

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Baterías

Una batería es esencialmente un acumulador de electricidad que producen electrones; este fenómeno es llamado reacción electroquímica. Si se examina una batería, esta tiene dos terminales. Una terminal está marcada (+) positivo mientras la otra está marcada (-) negativo. Los electrones se agrupan en la terminal negativa de la batería. Dentro de la batería misma, una reacción química, que transforma energía química a energía eléctrica, produce electrones, y la velocidad de la producción de electrones hecha por esta reacción (la resistencia interna de la batería) controla cuántos electrones pueden pasar por las terminales.

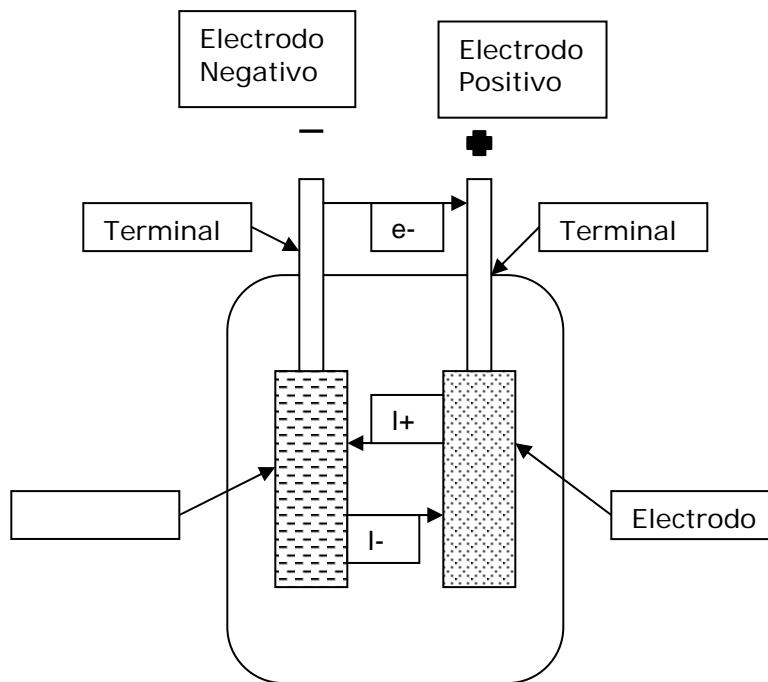


Figura 4.1. Mecanismo del funcionamiento de una batería

Para que la reacción química se lleve a cabo, los electrones deben viajar de la terminal negativa a la positiva. Es por eso que una batería puede guardarse por un año y todavía conserva su energía plenamente, a menos que los electrones corran hacia la terminal positiva, la reacción química no se

efectuará. La primera batería fue creada por Alessandro Volta en 1800. Para crear su batería utilizó una pila alternando capas de zinc y plata, empleando papel secante empapado en agua salada como aislante. Este artefacto fue conocido como "pila voltaica".

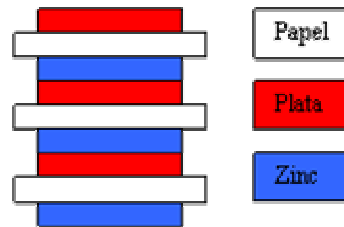


Figura 4.2. Composición de una pila voltaica.

Una celda es un conjunto de materiales que generan voltaje y corriente (como el zinc y el carbón) que están agrupados y cubiertos por un material aislante. Actualmente, casi ningún dispositivo utiliza una celda por vez, sino varias juntas. Si se abre una batería se encontrarán las celdas dentro. Normalmente las baterías se agrupan en serie para obtener altos voltajes o en paralelo para altas corrientes. El siguiente diagrama muestra esos arreglos:

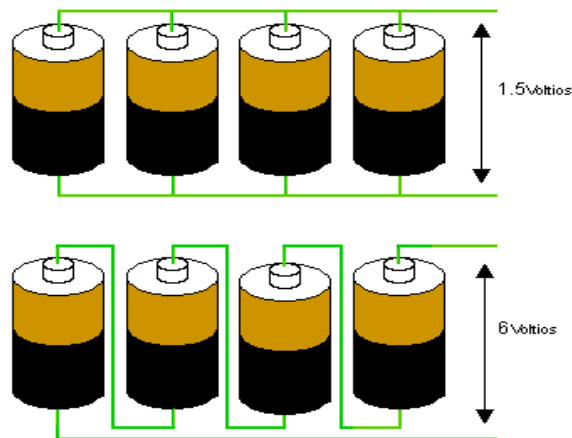


Figura 4.3. Arreglo paralelo y arreglo en serie de las pilas.

El arreglo de arriba de la Fig. 4.3 es llamado en paralelo. Si asume que cada celda produce 1.5 voltios, entonces 4 pilas en paralelo también producirán 1.5 voltios pero la corriente será cuatro veces mayor. El arreglo de debajo de la figura 4.2 es llamado en serie. Los cuatro voltajes se suman para producir 6 voltios.



