



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS
CONDICIONES FISICOQUÍMICAS
PARA DISOLVER LAS PILAS BOTÓN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO FARMACEÚTICO BIÓLOGO

P R E S E N T A :

OMAR SADOT CHÁVEZ CHORA



DIRECTOR DE TESIS:
I. Q. ENRIQUE GIL FLORES

MEXICO D.F. 2013

ÍNDICE

	Contenido.	Página
1.	Introducción	1
2.	Marco teórico	3
2.1	Pilas	3
2.2	Funcionamiento de las pilas	3
2.3	Clasificación de las pilas	4
2.4	Materiales contenidos en las pilas	5
2.5	Efectos en la salud y el ambiente ocasionado por los componentes de las pilas	5
2.6	Contaminación de los suelos por metales pesados	8
2.6.1	Dinámica de los metales pesados en los suelos	9
2.7	Eliminación de las pilas y baterías	9
2.8	Reciclaje de pilas en algunos países	10
2.8.1	Reciclaje y recolección de pilas en Japón	10
2.8.2	Reciclaje y recolección de pilas Ni-Cd en Suiza	10
2.8.3	Reciclaje y recolección de pilas en Estados Unidos	10
2.8.4	Reciclaje y recolección de pilas en España	10
2.8.5	Reciclaje y recolección de pilas en Argentina	11
2.8.6	Reciclaje y recolección de pilas en México	11
2.9	Métodos de reciclajes	13
2.9.1	proceso pirometalúrgico	13
2.9.2	Proceso hidrometalúrgico	13
2.9.3	Métodos Mixtos	13
2.10	Solubilidad de metales en ácidos	14
2.10.1	Definiciones	14
2.10.2	Clasificación, estructura química y comportamiento de los ácidos	15
2.10.3	Reacciones de metales con ácidos	17
2.11	Factores que afectan al equilibrio químico	18
2.12	Reacciones de los iones de metales o cationes	19
2.13	Reacciones de separación e identificación de interés para este trabajo	20

3.	Planteamiento del problema	25
4.	Objetivos	27
5.	Hipótesis	27
6.	Diseño experimental	27
7.	Recursos	28
7.1	Material	28
7.2	Reactivos	28
7.3	Equipo	29
8.	Metodología	30
8.1	Elección del ácido o mezcla de ácidos	31
8.2	Determinación de la concentración o relación de ácidos	32
8.3	Determinación de la temperatura de reacción	33
8.4	Influencia de la marca de la pila en los resultados	33
8.5	Identificación de los cationes	34
9.	Resultados y análisis de resultados	37
10.	Conclusiones	47
11.	Referencias	48

A mi Padre... Quien me quiso tanto.

A mi Madre... A quien quiero tanto.

A la Vida... Que me ha dado tanto.

Mi absoluto reconocimiento al I. Q. Enrique Gil Flores, Director de Tesis; por todo el apoyo otorgado para el desarrollo y culminación de este trabajo, por sus enseñanzas y ejemplo...

Gracias.

Agradezco profundamente a la Q. F. B. Enriqueta Castrejón Rodríguez, Revisora de Tesis; por el empeño mostrado en la revisión de este trabajo, por sus inteligentes sugerencias...

Gracias.

A los integrantes del Jurado, M. en F. Idalia Flores Gómez, Q. F. B. Liliana López González e I. Q. Efrén Pérez Pérez; quienes enriquecieron con sus conocimientos y acertadas observaciones el contenido de este trabajo...

Gracias.

A la FES Zaragoza

Gracias.

Dedico este trabajo a mi hijo Héctor, a mi compañera de vida Haydeé De Jesús, a mis hermanos Salomón y Horacio, a mis sobrinos Vania, Dulce, Diego y Daniel; quienes son parte esencial de mi vida.

Agradezco a Delfina Martínez (†) su confianza y apoyo en todo momento.

Agradezco a Monica Aguilar, Lourdes Espejel, Víctor Flores, Adriana Ibarra, Ana L. Mendoza, Miguel Ángel Dávila, José Luis Hervert, Arturo Navor, David Moheno, Gerardo García, Ángel Segura y Héctor Segura (†), por su invaluable amistad y apoyo incondicional.

Muchas Gracias.

1. INTRODUCCIÓN

La eliminación inadecuada de las pilas y/o baterías genera dos situaciones problemáticas; la pérdida de materias primas no renovables y la contaminación del medio ambiente; ya que al ser desechadas junto con la basura doméstica terminan en rellenos sanitarios donde las reacciones químicas continúan dentro de la pila, aun cuando hayan dejado de producir energía eléctrica, de estas reacciones resultan óxidos metálicos, todos ellos tóxicos. Al perder la pila su cobertura metálica protectora son liberados al medio ambiente estos óxidos metálicos, los cuales contaminan el suelo y el agua afectando con posterioridad a toda forma de vida con sus consecuentes perjuicios a la salud humana.

Otras causas de considerable importancia que contribuyen a la liberación de esos componentes son los incendios accidentales de los basureros o la quema intencional de basura, lo cual representa un aporte significativo de esos contaminantes al aire. No se conoce el impacto real ocasionado al medio ambiente y a la salud por la eliminación inadecuada de pilas o baterías; ya que se desconoce la cantidad exacta de pilas que se consumen y eliminan en México a causa de las pilas que ingresan al país de manera ilegal (pilas que generalmente no cumplen con las normas). Una evaluación de riesgos para la salud y el ambiente por la exposición a los contaminantes referidos es difícil, ya que el ámbito geográfico donde se depositan las pilas es muy amplio (todo el país) así como su distribución temporal y poblacional; sin embargo, aunque no se pueda cuantificar (debido a los contaminantes procedentes de otras fuentes) es seguro que los componentes tóxicos de las pilas y baterías, así como los compuestos a los que dan origen cuando son desechadas, se pueden encontrar en cantidades mínimas en los tejidos de los organismos que integran los diferentes ecosistemas (ya que son bioacumulables), incluido el organismo humano. Por lo tanto, al no existir una certidumbre científicamente satisfactoria con respecto a la relación causa-efecto de los contaminantes generados por las pilas es necesario considerar el enfoque precautorio que propone investigar e informar, en un primer momento, a la población e intentar actuar para contrarrestar los posibles impactos a la salud y al ambiente a través de implementar programas para disposición o métodos de reciclaje.

Este trabajo se centra en una clase particular de pilas, las denominadas "Pilas Botón de Óxido de Mercurio"; actualmente se fabrican diferentes tipos de pilas botón; de Zinc-aire, Óxido de plata y de óxido de mercurio, las últimas llegan a contener hasta un 33% de mercurio, mientras que las de Zinc-aire y Óxido de plata contienen un 2 y 1% respectivamente. En Estados Unidos y Canadá está prohibida la comercialización de las pilas de Óxido de mercurio; pero todavía se siguen produciendo y vendiendo en países que carecen de legislaciones que regulen el ingreso de pilas, basándose en el tipo y cantidad de metales presentes en las pilas¹.

Estima la Secretaria de Ecología del estado de Tuxpán Veracruz que una micropila puede contaminar 600,000 litros de agua, una cantidad mayor que la que utilizaría para beber una familia de 4 miembros durante toda su vida.

De todos los metales utilizados con fines industriales, el mercurio es uno de los más tóxicos; este metal se encuentra presente en las pilas botón; la toxicidad que presenta el mercurio se debe a la afinidad que tiene el Hg^{2+} por los grupos tiólicos e imínicos de las proteínas, lo que facilita su desnaturalización; además se absorbe a mayor velocidad de la que este puede ser eliminado, por lo que se acumula en los tejidos vivos, fenómeno conocido como bioacumulación. A lo largo de la cadena trófica, la concentración relativa de mercurio aumenta, ocasionando la biomagnificación; las especies de mayor tamaño y de mayor edad tienden a presentar niveles de mercurio más altos. El envenenamiento por compuestos de mercurio, debido a su bioacumulación y a la biomagnificación del efecto, puede llegar a producir episodios como el ocurrido en la bahía de Minamata (Japón), con más de 2200 casos de personas intoxicadas y 750 muertos².

