables en sus cuatro años de funcionamiento. (Johnson controls-saft, 2010)

Vehículos Híbridos y Eléctricos: Las baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd) son similares a las de Níquel-hidruro metálico (Ni-HM), por lo que pueden ser aplicadas en los vehículos que contienen baterías Ni-HM, la gran diferencia de ellas es el impacto ambiental que tienen las de Ni-Cd por la toxicidad del cadmio, frente a las de Ni-HM.

Otras aplicaciones:

- Motores estacionarios.
- Dispositivos electrónicos Profesionales.
- Equipos militares
- Aeronaves de partidas, etc.

1.12. Precauciones en las baterías

- Cargar la batería solamente el tiempo necesario, ya que una carga excesiva puede ser más perjudicial que el efecto memoria.
- No descargarla en valores menores a 0,9 V por celda, ya que se dañaría. Esto se conoce como descarga profunda.
- Es recomendable que las baterías que se dejen de utilizar y aun se encuentren aplicables, estén descargadas para almacenarlas, ya que aunque exista la tasa de auto descarga, ésta se va disminuyendo con el tiempo hasta hacerse prácticamente despreciable.
- Al final de su vida útil se debe reciclar en lugares determinados por los fabricantes para disminuir su contaminación al mínimo.

1.13. Mantenimiento

Puntos a tomar en cuenta para el mantenimiento de las baterías

- Evitar las temperaturas elevadas en todo momento.
- No soldar sobre los electrodos, a menos que se dispongan de terminales de soldadura.

- Evitar cortocircuitos y sobre intensidades en la descarga.
- Evitar sobre descargas a intensidades superiores a la nominal.
- Evitar la carga a baja temperatura.
- Controlar la carga por el tiempo, no por la tensión en bornes de la batería.
- Si se deben cargar baterías conectarlas en serie, nunca en paralelo. Si el cargador no puede suministrar la tensión necesaria, cargarlos individualmente.
- Generalmente las baterías salen de fábrica descargadas. Antes del primer uso deben cargarse 14 horas a intensidad nominal.
- Si el plan de trabajo de la batería incluye la carga sistemática a baja intensidad, debe incluirse una carga a intensidad nominal con periodicidad mensual o bimensual.

1.14. Comparación de diferentes tecnologías en baterías

Wh/kg: energía específica, energía que puede almacenar una batería por unidad de peso.

Wh/l: densidad energética, energía que puede almacenar una batería por unidad de volumen

TECNOLOGÍA PARÁMETROS	PB- ÁCIDO	NI-CD	NI-MH	LI-ÍÓN	LI-PO	SÚPER- CONDENSADORES
VOLTAJE (V/CELDA)	2	1,2	1,2	3,7	3.6-3.7	2-3
ENERGÍA ESPECÍFICA (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	100-160	100-130	0,5-10
CICLOS DE VIDA (PARA MANTENER EL 80% DE SU CAPACIDAD INICIAL)	500-600	1.500	300-500	500-1000	500	>1.000.000
AUTODESCARGA (%/MES)	5	20	30	10	10	50
TIEMPO CARGA RÁPIDA (Horas)	8-16	1	2-4	2-4	2-4	<1

Tabla 1. Comparación de diversas tecnologías- Parámetros

Fuente: Buchmann, segunda edición.

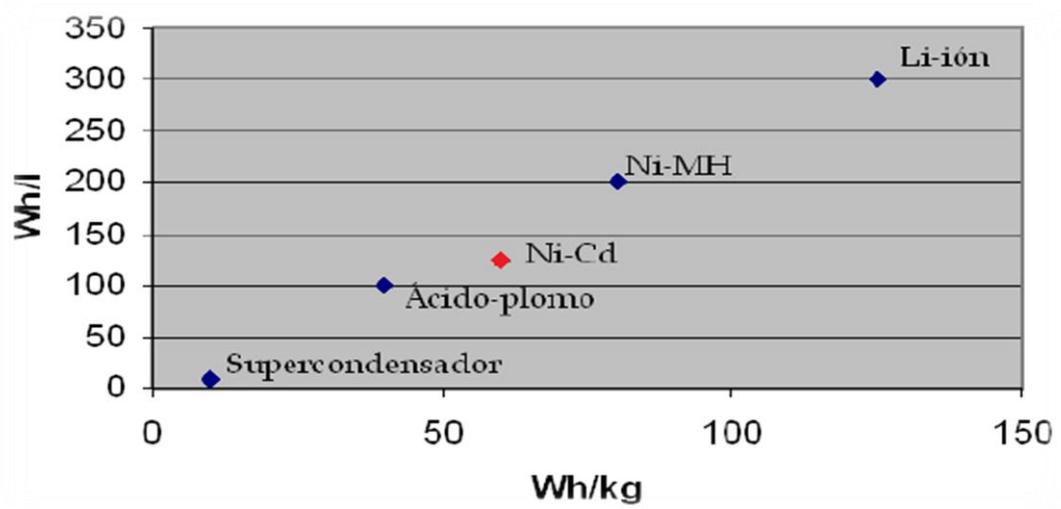


Figura 2. Comparación de Wh/l frente a Wh/Kg en las baterías.

Fuente: Buchmann, segunda edición.

CAPÍTULO II

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN, FUNCIONAMIENTO, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

2. Estructura general de una batería Níquel-Cadmio

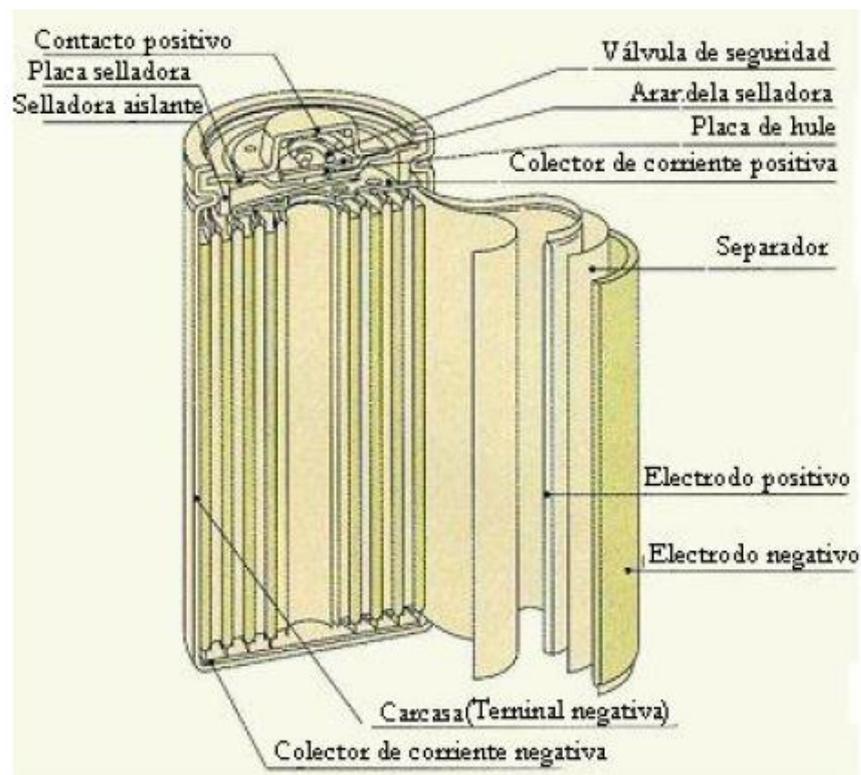


Figura 3. Estructura general de las baterías Níquel-Cadmio

Fuente: <http://www.rechargebatteries.org./html/recharged-knowledge-nicd.html>;

Febrero del 2012

2.1. Composición de porcentajes en peso de metales básicos (saft [s.a.])

Metales %		Plásticos %		Otros %	
Acero Fe	20	Polipropileno	8-11	Hidróxido de potasio	5,5-6,2
Níquel Ni	5-10			Hidróxido de litio	0,5
Cadmio	5-14				
				Agua	28-35

Tabla 2. Composición de porcentajes en peso de metales básicos

Fuente: www.saftbatteries.com; Febrero 2012

2.2. Funcionamiento

El funcionamiento de las baterías Níquel-Cadmio se colocará según información dada por el libro, tecnología de la batería, acumuladores Níquel Cadmio.

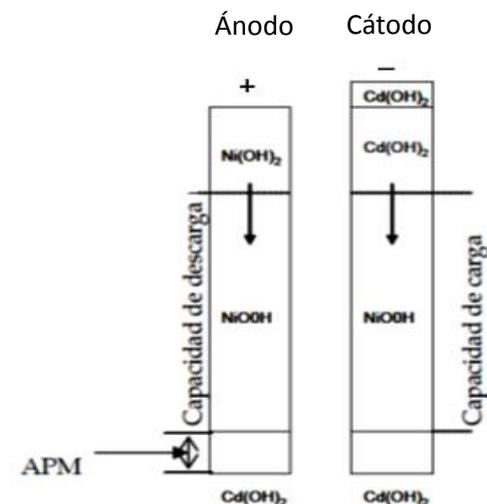


Figura 4. Reacciones de carga de las baterías Níquel-Cadmio

Fuente: Sprengel, 1989

Las reacciones electroquímicas en las baterías recargables están comprendidas principalmente de tres reacciones.

- Reacción en el electrodo negativo (cátodo).
- Reacción en el electrodo positivo (ánodo).
- Reacción en la que se produce oxígeno.

2.2.1. Reacciones Electroquímicas

Electrodo negativo (cátodo)

Es la reacción de descarga que proporciona potencia eléctrica al dispositivo que se encuentra conectado la pila.



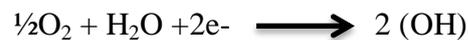
Electrodo positivo (ánodo)

Es la reacción de carga que restablece la potencia eléctrica perdida

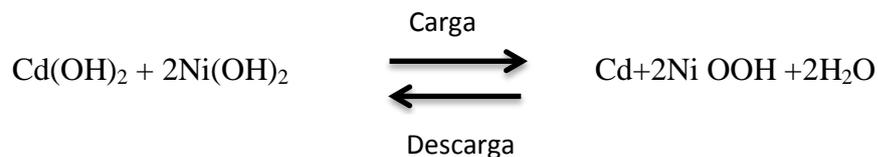


Reacción en la que se produce oxígeno

Es la reacción ocasionada como resultado de la electrólisis del agua en el electrodo positivo al completarse el proceso de carga, es decir la sobrecarga. Donde el oxígeno se consume en el electrodo negativo como se muestra a continuación en la siguiente reacción, permite mantener la presión interna en el rango permisible (2-10 bares).



Reacción Completa



Existen dos tipos de acumuladores de Níquel-cadmio, ya sean estos abiertos o a su vez también sellados, los acumuladores abiertos en la reacción de sobrecarga (H_2 en el electrodo negativo) presentan producción de gas; en cambio en los acumuladores sellados, están diseñados de tal manera que la capacidad del electrodo negativo es mayor que la del positivo, así que sólo el electrodo positivo produce O_2 cuando se sobre carga. Entonces el O_2 generado en el electrodo positivo se consume en la parte sin reaccionar del electrodo negativo, de esta manera la batería puede estar completamente sellada. (Sprengel, 1989)

Cuando el acumulador se sobre-carga, produce oxígeno en el electrodo negativo, el mismo que en el caso de gran presión puede escaparse por la válvula de alivio la cual abre en un rango de presión de 120 a 150 psia (libras/pulgadas².atmosferas). Con la finalidad de evitar un escape a altas presiones por ser peligroso, las precauciones tomadas por seguridad mediante el uso de la Masa Antipolar “APM” ($Cd/Cd(OH)_2$) ubicado en el electrodo positivo, la cual estabiliza el potencial del electrodo positivo (invertido) consumiendo el oxígeno ahora generado en electrodo negativo sin desarrollo de H_2 .

En este tipo de baterías el hidróxido de potasio (electrolito) no forma parte de las reacciones electroquímicas que se producen, por tanto su concentración no varía durante la carga/descarga. Así también no puede utilizarse para determinar el estado de carga de la batería, por lo que este fenómeno permite que se mantenga invariable el punto de congelación del electrolito con el estado de carga y que la tensión permanezca también invariable durante la descarga de la batería. (Sprengel, 1989)

- **Reacciones de sobre carga en las baterías abiertas de Níquel-Cadmio**

Cuando se encuentra en la proximidad de plena carga, debido al empobrecimiento del material activo que aún queda sin transformar se producen reacciones de sobrecarga, lo que se traduce en un aumento súbito de la tensión de la batería provocada por un incremento de su resistencia. En estas reacciones se produce un desprendimiento, en la placa positiva de oxígeno efecto que se mantiene hasta el final de la carga y en la placa negativa de hidrogeno ocasionando que crezca rápidamente la tensión en los terminales de la batería llegando a superar los 100

mV/celda (milivolteos/celda) para una carga a 0,1°C, el desprendimiento de gases debido a las reacciones de sobrecarga que se producen provoca una pérdida del nivel del electrolito de la batería. (David linden y Thomas B, 2002)

- **Reacciones de sobre carga en las baterías selladas de Níquel-Cadmio**

En las baterías selladas de Níquel-Cadmio también se facilita la recombinación de los gases producidos durante la sobrecarga de los electrodos en cada celda, en donde el electrodo positivo (que alcanza la sobrecarga antes que el electrodo negativo) produce oxígeno, que posteriormente alcanza el electrodo negativo reaccionando y formando hidróxido de níquel, cuando se utilizan a bajos regímenes de carga lenta estas baterías exhiben un buen comportamiento y se reducen las necesidades de mantenimiento ya que se evitan la pérdida de agua del electrolito.

Por otro lado esto es diferente cuando se utilizan a razones de cargas altas ya que la eficiencia de las reacciones de recombinación de las baterías selladas es baja, por lo que en estos casos la totalidad del gas producido en sobrecarga no se recombina y tiene que ser expulsado al exterior cuando supera el límite de la presión de la válvula de seguridad “APM” ubicada en la figura 4.

Por tanto en la tecnología Níquel-Cadmio, las baterías abiertas son más resistentes a sobrecargas con respecto a las selladas, lo que le permite poseer mayor capacidad para asimilar carga rápida. (J.C. Viera y M. González, 2002)

2.3. Características Físicas y Químicas de las baterías Níquel-Cadmio

2.3.1. Características en forma general de las Baterías Níquel Cadmio

SAFT “líder en alta tecnología para construcción de baterías”, según pruebas realizadas en su industria ha dado las siguientes características.

2.3.1.1. Características Físicas

- **Aspecto**

Forma física y color según se suministran.