Figura 4.4. Arreglo de las pilas dentro de una batería.

4.1.1 ¿Porque reciclar las baterías?

Es de gran importancia reciclar las baterías gastadas ya que algunos componentes tóxicos de éstas presentan un riesgo para el medio ambiente y la salud humana. Entre las ventajas del reciclaje se incluyen:

- ⊕ Protección de recursos naturales: Al fabricar productos con materiales reciclados, y no con materiales vírgenes, se puede conservar la tierra y disminuir las explotaciones mineras.
- ⊕ Economía de energía: La fabricación de una batería reciclada exige menos energía. De hecho, la producción del metal de plomo secundario, por ejemplo, exige una cantidad cuatro veces menor de energía que la del plomo primario.
- ⊕ Conservación del agua y aire limpios: En la mayoría de los casos, la fabricación de productos con materiales reciclados produce menos contaminación del aire y agua que la fabricación a partir de materiales vírgenes.

- ⊕ Conservación de la capacidad de rellenos sanitarios: Cuando los materiales reciclados se destinan a productos nuevos, en lugar de eliminarse en vertederos o incineradores, se conserva la capacidad de los rellenos sanitarios.
- ⊕ Ahorro de dinero y creación de trabajos: La industria de reciclaje y los procesos afines crean muchas más oportunidades laborales que los vertederos sanitarios o los incineradores de residuos. Además, el reciclaje suele ser la opción de manejo de residuos menos costosa para las ciudades y poblados.

4.2 Tipos de Pilas ¹

- Pilas tipo leclanché, o de zinc/carbono (Zn/C), o “pilas secas”: basadas en la oxidación del zinc en medio ligeramente ácido, están compuestas por zinc metálico, cloruro de amonio y dióxido de manganeso. Son las llamadas pilas comunes. Sirven para aparatos sencillos y de poco consumo.
- Pilas alcalinas o de cinc/dióxido de manganeso (Zn/MnO₂): la diferencia con la pila seca es el electrolito utilizado, en este caso, hidróxido de potasio, en vez de cloruro de amonio, y el cinc está en polvo. Son las de larga duración. Casi todas vienen blindadas, lo que dificulta el derramamiento de los constituyentes. Sin embargo, este blindaje no tiene duración ilimitada
- Pilas de níquel/cadmio (Ni-Cd): están basadas en un sistema formado por hidróxido de níquel, hidróxido de potasio y cadmio metálico. Poseen ciclos de vida múltiples, presentando la desventaja de su relativamente baja tensión. Pueden ser recargadas hasta 1000 veces y alcanzan a durar decenas de años. No contienen mercurio, pero el cadmio es un metal con características tóxicas.
- Pilas botón: son llamadas así, las pilas de tamaño reducido, de forma chata y redonda. El mercado de artículos electrónicos requiere cada vez

¹ Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable (1999)

más de ellas. Son imprescindibles para audífonos, marcapasos, relojes, calculadoras y aparatos médicos de precisión. Su composición es variada.

- Pilas de óxido mercúrico: son las más tóxicas, contienen un 30 % aprox. de mercurio. Deben manipularse con precaución en los hogares, dado que su ingestión accidental, lo que es factible por su forma y tamaño, puede resultar letal.
- Pilas de cinc-aire: se las distingue por tener gran cantidad de agujeros diminutos en su superficie. Tienen mucha capacidad y una vez en funcionamiento su producción de electricidad es continua. Contienen más del 1 % de mercurio, por lo que presentan graves problemas residuales
- Baterías plomo/ácido: normalmente utilizadas en automóviles, sus elementos constitutivos son pilas individualmente formadas por un ánodo de plomo, un cátodo de óxido de plomo y ácido sulfúrico como medio electrolítico.
- Pilas de níquel/hidruro metálico (Ni/Mh): son pilas secundarias como las de níquel/cadmio, pero donde el cadmio ha sido reemplazado por una aleación metálica capaz de almacenar hidrógeno, que cumple el papel de ánodo. El cátodo es óxido de níquel y el electrolito hidróxido de potasio. La densidad de energía producida por las pilas Ni/Mh es el doble de la producida por las Ni/Cd, a voltajes operativos similares, por lo que representan la nueva generación de pilas recargables que reemplazará a estas últimas.
- Pilas de óxido de plata: son de tamaño pequeño, usualmente de tipo botón. Contienen 1 % de mercurio aproximadamente por lo que tienen efectos tóxicos sobre el ambiente.
- Pilas de litio: producen tres veces más energía que las pilas alcalinas, considerando tamaños equivalentes, y poseen también mayor voltaje inicial que estas (3 voltios). Se utilizan en relojes, calculadoras, flashes de cámaras fotográficas y memorias de computadoras.