Los demás metales contenidos en las pilas botón de óxido de mercurio, si bien no representan un grave riesgo a la salud, si son metales valiosos para la industria. Por tal motivo las pilas botón se deben de reciclar para recuperar los metales contenidos en ellas o separarlos para su disposición final.

En Europa existen algunas empresas que se dedican a ello; utilizando procesos que consumen grandes cantidades de energía, además de generar emisiones a la atmósfera. En México este tipo de prácticas han estado ausentes, debido a los altos costos económicos y al no contar con la tecnología adecuada. Esta problemática impulsó a desarrollar el presente trabajo de investigación que tiene dos objetivos principales:

- a) Disolver las pilas botón en algún ácido o mezcla de ácidos.
- b) Identificar los metales contenidos en la pila en la mezcla producto de la disolución de las pilas.

Esto con la finalidad de recuperar los metales en forma salina. Ambos puntos, siguiendo un proceso económico, factible de industrialización y amigable con el medio ambiente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PILAS

Las pilas y baterías son dispositivos que convierten energía química en energía eléctrica; la pila es una unidad electroquímica denominada celda voltaica (o galvánica) contenida en un recipiente; mientras que una batería es un conjunto de pilas contenidas en un solo recipiente³. Las pilas y baterías se fueron introduciendo en nuestra vida cotidiana como fuente de energía móvil.

2.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS

El desarrollo básico de las celdas se debe a los físicos italianos Alessandro Volta (1745-1827) y Luis (o Aloisio) Galvani (1737-1798).

Una pila es una celda voltaica en donde se realizan reacciones espontáneas de oxidación-reducción (redox) para producir energía eléctrica⁴. La celda está formada por dos semiceldas o medias celdas, cada semicelda tiene un electrodo metálico y una disolución de una sal que contenga al metal del electrodo en forma iónica. En la semicelda donde el electrodo pierde electrones, se dice que se lleva a cabo una reacción de oxidación y se denomina ánodo a ese electrodo. En la otra semicelda el electrodo gana electrones, se lleva a cabo una reacción de reducción y se denomina cátodo a este electrodo⁵.

La reacción debe realizarse sin permitir que los metales (electrodos) entren en contacto directo, esto se logra mediante una barrera porosa (Figura 1a) o el uso de puente salino⁶ (Figura 1b); los electrones (corriente eléctrica) fluyen del ánodo al cátodo a lo largo de un camino externo y no directamente entre los reactivos debido a la existencia de una diferencia de potencial eléctrica entre los electrodos⁷.

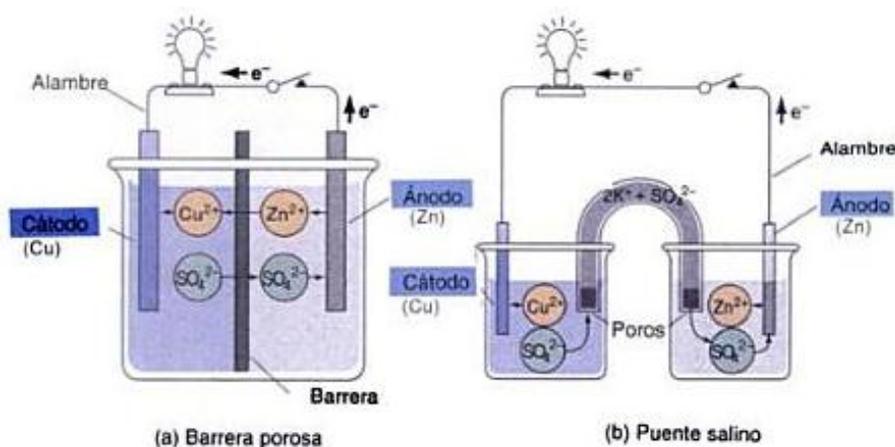


Figura 1. Celda voltaica⁸

Alessandro Volta, desarrolló una pila al alternar discos de cobre y zinc separándolos por discos de cartón o fieltro embebidos en ácido sulfúrico diluido al 10% (Figura 2). El voltaje de la pila variaba de acuerdo a la cantidad de discos utilizados.



Figura 2. Pila de Volta⁹

2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PILAS

Las pilas se clasifican de acuerdo al tipo de electrolito que utilizan, como húmedas o secas; las pilas secas utilizan una pasta y las húmedas un líquido. Las pilas secas se pueden clasificar como primarias o secundarias. Las primarias son desechables, los elementos con los que está fabricada no permiten que se recarguen. Las pilas secundarias pueden recuperar las condiciones iniciales al conectarse a la corriente eléctrica, por lo que también se les conoce como recargables. Las pilas Húmedas son de uso automotriz e industrial¹⁰.

Actualmente existen diferentes tamaños y formas de pilas, dependiendo el uso o aparato para el cual fue diseñada. En el siguiente cuadro (Cuadro 1) se clasifica y caracteriza a los tipos de pilas primarias y secundarias de uso común.

Cuadro 1. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE PILAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS ¹¹ .		
Grupo	Presentación comercial	Usos
Primarias (desechables)	AA, AAA, C, D, 9V, 6V, otros.	Radios, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, controles remoto, etc.
	Botón (varios tamaños)	Aparatos auditivos, relojes, equipo fotográfico, sistemas de alarmas, vehículos eléctricos, etc.
Secundarias (recargables)	AA, AAA, C, D, otros	Herramientas portátiles, aspiradoras, teléfonos celulares, cámaras, lámparas, aplicaciones de video, etc.
	Varios	Celulares, computadoras y cámaras de video.
	Varios	Acumuladores automotrices, podadoras eléctricas, sillas de ruedas eléctricas, bicicletas eléctricas, juguetes, herramientas eléctricas inalámbricas y aplicaciones en telecomunicaciones.

2.4 MATERIALES CONTENIDOS EN LAS PILAS

Las pilas están fabricadas con diferentes materiales, esto depende del tipo de pila o el uso para el cual fue diseñada. En el cuadro 2 se mencionan las materias primas usadas en la manufactura de los diferentes tamaños y tipos de pilas comerciales.

Cuadro 2. PILAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS ¹² .		
Grupo	Materia prima	Presentación comercial
Primarias (desechables)	Carbón-zinc (Zn/MnO ₂)	AA, AAA, C, D, 9V. 6V Botón (varios tamaños)
	Alcalinas (MnO ₂)	
	Óxido de mercurio (Zn/HgO)	Botón (varios tamaños)
	Zinc-aire (Zn/O ₂)	
	Óxido de plata (Zn/Ag ₂ O)	
	Litio (Li/FeS, Li/MnO ₂)	AA, AAA, C, D, 9V. Botón (varios tamaños)
Secundarias (recargables)	Níquel-cadmio (NiCd)	AA, AAA, C, D, otros
	Níquel hidruro metálico (NiMH)	
	Ión-litio (iones de litio)	Varios
	Plomo	Acumuladores (plomo-ácido)

Además de los materiales mencionados en el cuadro 2, también se encuentran presentes materiales como acero, papel y plásticos.

2.5 EFECTOS EN LA SALUD Y EN EL AMBIENTE OCASIONADO POR LOS COMPONENTES DE LAS PILAS

No se conoce algún estudio que evalúe el impacto real al ambiente o a la salud ocasionado por el desecho indiscriminado de pilas o baterías; sin embargo se sabe que los componentes con los que se fabrican las pilas y baterías son tóxicos, por lo tanto existen riesgos de contaminación ambiental y de afectación a la salud dependiendo de la manera, cantidad y lugar donde se hayan dispuesto este tipo de residuos¹³. Los efectos tóxicos y de contaminación ambiental se mencionan a continuación.

a) Mercurio. Este es el único metal líquido a temperatura ambiente, su presión de vapor a 25°C es de 2×10^{-3} mm de Hg, el calor de vaporización es de 14.652 Kcal/mol¹⁴.