- **Temperatura** (ambiente °C)

Tipo de acumulador	Continua	Ocasional
Envase de acero	-40 +50	-50 +85
Envase plástico	-40 +50	-40 +70

Tabla 3. Temperaturas que soportan las baterías Ni-Cd

Fuente: www.saftbatteries.com; Febrero 2012

- **Energía específica** : 13-22 Wh/kg

Nota: Wh= Tensión nominal x Ah; Kg= Peso medio de la batería en Kg.

- **Potencia instantánea específica** : 53-106 W / Kg

Nota: W = corriente en amperios alimentada por batería cargada totalmente para la mitad de la tensión nominal en un segundo.

Kg= Peso medio de la batería en Kg. (Saft [s.a])

2.3.1.2. Riesgos Físicos y Químicos al usar estas baterías

- **Riesgo Físico**

No existe riesgo si los acumuladores se utilizan para los fines previstos y de acuerdo con las instrucciones de uso.

Si no se siguen las instrucciones de uso en relación con la ventilación, oxígeno y gas de hidrógeno, que logran desarrollarse durante la sobrecarga, se pueden acumular en la caja de la batería. Si se inflama el gas por causa de una chispa eléctrica o por presencia de fuego, puede producirse una explosión violenta. (Saft [s.a])

- **Riesgo Químico**

Con un uso normal, el único riesgo químico es la naturaleza cáustica del electrolito. Deben tomarse precauciones al vaciar y llenar los acumuladores de las baterías. Las propiedades de los materiales del electrolito son peligrosas sólo si se liberan por golpes sufridos en la batería o si se exponen al fuego. (saft [s.a.]).

2.3.2. Características Físicas y Químicas de las baterías, Principales elementos de la batería: el Níquel, Cadmio e Hidróxido de Potasio

Este punto es muy importante ya que permite tener un estudio mucho más profundo al desglosar he investigar los principales elementos por separado.

2.3.2.1. Definiciones de las nomenclaturas de las tablas presentadas a continuación

Número Atómico (Z): Es el número de protones que contiene un átomo en su núcleo.

Masa Atómica: Es la masa de un átomo. Se expresa en unidades de masa atómica “uma” (La unidad de masa atómica es la doceava parte de la masa de un átomo de carbono-12).

Período: Es cada una de las filas del sistema periódico. Representa el número de capas que se están llenando o están llenas de electrones.

Grupo: Es cada una de las columnas del sistema periódico. En cada grupo se encuentran elementos de propiedades parecidas. Todos los elementos de un mismo grupo se caracterizan por poseer la misma distribución electrónica en la última capa o capa de valencia.

Bloque: Es un conjunto de elementos caracterizados por estar ocupando un orbital con electrones.

Valencia: Se define como valencia de un elemento el número de átomos de hidrógeno que pueden unirse con un átomo del mismo o ser sustituidos por él.

Densidad: Es la relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo. Se define como el cociente entre la masa y el volumen que ocupa dicha masa. $d = m / V$.

Punto de Fusión: Temperatura a la cual una sustancia cambia del estado sólido al estado líquido o viceversa. Es un valor constante y una propiedad característica de cada sustancia.

Punto de Ebullición: Temperatura a la cual una sustancia cambia del estado líquido al estado gaseoso o viceversa. Es un valor constante y una propiedad característica de cada sustancia.

Volumen Atómico: El Volumen Atómico es la relación que existe entre la masa de un mol de átomos del elemento y su densidad. Representa el volumen ocupado por un mol de átomos ($6,023 \cdot 10^{23}$ átomos) del elemento. (Química Web, definiciones)

2.3.2.2. Níquel

Las tablas colocadas a continuación se basan en información obtenida en fuentes digitales. (Química Web).

➤ Características Generales

Las características generales del níquel son:

Nombre: Níquel	Símbolo: Ni
Número atómico: 28	Masa atómica (uma): 58, 6934
Período: 4	Grupo: VIII (transición)
Bloque: d (no representativo)	Valencias: +2, +3

Tabla 4. Características generales del níquel.

Fuente: (Química Web, níquel); Febrero 2012

➤ Características Físicas

Las características físicas del níquel son:

Densidad (g/cm³): 8, 908 a 20 °C	Color: Blanco-Plateado
Punto de fusión (°C): 1 455	Punto de ebullición (°C): 2 913
Volumen atómico (cm³/mol): 6, 59	Presión de vapor: 0, 013 Bares 180 °C

Tabla 5. Características Físicas del níquel.

Fuente: (Química Web, níquel); Febrero 2012

En su estado de oxidación 0, es un metal duro, blanco plateado que se encuentra principalmente combinado con oxígeno (óxidos) o azufre (sulfuros), no tiene ni olor ni sabor característicos.

➤ Características Químicas

Las características químicas del níquel son:

- El níquel es un metal muy estable en condiciones normales, así como resistente a la corrosión de la mayor parte de los ácidos, sales, álcalis y gases secos o húmedos, también es inalterable frente a aguas saladas o dulces.
- Se disuelve en ácido nítrico diluido, con desprendimiento de óxido de nitrógeno
- El contacto de níquel con oxidantes fuertes puede producir hidrógeno gaseoso, inflamable y explosivo.
- El contacto del nitrato de níquel con madera u otros combustibles puede causar un incendio.
- Se puede alearse con la mayor parte de los metales a la temperatura de fusión. (Manual de seguridad, ficha níquel)

El níquel tiene reacciones con ciertas soluciones, especialmente con los ácidos.

- Con el ácido clorhídrico forma una reacción suave liberando hidrogeno, y formando NiCl_2 .
- Con el ácido nítrico se obtiene una extracción del metal.
- Con el ácido sulfúrico que es el más fuerte, se espera que este sea útil al momento de reaccionar con el níquel.
- Con el ácido acético, aunque este último sea un ácido no tan fuerte, extrae el níquel a grandes cantidades. (Universidad de Puebla, estudios [s.a])

2.3.2.3. Cadmio

Las tablas colocadas a continuación se basan en información obtenida en fuentes digitales. (Química Web).

➤ Características Generales

Las características generales del cadmio son:

Nombre: Cadmio	Símbolo: Cd
Número atómico: 48	Masa atómica (uma): 112, 411
Período: 5	Grupo: IIB (transición)
Bloque: d (no representativo)	Valencias: +2

Tabla 6. Características Generales del cadmio.

Fuente: (Química Web, níquel); Febrero 2012

➤ Características Físicas

Las características físicas del cadmio son:

- Es de color blanco plateado, dúctil, maleable, bioacumulable y resistente a la corrosión.
- Sus vapores son 3, 88 veces más pesados que el aire.
- Su presión de vapor es relativamente alto por lo que pasa fácilmente al estado de vapor y en este estado se oxida rápidamente produciendo óxido de cadmio que permanece en el aire. (PENUA, 2010)

Densidad (g/cm³): 8, 65 a 20 °C	Color: Blanco plateado
Punto de fusión (°C): 321; (20 °C)	Punto de ebullición (°C): 767
Volumen atómico (cm³/mol): 13, 00	Estructura cristalina: Hexagonal

Tabla 7. Características Físicas del cadmio

Fuente: (Química Web, níquel); Febrero 2012

➤ Características Químicas

Las características químicas del cadmio son:

- El cadmio se encuentra en la naturaleza como óxidos complejos, los mismos que son muy tóxicos y contaminantes.
- Este compuesto y sus soluciones son extremadamente tóxicas, aún en bajas concentraciones, ya que es bioacumulable.
- Si en la atmósfera se encuentran gases o vapores reactivos, como los bióxidos de azufre o de carbono, con ellos reaccionan y producen respectivamente carbonato, sulfito, hidróxido, sulfato y cloruro de cadmio. (PENUA, 2010)
- A una temperatura ordinaria y en seco es estable, pero se oxida lentamente en presencia de humedad ambiente, si se calienta a una temperatura elevada, arde desprendiendo vapores amarillo-rojizos de óxidos de cadmio.
- Puede ser atacado por todos los ácidos, incluidos los orgánicos (los que se encuentran en los alimentos), siendo tóxicas las sales que se forman.
- Los ácidos fuertes (clorhídrico y sulfúrico) lo disuelven desprendiendo hidrógeno. Con el ácido nítrico diluido se desprenden óxidos de nitrógeno.
- El cadmio es utilizado frecuentemente en la industria, ya que fundido, forma aleaciones con numerosos metales.

- En forma finamente dividida puede reaccionar violentamente con los siguientes compuestos: azufre, telurio, selenio, zinc, potasio, sulfato sódico, nitrato amónico, ácido nítrico concentrado, ácido hidrazoico, agentes comburentes fuertes con riesgo de inflamación y explosión
- El cadmio y alguno de sus compuestos actúan como catalizadores, en muchas reacciones de descomposición en las que se pueden desprender humos de óxidos de cadmio, altamente tóxicos. (Siafa laboratorios, tabla del cadmio [s.a.]

2.3.2.4. Hidróxido de Potasio (electrolito)

Puede ser peligroso para el medio ambiente, ya que el contacto con la humedad o el agua puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles.

➤ Características Físicas

Las características físicas del hidróxido de potasio son:

Formula molecular: KOH	Masa molecular una: 56, 105 g/mol
Punto de inflamabilidad: No inflamable	Apariencia: Sólido blanco, deliquescente.
Densidad: 2, 044 g/cm ³ , sólido	Punto de fusión: 360 °C.
Punto de ebullición: 1 320 °C.	

Tabla 8. Características Físicas del hidróxido de potasio.

Fuente: (Química Web, níquel); Febrero 2012

➤ **Características Químicas**

La característica química del hidróxido de potasio es:

Solubilidad en agua: 1 100 g/l (25 °C)

Peligros Químicos (Fichas Internacionales de seguridad química). La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (gas combustible y explosivo). Rápidamente absorbe dióxido de carbono y agua a partir del aire. El contacto con la humedad o el agua puede generar desprendimiento de calor.

CAPÍTULO III

IMPACTO AMBIENTAL DE LAS BATERÍAS NIQUEL-CADMIO

3. Toxicidad de las baterías Níquel-Cadmio

Este punto es primordial e importante, ya que con ello se podrá analizar la toxicidad que presentan estas baterías al medio ambiente y su efecto directo a los seres vivos, se analizará por separado la toxicidad de cada uno de los metales principales que lo componen: el Níquel, Cadmio y el Hidróxido de potasio (electrolito), con la finalidad de obtener un panorama más claro y detallado del impacto ocasionado por estas baterías, lo que facilitará una mayor información a las personas al momento de manipular y reciclar este tipo de baterías al final de la vida útil.

3.1. Níquel

El níquel es un elemento relativamente menos tóxico que el cadmio, la concentración que usualmente se encuentra en alimentos y el agua no se considera una amenaza para la salud así como al medio ambiente, sin embargo hay que tomar en cuenta que esto puede variar, sus niveles de contaminación pueden ser alterados o manipulados al tomar contacto con estas baterías, que se encuentran sin un adecuado manejo en su reciclaje al término de su vida útil. (Residuos Industriales y Urbanos, 2000)

3.1.1. Lugares considerados como fuentes potenciales de contaminación por Níquel

Según datos realizados por Residuos Industriales y Urbanos tenemos:

- En la fabricación y reciclaje de baterías eléctricas Níquel-Cadmio.
- Cuando se lo extrae y en su procesamiento de minerales que lo contienen.

- Su propia metalurgia, refinado y aleación con otros metales, así como el uso de esas aleaciones
- La producción y utilización de catalizadores industriales que lo contienen entre sus componentes.
- Soluciones utilizadas en procesos electrolíticos (procesos de cromado y similares).
- El uso de moldes conteniendo porcentajes altos del elemento (por ej. en la industria del vidrio).
- La utilización de pigmentos basados en el metal ejemplo: como los amarillos de titanio y níquel para pinturas.
- En la fabricación de herramientas, piezas de instrumentos, imanes, equipos de procesar alimentos y productos químicos así como motores, piezas de automóviles, ánodos de níquel, instrumentos para cirugía y odontología, etc.
- En la desulfuración de productos del petróleo. (Residuos Industriales y Urbanos, 2000)

3.1.2. Niveles de tolerancia

En cuanto a niveles de tolerancia sobre níquel permitido en el aire a áreas industriales, las regulaciones internacionales son bastante variables en unidades de miligramos/metros cúbicos:

- En los EEUU y en Japón se ha establecido un valor límite de 1 mg/m³.
- En Bulgaria, la República Checa, Rusia y otros países de Europa Oriental estos límites son más bajos (entre 0,5 y 0,1 mg/m³).
- Suecia el límite es aún inferior (0,01 mg/m³).

Los niveles habituales en agua potable son muy bajos:

- En los EEUU es de 4,8 mg/l.
- En los países escandinavos entre 3 y 8 mg/l.

Por otra parte su contenido en los alimentos es usualmente muy bajo, aunque por otro lado existen alimentos muy ricos en ello como son: el chocolate, el cacao, la soja, las nueces y algunos tipos de margarinas. (Residuos Industriales y Urbanos, 2000).

3.1.3. Riesgos toxicológicos

Los riesgos toxicológicos del níquel y sus compuestos pueden dividirse en tres categorías principales:

3.1.3.1. Alergias

3.1.3.2. Rinitis, sinusitis y enfermedades respiratorias

3.1.3.3. Cánceres de las cavidades nasales, de pulmón y de otros órganos.

3.1.3.1. Alergias

El níquel metálico y algunos compuestos solubles de níquel, en forma de polvo o humo pueden provocar dermatitis por sensibilidad, un problema que no se limita solo a las personas que están en contacto directo profesionalmente a sus compuestos, sino también a aquellos que se encuentran expuestos al níquel contenido en elementos fabricados a base de aleaciones del mismo . (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [200-])

La dermatitis por lo general en su primer síntoma es una picazón, la cual se presenta hasta 7 días antes que se manifieste la erupción cutánea. La erupción cutánea primaria es eritematosa o folicular. A continuación pueden sobrevenir, superficiales discretas las cuales pueden presentar secreciones, formar costras o eczemas. En etapas crónicas se pueden formar placas pigmentadas o despigmentadas. La sensibilidad al níquel, una vez que se la contrae, es aparentemente irreversible. Dentro de los siete días posteriormente al terminar la exposición se presenta la recuperación de la dermatitis, teniendo en cuenta que en ocasiones esto podría requerir varias semanas. (Residuos Industriales y Urbanos, 2000).

3.1.3.2. Rinitis, sinusitis y enfermedades respiratorias

En este punto, tenemos que los trabajadores de refinerías, industrias de galvanoplastia y aquellas que se encuentren expuestos a la inhalación de polvo de níquel o aerosoles de compuestos solubles de níquel pueden desarrollar enfermedades crónicas de las vías respiratorias altas, como rinitis hipertrófica, sinusitis nasal, anosmia, poliposis nasal y perforación del tabique nasal.