	ENERGIA ESPECÍFICA (WH/KG)	DENSIDAD ENERGÉTICA (WH/KG)	POTÈNCIA ESPECÍFICA (W/KG)	CICLO DE VIDA HORAS	AUTONOMIA (MILLAS)	TIEMPO DE RECARGA (HORAS)	EFICIÈNCIA ENERGÈTICA (%)	RECICLABILIDAD DE LOS MATERIALES (%)
ACTUALES PLOMO-ÀCIDO	33	30	130	400	60	8 A 17	65	97
HORIZON PLOMO-ACIDO	42	93 WH/L	240	800	100	< 5	ND	100
NIQUEL-CADMIO	57	56	200	2000	120	8	65	99
NIQUEL-ACERO	55	50	100	2000	110	4 A 8	60	99
NIQUEL-METAL HIDRIDO	70	80	250	600	250	< 6	90	90
LITHIUM-ION	100	100	300	1200	195	< 3	ND	50

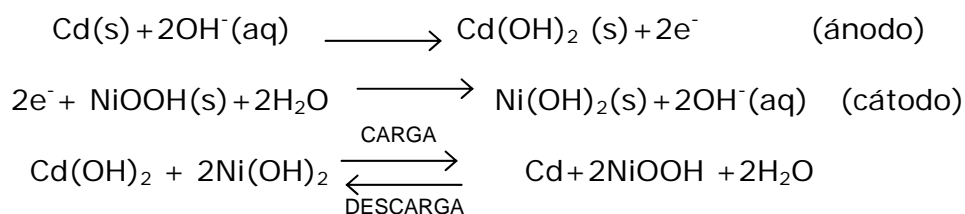
Tabla 4. 1. Comparación de las especificaciones de diferentes baterías.

ND – No disponible

4.3 Baterías de Ni – Cd

Las baterías de níquel-cadmio, aprovechan las propiedades de estos metales proporcionando un almacenamiento y posterior suministro de la energía eléctrica. Se consideran como secundarias, ya que son recargables. En el caso de las baterías recargables o secundarias las reacciones químicas son reversibles, y por lo tanto nace aquí el concepto de recargable. Éstas son capaces de producirse durante un cierto periodo de tiempo (los llamados ciclos de vida de la batería, carga-descarga) y bajo unas condiciones determinadas de temperatura, presión atmosférica y de la propia demanda de energía.

La siguiente es la reacción que tiene lugar en las baterías Ni-Cd.



La conclusión es que las baterías son elementos «vivos» y que pueden variar de manera sustancial su rendimiento dependiendo del entorno. Variando la composición en cada tecnología, cantidad, modo de fabricación y formato de los elementos que forman la batería, se potencian diferentes y adecuadas características para aplicaciones en concreto (para ciclado, para fuertes descargas, para carga permanente, alta temperatura, etc.).

4.3.1 Caracterización

Una batería níquel - cadmio esta constituida por una placa positiva (1) de hidróxido de níquel y una placa negativa (2) de hidróxido de cadmio. Ambas placas están separadas por un electrolito, compuesto por una solución acuosa de potasio cáustico (3 y 4), la cual esta contenida dentro de un tejido poroso (Biau, 2003). No contienen mercurio, los elementos activos (metales níquel y cadmio) se encuentran en forma de cristales. Poseen ciclos de vida múltiples, pueden ser recargadas hasta 1000 veces y alcanzan a durar decenas de años.

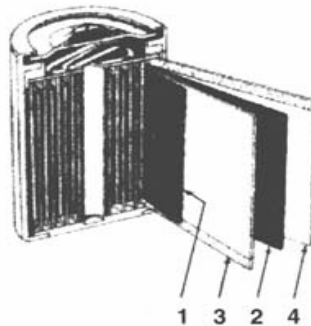


Figura 4.5. Caracterización de una pila.

Una batería de Ni – Cd esta considerada como un componente eléctrico que transforma energía química en energía eléctrica, y viceversa, por lo tanto lleva acabo un proceso electroquímico.

Los principales tamaños en pilas de Ni - Cd son:

	Ancho (mm)	Alto (mm)	Capacidad (mA/h)
AAA (50)	10	15	50
AAA (110)	14	16,5	110
N (150)	11,5	28,5	150
AAA (200)	10	43,5	200
AE (225)	16,5	16,5	225
AA (270)	14	29,5	270
AE (600)	16,5	28	600
AA (600)	14	49,5	600
SC (650)	22	26	650
AAE (750)	14	49,5	750
AE (1000)	16,5	42	1000
AE (1200)	16,5	48,5	1200
SC (1300)	22	42	1300
C (2000)	25	49	2000
D (4400)	32	60	4400
F (7000)	32	90	7000

Tabla 4.2. Principales tamaños de pilas de Ni – Cd.

4.3.2 Perspectiva Ambiental

Una vez utilizadas, las pilas se convierten en un residuo tóxico. En la mayor parte de los casos siguen los cauces habituales de las basuras, es

decir, son tiradas en enormes basurales, incineradas o en el peor de los casos, son tiradas directamente a las aguas. Cuando una pila pierde su cubierta protectora de metal, libera diferentes tipos de metales que producen efectos notoriamente nocivos para el ecosistema y la salud de los seres humanos (La Guarderia, 2003).