El mercurio en su estado elemental (Hg^0), es muy tóxico por inhalación, es capaz de atravesar las membranas pulmonares y entrar en el torrente sanguíneo, pudiendo llegar al cerebro, donde ocasiona graves efectos neurológicos.

El Hg^0 es muy volátil, y esos vapores se pueden desplazar grandes distancias, debido a esto es la forma en la cual se encuentra en la atmósfera, donde se oxida fotoquímicamente a Hg^{2+} , al precipitarse este, puede contaminar cuerpos de agua. En los ambientes acuáticos el Hg^{2+} , se adsorbe fácilmente a las partículas, la metilación del mercurio es la principal reacción que, para minimizar los efectos tóxicos, llevan a cabo un importante número de bacterias reductoras de sulfato. La formación del metilmercurio (CH_3Hg^+) implica la adición al Hg^{2+} de un grupo metilo, proporcionado por la metilcobalamina (CH_3B_{12}). La adición de un segundo grupo metilo produce dimetilmercurio ($\text{CH}_3\text{Hg}^+\text{CH}_3$), que es muy volátil y se libera a la atmósfera. El metilmercurio, presente en los fluidos biológicos como el $\text{CH}_3\text{Hg}^+\text{Cl}$, es mucho más tóxico que el mismo Hg^{2+} , debido a que la presencia del metilo le permite atravesar con facilidad las membranas biológicas, ya dentro de la célula, el cloruro es desplazado por los grupos sulfhídrido de las proteínas .

La proporción en que las bacterias producen metil- y el dimetilmercurio depende del pH, a pH básico se favorece la doble metilación, mientras que el CH_3Hg^+ se forma preferentemente a pH ácido. Por lo tanto, la acidificación de las aguas tiene como consecuencia adicional el aumento de la relación $\text{CH}_3\text{Hg}^+ / \text{CH}_3\text{Hg}^+\text{CH}_3$, y por tanto un aumento de la toxicidad del mercurio¹⁵.

El metil-mercurio puede atravesar placenta, acumularse y provocar daño en el cerebro y en los tejidos de los neonatos. Puede haber exposición a este metal a través de la leche materna; ocasionando problemas de desarrollo, retrasos en el andar, el habla o mental, falta de coordinación, ceguera y convulsiones. En los adultos puede provocar cambios en la personalidad, pérdida de la visión, memoria o coordinación, sordera o problemas en los riñones y pulmones.

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), clasifica al metilmercurio y a sus compuestos en el grupo 2B, por ser posiblemente carcinogénicos en seres humanos¹⁶.

b) Cadmio. El cadmio generalmente se encuentra combinado con otros elementos tales como el oxígeno, cloro o azufre; formando óxidos, cloruros, sulfatos y sulfuros. El cadmio entra al suelo, al agua y al aire durante actividades industriales, de minería y durante la combustión de carbón y desechos domésticos¹⁷. El cadmio que se emite al ambiente se disuelve parcialmente en agua, pero no se degrada, por lo que las plantas, peces y otros animales asimilan este metal, que puede permanecer en el organismo durante largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición.

Respirar altas dosis de cadmio ocasiona graves lesiones en los pulmones, cuando se ingiere se acumula en los riñones. La exposición a altas dosis puede ocasionar la muerte.

La IARC clasifica al cadmio y a sus compuestos en el grupo 1 como carcinogénicos para los humanos¹⁸.

c) Níquel¹⁹. El efecto adverso más común son las reacciones alérgicas (entre el 10 y 15 %). Con menor frecuencia personas sensibles a este metal sufren ataques de asma después de periodos de exposición. La ingesta de agua contaminada con altos contenidos de este elemento ocasiona dolores de estómago y efectos adversos en la sangre y riñones.

La IARC ha determinado que algunos compuestos de níquel son carcinogénicos para los seres humanos (Grupo 1), mientras que el níquel metálico es posiblemente carcinogénico en seres humanos (Grupo 2B).

La anemia hemolítica²⁰, posiblemente es ocasionada por este metal.

d) Manganeso²¹. La exposición a niveles de manganeso muy altos y por periodos prolongados ocasiona perturbaciones mentales y emocionales, y provoca movimientos lentos y faltos de coordinación.

e) Litio²². Los síntomas por intoxicaciones agudas son: fallas respiratorias, depresión del miocardio, edema pulmonar, y estupor profundo.

El litio es usado en medicamentos, cuando se administra de manera errónea es altamente tóxico, presenta los siguientes efectos adversos: efectos negativos serios al sistema nervioso, provocando anorexia, náusea, movimientos musculares involuntarios, apatía, confusión mental, visión borrosa, temblores estado de coma e incluso la muerte. Se han usado en casos de suicidio.

f) Zinc²³. Es un metal esencial para el cuerpo, sin embargo el zinc se puede combinar con otros materiales que se utilizan para fabricar artículos industriales; como pinturas, tintes, etc. generando compuestos particularmente tóxicos.

El ingreso de altas dosis de este elemento podría afectar la salud y la productividad de los suelos²⁴.

g) Plomo²⁵. Respirar aire, consumir agua o alimentos o tocar residuos que contengan plomo puede causarle muchos problemas de salud. En personas adultas, el plomo puede aumentar la presión sanguínea y causar infertilidad, trastornos nerviosos, dolor muscular y en las articulaciones. También puede hacerlo sentirse irritable y afectar su capacidad para concentrarse y recordar.

El plomo es especialmente peligroso para los niños. Un niño que traga grandes cantidades de plomo puede desarrollar anemia, fuertes dolores de estómago, debilidad muscular y lesión cerebral. Incluso bajos niveles de plomo se relacionan con coeficientes intelectuales más bajos.

2.6 CONTAMINACION DE LOS SUELOS POR METALES PESADOS²⁶

En el suelo se encuentran metales pesados de manera natural, estos elementos son minoritarios y se encuentran en muy bajas concentraciones (menor al 0.01%), estas condiciones permiten que los organismos puedan adaptarse sin ningún problema a su presencia; concentraciones más altas de estos elementos hacen que se vuelvan tóxicos para ellos (Figura 3).

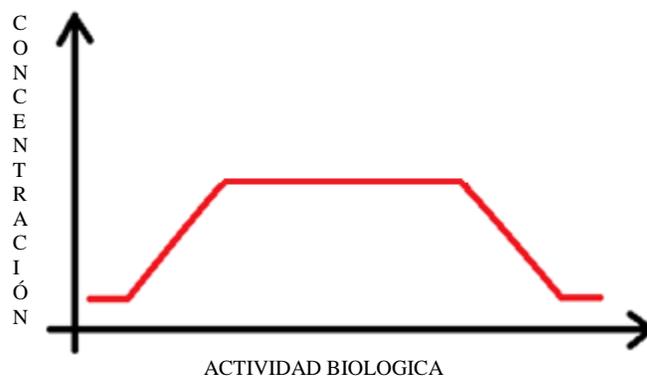


Figura 3. Umbral de toxicidad por metales pesados²⁷

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

- Oligoelementos o micronutrientes, son requeridos en pequeñas cantidades, o en cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasando cierta concentración se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Se y Zn.
- Metales pesados sin función biológica conocida, la presencia de ciertas cantidades de estos elementos trae consigo alteraciones en el funcionamiento de algunos órganos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Ni, Sb y Bi.