Esto es provocado por los factores que determinan la respuesta clínica. Es decir, dependen de:

- La naturaleza del compuesto.
- De su estado de división.
- La dosis recibida y el tiempo.
- Forma de exposición.
- La sensibilidad de la persona expuesta.

También se han señalado casos de aparición de cáncer de pulmón en refinerías de diversos países, y en operaciones de pulido, electrodeposición y soldadura, como en la fabricación de baterías de níquel-cadmio. (Residuos Industriales y Urbanos, 2000).

Por último se describe enfermedades crónicas de las vías respiratorias bajas, como bronquitis o fibrosis pulmonar, pero con una frecuencia muy baja.

3.1.3.3. Cánceres de las cavidades nasales, de pulmón y de otros órganos

En las refinerías de níquel ubicadas en Canadá, Gales, Alemania, Noruega y Rusia. Los estudios epidemiológicos realizados sobre trabajadores, puso manifiesto un aumento en la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón y las cavidades nasales.

Se ha descrito una mayor incidencia de otros tipos de tumores malignos, como: carcinomas de la laringe, riñón, próstata o estómago y sarcoma de tejidos blandos en determinados grupos de trabajadores en estas refinerías, aun siendo discutible las

estadísticas en ello, por otra parte el aumento riesgo de cáncer al pulmón y de las cavidades nasales se ha producido en lugares de trabajo donde los procesos conllevan una elevada exposición al níquel, como la calcinación, fundido y electrólisis, conociéndose que los riesgos a estos tipos de cáncer se da por los compuestos insolubles del níquel, como el subsulfuro o el óxido de níquel, y solubles durante los procesos de electrólisis.

En trabajadores de industrias donde se utiliza el níquel, los estudios epidemiológicos sobre el riesgo de cáncer por lo general, resultan negativos, aunque estudios recientes ponen en manifiesto que existe un riesgo ligeramente superior de contraer cáncer de pulmón en el área de procesos de soldadura, triturado y galvanizado, y en la fabricación de baterías. Al estar expuestos a polvos y humos que contienen mezclas de metales cancerígenos, como níquel y cromo o níquel y cadmio. (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [200-])

3.2. Cadmio

El cadmio se considera como uno de los elementos más tóxicos ambientales e industriales, ya que una vez emitidos a la atmósfera en forma de partículas, su tiempo de residencia ahí es relativamente corto ya sean días o semanas, posteriormente se traslada a grandes distancias como: a nivel local, regional, nacional, e inclusive a escalas intercontinentales.

Para ello depende de varios factores como:

- Fuentes naturales.
- Antropogénicas.
- Tamaño de partícula.
- La altura de los puntos de emisión.
- La meteorología. (PENUA, 2010)

3.2.1. Lugares considerados como fuentes potenciales de contaminación por Cadmio

- En la fabricación y reciclaje de baterías eléctricas Níquel-Cadmio.
- Cadmiado de metales, realizado por templado o procedimientos electrolíticos.
- Aleaciones con acero, cinc y cobre.
- Industria del cinc y extracción del cadmio a partir de sus residuos
- Fabricación de electrodos de soldadura
- Fabricación de células solares
- Pigmentos para pinturas
- Estabilizante en la industria de los plásticos
- En ocasiones se halla cadmio como contaminante de los abonos fosfatados y en las cenizas de incineradores que se emplean como abono. (Residuos Industriales y Urbanos, 2000)

3.2.2. Concentración del cadmio en el medio ambiente, niveles de tolerancia máximos permitidos

Medio	Concentración de cadmio
Aire	0,1 a 5 mg/m ³
Suelo	0,1 a 0,5 mg/m ³
Sedimentos marinos	Aproximado de 1 mg/m ³
Mar	Aproximado de 0,1 mg/m ³

Tabla 9. Concentración del cadmio en el medio ambiente, niveles de tolerancia máximos permitidos.

Fuente: (International Cadmium Association [s.a.]); Marzo 2012

3.2.3. Riesgos toxicológicos

El cadmio es considerado como uno de los mayores elementos tóxicos, ya que tiene cuatro de las características más temidas en cuanto se refiere a toxicidad.

- Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente
- Su bioacumulación,
- La persistencia en el medio ambiente,
- Se traslada a grandes distancias con el viento depositándose en los suelos, y las aguas. (Augusto Ramírez, 2002)

3.2.3.1. Efectos en el medio ambiente

La permanencia del cadmio en la atmósfera es relativamente corta a comparación con varios contaminantes orgánicos persistentes y sustancias como el mercurio, ya que al ser un material particulado, su tamaño nominal en el aire está por debajo de 1 micra, se emite a la atmósfera por fuentes antropogénicas ya sea como cadmio elemental u óxido, sulfuro, cloruro de cadmio, en fuentes de combustión atmosférica se emite en parte como cadmio elemental gaseoso, aunque a medida que se enfría se une rápidamente en partículas. (PENUA, 2010)

En el medio ambiente las principales fuentes de contaminación son: la minería metalurgia de metales no ferrosos, la metalurgia del hierro y acero, la fabricación de fertilizantes fosfatados, la incineración de residuos de madera, carbón o “plásticos”, la combustión de aceite y gasolina y las aplicaciones industriales de cadmio (la fabricación y reciclaje de las baterías eléctricas Níquel-Cadmio), donde las concentraciones de cadmio en el aire varían de 9,1 a 26,7 mg/m³ en comparación a las áreas rurales que va 0,1 a 6 mg/ m³. La permanencia del cadmio en el suelo es de hasta 300 años y de ello el 90 % permanece sin transformarse. (Augusto Ramírez, 2002)

En el ambiente acuático, la movilidad del cadmio se ve reforzada por un pH bajo, su baja dureza y niveles pequeños de materia suspendida, es fácilmente absorbido por los organismos directamente del agua en su forma iónica libre, el contenido de cadmio en el agua de mar (salada) es aproximadamente 0,1mg/l o menos, como los que contiene en las aguas superficiales de los océanos abiertos cuyas concentraciones de cadmio está por debajo de 5 mg/l. Por otro lado en el agua natural (dulce) la biodisponibilidad de cadmio se reduce a través de absorción de partículas en

suspensión y son los responsables biológicos de controlar los niveles más altos de cadmio.

La toxicidad y biodisponibilidad del cadmio está influenciado por las características del suelo, ya que esto influye en la absorción del cadmio. Su movilidad es mayor en suelos no calcáreos que en los calcáreos. (PENUA, 2010)

3.2.3.2. Efectos en el hombre

Las emisiones del cadmio es tóxico al ser humano, ya que es un elemento no esencial, acumulable que afecta principalmente a los riñones y el esqueleto, se lo considera también como un agente cancerígeno por inhalación acumulándose en los huesos, se da por la exposición a fuentes como al aire, suelos y aguas contaminadas, y exposición ocupacional. (PENUA, 2010)

Los efectos causados en la salud del hombre se ven clasificados en tres principales partes:

3.2.3.2.1. Toxicidad aguda.

3.2.3.2.2. Toxicidad crónica.

3.2.3.2.3. Cáncer.

3.2.3.2.1. Toxicidad aguda

Las concentraciones de los compuestos del cadmio en el aire superior a 1 mg Cd/m³, su inhalación durante 8 horas o en mayores concentraciones durante periodos más cortos puede producir una neumonitis química y en casos graves edema pulmonar. Los síntomas generalmente aparecen entre 1 y 8 horas posteriormente a la exposición siendo similares a una gripe o a la fiebre por humos de metales.

En la neumonitis y edema pulmonar, los síntomas más graves pueden tener un periodo en permanencia de hasta 24 horas, donde la muerte de la persona puede sobrevenir después de 4 o 7 días.

Se dan concentraciones en la atmosfera superiores a 5mg Cd/m^3 durante las operaciones de soldadura, corte al plasma o fundición de aleaciones de cadmio. Por último en la ingestión de bebidas contaminadas, con concentraciones superiores a 15 mg Cd/l , esto produce intoxicación alimentaria. Los síntomas son: náuseas, vómitos, dolor abdominal y, en ocasiones, diarrea. Sus fuentes de contaminación de los alimentos pueden ser cacerolas y sartenes con esmalte a base de cadmio o a su vez soldaduras que se han realizado con este elemento utilizado en máquinas expendedoras de bebidas calientes o frías. Por lo que hay que tener mucha preocupación en el reciclaje y reutilización de este elemento ya que un mal uso, su exposición puede ser mortal.

3.2.3.2.2. Toxicidad Crónica

En una intoxicación crónica por cadmio de carácter grave se ha detectado deficiencia renal, con el fin de prevenirlo, el trabajador que tenga la exposición profesional a los humos y polvo de cadmio en su jornada laboral, es recomendable mantener la concentración media de cadmio respirable en niveles inferiores a $0,01\text{ mg/m}^3$. Hay que señalar que las lesiones renales inducidas por este elemento son irreversibles y pueden seguir progresando incluso después de que se termina la exposición al mismo.

Nota: La población en general puede encontrarse en exposición excesiva al cadmio por alimentos y agua contaminada.

3.2.3.2.3. Cadmio y cáncer

En varios estudios epidemiológicos demuestran una relación directa del aumento en la mortalidad por cáncer pulmonar en los trabajadores que se encuentran expuestos al cadmio. Al año de 1993, la Agencia Internacional sobre el Cáncer (IARC), evaluó el riesgo de contraer cáncer de la exposición al cadmio y concluyó que se debe considerar como cancerígeno para el hombre. (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [200-])

Cd/m³: cadmio/ metro cubico

mg: miligramo

3.3. Hidróxido de Potasio (electrolito)

En este elemento sus límites y toxicidad es la siguiente:

Límites de exposición: 2 mg/m³.

Vías de exposición: La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

Riesgo de inhalación: La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.

Efectos de exposición de corta duración: La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar.

Efectos de exposición prolongada o repetida: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. (Fichas internacionales de seguridad química, hidróxido de potasio [s.a])

CAPÍTULO IV

MERCADO DE LAS BATERÍAS NÍQUEL-CADMIO

Dentro de la factibilidad del proceso del reciclaje en este estudio se ve incluido este punto como importante a más de la factibilidad de reciclaje por la toxicidad de las baterías, ya que por un estudio de mercado en cuanto a producción y utilización de estas baterías a nivel mundial, se logrará tener una conclusión más clara en factibilidad por producción, extracción de forma natural y de obtención por medio de reciclaje.

4. Mercado Mundial de las baterías Níquel-Cadmio

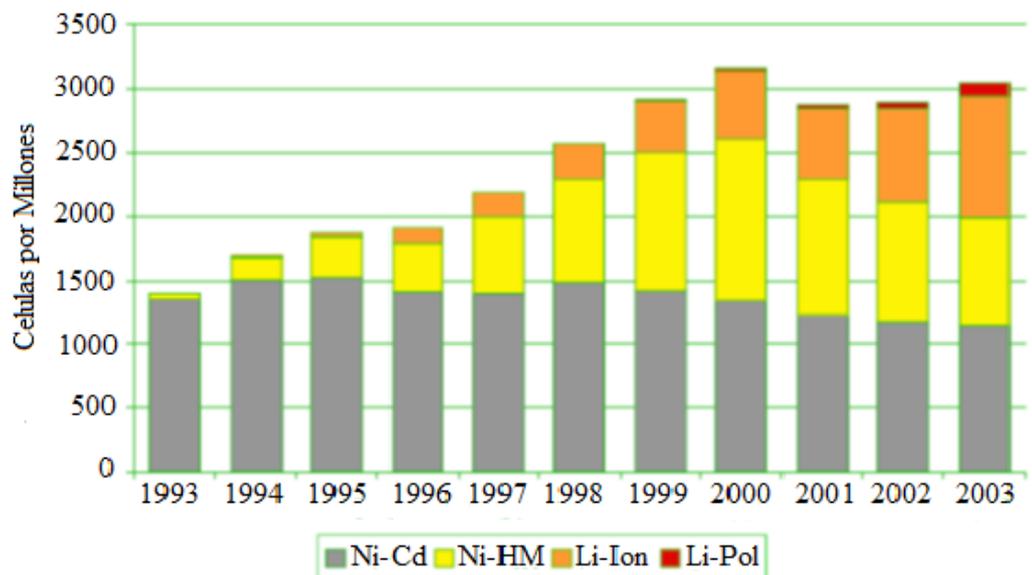


Figura 5. Información de ventas a nivel mundial de distintos tipos de baterías

Fuente: (Pillot, 2004); Marzo 2012

La producción mundial de las baterías está en continuo crecimiento, dado por el desarrollo tecnológico que lo enlaza directamente, en los datos de la figura 5 se observa una gran producción de las baterías Níquel-Cadmio (Ni-Cd) en los primeros años, hasta el final del periodo mostrado permanece casi constante dicha producción,

pero la fabricación de nuevas tecnologías en baterías, esto hace que la tendencia disminuya constantemente, ya que son las nuevas tecnologías como: las baterías de Níquel Hidruro metálico (Ni-MH), y las Ion litio por citar un ejemplo las que están en estado creciente de producción y ventas.

A continuación se coloca un cuadro en donde se puede observar una predicción dada de la producción mundial de baterías Ni-Cd, Ni-MH Y Ion litio en el periodo desde 1989-2009.

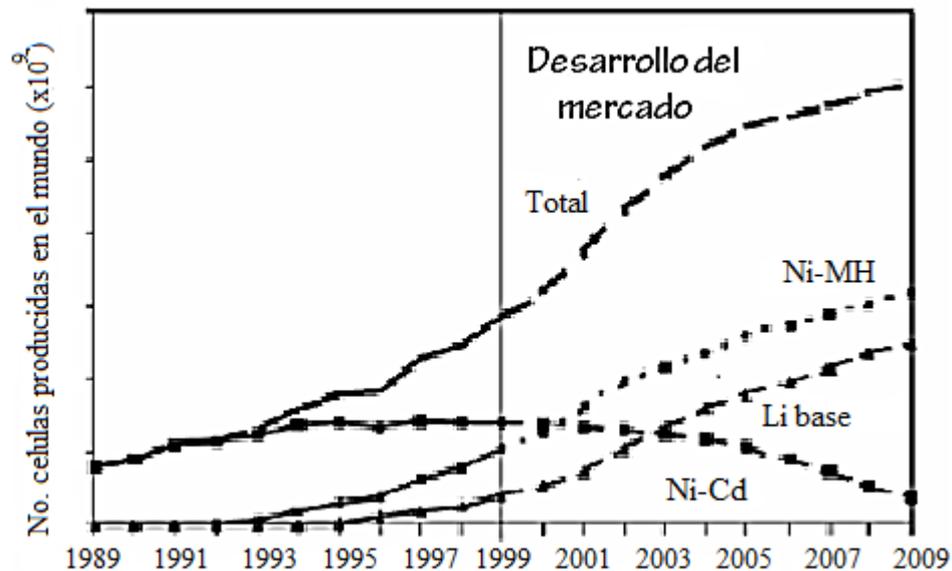


Figura 6. Pronostico de producción de baterías a nivel global 1989-2009.