Ambientalmente, este proyecto dará una solución al problema del desecho de las baterías a los rellenos sanitarios. Actualmente las baterías, ya sean de celular o las baterías de uso común, son desechadas con el resto de la basura en bolsas y por sus componentes, tardan años en degradarse.

En el ciclo de vida de las sustancias químicas, los metales después de ser producidos o extraídos, son transportados para ser almacenados. Estos materiales salen a la venta; cuando se termina su vida útil, que para las baterías es de aproximadamente 5 años, se desechan. El objetivo de este proyecto es evitar esta disposición final, y re-introducir los metales al ciclo en donde se puedan volver a extraer para su re-comercialización.

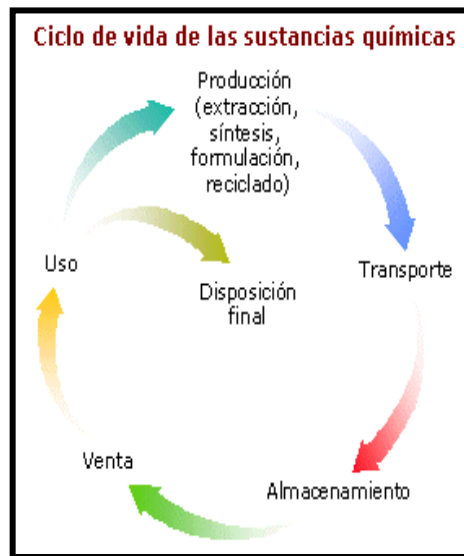


Figura 4.6. Ciclo de vida de las sustancias químicas.

4.3.3 Ventajas y Desventajas de las Baterías de Ni-Cd

Las ventajas de utilizar baterías de níquel – cadmio es que presentan una larga vida, el mantenimiento que se les debe dar es muy bajo, y pueden descargarse profundamente sin daños. Una batería descargada profundamente es aquella que ya no lleva acabo la reacción química y por lo tanto no trasmite energía. También dan un mejor rendimiento a temperaturas bajas que las de plomo – ácido y su retención de carga es muy buena.

Las desventajas que presentan son que el costo por Ampere-hora es alto y que algunos tipos (sinterizados) muestran una “memoria” del historial de descarga de la batería. Si una batería de Ni-Cd es repetidamente cargada sin que se haya descargado totalmente entre carga y carga, puede ocurrir que al momento de querer obtener de ella toda su capacidad ésta solamente entregue la cantidad de carga que le fue requerida durante las descargas anteriores. Otra desventaja de las baterías de níquel y cadmio es que desprende gas hidrógeno durante la carga.

4.4 Níquel

4.4.1 Características

Aunque el níquel es común, esta distribuido extensamente. En promedio, la corteza de la Tierra contiene apenas 75 partes por millón de níquel, eso es 0.0075% de níquel. Tomando la tierra entera en consideración (incluyendo la capa y base junto con la corteza), el níquel es el quinto elemento más común, solamente el hierro, el oxígeno, el silicio y el magnesio son más abundantes.

El níquel, en su estado de oxidación 0, es un metal duro, blanco-plateado que se encuentra principalmente combinado con oxígeno (óxidos) o azufre (sulfuros). No tienen ni olor ni sabor característicos. En su forma

metálica es un agente reductor fuerte y es muy resistente a la corrosión alcalina. Se inflama en trozos grandes y se disuelve con lentitud en ácidos diluidos liberando hidrógeno.

El níquel tiene cinco isótopos naturales con masas atómicas de 58, 60, 61, 62, 64. Con un símbolo químico, Ni, el níquel tiene un peso molecular de 58.71, una densidad de 8,9 g/ml a 20°C, un punto de ebullición a 2730 °C, un punto de fusión a 1453°C y una presión de vapor de .013 Pa a 180°.

Con respecto a las reacciones que el níquel puede tener con ciertas soluciones, podemos ver que reacciona fácilmente con los ácidos. Con ácido clorhídrico forma una reacción suave liberando hidrógeno, y formando NiCl₂, y en cuanto al ácido nítrico, se obtiene una extracción del metal. El ácido sulfúrico es el más fuerte, por lo tanto se espera que éste sea útil al momento de reaccionar con el níquel, y el ácido acético, aunque es un ácido no tan fuerte, extrae el níquel a grandes cantidades.

4.4.2 Toxicidad

Una determinación de los efectos en la salud del níquel metálico se basa en varios estudios epidemiológicos y estudios animales. En la evaluación de la exposición ocupacional de níquel metálico, la evidencia combinada de estudios humanos y animales no sugiere que hay una relación entre la exposición al níquel metálico y un riesgo creciente del cáncer respiratorio.

La sensibilización de la piel al níquel metálico puede ocurrir dondequiera que haya lixiviación de los iones de níquel sobre piel expuesta. Sin embargo, la alergia cutánea (dermatitis de contacto alérgico) al níquel ocurre principalmente como resultado de exposiciones no ocupacionales.