El contenido de metales pesados en el suelo, debería de ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que originan al suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

2.6.1 Dinámica de los metales pesados en los suelos

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en el suelo o fijados por procesos de adsorción, complejación o precipitación.
- Pueden ser absorbidos por plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

2.7 ELIMINACION DE LAS PILAS Y BATERIAS

La legislación mexicana²⁸, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos; considera: Que las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de la ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer, entre otras, las bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar; definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación; la preservación, la restauración y el mejoramiento del medio ambiente, así como la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

La Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos; clasifica a las baterías celdas y pilas en el Listado 5, el cual corresponde a los residuos que están sujetos a condiciones particulares de manejo; así mismo clasifica estos desechos dentro de su Código de Peligrosidad de los Residuos (CPR) como tóxicos (T).

Sin embargo, no existe en México, hasta la fecha de elaboración de este trabajo una legislación encargada de indicar el proceso correcto de eliminación de las pilas y/o baterías; es por ello que las pilas y baterías se continúan desechando de una manera inapropiada, en el mejor de los casos van a dar a tiraderos municipales que cumplen con las especificaciones técnicas, aunque esto no signifique que cuentan con programas de manejo para este tipo de residuos²⁹, y en el peor de los casos, se tiran cerca de ecosistemas frágiles, cuerpos de agua o se emiten al aire sus componentes tóxicos a través de la quema de basura³⁰.

2.8 RECICLAJE DE PILAS EN ALGUNOS PAISES

2.8.1 Reciclaje y recolección de pilas en Japón³¹.

Para promover la reducción del riesgo para el manejo de baterías la Japan Storage Battery Association (JSBA) ha iniciado un programa para promover la recolección y reciclaje de baterías de Ni-Cd en el mercado doméstico.

2.8.2 Reciclaje y recolección de pilas de Ni-Cd en Suiza³².

Las pilas de Ni-Cd son transportadas a la compañía SAFTIME en ORSKARSHAMN en el sur de Suiza para ser recicladas.

Los resultados esperados no han sido del todo satisfactorios, debido a que solo han recolectado del 30 al 40 % de lo propuesto.

2.8.3 Reciclaje y recolección de pilas en Estados Unidos³³.

Se crean dos organizaciones para recuperar los metales contenidos en las pilas.

Una es la Asociación de Baterías Recargables Portátiles (PRBA), una asociación no lucrativa que reúne a más de 100 fabricantes, distribuidores, usuarios, suministradores, vendedores, detallistas y compañías como AT&T, IBM, Black & Decker, Motorola. La misión de la PRBA es ser líder en la obtención doméstica e internacional de soluciones para el ambiente y los problemas que afectan el uso, reciclaje y disposición de pilas domésticas.

La segunda organización es la Corporación Para el Reciclaje de Pilas (RBRC), que es una entidad no lucrativa de servicio público independiente. Esta es una administradora del "cargo para el reciclaje"; está constituida por más de 175 compañías, incluyendo, fabricantes, distribuidores. También comprende un programa específico para detallistas, usuarios municipales, comerciantes, instituciones y usuarios de pilas.

La RBRC tiene como meta reciclar el 70% de pilas que se encuentran en los basureros municipales.

En Ellwood City Pennsylvania, se encuentra la Compañía Internacional de Metales Recuperados (INMETCO) que cuenta con una licencia para recuperar los metales de las pilas que les son enviadas. En 1994 INMETCO recuperó 2400 toneladas de pilas y baterías usadas.

2.8.4 Reciclaje y recolección de pilas en España³⁴.

En España se realizó una valoración del mercado de pilas y baterías caseras usadas, determinando que existe un mercado potencial de unos 350×10^6 de pilas / año, equivalentes a 10,000 ton / año, de elementos usados. Entre estos elementos se encuentran el zinc, el cadmio, el níquel entre otros. Estos son materias primas no renovables, de las cuales hay un déficit en la Comunidad Económica Europea.

En la zona de Murcia se realizó un estudio, para el cual se clasificaron las pilas por tipos: Leclanché, alcalinas, litio y de Ni-Cd; obteniéndose las siguientes observaciones:

- Se espera un aumento en el consumo de pilas en los próximos años
- Se modifica el consumo de pilas, disminuye el consumo de pilas tipo Leclanché y aumenta el de pilas alcalinas
- El consumo de pilas de litio permanece estable
- Se espera un aumento en el consumo de pilas Ni-Cd

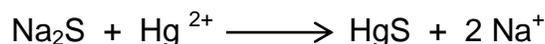
Este estudio no considera las pilas botón debido a su gran variedad de tipos, tamaños y clases.

2.8.5 Reciclaje y recolección de pilas en Argentina³⁵.

Un estudio realizado considera que el 95% de pilas de carbón, 93% de pilas alcalinas y 70% de las pilas de botón que se consumen, terminan en los rellenos sanitarios. Debido a esto en la municipalidad de Mendoza se ha puesto en marcha un programa de recolección de pilas para su posterior confinamiento. El confinamiento consiste en colocar las pilas en bolsas plásticas junto un agente químico estabilizador, que elimina por medio de reacciones químicas, las características peligrosas de los componentes de cualquier tipo de pila o batería. Estas bolsas son termo selladas y depositadas en un molde para la fabricación de bloques para pisos en espacios libres y así obtener pavimentos.

El agente estabilizador se compone de tres agentes neutralizantes en partes iguales; el agente estabilizador desarrollado por el Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental de Argentina contiene los siguientes reactivos:

Para neutralizar el plomo y mercurio se utiliza sulfuro de sodio



Para el H_2SO_4 se utiliza hidróxido de sodio



Para el Cd se utiliza carbonato de sodio



2.8.6 Reciclaje y recolección de pilas en México

Las prácticas de reciclado en México³⁶ han estado ausentes debido a los altos costos económicos y las prácticas con tecnologías no adecuadas han dado lugar a costos ambientales no estudiados.

Existen grupos de ciudadanos que se han preocupado por organizar programas de recolección sin pensar en la disposición final o reciclado, lo cual ha llevado a la necesidad de pensar en alternativas para disposición segura y reciclado.

La disposición de las pilas y baterías, como lo indica la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de residuos peligrosos, las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes y demás procedimientos aplicables; únicamente puede realizarse por una empresa que se encuentra en el estado de Nuevo León; en cuanto al transporte y tratamiento, en la página de la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) existe un listado de empresas autorizadas para ofrecer tales servicios; pero pagar el costo que implica el manejo y transporte de las pilas es algo que difícilmente alguien desea solventar.

Por parte de la Asociación Mexicana de Pilas (Amexpilas), sostiene su representante Daniel Basurto³⁷, que el reciclaje de pilas no es viable ni necesario, aunque algunos elementos son atractivos para las industrias, no hay quien asuma los costos, no existe tecnología para separar los compuestos y no existe un verdadero beneficio ambiental.

Amexpilas sustenta sus aseveraciones en investigaciones realizadas en Canadá, Bélgica y en el Reino Unido, en las cuales se concluye que:

- Después de 10 años (simulando las condiciones de un relleno sanitario), una pila no muestra evidencias de erosión de su cubierta metálica ni liberación de contaminantes.
- No constituyen una fuente concentrada de los llamados metales pesados.
- Las emisiones de zinc son mínimas en relación con las cantidades naturalmente existentes en la tierra.

Daniel Basurto concluye que, *“al no ser las pilas agresivas al medio ambiente, es suficiente con tirarlas al bote de basura como cualquier otro desecho doméstico”*

En enero de 2006 la SEMARNAT, la Confederación de Cámaras Industriales (CONCAMIN) y AMEXPILAS, firmaron un convenio con el objeto de “fomentar el manejo adecuado de las pilas primarias de desecho”

En este documento las instancias antes mencionadas se comprometen a trabajar conjuntamente en tres áreas:

1. Manejo integral de las pilas primarias de desecho.
2. Elaboración de instrumentos normativos que establezcan las características técnicas sobre su contenido.
3. Brindar información para sensibilizar a la población respecto al uso y desecho de estos productos.