Fuente: (Rydh, 2001); Marzo 2012

Como se puede observar en el gráfico, la estimación se basa en la sustitución del periodo por las baterías Ni-MH en un 73 % en la producción de las baterías a nivel mundial de las Ni-Cd, en este reporte no se ha tomado en cuenta las desventajas de las baterías Ni-MH, así también las aplicaciones en donde las baterías Ni-Cd no pueden ser sustituidas.

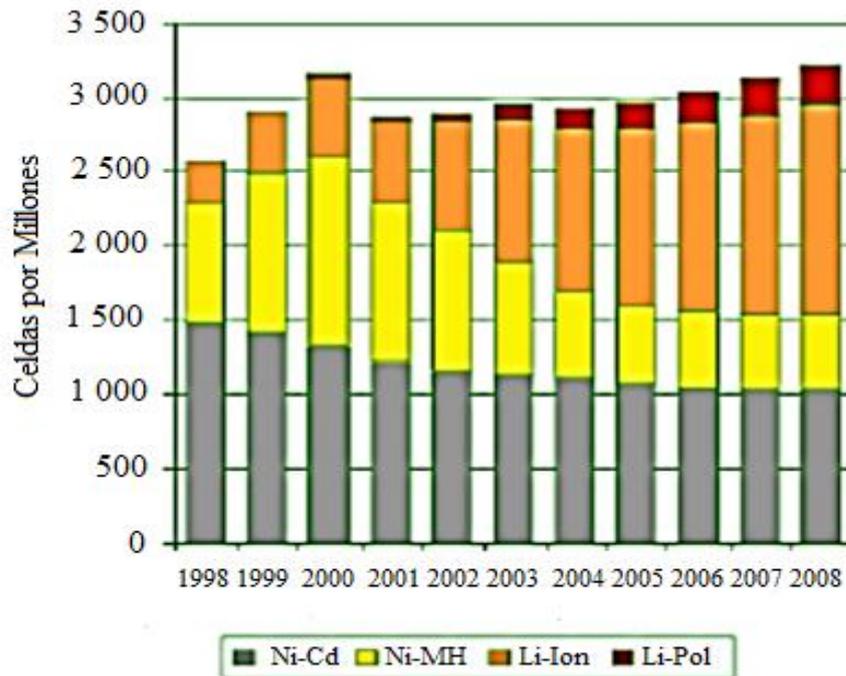


Figura 7. Pronostico de ventas de baterías de distintos tipos 1998- 2008

Fuente: (Pillot, 2004); Marzo 2012

El pronóstico mostrado en la figura 7, realizado por la corporación Avcenne, se observa que existió un consumo casi constante de las baterías de Ni-Cd en los años 2001-2008, cuyo estudio realizado a nivel mundial con la información de 60 empresas siendo una fuente altamente confiable para la comunidad europea, dado a las ventajas y características que estas baterías presentan en la industria, donde su aplicación en algunos de sus lugares aún no han podido ser remplazadas. (Nilsson, 2000)

Pero en la actualidad sus aplicaciones han disminuido y se ha ido sustituyendo en gran forma con las nuevas tecnologías en cuanto a baterías, debido al alto grado de toxicidad que presentan las de Ni-Cd. (Commission europea, informe [200-])

4.1. Mercado mundial de los principales metales de las baterías: el Níquel y Cadmio

Se considera a continuación los principales componentes de las baterías Níquel-Cadmio como son: níquel y cadmio en un estudio de mercado mundial, con el fin de

determinar la factibilidad del reciclaje frente a los obtenidos en forma natural mediante extracción, producción.

4.1.1. Mercado del Níquel

4.1.1.1. Tipos de depósitos de níquel

Dentro de los ambientes más comunes donde se pueden encontrar depósitos de Níquel tenemos:

4.1.1.1.1. Depósitos de Sulfuro de Níquel, debido a la gran afinidad que existe entre este elemento y el Azufre

Todos los depósitos de sulfuro de Níquel están asociados a rocas ígneas básicas (las mismas que contienen una elevada relación Cobre/Níquel, en Ontario- Canadá, y antigua Unión Soviética), y ultra básicas (con una baja relación Cobre/Níquel en depósitos del oeste Australiano). (El níquel en Colombia, 2009)

Los principales productores a partir de sulfuros de Níquel son:

- Canadá
- La antigua Unión Soviética
- Australia

Los minerales de estos depósitos comúnmente está constituida por:

- Pirrotita
- Pentlandita (Hierro, Níquel) (Azufre)
- Calcopirita
- Magnetita.

4.1.1.1.2. Lavas fluidas komatíticas

En este tipo de depósito se presenta también en forma de sulfuro masivo en la base del conducto del fluido o diseminado en la roca.

Son generalmente depósitos pequeños de alrededor de 2 millones de toneladas, pero contienen una alta cantidad de níquel mayor al 15 %. (El níquel en Colombia, 2009)

4.1.1.1.3. Lateritas níquelíferas

En ambientes de este tipo, se contiene níquel en agrupación con cobalto, en óxidos formados en la superficie de los depósitos. Este tipo de depósitos pueden ser extensos, con más de 100 millones de toneladas, aunque los grados de Ni encontrados son bajos un 2%, y comúnmente se encuentra en 1%, en cuanto a depósitos este, proporciona al mundo una parte significativa de la producción del níquel, requiriendo de un gran capital para cubrir los gastos del complejo proceso de tratamiento de las lateritas.

La mayoría de estos depósitos se forman a partir de la alteración superficial de Peridotitas, durante un proceso activo, bajo determinadas condiciones climáticas y topográficas, que se denomina laterización. (El níquel en Colombia, 2009)

4.1.1.2. Principales usos del níquel

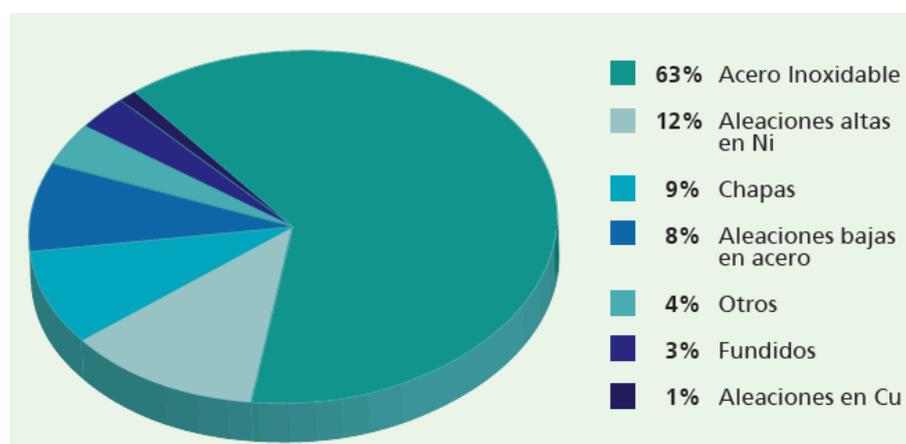


Figura 8: Principales usos del níquel.

Fuente: www.mineralresources.com; Marzo 2012

4.1.1.3. Producción Minera mundial del Níquel

Como mayores productores del níquel tenemos a, Rusia (19 %) se mantiene como líder, seguido por Indonesia (14 %), Australia (12 %), Filipinas (9%) y Canadá (9%). (Níquel, 2010)

A continuación se colocara una tabla de la producción minera desglosada por país la producción en el periodo de 2005-2009.

Toneladas (t) de Níquel contenido

	2005	2006	2007	2008	2009
Grecia	20 400	21 700	21 200	18 600	9 600
España	5 320	6 400	6 630	8 131	8 035
Finlandia	3 400	3 000	3 600	6 200	1 600
<i>Subtotal UE</i>	<i>29 120</i>	<i>31 100</i>	<i>31 430</i>	<i>32 931</i>	<i>19 235</i>
Cuba	73 800	73 400	73 900	67 300	65 000
Colombia	89 000	94 100	100 500	77 000	72 000
Brasil	74 198	82 492	58 317	67 116	67 000
Rep. Dominicana	28 298	29 675	29 100	18 800	--
Venezuela	18 500	18 200	17 200	11 900	11 400
<i>Subt. Iberoamérica</i>	<i>299 698</i>	<i>297 867</i>	<i>279 017</i>	<i>233 500</i>	<i>215 400</i>
Rusia	315 000	320 000	279 800	266 800	261 900
Australia	189 000	185 000	184 000	200 000	166 000
Canadá	198 369	233 461	254 915	259 651	136 594
Nueva Caledonia	111 939	102 986	125 364	102 583	92 570
Indonesia	150 000	150 000	201 400	219 300	202 800
China	72 700	82 100	66 400	79 500	81 100
Sudáfrica	42 497	41 599	37 877	31 700	34 610
Filipinas	22 560	64 705	91 367	80 645	137 350
Botswana	28 212	26 762	22 844	28 940	29 616
Zimbabwe	7 799	8 825	8 582	6 364	4 858
Turquía	700	1 900	1 700	--	11 300
Noruega	342	320	378	377	336
TOTAL (redond.)	1 430 000	1 530 000	1 600 000	1 581 000	1 412 000

Tabla 9. Producción minera mundial de níquel (t de Níquel contenido)

Fuente: World Mineral Statistics 2005 – 2009 BGS; Marzo 2012

En la producción europea que es apenas 1,4 % del total mundial, en el último año se ha reducido en un 42% por las caídas considerables de producción en Grecia y Finlandia, la que ha sido generalizada en parte debido a la crisis económica global y

al descenso generalizado del uso de níquel primario, lo que llevo a una bajada importante de los precios. Donde la disminución más destacada ha correspondido a Canadá. (Níquel, 2010)

Al contrario, Filipinas incremento un 71% en su producción al alcanzar las 137 000 t/año y posicionarse notablemente por encima de China, que se mantiene en torno a las 80 000 t/año. Otro país que ha visto aumentar su producción de forma notable ha sido Turquía en 11 300 t/año. A principios del 2010, Rusia se colocó como líder mundial de producción en níquel ya que sus reservas probadas y probables de las penínsulas Taimyr y Kola contienen aproximadamente 5,8 millones de toneladas níquel y 8,7 millones de toneladas cobre.

Sin embargo por las consecuencias dadas en la caída del precio, la compañía rusa decidió cancelar la explotación de los depósitos Emily Ann y Maggie Hays (Lake Johnston, Australia) que habían estado en operación desde 2001. (Níquel, 2010)

4.1.1.4. Precio del níquel

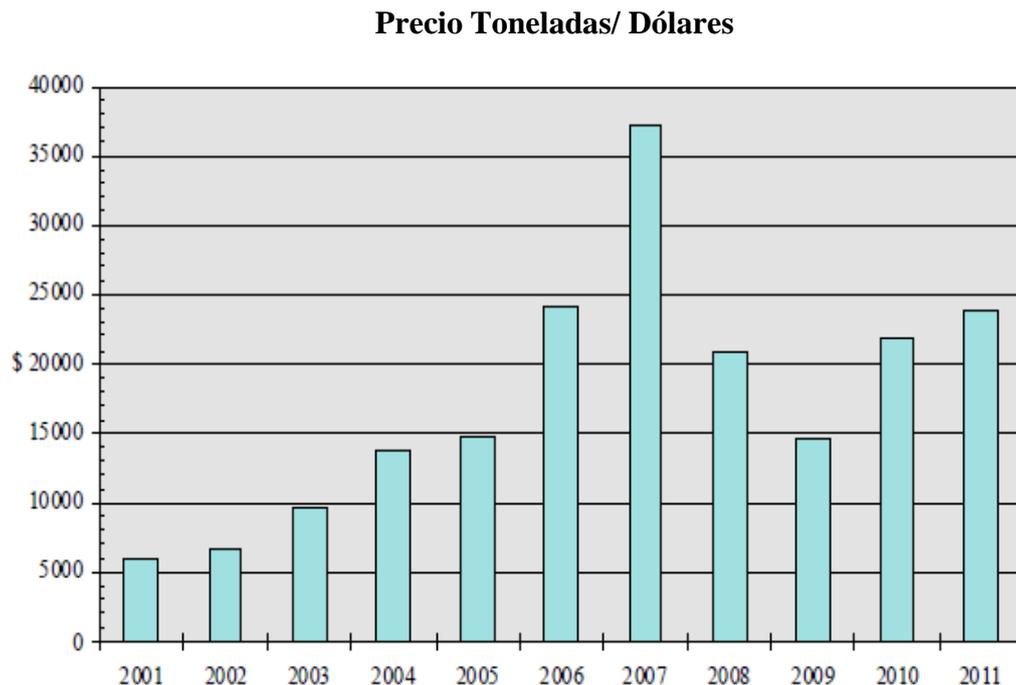


Figura 9. Cotizaciones t/ dólares por año del níquel (2001-2011)

Fuente: www.igme.es/internet/PanoramaMinero/actual/NÍQUEL10.pdf; Marzo 2012

Precio Internacional, Dólares/ libras

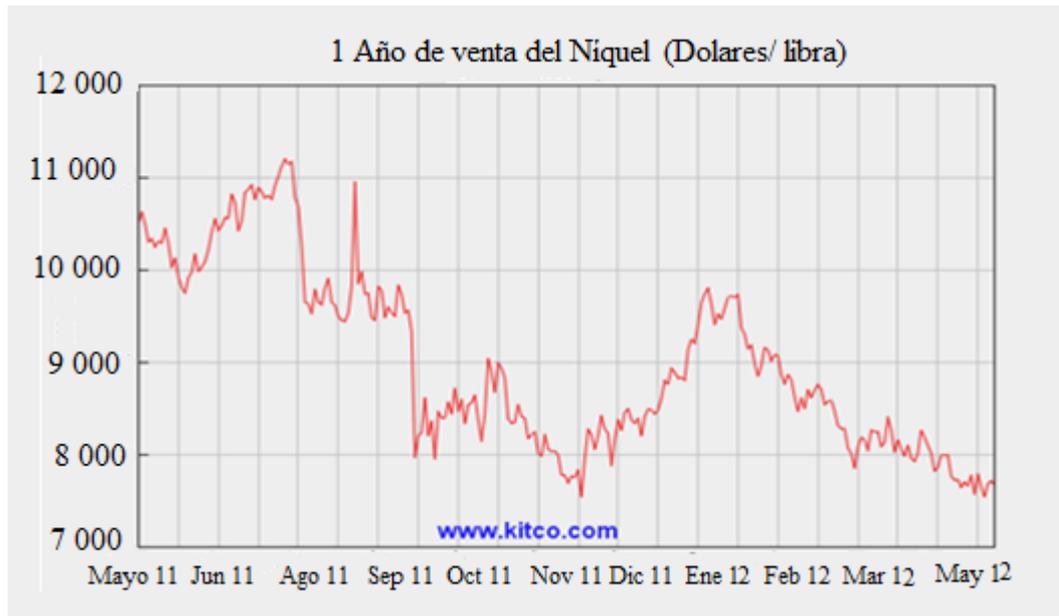


Figura 10. Cotización del último año lb/dólares del níquel

Fuente: <http://portaljsp.sgm.gob.mx/SINEM/f2PIM/ePIM-Niquel.htm>; Marzo 2012

El precio hasta la fecha 28/05/2012, según SIMEN (Sistema Integral sobre Economía Minera del Servicio Geológico Mexicano) el valor del níquel por libra es 7,67 dólares americanos.