Con respecto a estudios en asma, la información humana es menos confiable. Mientras que la exposición al polvo fino que contiene el níquel se ha observado en informes de casos como causa posible del asma ocupacional, la información disponible es insuficiente para determinar una causa directa y una relación del efecto (Nickel Institute, Ref.22). Ver Anexo 9.6.1.

4.4.3 Alternativas de Uso

El níquel es un componente clave de diversos materiales utilizados por la sociedad en diversas industrias para fabricar una amplia gama de productos de uso final. El níquel puede ser utilizado en muchas industrias y de varias maneras. Principalmente puede utilizarse en aleaciones duras, tenaces y estables a la corrosión que soporten el desgaste. También es utilizado en válvulas y para el cableado. El níquel se usa en las tuberías galvanizadas (niqueladas) o para formar el acero inoxidable.

Otro uso que se le puede dar al níquel es para los acabados artísticos en llaves de lava manos, lava platos, etc., para algunas monedas y para el electrodo positivo en las baterías recargables de níquel – cadmio. A continuación se muestra la distribución del níquel en los diferentes tipos de industrias:

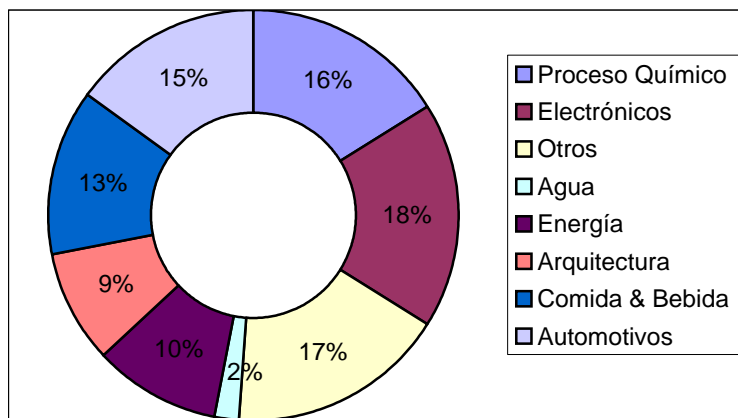


Figura 4.7. Industrias que utilizan aleaciones de níquel (Nickel Institute, Ref.23).

4.5 Cadmio

4.5.1 Características

El cadmio es un elemento que se encuentra en la naturaleza asociado a muchos minerales. Se le considera como uno de los elementos más tóxicos ya que tiene una vida media larga y se acumula en los seres vivos permanentemente (German, 2001). Además, es un metal suave, maleable, dúctil, bivalente, y bioacumulable. Se disuelve rápidamente en ácido nítrico pero sólo lo hace con lentitud en ácido hidroclicórico y ácido sulfúrico.

El cadmio, su símbolo químico, Cd, tiene un peso molecular de 112.41 g, una densidad de 8,642 g/cm³ a 20°C, punto de ebullición a 767°C, punto de fusión a 320.9°C y una presión de vapor de 0.013 Pa a 180°. Este compuesto y sus soluciones son extremadamente tóxicas, aún en bajas concentraciones.

Se obtiene por el método hidrometalúrgico a partir de los polvos arrastrados por los gases de tostación de los sulfuros de los elementos mencionados, se concentran hasta un 7-10% de cadmio y se lixivian en un medio sulfúrico; la disolución, que contiene cadmio y zinc (u otro) y pequeñas cantidades de arsénico, antimonio, cobre, níquel y otros que se van precipitando sucesivamente. La adición de polvo de zinc provoca la precipitación de cadmio metálico que se separa del resto por evaporación o destilación a unos 400°C. También existen métodos electrolíticos.

4.5.2 Toxicidad

Los fallos en la apreciación de las propiedades tóxicas del cadmio pueden producir que los trabajadores estén expuestos sin saberlo a vapores peligrosos (Jiménez, 2003). La mayor parte del cadmio que se emite a la atmósfera se deposita en la tierra. A partir de esta, el cadmio es ingerido por los organismos y transportado a todos los eslabones de las cadenas

alimenticias. El cadmio es persistentemente tóxico aún en concentraciones muy pequeñas y a que se concentra fuertemente en estas cadenas.

La ingestión del cadmio puede causar trastornos agudos en el tracto gastrointestinal y hasta mortalidad al ingerirlo al 15 o 20% (1-3 días después de la exposición). Los síntomas incluyen náuseas, salivación, vomito, dolor abdominal tipo cólico y dolor de cabeza (German, 2001). La inhalación del cadmio, después de síntomas como dolor de cabeza, fiebre, respiración agitada, etc., presenta la muerte.

La población abierta se expone a este metal principalmente a través de la cadena alimenticia, aunque también por el consumo de tabaco contaminado por cadmio presente en los fertilizantes fosfatados. El cadmio se acumula en el organismo humano, fundamentalmente en los riñones, causando hipertensión arterial. La absorción pulmonar es mayor que la intestinal, por lo cual, el riesgo es mayor cuando el cadmio es aspirado.