2.9 MÉTODOS DE RECICLAJE³⁸

2.9.1 Proceso pirometalúrgico

Es un proceso que consiste básicamente en romper las pilas y separar por diversos métodos la chatarra, utilizando hornos de altas temperaturas en los que se volatilizan diversos metales, para posteriormente recuperarlos de los gases de escape. Entre los métodos más conocidos se encuentran:

- Sugawara: El cual recupera zinc, cadmio y mercurio por volatilización en un horno de diseño especial. estos metales se separan en los gases de salida del horno.
- Matsuoka: Obtiene zinc, mercurio y un ferromanganeso por tratamiento de las pilas en un horno con tres zonas, la primera oxidante, la segunda reductora y la tercera de fusión.
- Kaneko: calcina los materiales a 1000 °C, lo que le permite recuperar parcialmente el zinc, y deja como residuo una escoria inerte que contiene parte de zinc, hierro y manganeso.

2.9.2 Procesos hidrometalúrgicos

En estos métodos, generalmente se utilizan procesos en los que se añaden productos ácidos o alcalinos para provocar lixiviaciones, donde se recuperan los diversos metales de utilidad para reciclar. Todos los procesos están basados en principios térmicos en los cuales el cadmio vaporizado es recuperado dejando una mezcla donde predomina un alto contenido de níquel, acero y carbón.

2.9.3 Métodos Mixtos

Los problemas que puede presentar el mercurio contenido en las pilas durante el tratamiento hidrometalúrgico, han llevado a intentar su resolución mediante procesos piro-hidrometalúrgicos. De los más conocidos:

- Koch: Realiza primero una tostación clorurante con el fin de eliminar el mercurio, después se realiza una lixiviación de los cloruros contenidos en los residuos de tostación, y finalmente de la lejía obtenida se recuperan los diversos metales.
- Hubweber: inicialmente, somete el material de partida a una calcinación simple a 600 °C para pirolizar los plásticos y eliminar y recuperar el mercurio, después a una lixiviación sulfúrica para recuperar los metales de la disolución mediante electrólisis.
- RECYTEC: En primer lugar las pilas se calcinan a 600 °C para pirolizar los plásticos, eliminar y recuperar el mercurio. El residuo, tras ser molido, se lava con agua caliente, con lo que se separa un sólido que consta de bióxido de manganeso, hierro y una lejía. Del sólido se separa por clasificación magnética el hierro, y de la lejía se obtienen las sales que se electrolizan selectivamente en medio ácido, para este fin se utiliza ácido tetrafluorobórico. Los productos finales son Zinc, cadmio, cobre, níquel, plata, y bióxido de manganeso.

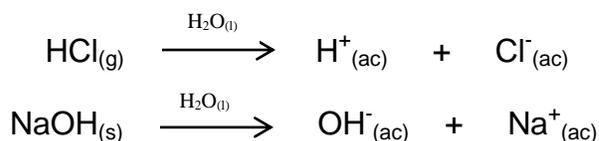
2.10 SOLUBILIDAD DE METALES EN ÁCIDOS

2.10.1 Definiciones

La primera consideración que debe de tomarse en cuenta respecto a los ácidos y las bases es que las llamadas “teorías” acido-base son en realidad definiciones de lo que es un ácido o una base. Las diferencias entre los diversos conceptos ácido-base no se refiere a cuál es el “verdadero”, sino a cuál es el más conveniente para emplearse en una situación particular. Todas las definiciones actuales del comportamiento ácido-base son compatibles entre sí³⁹.

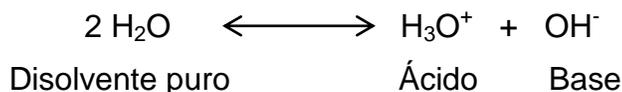
- Arrhenius⁴⁰

Uno de los primeros intentos por dar una definición fue realizado en 1884 por Svante August Arrhenius. Propuso definiciones de los ácidos y bases que estaban relacionadas con los iones que unos y otras liberan cuando se disuelven en agua. Así un **ácido** es una sustancia que libera iones hidrógeno (H^+) cuando se disuelve en agua y una **base** es una sustancia que libera iones hidróxido (OH^-) cuando se disuelve en agua.

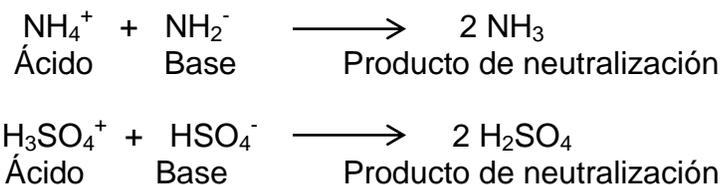


- Brønsted-Lowry⁴¹

De manera independiente en 1923 J. N. Brønsted y T. M. Lowry, sugirieron que los **ácidos** se pueden definir como donadores de protones y las **bases** como aceptores de protones. En el caso de disoluciones acuosas la definición de Brønsted-Lowry no difiere considerablemente de la enunciada por Arrhenius.



La utilidad de la definición de Brønsted-Lowry reside en la posibilidad de manejar cualquier disolvente Protónico, como el amoníaco líquido o el ácido sulfúrico.



Además, de otras reacciones de transferencia protónica que normalmente no se denominarían reacciones de neutralización, pero como obviamente presentan un carácter ácido-base, pueden ser tratadas con la misma facilidad.



○ Lewis⁴²

En 1923, G. N. Lewis definió a los ácidos y bases en términos de recepción y donación de un par electrónico. Una **base de Lewis** es una sustancia que puede donar un par de electrones y un **ácido de Lewis** es una sustancia capaz de aceptar un par de electrones.

Esta definición tiene gran aplicación en el campo de las reacciones orgánicas.

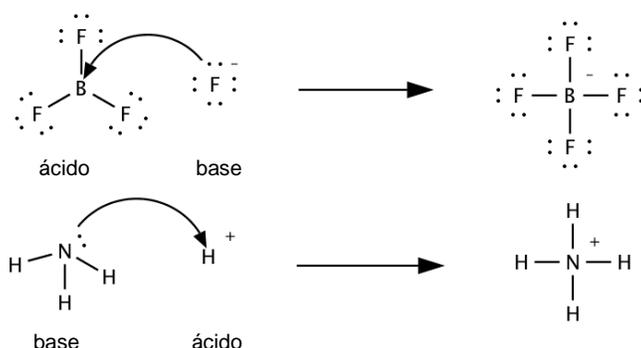


Figura 4. Ácidos y bases de Lewis⁴³

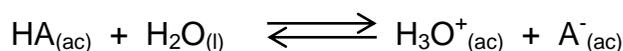
2.10.2 Clasificación, estructura química y comportamiento de los ácidos

Los ácidos se han clasificado utilizando diversos criterios:

- Tomando en consideración la cantidad de protones (H^+) que genera el ácido al ionizarse; denominando monopróticos a los ácidos que liberan un H^+ , diprótico al que produce 2 H^+ y triprótico al que libera 3 H^+ ⁴⁴.
- Haciendo mención a la cantidad de elementos que forman al ácido y la presencia de oxígeno, resultando, ácidos binarios y oxiácidos. Los ácidos binarios hacen referencia a los ácidos que contienen un H^+ unido a un elemento de la familia VII-A (X^-); los oxiácidos contienen grupos $-\text{OH}$ unidos a un átomo central (no metálico)⁴⁵.
- Analizando el grado de ionización del ácido cuando se disuelve en agua, denominándolos como ácidos fuertes y ácidos débiles.

La ionización ocurre cuando compuestos covalentes liberan iones en disolución acuosa; durante la ionización se rompe un enlace covalente y se genera un catión (H^+) y un anión; no todas las sustancias con enlaces covalentes sufren ionización. Hay ácidos que se ionizan completamente cuando se disuelven en agua, a estos ácidos se les denomina ácidos fuertes; los ácidos que solo se ionizan parcialmente son denominados ácidos débiles⁴⁶.