4.1.2. Mercado del Cadmio

El cadmio es un elemento escaso, que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre, pero no se halla en estado libre y existe un solo mineral que lo contiene como una cantidad apreciable. La greenconita o sulfuro de cadmio (CdS). Este mineral se encuentra casi siempre asociado a la esfalerita (ZnS) en una proporción del 0.2 al 0.4%

Por lo que, el cadmio es extraído como un subproducto de la minería, en la fundición y refinación del zinc (donde de las reservas de zinc contienen el 3 % de cadmio aproximadamente), y en menor grado de la del plomo y cobre. (Mineral Commodity Summaries, 2008)

4.1.2.1. Obtención del cadmio.

El cadmio se obtiene de dos formas, la una ya explicada anteriormente de la fundición y extracción del zinc, y la segunda del reciclaje de baterías níquel-cadmio, de las aleaciones de cobre-cadmio, hierro y otros, así como del reciclaje de polvos de hierro y cadmio, lo que para el año 2004 esto represento el 17, 5 % de suministro mundial atravez del reciclaje. (PENUA, 2010)

4.1.2.2. Principales usos del cadmio

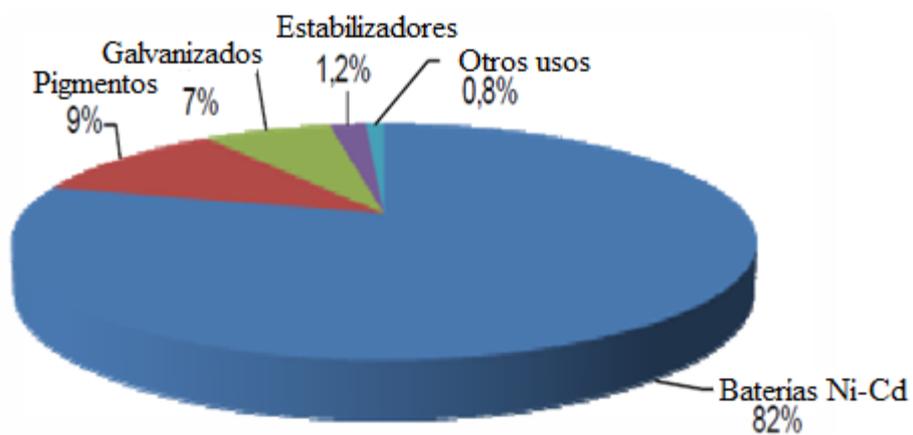


Figura 12. Principales industrias de cadmio

Fuente: (Año de referencia: 2007); Marzo 2012

Según datos publicados por la WBMS (Oficina Mundial de Estadísticas del Metal), el consumo mundial de cadmio refinado en el 2008 aumentó un 3% comparado con el 2007. Los principales consumidores de cadmio refinado son China, Bélgica y Japón. La producción de baterías Ni-Cd continuó siendo el principal uso final del cadmio, que representa la mayoría del consumo mundial. (Mineral Commodity Summaries, 2008)

4.1.2.3. Producción Minera mundial del Cadmio en refinерías, TM (miles de toneladas)

Nº	País	2004		2005		2006		2007		2008 ^e	
		TM	%	TM	%	TM	%	TM	%	TM	%
1	Argentina	39	0.2%	3	0.0%	6	0.0%	6 ^f	0.0%	6	0.0%
2	Australia	347	1.9%	358	1.8%	329	1.7%	351	1.8%	330	0.4%
3	Brazil	187	1.0%	200	1.0%	141 ^f	0.7%	200 ^e	1.0%	200	0.3%
4	Bulgaria	356	1.9%	319	1.6%	363 ^f	1.8%	459 ^f	2.4%	460	0.6%
5	Canada	1,880	10.1%	1,727	8.6%	2,090 ^f	10.5%	1,388 ^f	7.2%	1,300	1.7%
6	China	2,800	15.0%	4,080	20.3%	3,790	19.0%	4,210 ^f	21.7%	4,300	5.5%
7	Germany	640	3.4%	640	3.2%	640	3.2%	400 ^f	2.1%	400 ^e	0.5%
8	India	489	2.6%	409	2.0%	457	2.3%	583	3.0%	599	7.7%
9	Italy	10	0.1%	10	0.0%	10	0.1%	10	0.1%	10	0.0%
10	Japan	2,233	12.0%	2,297	11.4%	2,287	11.5%	1,933	10.0%	2,116	27.2%
11	Kazakhstan	1,900	10.2%	2,000	9.9%	2,000	10.0%	2,100	10.8%	2,100	2.7%
12	Korea, North	200	1.1%	200	1.0%	200	1.0%	200	1.0%	200	0.3%
13	Korea, South	2,362	12.7%	2,582	12.8%	3,320	16.7%	2,846 ^f	14.7%	2,900	3.7%
14	Mexico	1,615	8.7%	1,653	8.2%	1,401	7.0%	1,617	8.3%	1,605	20.7%
15	Netherlands	493	2.6%	494	2.5%	524	2.6%	495	2.6%	530	0.7%
16	Norway	141 ^f	0.8%	153 ^f	0.8%	125 ^f	0.6%	269 ^f	1.4%	178	2.3%
17	Perú	532	2.9%	481	2.4%	416	2.1%	347 ^f	1.8%	371	4.8%
18	Poland	356	1.9%	408 ^f	2.0%	373 ^f	1.9%	421 ^f	2.2%	420	0.5%
19	Russia	532	2.9%	621	3.1%	690	3.5%	810	4.2%	800	10.3%
20	Ukraine	25	0.1%	25	0.1%	25	0.1%	25	0.1%	25	0.0%
21	United States	1,480	8%	1,470	7%	723	3.6%	735	3.79%	777	10.01%
	TOTAL	18,600^f	100%	20,100^f	100%	19,900	100%	19,400^f	100%	19,600	100%

Figura 12. Producción Minera mundial del Cadmio en refinерías 2004-2008.

Fuente: U.S. Geological survey minerals yearbook – 2008; Marzo 2012

En el año del 2008, se produjo 19 600 TM en refinерías de los cuales 11 % fue en Latinoamérica: México (1 605 TM), Perú (371 TM), Brasil (200 TM), Argentina (6TM).

Los principales productores de cadmio refinado son: China (4 300 TM), República de Corea (2 900 TM) y Japón (2 116 TM). (PENUMA, 2010)

En los últimos años, la utilización del cadmio se ha reducido según normas prohibitorias de uso, dados por la Unión Europea, por su alto riesgo toxicológico que presenta. Donde las baterías de Níquel-Cadmio son sustituidas por baterías Níquel-Hidruro Metálico, Ion litio y nuevas tecnologías que se ha logrado obtener hasta la fecha, así como la disminución de uso en las composiciones en productos que contienen cadmio. (Commission europea, informe)

4.1.2.4. Precio del cadmio

Precio Internacional, Libras/ Dólares



Figura 13. Cotización de los últimos 3 años, lb/dólares del cadmio

Fuente: <http://portaljsp.sgm.gob.mx/SINEM/f2PIM/ePIM-Cadmio.htm>; Marzo 2012

El precio hasta la fecha 28/05/2012, según SIMEN (Sistema Integral sobre Economía Minera del Servicio Geológico Mexicano) el valor del cadmio por libra es 0,90 centavos de dólares americanos.

CAPITULO V

FACTIBILIDAD DEL RECICLAJE DE LAS BATERIAS NIQUEL-CADMIO

5. Reciclaje de las baterías níquel cadmio

5.1. Porque es importante el reciclaje

Las baterías Níquel-Cadmio al término de su vida útil, pueden transformarse en un elemento altamente contaminante debido a la gran toxicidad que presentan los materiales utilizados para su fabricación, al no tener un proceso responsable de manipulación y reciclaje, terminando en vertederos clandestinos, cuya responsabilidad debe ser conjuntamente cliente-empresario-fabricante donde se logrará disminuir notablemente la contaminación e impacto ambiental.

5.2. Ciclo de vida útil de las baterías Níquel-Cadmio

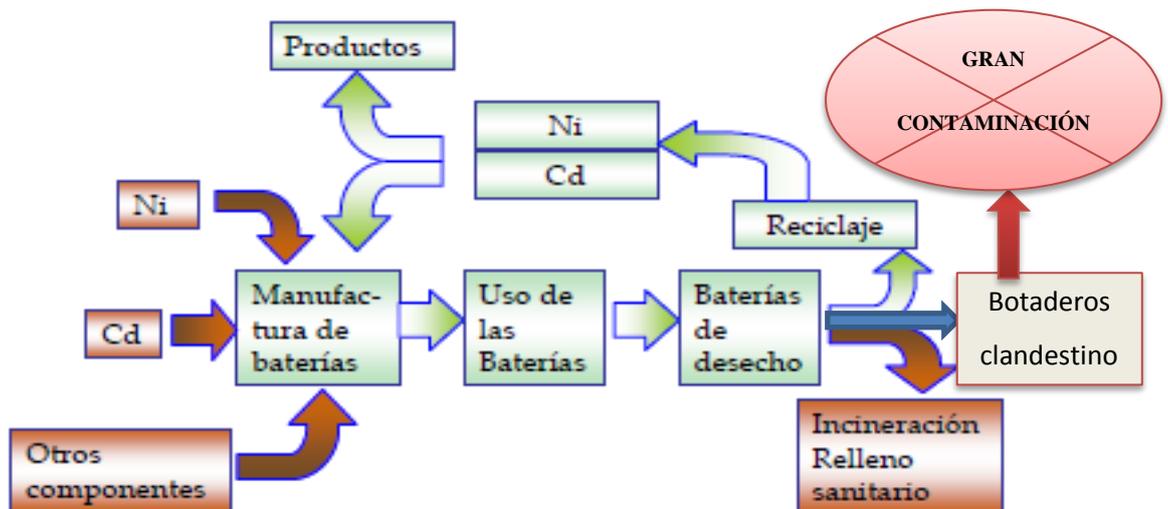


Figura 14. Ciclo de vida útil de las baterías Níquel-Cadmio.

En la figura 14, podemos observar el ciclo de vida en las baterías, comenzando desde su fabricación, luego llegan a sus diferentes fuentes de uso, posteriormente al terminar su vida útil son desechadas, donde debemos tener en cuenta 3 puntos importantes que se realizan en ellas: reciclar, llevar a un relleno sanitario, o a su vez terminan en botaderos clandestinos (vertederos al aire libre en el medio ambiente), este último produce una gran contaminación ambiental y que afecta directamente a los seres vivos, podemos observar que una batería tratada con un proceso de reciclaje óptimo, disminuirá considerablemente la contaminación, ya que se logrará recuperar casi en su totalidad sus principales materiales que son el Níquel y Cadmio, los mismos que son reutilizados en nuevas baterías y otros productos que contienen este tipo de elementos.

5.2.1 Norma Europea, Directiva 2006/66/EC relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores eléctricos (Directiva 2006/66/EC)

Esta norma Europea posee varios artículos que se encuentran predestinados para el reciclaje y tratado de las baterías al finalizar su vida útil, se citara la misma en este estudio ya que el Ecuador no cuenta con una norma tan específica y aplicada, permitiendo tener un conocimiento claro en la recolección, tratado, reciclado y eliminación de los residuos de pilas y acumuladores donde podría servir como un modelo a seguir para nosotros. Ver anexo A

5.2.1.1. Objetivos de Directiva 2006/66/EC

La directiva establece tanto las normas de puesta en el mercado de pilas y acumuladores (desde etiquetado hasta materiales prohibidos), hasta las normas específicas de recogida, tratado, reciclado y eliminación de los residuos de pilas y acumuladores.

Su principal objetivo es mejorar el rendimiento de ellas reduciendo al mínimo los daños perjudiciales al medio ambiente ocasionado por las pilas, acumuladores y de las actividades de todos los operadores económicos que participan en el ciclo de vida de las baterías y acumuladores: productores, distribuidores y usuarios finales;

haciendo especial énfasis en aquellos operadores que participan de forma directa en el tratamiento y reciclado de sus residuos.

En palabras del texto se pretende en definitiva “armonizar las disposiciones nacionales en materia, residuos de pilas y acumuladores” 1. El objetivo principal perseguido es por tanto “reducir al máximo el impacto negativo de todos ellos sobre el medio ambiente, contribuyendo así a la protección, conservación y mejora de la calidad del entorno” e “impedir que los residuos de pilas y acumuladores sean desechados de manera que contaminen el medio ambiente” 2.

5.2.1.2. Enfoque ciclo de vida (Directiva 2006/66/EC)

Esta norma pretende colocar un proceso de ciclo de vida en donde se busca la disminución del impacto ambiental no solo en el tratamiento utilizado al término de su vida útil, sino también a lo largo de ella, esto es, durante el proceso de fabricación, comercialización, utilización, recogida y tratamiento de la batería. (Directiva 2006/66/EC)

5.2.1.3. Sistemas de recogida (Directiva 2006/66/EC)

La norma establece que los Estados de la Unión Europea tendrán que velar por la existencia de sistemas adecuados en cuanto a la recolección en residuos de baterías, las mismas que se debe de poner a disposición del usuario final un punto de recogida accesible, y exigirán que los distribuidores acepten la devolución de residuos y baterías sin ningún cargo alguno para el usuario, ni coste asociado en el precio.