Su vida media biológica supera los 15 años causando una acumulación en los pulmones, el hígado, el riñón, la glándula tiroides, y las glándulas salivales. También puede causar osteoporosis ya que frena la absorción intestinal del calcio y previene su depósito en el tejido óseo. Ver Anexo 9.6.5.

4.5.3 Alternativas de Uso

Sus derivados se utilizan en pigmentos (especialmente el sulfuro de cadmio) y pinturas, baterías recargables de níquel - cadmio, como estabilizadores del cloruro de polivinilo (PVC), y como recubrimiento de otros metales. También se utiliza en procesos de galvanoplastia, electrodeposición, aleaciones, acumuladores, soldaduras, reactores nucleares, joyería, etc. El cadmio también es utilizado para la protección a la corrosión y para las películas fotográficas y en fungicidas.

Actualmente, las baterías de níquel/cadmio se utilizan en herramientas, cámaras y otras aplicaciones industriales. En telefonía celular ya no son utilizadas, debido a que fueron sustituidas por las baterías de ión de Litio, y de Níquel/Hidruro de Metal.

4.6 Extracción de Metales por Vía Húmeda

La hidrometalurgia consiste en la producción, purificación o la eliminación de metales o de componentes de metales a través de reacciones químicas. Por vía húmeda el cadmio se extrae cuando se encuentra en combinación con zinc, el cadmio se disuelve en su mayor parte en ácido sulfúrico; esta solución se purifica para liberarse principalmente del cobre, níquel cobalto y talio que pueden estar presentes, el cadmio se separa sobre cátodos de chapa de aluminio. Para el níquel se utilizan ácidos fuertes.

Cuando se usan procesos hidrometalúrgicos para la extracción del níquel se emplean diferentes solventes para las menas oxidadas de este metal, en procesos de investigación se usan ácidos (sulfúrico, muriático, y nítrico), debido a que estos ácidos fuertes disuelven además del níquel otros componentes, aumenta el consumo de disolvente y estos procesos no son económicos. Para aplicaciones industriales se prefiere usar soluciones de ácido sulfúrico en procesos de autoclave (Beregovski y Kistiakovski 1972).

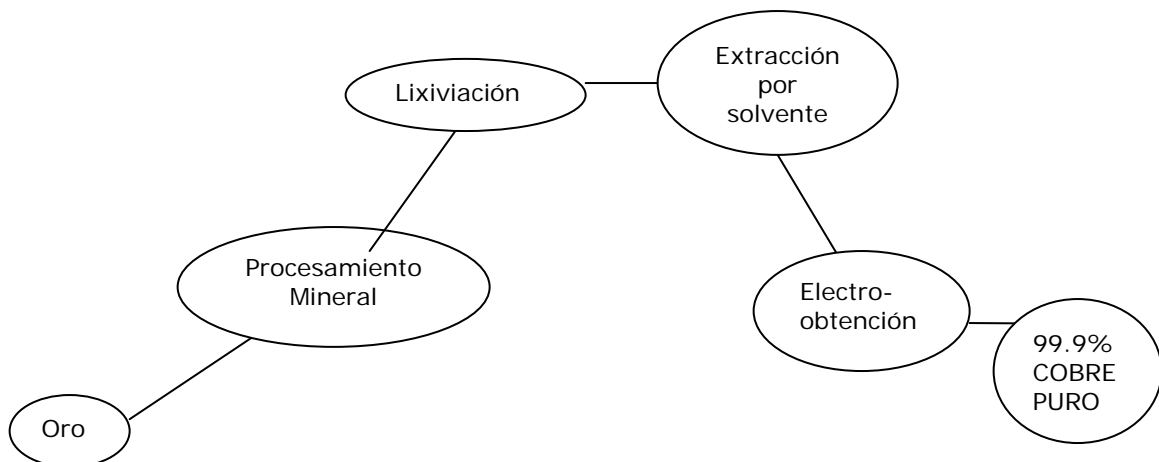


Figura 4.8. Tratamiento hidrometalúrgico de minerales oxidados.

4.6.1 Lixiviación

La lixiviación es el procedimiento de recuperación de un metal utilizando un disolvente. Después de ésta extracción se separa el metal de la solución resultante. Para llevar a cabo este proceso, es necesario poner el metal en contacto con el disolvente, para que el material se disuelva y se lixivie. Se retira la solución y el metal ya está listo para ser tratado.

4.6.2 Reacción de Metales en Ácidos

Algunos iones y compuestos metálicos muestran una elevada solubilidad en ciertos disolventes orgánicos. A veces la solubilidad es muy selectiva lo cual hace posible una separación entre los distintos metales, en este caso hablando del níquel y el cadmio. La extracción puede realizarse por pares iónicos neutros absorbidos por el disolvente y formando un enlace químico débil con la molécula orgánica o por un catión o un anión enlazándose a la molécula a cambio de uno o más cationes hidrógeno o aniones cloruro o nitrato (Rosenquist, 1987). Esto es muy parecido al intercambio de iones.