De acuerdo al siguiente equilibrio químico se puede determinar la constante de acidez⁴⁷.



$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

$$pK_a = -\log K_a$$

La fuerza de un ácido varía de manera directa con el valor de K_a , es decir entre mayor sea el valor de K_a mayor será la fuerza del ácido; ocurriendo lo contrario con el valor del pK_a , entre menor sea este mayor será la fuerza del ácido.

En general la fuerza de un ácido depende de tres factores: la polaridad del enlace H-X, la fuerza del enlace H-X y la estabilidad de la base conjugada (X^-)⁴⁸.

Los ácidos fuertes son más reactivos que los débiles cuando la reactividad de un ácido depende únicamente de la concentración de $H^+_{(ac)}$. Sin embargo, la reactividad de un ácido puede ser determinada por el anión resultante de la ionización. Por ejemplo el ácido fluorhídrico (HF) es un ácido que se ioniza parcialmente en agua (es un ácido débil), pero es muy reactivo y ataca vigorosamente a diversas sustancias, incluyendo al vidrio. Esta reactividad se debe a la acción combinada de $H^+_{(ac)}$ y $F^-_{(ac)}$ ⁴⁹. En el caso de los oxiácidos que tienen la misma cantidad de grupos $-OH$ y un mismo número de átomos de O, la fuerza del oxiácido aumenta en función de la electronegatividad del átomo central; si el átomo central es el mismo la fuerza del oxiácido va a aumentar con el número de átomos de O unidos a este⁵⁰.

La reactividad de los ácidos también se ve modificada cuando estos se combinan con otros ácidos o algún otro compuesto para obtener mezclas más oxidantes como el agua regia o mezcla crómica. Los alquimistas descubrieron que el oro, un metal noble con muy baja actividad, se podía disolver en una mezcla de 3 volúmenes de HCl y un volumen de HNO_3 ⁵¹. El oro no reacciona con ninguno de los ácidos mencionados por separado.

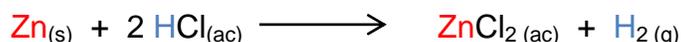
2.10.3 Reacciones de metales con ácidos ⁵²

Las reacciones de los metales con los ácidos, son reacciones redox. Estas reacciones se llaman de desplazamiento por que el ion en disolución es desplazado o sustituido por un elemento que se oxida. Muchos metales sufren reacciones de desplazamiento con ácidos para formar sales e hidrógeno gaseoso.

La reacción de un metal con un ácido binario se ajusta al patrón general siguiente.



Ejemplo:



El metal (Zn) ha perdido 2 electrones, por lo tanto se ha oxidado; mientras que el hidrogeno ganó electrones y por tanto se ha reducido.

No todos los metales pierden electrones con la misma facilidad, es decir, varía la facilidad con la que se oxidan. Una lista de metales ordenados de mayor a menor facilidad de oxidación recibe el nombre de **serie de actividad**. En el cuadro 3 se presenta la serie de actividad en disolución acuosa de muchos de los metales más comunes.

Cuadro 3. Serie de actividad de los metales en disolución acuosa ⁵³

Metal	Reacción de oxidación	
Litio	Li(s) \longrightarrow	Li ⁺ (ac) + e ⁻
Potasio	K(s) \longrightarrow	K ⁺ (ac) + e ⁻
Bario	Ba(s) \longrightarrow	Ba ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Calcio	Ca(s) \longrightarrow	Ca ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Sodio	Na(s) \longrightarrow	Na ⁺ (ac) + e ⁻
Magnesio	Mg(s) \longrightarrow	Mg ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Aluminio	Al(s) \longrightarrow	Al ³⁺ (ac) + 3e ⁻
Manganeso	Mn(s) \longrightarrow	Mn ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Zinc	Zn(s) \longrightarrow	Zn ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Cromo	Cr(s) \longrightarrow	Cr ³⁺ (ac) + 3e ⁻
Hierro	Fe(s) \longrightarrow	Fe ³⁺ (ac) + 3e ⁻
Cadmio	Cd(s) \longrightarrow	Cd ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Níquel	Ni(s) \longrightarrow	Ni ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Estaño	Sn(s) \longrightarrow	Sn ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Plomo	Pb(s) \longrightarrow	Pb ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Hidrogeno	H ₂ (g) \longrightarrow	2H ⁺ (ac) + 2e ⁻
Cobre	Cu(s) \longrightarrow	Cu ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Plata	Ag(s) \longrightarrow	Ag ⁺ (ac) + e ⁻
Mercurio	Hg(s) \longrightarrow	Hg ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Platino	Pt(s) \longrightarrow	Pt ²⁺ (ac) + 2e ⁻
Oro	Au(s) \longrightarrow	Au ³⁺ (ac) + 3e ⁻



Aumenta la facilidad de oxidación

Los metales de la parte superior del cuadro, son los que más fácilmente se oxidan, reaccionan con mayor facilidad para formar compuestos; a estos metales se les denomina metales activos. Los metales de la parte inferior de la serie de actividad son muy estables y forman compuestos con menor facilidad, se les denomina metales nobles.

Los metales que se encuentran sobre el hidrógeno en la serie de actividad pueden reaccionar (son oxidados) con los ácidos binarios para formar H_2 ; los metales que están debajo del hidrógeno no reaccionan con los ácidos binarios.

2.11 FACTORES QUE AFECTAN AL EQUILIBRIO QUÍMICO.

El químico industrial francés Henri Louis Le Châtelier enunció por primera vez un postulado que explica como se ve afectado el equilibrio químico, se conoce como **principio de Le Châtelier** se enuncia de la siguiente manera⁵⁴:

“si un sistema en equilibrio es perturbado por un cambio de temperatura, presión o concentración de uno de sus componentes, el sistema desplazará su posición de equilibrio de modo que se contrarreste el efecto de la perturbación”.

Un sistema en equilibrio es un sistema dinámico; los procesos directo e inverso se llevan a cabo a la misma velocidad, y el sistema se encuentra en estado equilibrado. Alterar las condiciones del sistema puede perturbar el equilibrio, si esto ocurre, el equilibrio se desplaza hasta que se alcance un nuevo estado de equilibrio.

Se consideran tres condiciones externas⁵⁵ las cuales son capaces de perturbar el equilibrio químico: 1) agregar o quitar un reactivo o producto, 2) modificar la presión y 3) cambiar la temperatura.

- Al agregar una cantidad adicional de alguna especie participante, la perturbación del equilibrio se alivia cuando el equilibrio se desplaza en la dirección en la que se consume parcialmente la sustancia que se añadió.
- Un aumento en la presión favorece a aquellas especies participantes que ocupan un volumen total menor.
- Un aumento en la temperatura altera la relación de concentración en la dirección que absorbe calor.

2.12 REACCIONES DE LOS IONES DE METALES O CATIONES

El objetivo del análisis cualitativo es determinar la presencia de iones en una solución. Existen varios procedimientos analíticos, los cuales se basan en el mismo principio: los iones se precipitan de la solución en análisis con un reactivo de grupo. Luego, por medio de filtración, se separan los iones precipitados de los iones solubles. En este procedimiento los iones presentes en la muestra que se está analizando se separan en dos partes: precipitado y filtrado. Utilizando los reactivos selectivos y adecuados, la presencia de los iones tanto en el precipitado como en el filtrado puede ser perfectamente demostrada⁵⁶. Los iones de metales o cationes más comunes se dividen en grupos que se distinguen por el hecho de que los cationes de cada grupo son precipitados por un reactivo en particular. En general, se puede establecer que la clasificación se basa en las distintas solubilidades de los cloruros, sulfuros, hidróxidos y carbonatos.

Un resumen de los diversos grupos se da en el cuadro 4.