1. Objetivos recogidos en el Considerando 1 de la Directiva 66/2006 (Ver Anexo A)

2. Recogido en los Considerando 1 y 6 de la Directiva 66/2006.

5.2.1.4. Tratamiento y Reciclado (Directiva 2006/66/EC)

Los requisitos mínimos fijados en la Directiva para el tratamiento y reciclado de las baterías son los que siguen:

- a. El tratamiento comprenderá, como mínimo, la extracción de todos los fluidos y ácidos.
- b. El tratamiento y cualquier almacenamiento, incluido el almacenamiento provisional, en instalaciones de tratamiento tendrá lugar en lugares impermeabilizados y convenientemente cubiertos o en contenedores adecuados.
- c. Los procesos de reciclado deberán alcanzar el reciclado del 50% en peso, como promedio, de los residuos de baterías asociados a tecnologías asociadas a la industria de los vehículos eléctricos ³.

5.2.1.5. Eliminación (Directiva 2006/66/EC)

Se establece la obligación para los Estados Miembros de prohibir, mediante el desarrollo de la legislación interna, la deposición en vertederos o la incineración de las baterías industriales (incluidas las baterías para vehículos eléctricos)⁴. No obstante, es preciso aclarar en este punto que no hay que confundir la incineración de residuos con la utilización de la pirolisis en el proceso de reciclado y valorización.

Esta segunda práctica se encuadra en la Directiva dentro del uso de las “mejores técnicas disponibles, en términos de protección de la salud y del medio ambiente”, en el marco de los sistemas de tratamiento y reciclado de los residuos de pilas y acumuladores ⁵.

3. En detalle ver en la Parte B del Anexo III de la Directiva 66/2006.

4. Véase el artículo Directiva 66/ 2006.

5. Incluyéndose por ello en lo previsto por el artículo 12.1.a) de la Directiva 66/2006

5.3. Proceso general para el reciclaje de las baterías Ni-Cd

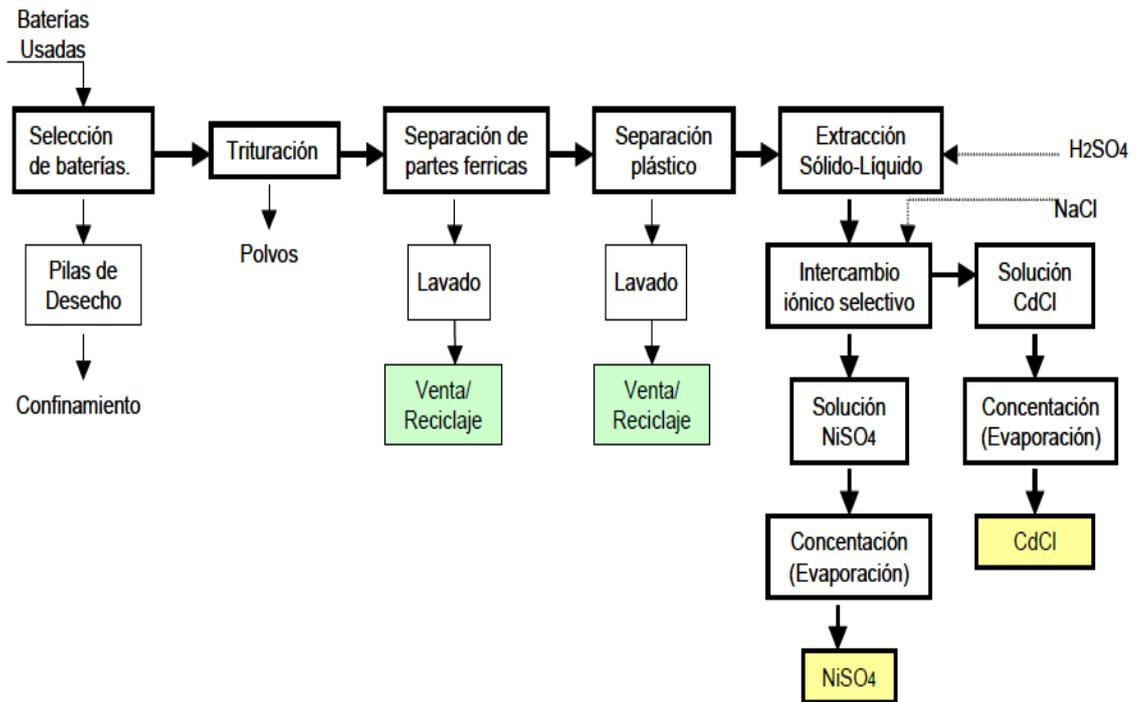


Figura 15. Cuadro general de un proceso para el reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio

Fuente:http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mqi/morales_g_lt.pdf

Abril 2012

En la figura 15 podemos observar, un proceso a seguir para el reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio, donde consta de las siguientes etapas:

1. Preparación de Materia Prima

- Selección y separación de baterías
- Trituración de baterías
- Uso de imanes para separar los componentes férricos
- Separación de partes plásticas

2. Reacción

Extracción ácida sólido-líquido de los metales presentes en las baterías.

3. Purificación

Intercambio iónico selectivo, para separar al cadmio, y obtener el níquel. Concentración de las sales por medio de evaporación.

5.4 Tipos de tecnologías utilizadas en el reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio

Para este estudio, en el proceso de reciclaje en las baterías Níquel-Cadmio describiremos los siguientes procesos:

- Proceso Pirometalúrgio
- Proceso de Hidrometalúrgia
- Otras tecnologías.

Cabe recalcar que en estos procesos la mayor parte de las baterías se tratan por separado, por dos razones principales; la primera, se da por el cadmio debido a su dificultad de separar a este del Mercurio (Hg) y el Cinc (Zn) por destilación y la segunda, es la dificultad para separar el hierro del níquel. (Tenorio 2002)

5.4.1. Proceso Pirometalúrgio

El proceso pirometalúrgio es utilizado en metales que tienen los puntos de ebullición bajos, como el cadmio, el cual se recupera después de la destilación en forma de metal o a su vez en forma de óxido, ello depende del tipo de tecnología usada, son procesos relativamente simples pero no versátiles y consumen grandes cantidades de energía en comparación con los procesos hidrometalúrgicas. (Nogueira, 2004).

Entre los procesos que actualmente se usan para el reciclaje en países desarrollados donde consisten en técnicas pirometalúrgicas son:

- **Estados Unidos** (INMETCO, 2005)

INMETCO: INTERNATIONAL METALS RECLAMATION COMPANY, el proceso de reciclaje consiste en la reducción de cadmio con carbón seguida de su vaporización y condensación se obtiene una pureza del 99.5%, y el producto se usa en manufactura de nuevas baterías, producción de recubrimientos resistentes a la corrosión y mejora en la pigmentación.

- **Japón** (JRBC, 2005)

JRBC: Japan Portable Rechargeable Battery Recycling Center.

- **Europa** (SNAM, 2005)

SNAM: Société Nouvelle D'affinage des Métaux. Cuyo proceso es mediante destilación del Cd y el producto se usa en fabricación de nuevas baterías

Este proceso es utilizado por la importante industria mundial de fabricantes de pilas (SAFT), que las recicla cuando se agotan, para hacer nuevas de las mismas características.

Lo primero que se realiza en este proceso es el desmontaje manual de las baterías, y después de ser tratados a altas temperaturas se destilan, como podemos observar en la figura colocada a continuación, donde se muestra el proceso para baterías industriales, las mismas que principalmente son desmanteladas (manualmente), así se obtiene las placas de níquel que generalmente son utilizadas en la producción de acero, se separa el plástico, posteriormente también el electrodo restante que se somete al proceso de destilación, donde se obtiene por un lado cadmio totalmente puro, por otro queda un residuo de níquel y acero, los mismos que se utiliza en la producción del acero, durante el proceso de desmantelamiento es tratada de tal forma que se evite al máximo el impacto ambiental nocivo, hay que tener en cuenta que las baterías portátiles también se las someten al proceso de destilación, pero antes de realizar ese proceso se lleva a cabo un tratamiento pirolítico, el cadmio

obtenido en el proceso de las baterías (industriales y portátiles), se utilizan en la fabricación de nuevas baterías industriales. (SAFT, Recycling of industrial Ni- Cd batteries)

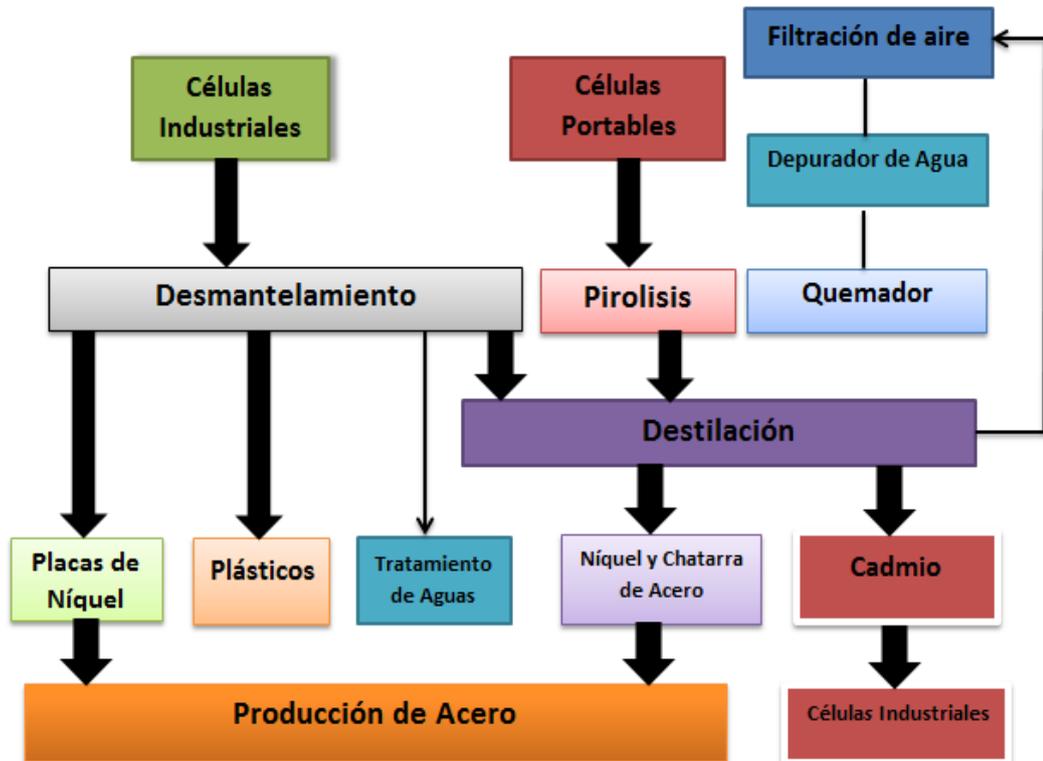


Figura 16. Proceso de reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio utilizado por SAFT.

Fuente: http://www.saft.info/020-MS_Avition/PDF/recycl.pdf; Abril 2012

De acuerdo al tipo de proceso utilizado por SAFT, el ciclo de vida tanto en las baterías industriales como portátiles difiere un poco, dado por la dificultad de la recolección de las baterías y la diferencia de materiales que se utilizan, pero es esencialmente el mismo, logrando en los dos tipos de baterías la reutilización de la mayoría de sus componentes a continuación se colocara ambos ciclos.

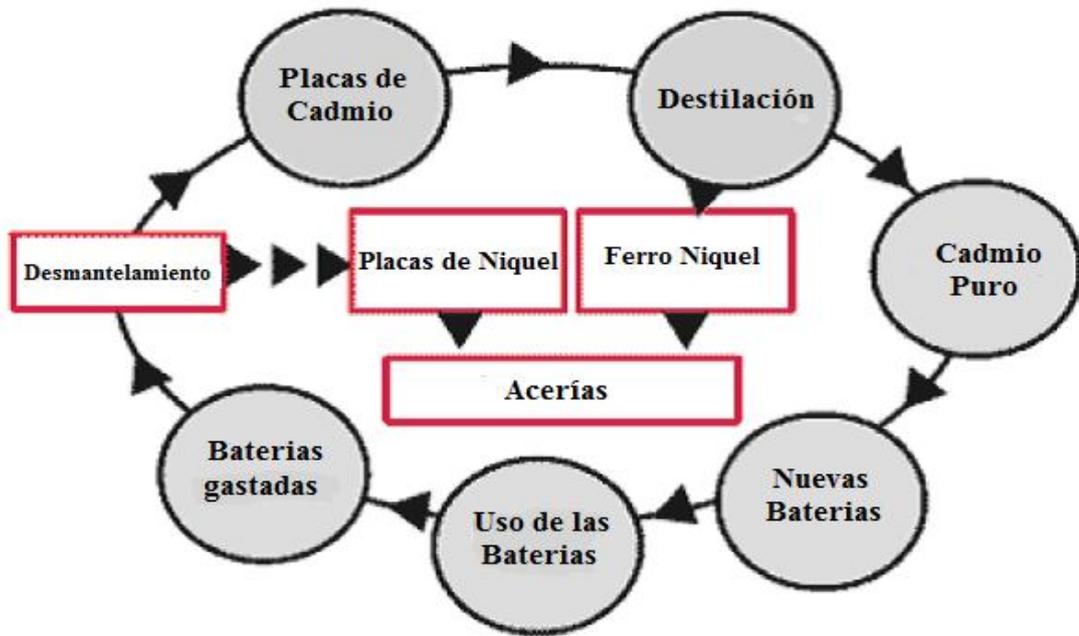


Figura 17. Ciclo de las baterías industriales Níquel-Cadmio de acuerdo al proceso STAF

Fuente: http://www.saftbatteries.com/140-General/20-61_life_cycle.asp#;

Abril 2012

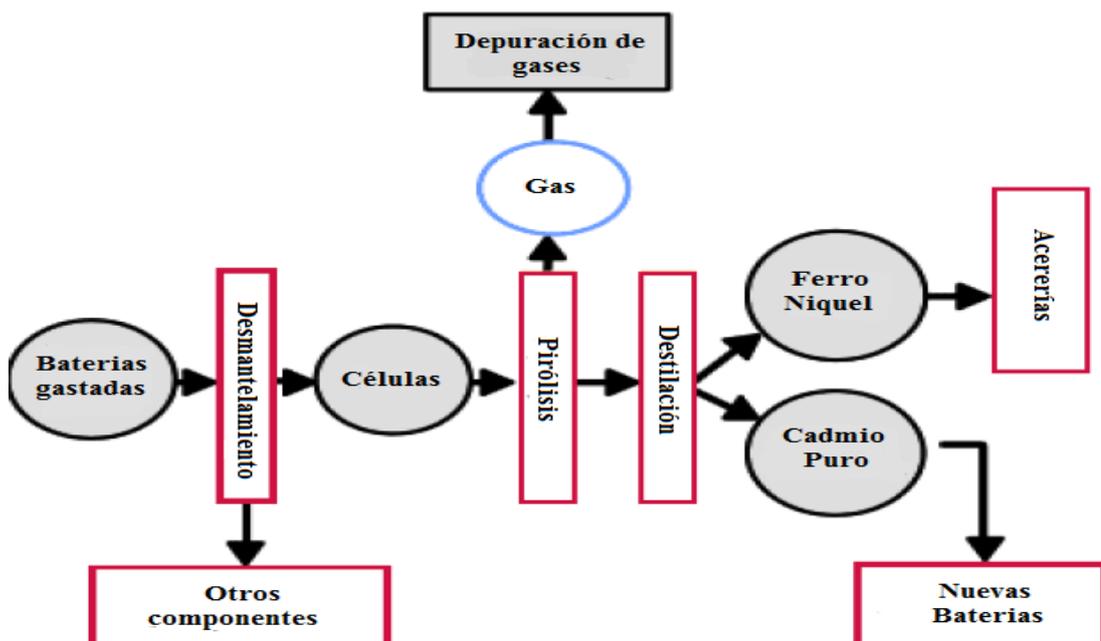


Figura 18. Ciclo de las baterías portátiles Níquel-Cadmio de acuerdo al proceso STAF

Fuente: http://www.saftbatteries.com/140-General/20-61_life_cycle.asp# :

Abril 2012

El proceso pirometalúrgico requiere de una gran cantidad de energía, lo cual deriva grandes costos y no ha resultado económicamente favorable para países en desarrollo como México, para ello se hacen estudios de nuevas tecnologías que serán descritas más adelante, donde las mismas son accesibles para el reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio.