Durante este proceso, el compuesto orgánico se disuelve en un disolvente adecuado y para poder obtener la más alta extracción, se hacen fluir a contracorriente las fases acuosa y orgánica. El disolvente orgánico se hace pasar entonces al sistema de separación (que es una serie de mezcladores – asentadores) en donde el disolvente se trata con una solución de ácido sulfúrico.

La extracción con disolventes es altamente selectiva para distintos metales pero tiene la ventaja que los metales pueden ser transferidos desde una solución de lixiviación amoniacal a una solución de ácido sulfúrico, la cual es necesaria para la electrodeposición. También puede aplicarse directamente en una pulpa de lixiviación de mena.

El ácido sulfúrico es un ácido que como sustancia pura es un líquido aceitoso, transparente e incoloro. Cuando se calienta a más de 30 °C desprende vapores. Este ácido reacciona con todos los metales, por eso se utiliza en el proceso de lixiviación. En contacto con la piel puede ocasionar quemaduras graves. Se usa en la manufactura de abonos, explosivos, otros ácidos y pegamentos, en la purificación del petróleo para remover impurezas de las superficies de metales, y en baterías de plomo-ácido (usadas en la mayoría de los vehículos). Los metales de níquel y de cadmio se liberan por solubilización con el ácido sulfúrico.

El ácido acético es el principal responsable del sabor y olor agrio del vinagre. En disolución acuosa, el ácido acético puede perder el protón del grupo carboxilo para dar su base conjugada, el acetato. Su pKa es de 4.8 a 25°C, lo cual significa, que al pH moderadamente ácido de 4.8, aproximadamente la mitad de sus moléculas se habrán desprendido del protón. Esto hace que sea un ácido débil y que, en concentraciones adecuadas, pueda formar disoluciones tampón con su base conjugada.

4.6.3 Temperaturas de Extracción

Al igual que los otros equilibrios, los equilibrios existentes entre los iones en solución y las fases sólidas están afectados por los cambios de temperatura. La oxidación siempre es exotérmica, y por lo tanto, al aumentar la temperatura los distintos equilibrios se desplazarán hacia mayores presiones (Rosenquist, 1987). La solubilidad de los hidróxidos en solución ácida disminuye al aumentar la temperatura, por lo que esta técnica se puede utilizar para eliminar ciertos metales contenidos en la solución ácida de lixiviación del proceso hidrometalúrgico.

4.7 Técnicas de Recuperación

4.7.1 Evaporación / Calcinación

Como se sabe, la evaporación es el cambio de la fase líquida a gaseosa que ocurre constantemente en la superficie de un líquido. La evaporación se pone en práctica ya que es un método relativamente barato y da buenos resultados.

La calcinación es la acción de someter al calor una materia para que desprenda toda sustancia volátil o se reduzca. Éste método es muy efectivo ya que el tiempo de calcinación es muy corto y es una manera precisa de calcular la cantidad de sólidos obtenidos finalmente de las muestras de extracción.

4.7.2 Precipitación por cambio de pH

La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos (García). Por lo tanto, la adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH. El cambio de pH's se puede realizar con soluciones de NaOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, o alguna parecida.

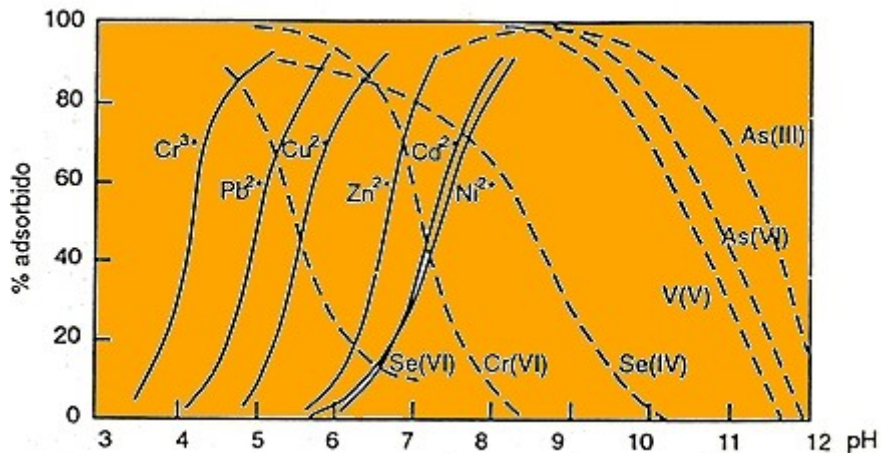


Figura 4.9. Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales (García).

El cadmio se remueve más eficientemente por precipitación del hidróxido a pH entre 9 y 12. La precipitación es también posible como carbonato de cadmio a pH 10. La cal dará un precipitado de mayor capacidad de sedimentación que el cáustico.