Cuadro 4. CLASIFICACION ANALÍTICA DE LOS IONES DE METALES O CATIONES ⁵⁷ .				
Grupo	Reactivo de grupo	Iones	Precipitado	Características del grupo
I Grupo de la plata	HCl diluido	Ag ⁺ , Pb ⁺⁺ y Hg ₂ ⁺⁺	AgCl, PbCl ₂ , Hg ₂ Cl ₂	Cloruros insolubles en HCl diluido.
II Grupo del cobre y del arsénico	H ₂ S en presencia de HCl diluido	Hg ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Bi ⁺⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Cd ⁺⁺ , Sn ⁺⁺ , As ⁺⁺⁺ , Sb ⁺⁺⁺ , Sn ⁺⁺⁺⁺	HgS, PbS, Bi ₂ S ₃ , CuS, CdS, SnS, As ₂ S ₃ , Sb ₂ S ₃ , SnS ₂	Sulfuros insoluble en HCl diluido.
IIIA Grupo del hierro	NH ₄ OH en presencia de NH ₄ Cl	Al ⁺⁺⁺ , Cr ⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	Al(OH) ₃ , Cr(OH) ₃ , Fe(OH) ₃	Hidróxidos precipitables por NH ₄ OH en presencia de NH ₄ Cl.
IIIB Grupo del zinc	(NH ₄) ₂ S en presencia de NH ₄ OH y NH ₄ Cl	Ni ⁺⁺ , Co ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Zn ⁺⁺	NiS, CoS, MnS, ZnS	Sulfuros precipitables por (NH ₄) ₂ S en presencia de NH ₄ OH y NH ₄ Cl
IV Grupo del calcio	(NH ₄) ₂ CO ₃ en presencia de NH ₄ OH y NH ₄ Cl	Ba ⁺⁺ , Sr ⁺⁺ , Ca ⁺⁺	Ba CO ₃ , SrCO ₃ , CaCO ₃	Carbonatos precipitables por (NH ₄) ₂ CO ₃ en presencia de NH ₄ Cl
V Grupo de los metales alcalinos	Sin reactivo de grupo	Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Li ⁺	Sin precipitado de grupo	Iones que no precipitan en los grupos anteriores.

2.13 REACCIONES DE SEPARACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE INTERÉS PARA ESTE TRABAJO

En la actualidad se fabrican tres tipos de pila botón: de óxido de mercurio II, zinc-aire y óxido de plata. La composición química de estas pilas se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PILAS BOTÓN DEL MERCADO FORMAL ⁵⁸		
Tipo de pila	Composición	
	Componentes	Porcentaje
Óxido de mercurio II	Mercurio	33
	Zinc	11
	Electrolito	--
	Plástico y lámina (acero niquelado)	29
Zinc-aire	Mercurio	2
	Zinc	30
	Fierro	45
	Electrolito	4
	Plástico y lámina (acero niquelado)	---
	Plástico, papel, carbón y agua	20
Óxido de plata	Mercurio	1
	Plata	27-30
	Zinc	10
	Fierro	40
	Electrolito	3
	Plástico, papel, carbón y agua	16

Este trabajo se acota a las pilas botón de óxido de mercurio II, por lo tanto, únicamente se hará mención a las reacciones que involucran a los metales contenidos en este tipo de pilas.

La estructura de las pilas de óxido de mercurio es la siguiente:



Figura 4. Estructura de la pila botón⁵⁹

De acuerdo a la información presentada anteriormente, los metales presentes en la de pila de botón de estudio son: mercurio, zinc, hierro y níquel. Para los cuales se mencionaran las reacciones de separación e identificación:

Estas reacciones se fundamentan en el hecho que los metales se pueden comportar como ácidos de Lewis, formando en laces covalentes con partículas que actúan como bases de Lewis; a estas especies formadas por un ion metálico central unido a uno o varios grupos de moléculas o iones se les denomina complejos metálicos o simplemente complejos. Si el complejo posee una carga neta se le denomina como ion complejo. Los compuestos que forman complejos se denominan compuestos de coordinación.

Los compuestos de coordinación no se forman únicamente por un metal de transición, también se pueden formar complejos con otros metales o iones.

Las moléculas o iones que se unen al metal se les denominan ligandos, normalmente los ligandos son aniones o moléculas polares; todo ligando tiene al menos un par de electrones de valencia dispuestos a compartir. En el caso que el ligando posea un par de electrones sin compartir se le denomina ligando monodentado, algunos ligandos pueden poseer más de un átomo capaz de compartir electrones de manera simultánea con un ion metálico por lo que ocupan dos o más posiciones en el complejo, a estos ligandos se les denomina polidentados o agentes quelantes.

La formación de enlaces metal-ligando altera notoriamente las propiedades del ion metálico que se observan. Un complejo metálico es una especie química definida cuyas propiedades químicas son diferentes de las del ion metálico y de los ligandos que lo forman. Por ejemplo los complejos poseen colores característicos que difieren completamente a los del metal y el ligando por separado.

La formación de complejos también modifica de manera significativa otras propiedades de los iones metálicos, como la facilidad de oxidación o reducción.

Los iones metálicos hidratados son en realidad complejos en los que el ligando es el agua; de tal manera que podemos tener disoluciones acuosa de algún metal⁶⁰.

El mercurio se encuentra clasificado en los grupos 1 y 2 de los cationes, porque lo podemos encontrar como Hg_2^{++} o Hg^{++} , por lo tal motivo para identificar al mercurio se deben de seguir 2 técnicas⁶¹:

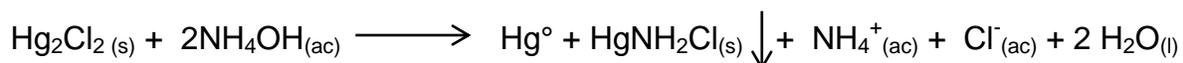
Reacciones de separación e identificación para el Hg:

Separación e identificación del Hg_2^{++} .

Agregar a la disolución problema unas gotas de HCl 2N



Adicionar al precipitado una gota de disolución 2 N de amoníaco. Un color negro intenso inmediato, identifica al mercurio I.



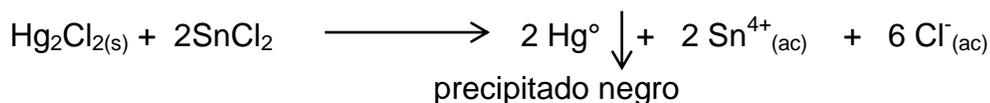
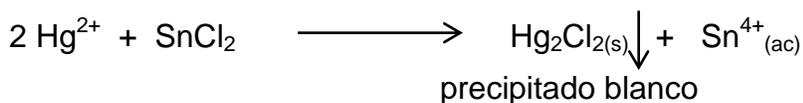
Separación e identificación del Hg^{++}

Para la separación del Hg^{++} , se hace burbujear a la disolución problema H_2S . La formación de un precipitado negro indica la formación de HgS



Para solubilizar al precipitado se adicionan 6 gotas de $\text{HCl}_{(con)}$ y 3 gotas de $\text{HNO}_{3(con)}$ se agita y calienta en baño de agua hirviendo, adicionar 12 gotas de agua y hervir a la flama por 30 segundos y filtrar.

Agregar al filtrado 3 o 4 gotas de cloruro estaño II. Se observa la formación de un precipitado que inicialmente es blanco y se puede ir tornando a gris y finalmente negro, positivo para mercurio

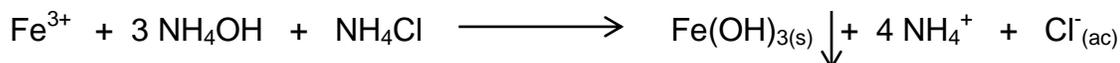


Una prueba confirmatoria consiste en disolver el último precipitado obtenido en cada ensayo en agua regia, se coloca una gota de la disolución sobre una lámina de cobre, se deja reposar dos minutos, se enjuaga al chorro del grifo y se frota con un paño, una mancha blanca brillante indica mercurio⁶².