5.4.2. Proceso de Hidrometalúrgia

El proceso de Hidrometalúrgia es una opción adecuada y viable en el reciclaje de las baterías Níquel-Cadmio para países en desarrollo, al ser un método bien establecido y eficiente para recuperar metales de materias primas. (Tenorio, 2002) (Zhu, 2003) (Yang, 2003) (Yu-qing, 2004).

Los beneficios son:

- Requiere relativamente poca energía
- Logra la recuperación casi completa de los metales.
- Se obtienen productos de elevada pureza
- Se evita la emisión de efluentes.

Existen varios tipos de procesos tecnológicos que emplean técnicas hidrometalúrgicas, de las cuales describiremos dos procesos a continuación con la particularidad que combinan procesos de hidrometalúrgica con otros procesos, para el reciclaje de los componentes de diferentes tipos de baterías, estos son: Batintrec y Batneus. (Yue-qing, 2003)

5.4.2.1. Proceso Batintrec

El proceso batintrec utiliza metalurgia al vacío la cual es más limpia y consume menos energía, sirve para obtener el cadmio y mercurio, metales con puntos de ebullición relativamente bajos, la reacción con ácidos se usa para luego llevar a cabo la síntesis de ferrita, proceso que atrapa los metales pesados restantes, de puntos de ebullición más altos, la gran ventaja en este tipo de tecnología es que se puede

emplear para distintos tipos de baterías a más del níquel – cadmio, mercurio y carbón zinc. (Yue-qing, 2003)

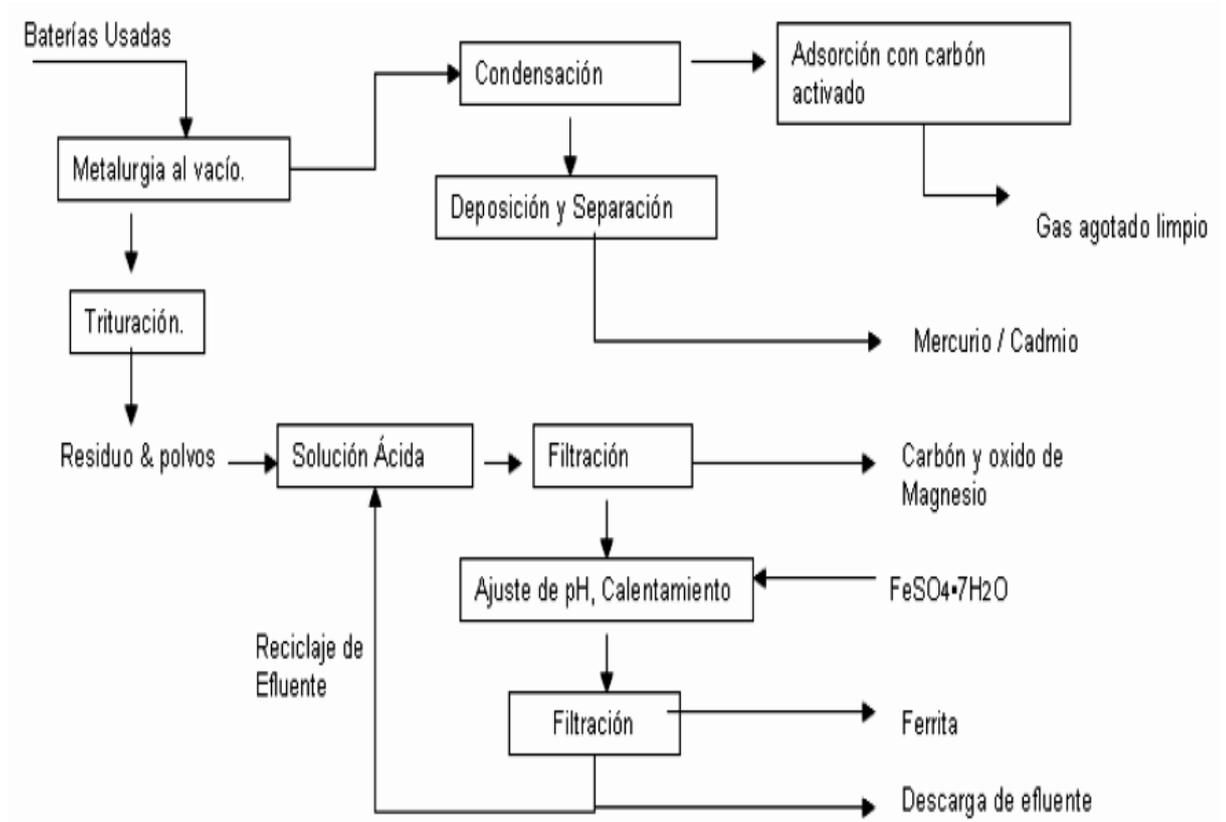


Figura 19. Proceso Hidrometalúrgico Batintrec

Fuente: (Yue-qing, 2003); Abril 2012

5.4.2.2. Proceso Batneus

Este proceso que se puede observar en la figura 20, es utilizada también para el reciclaje de distintos tipos de baterías, el cual utiliza la técnica de operaciones combinadas hidrometalúrgicas (extracción ácida sólido-líquido), osmosis inversa, intercambio iónico selectivo, y electro-diálisis con membranas bipolares.

Consiste en las siguientes etapas:

- Proceso mecánico
- Proceso de trituración

Proceso mecánico:

Proceso donde se separa las pilas de botón (de mercurio), las cuales son enviadas a una compañía específica dedicada a la recuperación de mercurio, el resto de baterías se trituran, posteriormente a la salida de la trituración se aprovecha esta etapa para recuperar con imanes los restos férricos, ya que después de su lavado este residuo se aprovecha y pueden ser vendidos a compradores de chatarra, luego mediante la ayuda de cribas el papel, plásticos y metales no ferrosos son separados del contenido de la batería, el mismo que permite dejar por separado al papel-plástico y la porción de metales no ferrosos en dos puntos diferentes.

Proceso de trituración:

Es donde se procede a la trituración de los componentes de las baterías hasta obtener polvo el cual se envía a la unidad hidrometalúrgica. Posteriormente se le lleva a cabo a este último la lixiviación en ácido sulfúrico diluido, ya que cualquier gas de emisión se limpia en un absorbedor. Esta lixiviación es filtrada por lo que en su residuo contiene principalmente carbono y manganeso el mismo que se lava y se seca, el producto se vende a un productor de ferro-manganeso.

En la filtración se recibe varios tratamientos para extraer los distintos metales que se encuentran en él. Por lo que principalmente se procede mediante un proceso de intercambiador de iónico selectivo a eliminar las trazas de mercurio, para luego obtener Cinc (Zn) por medio de un proceso de extracción multi-etapas.

Por sucesión de intercambiadores iónicos selectivos se extrae el cobre, el níquel y el cadmio. Se obtiene la sal del sulfato al regeneran con ácido sulfúrico las resinas utilizadas, los metales puros se recuperan por electrolisis. El metal alcalino remanente en la solución de sulfato se concentra por medio de osmosis inversa, subsecuentemente el concentrado se separa en ácido y base por medio de electrodiálisis con membranas bipolares (EDBM).

Se usa como agente lixivante para el polvo de las baterías, el ácido sulfúrico con un poco de clorhídrico, una porción del ácido y la base se concentran mediante

evaporación, el ácido se usa nuevamente en el proceso, y la base también se usa como agente neutralizante en el proceso. (Yue-qing, 2003)

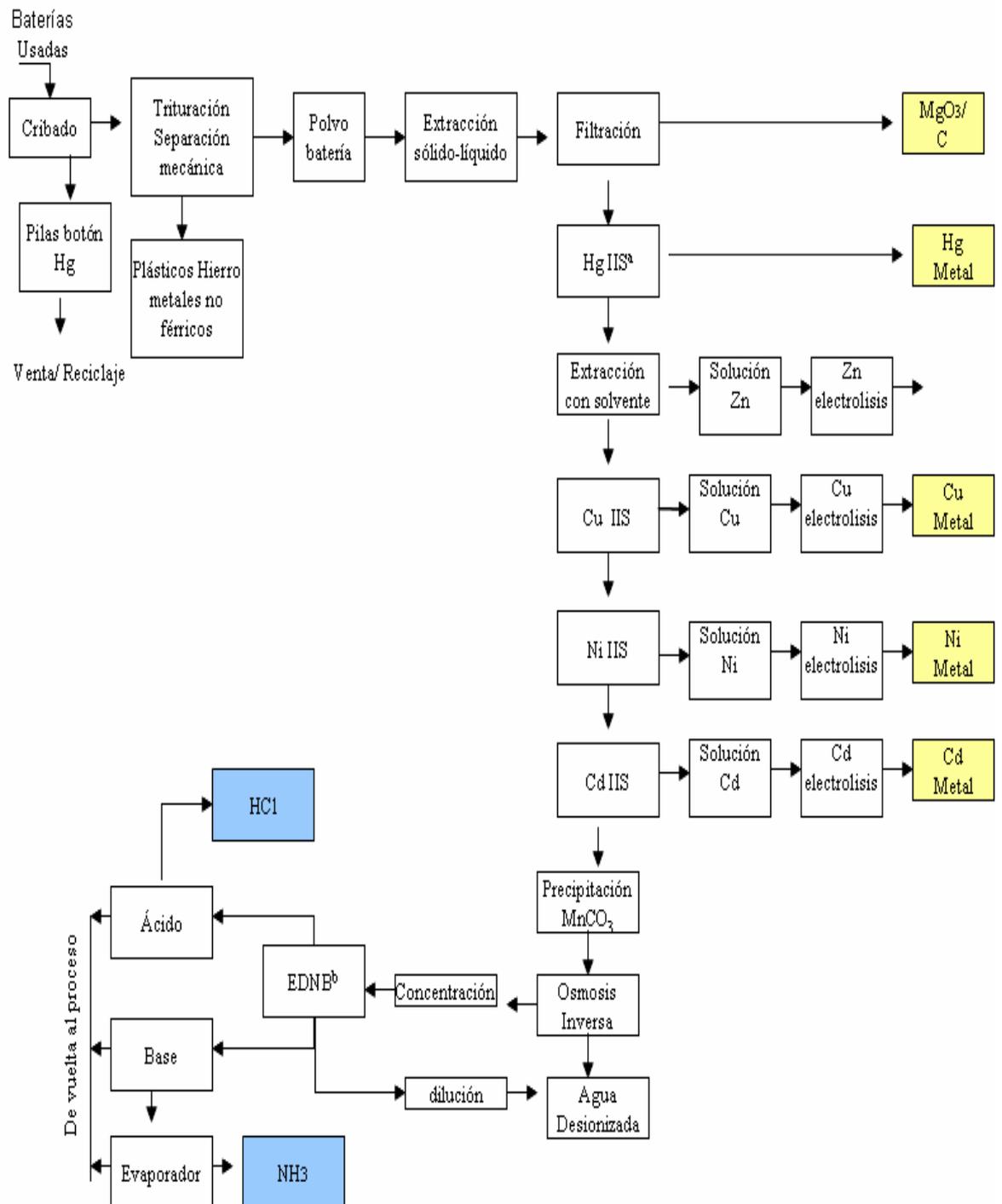


Figura 20. Proceso Hidrometalúrgico Batintrec

Fuente: (Yue-qing, 2003); Abril 2012

a) IIS: Intercambio iónico selectivo.

b) Electro diálisis con membranas bipolares.

5.4.3. Otras tecnologías

En países como China se han realizado varios estudios en investigaciones para utilizar la hidrometalúrgica, como una gran opción en el reciclaje de las baterías, con la realización de pruebas con diferentes:

- Baterías,
- Ácidos,
- Agentes extractivos selectivos
- Condiciones de operación.

A continuación citaremos dos nuevos estudios tecnológicos de procesos para el reciclaje:

- Utilización de Síntesis de Ferrita para el reciclaje.
- Lixiviación con ácido sulfúrico

5.4.3.1. Utilización de Síntesis de Ferrita para el reciclaje

Es el estudio de la tecnología que se utiliza en la facilidad del reciclaje de las baterías y desechos electrónicos, en donde se combina el proceso metalúrgico al vacío y proceso de síntesis de ferrita, el reprocesado al vacío puede utilizarse para recuperar el cadmio en las baterías Níquel-Cadmio, mientras el proceso de síntesis de ferrita puede recuperar otros metales pesados, mediante la síntesis de ferrita líquida. Este proceso además de estabilizar los metales pesados, puede recuperar materiales útiles provenientes de los desechos. (Yu-ying, 2004)

5.4.3.2. Lixiviación con ácido sulfúrico

Al ser el cadmio la principal fuente de contaminación al medio ambiente, metal que contiene las baterías Níquel-Cadmio, aún en los diferentes métodos pirometalúrgicos existentes tienen problemas para recuperar metales en mezclas complejas, donde las operaciones físicas e hidrometalúrgica parece ser mucho más eficiente, esto permite

recuperar Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Co; presente en estos tipos de baterías. (Nogueira, 2004)

Se explora una fase de tratamiento integral de las investigaciones realizadas donde la lixiviación de los electrodos agotados de níquel-cadmio con ácido sulfúrico da los siguientes resultados.