4.7.3 Intercambio Iónico

Estos intercambiadores son sólidos en los cuales existen diversos iones débilmente enlazados. Los primeros intercambiadores conocidos fueron las zeolitas y más tarde estas se complementaron con resinas orgánicas las cuales se utilizan mucho más ahora (Rosenquist, 1987). Estas resinas se sumergen en las soluciones acuosas y es aquí cuando existe el intercambio de iones entre la resina y la solución. Para esto, existen resinas catiónicas y aniónicas.

Bajo condiciones oxidantes, el metal se disuelve en ácido sulfúrico diluido formando el ion del metal. Si el anión se pone en contacto con un intercambiador de aniones, se tendrá una reacción de intercambio.

Una desventaja de las resinas de intercambio iónico es que son susceptibles al envenenamiento de ciertos iones los cuales forman enlaces

fuerzas y casi permanentes con las resinas acabando así con sus propiedades de intercambio iónico. Los mas perjudiciales son los cianuros, tiosulfatos y politionatos, aunque también la sílice en solución puede precipitar y disminuir la eficacia del intercambio.

Un sistema típico de intercambio iónico tiene un lecho fijo de resina intercambiadora, donde esta tiene la posibilidad de intercambiar iones cargados positivamente (intercambio catiónico), o iones cargados negativamente (intercambio aniónico). Dependiendo de la carga de la resina, lo aniones y cationes se unirán por fuerzas electrostáticas a los sitios cargados.

El proceso de intercambio iónico se aplica a soluciones acuosas con contenido orgánico y a las aguas residuales que contienen cromo, cadmio, níquel, complejos metal-cianuro y otros metales diluidos. El flujo de regenerante concentrado resultante del proceso de intercambio iónico debe ser tratado.

4.8 Casos

4.8.1 Argentina²

Una de las empresas de telefonía celular (Unifón de Telefónica de Argentina) posee en sus puntos de venta contenedores para recolectar las baterías de descarte. Se les otorga a los usuarios que los soliciten un comprobante de la batería entregada. Otra compañía (Personal de Telecom) también recolecta baterías aunque en este caso no se promociona claramente esta acción. Es decir actualmente la campaña de difusión y concientización en los medios gráficos ha sido suspendida. Sin embargo los usuarios que lo deseen pueden entregar sus baterías en los puntos de venta de telefonía celular. Al mismo tiempo existe un mercado de baterías recicladas con menor precio que las originales.

² Fundación Vida Silvestre Argentina, 2003

Existe una empresa con capacidad recicladora instalada en la localidad de San Lorenzo, provincia de Santa Fe, denominada IDM (Ingeniería de Montajes) habilitada para el reciclaje y que cuenta con certificación nacional, provincial e internacional. En esta empresa se tratan y reciclan baterías de níquel–hidruro, níquel-cadmio, y otros tipos de baterías líquidas.

Las baterías recicladas, por reemplazo del pack de pilas, se venden sin marca. El pack agotado se somete a un proceso de termodestrucción en hornos rotativos a 1100°C durante 2.5 segundos en cámara de post-combustión, siendo las cenizas resultantes vitrificadas. Se recuperan cadmio y níquel a través del proceso de fusión y destilación. La cantidad recuperada el año pasado fue 10,000 kg de Ni-Fe y 200 kg de Cd.

4.8.2 Norte América³

Hay instalaciones disponibles en miles de puntos de venta al menudeo en todo el continente para aquellos consumidores que voluntariamente quieran regresar las baterías usadas para ser recicladas. Las cajas recolectoras están disponibles en el área de cajas de la mayoría de las tiendas departamentales, tiendas de electrónica y ferreterías.

Las cajas recolectoras son embarcadas a una bodega regional. Ésta, en Ontario, recibe cajas recolectoras de todo Canadá. Las cajas recolectoras son transportadas en camión a Inmetco en Pennsylvania, la cual es la única planta de recuperación de metales de alta temperatura en Norte América. Es la única planta que puede recuperar el valioso níquel de las baterías recargables.

³ Nickel Institute, 12



Figura 4.10. Recolección y separación de baterías.

Cada tipo de batería varía enormemente en su contenido de níquel. Por lo tanto, al llegar a Inmetco, cada caja colectora se abre y las baterías usadas son ordenadas de acuerdo a su composición química (hidruro de metal de níquel, níquel-cadmio o iones de litio, etc.). Después de la separación de los desperdicios, el siguiente paso es remover las fundas plásticas de energía de las baterías. Esto se hace con equipo especializado. Los diferentes tipos de baterías con contenido de níquel son después trituradas. Las baterías recargables que contienen cadmio deberán primero eliminar dicho metal mediante otro proceso pirometalúrgico, antes de que el níquel pueda ser recuperado.

En este punto el níquel extraído está en una presentación que se puede vender fácilmente: "bloques" y "lingotes". De esta forma, el níquel que tanto se usa en las baterías recargables alrededor del mundo regresa a la cadena de producción donde es usado para favorecer miles de diferentes aplicaciones de acero inoxidable con contenido de níquel.



Figura 4.11. Bloques y lingotes de níquel para la venta.