En concentraciones bajas de ácido ($\text{pH} \sim 1$) a temperatura ambiente los materiales de los electrodos se solubilizaron pobremente, al contrario con valores más altos la solubilización de los hidróxidos metálicos fue ineficiente, excepto a tiempos largos de permanencia. Por otro lado aún más difícil es la lixiviación del níquel presente en forma metálica en el electrodo. Aunque al aplicar a temperaturas de 95°C y concentraciones de ácido H_2SO_4 se obtuvieron conversiones aceptables. (Nogueira, 2004)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El primer objetivo de este estudio fue analizar el uso de las baterías Ni-Cd, por lo que citamos primero sus características, ventajas y particularidades. Razones por las cuales fueron muy utilizadas desde años anteriores en vehículos hasta aplicaciones industriales, ya que soportan grandes exigencias aún en usos extremos (diversidad de circunstancias en cuanto a ubicación y terreno), por lo tanto se considera una tecnología antigua de alta eficiencia y larga duración (mayor energía de uso a menor precio), sin embargo también poseen desventajas, la principal es el efecto memoria, cualidad a tener en cuenta ya que reduce su vida útil debido a la manipulación de forma errónea en la carga.
- La estructura de las baterías posee una tecnología muy estable en su funcionamiento lo que permite tener al máximo su eficiencia en condiciones normales y extremas, razón por la cual en algunas aplicaciones no han podido aún ser sustituidas, por nuevas tecnologías a pesar de las exigencias de reducir el uso de las baterías Níquel-Cadmio.
- Las características y ventajas son superiores a las de plomo-ácido, a su vez no producen un riesgo físico si son utilizadas correctamente, al no requerir mantenimientos cortos reducen gastos y producen un ahorro para el usuario, no obstante al analizar las características físicas y químicas por separado de cada uno de sus principales metales que lo componen (níquel, cadmio, hidruro de potasio), se ve la peligrosidad que estas pueden representar al final de su vida útil, al ser desechadas sin proceso alguno y terminen en vertederos clandestinos (al aire libre) que contaminen el medio ambiente.

Impacto Ambiental que producen las baterías

- Entre los principales metales analizados en su composición se concluyó que el cadmio posee un alto grado de toxicidad dando como consecuencia un gran impacto ambiental, ya que al encontrarse en la atmósfera su permanencia es muy corta, se traslada a grandes distancias en cortos tiempos, al entrar en contacto con el tierra el promedio de permanencia es de aproximadamente 300 años, donde solo un 10 % se degrada y el 90 % se mantiene hasta el final de estos años, donde este efecto provoca daños en la naturaleza afectando directamente a la salud de los seres vivos con enfermedades como toxicidades agudas, graves y cánceres que ocasionan la muerte en periodos cortos de vida, por lo que es preciso tener un plan de reciclaje responsable al finalizar su vida útil.
- Por otra parte se considera al níquel como un metal poco contaminante, en proporciones normales del medio ambiente ya analizados a este estudio, sin embargo estos valores podrían ser alterados, para este caso por baterías desechadas en vertederos clandestinos no apropiados, siendo un metal que ocasionaría ya gran impacto ambiental trayecto a su vez serias enfermedades como alergias, rinitis y cánceres.
- En cuanto tiene que ver a su proceso de fabricación también se considera como un factor contaminante al medio ambiente, ya que se ven comprometidos los entornos a las zonas industriales que lo procesan como nuevas baterías.

Factibilidad de reciclaje

- Principalmente la factibilidad de reciclaje en baterías Níquel-Cadmio da como resultado, mínima contaminación e impacto ambiental. Debido a que son tratadas mediante procesos responsables y controlados a lo largo de su transformación a nuevos productos.

- El mercado de estas baterías ha ido disminuyendo debido a que han sido remplazadas por nuevas tecnologías aunque no en su totalidad, afectando de manera directa el precio y la extracción de modo natural en estos metales (níquel, cadmio), donde se considera el reciclaje como un factor positivo de factibilidad ya que producen un porcentaje muy considerable que aporta en la producción mundial de estos metales.
- El ciclo de vida útil de estas baterías se puede reflejar en una cadena cerrada, donde el final solo es el comienzo de procesos óptimos en reciclaje y reutilizaciones de sus metales para fabricar nuevos productos.
- La norma Europea "Directiva 2006/66/EC", exige la reducción de uso en sus diversas aplicaciones donde deberán ser sustituidas por nuevas tecnologías por motivos de toxicidad e impacto ambiental que estas presentan, en Ecuador no existe una norma específica y determinada que regule y exija en cuanto al uso, recolección y tratamiento de estas baterías, lo que podría traer consecuencias negativas por el mal manejo de ellas, por lo que es preciso este estudio al citar las diversas situaciones de riesgo que esto podría ocasionar.
- Los procesos colocados en este estudio se consideran como vías positivas y favorables con el medio ambiente ya que reducen al mínimo su contaminación, garantizan la recuperación en un 99 % de sus metales que lo componen, siendo una factibilidad óptima de reciclaje, ya que no solo se recupera si no en el transcurso del proceso se vende como materia prima para la reutilización en nuevas baterías y otros productos industriales.
- De los procesos analizados tenemos que el más óptimo y recomendable a utilizar para países en vías de desarrollo como Ecuador es el proceso hidrometalúrgico, ya que no consume grandes cantidades de energía en su aplicación, donde la factibilidad del reciclaje y reutilización en materiales es óptima y económicamente rentable.

RECOMENDACIONES

- Este estudio puede ser utilizado como base y desarrollado hacia nuevos proyectos para realizar diseños de plantas recicladoras en baterías níquel cadmio entre otras mediante procesos responsables, recuperando los materiales en un 99 %, las mismas que pueden ser reutilizadas en nuevos productos y otras aplicaciones industriales, reduciendo al mínimo la contaminación.
- Así también se puede utilizar de forma informativa para la concientización de usuarios y personas en general sobre los altos peligros toxicológicos e impacto ambiental que las baterías Níquel-Cadmio poseen al no ser manipuladas correctamente.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALONSO Pérez José Manuel. Técnicas del automóvil. Equipo eléctrico. Año 2009 (11ª edición). ISBN: 9788497327206
2. ARIAS PAZ, Manuel/ Manual de automóviles / Madrid/ 2000, 2006.
3. LLANOS López María José. Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo. Año 2011 (1ª edición). Isbn: 9788497328050.
4. MADRID VICENTE, Antonio/ Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear/ AMV Ediciones Mundiprensa/ Madrid/ 2009
5. OBERT, Edward F./ Motores de combustión interna: análisis y aplicaciones/ Editorial Continental/ México.
6. OROVIO Astudillo Manuel. Tecnología del automóvil. Año 2010 (1ª edición). Isbn: 9788428332101.
7. RICA, Juan Antonio De La/ Automóvil y CO2. La justificación de un impuesto/ Colección Cuadernos del Motor/ EDINATUR/ Madrid/ 2009.
8. SALINAS Villar Antonio. Electromecánica de vehículos. Motores. Año 2007.
9. TENA Sánchez José Guillermo. Circuitos electrotécnicos básicos. Sistemas de carga y arranque. Año 2009 ISBN: 9788497325868.
10. RIBBENS, William B./ Electrónica automotriz/ Editorial Limusa/ México/ 2003.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

1. Augusto Ramírez (2002); Toxicología del cadmio, conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos, http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n1/pdf/toxicologia_cadmio.pdf ; Febrero 2011
2. Buchmann I. “Batteries in a portable world.” Cadex Electronics Inc. Segunda Edición ; Febrero 2011
3. Características físicas (hidróxido de potasio); <http://www.cosmos.com.mx/e/tec/dbyg.htm>; Febrero 2011
4. Conferencia, Bioingeniería y Física médica Cuba, 2001; Instituto Central de Investigación Digital, arlem@icid.edu.cu; Febrero 2011
5. Commission europea (informe [200-]); Commission europea, informe a la commission del parlamento europea y aL consejo, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0698:FIN:ES:PDF> ; Febrero 2011
6. Cristina Pérez [s.a.]; Universidad Carlos III de Madrid, diseño de un pack de baterías para motocicletas eléctricas, pag 128, p. 22-23. http://earchivo.uc3m.es/bitstream/10016/9685/1/PFC_CristinaTorrejonPerez.pdf; Febrero 2011
7. David linden y Thomas B. (2002); David linden and Thomas B., Reddy. Mc Gran-Hill, Handbooks “Handbook of batteries”, third edition, 2002 ; Febrero 2011

8. Directiva 2006/66/EC; Norma Europea, Directiva 2006/66/EC relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores eléctricos. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:266:0001:0014:es:PDF>; Febrero 2011
9. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo; metales: propiedades químicas y toxicidad. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf> ; Febrero 2011
10. El níquel en Colombia (2009); El níquel en Colombia (2009), Ambientes geológicos, http://www.upme.gov.co/Docs/Niquel_Colombia.pdf; Febrero 2011
11. Estructura general de una batería Ni-Ca; <http://www.rechargebatteries.org/html/recharged-knowledge-nicd.html>; Febrero 2011
12. Fichas internacionales de seguridad química; hidróxido de potasio, <http://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/productos/hidroxidopotasio0357.pdf>; Febrero 2011
13. Inmetco, The International Metals Reclamation Company, Inc. an Inco company <http://www.inmetco.com/>; Febrero 2011
14. Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, [s.a.]; ministerio de trabajo y asuntos sociales España, NTP 104: Baterías de Ni-Cd. Uso y mantenimiento, http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_104.pdf; Febrero 2011
15. International Cadmium Association (s.a.); <http://www.cadmium.org> ; Febrero 2011

16. J.C. Viera y M. González (2002); J.C. Viera, M. González, J.C. Campo, F.J. Ferrero “Maximum fast charging rates in NI-Cd batteries”. ESPC’2002 ; Marzo 2011
17. Johnson controls-saft (2010); Flotas de buses para pasajeros BEV <http://www.autoprofesional.com.;>Marzo 2011
18. Juan Viera (2003); Universidad de Toledo, Tesis, recarga rápida de baterías Ni-Cd y Ni-MH de medida y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos, Capitulo 1, 1-28, <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11142/UOV0036TJCVP.pdf?sequence=1.;>Marzo 2011
19. JRBC: Japan Portable Rechargeable Battery Recycling Center, [http://www.jbrc.com/;](http://www.jbrc.com/)Marzo 2011
20. Manual de seguridad, (ficha níquel); Mutual de seguridad, fichas de sustancias químicas, ficha de níquel, http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/INGENIERIA_PREVENCION/Ficha_quimina_niquel.pdf.;Marzo 2011
21. Manual técnica del automóvil (3ra. Edición); Company Bueno José, Manual técnica del automóvil Bosch, 3ra edición. pag 724.;Marzo 2011
22. Megger (2004); Industria de venta de tecnología para pruebas con baterías alcalinas, guía para pruebas para baterías, www.megger.com;Marzo 2011

23. Mineral Commodity Summaries (2008); U.S. GEOLOGICAL SURVEY, U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Mineral Commodity Summaries 2008, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2007.pdf> ; Marzo 2011
24. Nilsson A. O (2000). Substitution of rechargeable Ni-Cd batteries A background document to evaluate the possibilities of finding alternatives to Ni-Cd batteries, www.rechargebatteries.org/07_NilssonSubstitution.pdf; Marzo 2011
25. Níquel, 2010; panorama mundial del Níquel, producción minera, www.igme.es/internet/PanoramaMinero/actual/NÍQUEL10.pdf; Marzo 2011
26. Nogueira, C.A. & Margarido, F., (2004). Leaching behavior of electrode materials of spent nickel-cadmium batteries in sulphuric acid media. *Hydrometallurgy* 72, 111-118 ;Marzo 2011
27. PENUA (2010); Programa de naciones unidas para el medio ambiente, Cadmio, http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish.pdf; Marzo 2011
28. Pillot C. (2004); The World Rechargeable Battery market 2003-2008, Bruselas:AVICENNE développement, <http://www.rechargebatteries.org>; Marzo 2011
29. Química Web, definiciones; Química Web, tabla periódica definiciones, <http://www.quimicaweb.net/tablaperiodica/paginas/definiciones.htm>; Marzo 2011

30. Química Web, cadmio;
<http://www.quimicaweb.net/tablaperiodica/paginas/cadmio.htm>; Marzo 2011
31. Química Web, níquel;
<http://www.quimicaweb.net/tablaperiodica/paginas/niquel.htm>; Abril 2011
32. Residuos Industriales y Urbanos, (2000); Universidad Católica Argentina, estudio Pilas Ni-Cd, http://puntoambiental.com/informes/pilas_ni_cd.pdf. ;
 Abril 2011
33. Rydh, C.J. (2001) Environmental Assesment of Battery systems in life cycle management. Non published licentiate thesis. Chalmers University of Thecnology: Göteborg, Sweden ; Abril 2011
34. SAFT, (Recycling of industrial Ni- Cd batteries); Proceso de reciclaje de baterías de Ni-Cd, http://www.saft.info/020-MS_Avition/PDF/recycl.pdf;
 Abril 2011
35. SAFT (s.a.); hoja de datos de seguridad, www.saftbatteries.com; Abril 2011
36. Siafa, (laboratorios); Siafa s.r.l, laboratorios, tabla cadmio,
[.http://www.siafa.com.ar/notisiafa/fichas/cadmio.pdf](http://www.siafa.com.ar/notisiafa/fichas/cadmio.pdf); Abril 2011
37. Sprengel, D (1989); Sealed Nickel-Cadmium Accumulators en H.A Kiehene (Ed.) Battery Technology Handbook , New York: Marcel Dekker Inc. ; Abril 2011
38. SNAM: Société Nouvelle D'affinage des Métaux,
<http://www.snam.com/index.htm>; Abril 2011

39. Tenorio, J.A.S. Espinosa, D.C.R., 2002.Recovery of Ni-based alloys from spent NiMH batteries. *Journal of Power Sources.* ; Abril 2011
40. Tyler Hamilton (2009); *Reciclaje de las baterías.* ; Abril 2011
41. Universidad de Puebla, estudios; estudios realizados sobre las características y toxicidad de las baterías Ni-Cd, http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/choussy_c_d/capitulo4.pdf; Abril 2011
42. Yue-qing, X. & Guo-jian, L (2004). The BATINTREC process for reclaiming used batteries. *Waste Management*, 24, 359-363. ; Abril 2011
43. Yang, C.-C., (2003). Recovery of heavy metals from spent Ni-Cd batteries by a potentiostatic electrodeposition technique. *Journal of Power Sources*; Abril 2011
44. Zhu, N. Zhang, L. Li, C. & Cai, C., (2003). Recycling of spent nickel-cadmium batteries based on bioleaching process. *Waste Management*; Abril 2011

ANEXOS

Anexo A. DIRECTIVA 2006/66/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL
CONSEJO de 6 de septiembre de 2006