Separación e identificación del hierro, zinc y níquel

Separación e identificación de hierro⁶³ (Fe³⁺)

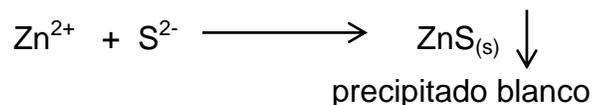
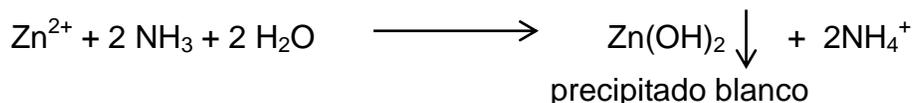
Agregar a la muestra problema cloruro de amonio y amoníaco; filtrar, en la disolución resultante, se encuentra el Zn²⁺ y el Ni²⁺, en el precipitado se encuentra el Fe³⁺.



Para identificar al Fe³⁺, se coloca en un pozo de una placa de toque una gota de ferrocianuro de potasio y cuatro gotas de ácido clorhídrico diluido (1). En otro pozo agregar dos gotas de tiocianato de potasio y cuatro gotas de ácido clorhídrico diluido (2). Agregar un poco del precipitado a cada uno de los pozos y agitar. Un color azul intenso con el ferrocianuro de potasio (azul de Prusia) y un color rojo oscuro con tiocianato, comprueba la presencia de Fe³⁺.

Identificación de zinc⁶⁴ (Zn²⁺)

El zinc forma un precipitado blanco de hidróxido de zinc con el hidróxido de amonio, fácilmente soluble en exceso de reactivo, debido a la formación de complejos; en soluciones neutras o alcalinas el zinc puede formar sulfuro de zinc, insoluble en exceso de reactivo



Identificación de níquel⁶⁵ (Ni^{2+})

La dimetilglioxima produce un complejo con el Ni^{2+} de color rojo rosado en medio neutro o ligeramente amoniacal. En medio ácido el precipitado es soluble.

La reacción es sensible y bastante selectiva.

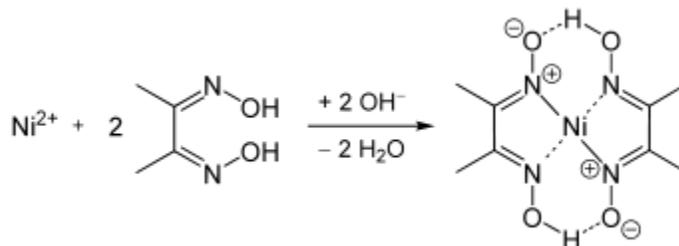


Figura 5. Reacción del Ni^{2+} con dimetilglioxima⁶⁶.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se estima que el consumo de pilas primarias en el mercado formal nacional se incrementó en 13 veces para el periodo 1996-2007, ya que pasó de alrededor de 2 500 toneladas a cerca de 32 900 toneladas; estos cálculos no incluyen a las pilas contenidas en aparatos electrónicos⁶⁷.

En México se carece de Normas Oficiales Mexicanas que establezcan los límites permisibles de metales pesados contenidos en las pilas, por tanto, no existe restricción alguna a la importación y comercialización de pilas y baterías en el país. Además sigue sin prohibirse la venta de pilas botón de óxido de mercurio como sucede en Canadá y Estados Unidos⁶⁸.

A pesar de que la NOM-052-SEMARNAT-2005 clasifica a las baterías, celdas y pilas como residuos tóxicos, sujetos a condiciones particulares de manejo, se siguen desechando junto con la basura doméstica al no existir una normativa que obligue al fabricante, vendedor o consumidor a hacerse responsable de la disposición adecuada de las pilas o baterías al término de su vida útil.

Por norma algunos rellenos sanitarios, como el de “San Nicolás” en Aguascalientes, no admiten desechos considerados como peligrosos, sin embargo las pilas que son eliminadas junto con la basura doméstica, logran ingresar a él debido a su pequeño tamaño. Se ha estimado que la cantidad promedio de pilas que ingresan al día a este relleno es de 6 696 unidades, de las cuales 149 corresponden a pilas de botón⁶⁹. Proyectando los datos obtenidos en la investigación: **Estimación del Potencial Contaminante por Pilas en el Relleno Sanitario “San Nicolás”, de la Ciudad De Aguascalientes, México**, los autores de este trabajo, estiman que, después de aproximadamente 10 años, tiempo estimado de vida útil del relleno sanitario, las cantidades de contaminantes provenientes de las pilas, en el relleno serían de:

Contaminante	Cantidad (Kg)
Mercurio	6 613.17
Dióxido de manganeso	145 490.03
Zinc	92 584.72
Litio	15 166.99
Níquel	3 203.64
Cadmio	2 883.27

Estos contaminantes, en un determinado tiempo terminarán por escaparse del relleno sanitario e incorporarse a las cadenas alimentarias, ocasionando daños a la salud; además de la pérdida de materias primas no renovables.

El reciclaje de cualquier tipo de pila o batería, así como de cualquier otro tipo de residuo debe de considerar dos aspectos económicos:

- Reciclaje rentable (PET, aluminio, cartón, etc.)
- Reciclaje no rentable; se tiene que pagar por disponer o reciclar de forma segura.

Las pilas, especialmente las desechables, se encuentran en la situación de reciclaje no rentable debido a los altos costos de reciclaje y las prácticas con tecnologías no adecuadas.

Actualmente existen diferentes métodos de reciclaje, los cuales primordialmente se orientan a reciclar baterías que han demostrado ser económicamente rentables, como son las pilas secundarias de níquel-cadmio. Los métodos utilizados son procesos pirometalúrgico, hidrometalúrgicos y mixtos; todos estos métodos requieren de grandes cantidades de energía para alcanzar las temperaturas necesarias para alcanzar su objetivo, además de las emanaciones de gases que se desechan al ambiente.

Debido a lo anterior este trabajo de investigación se propone establecer las bases para diseñar un método de reciclaje de las pilas botón con un bajo impacto ambiental; para recuperar los metales contenidos en ellas, ya sea para su reúso por la industria o para una disposición final segura para el medio ambiente.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar las condiciones fisicoquímicas que permitan desarrollar un método de disolución de las pilas botón.

Objetivos particulares

- Determinar que ácido o mezcla de ácidos disuelven a las pilas botón.
- Determinar la concentración del ácido o la relación de la mezcla de ácidos que logran disolver a las pilas botón.
- Determinar la temperatura óptima de la reacción de disolución de las pilas botón.
- Determinar cualitativamente los metales presentes en la disolución obtenida empleando la marcha analítica sistemática.

5. HIPÓTESIS

Como producto de la disolución de las pilas se obtendrán sales solubles de los metales con los que están fabricadas las pilas botón; pudiendo ser identificados mediante la marcha analítica sistemática.

6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Tipo de estudio: experimental.

Población de estudio: pilas botón de óxido de mercurio.

Criterios de inclusión: se analizará cualquier pila de óxido de mercurio que tenga una masa entre 0.2 y 0.5 g.

Criterios de exclusión: masa menor a 0.2 g y masa mayor de 0.5 g.

Variables:

DEPENDIENTES	INDEPENDIENTES
Solubilidad de la pila botón	Relación de la mezcla de ácidos
	Concentración de los ácidos fuertes
	Temperatura de reacción

7. RECURSOS

7.1 MATERIAL

Material	Marca
Agitador de vidrio	-----
Bureta con llave de teflón 50 mL	Kimax
Cristalizador de 20 cm Ø	Kimax
Embudo de filtración liso tallo corto de 10 cm Ø	Kimax
Frasco gotero de 50 mL	-----
Frasco de vidrio ámbar con tapa de baquelita de 500 mL	-----
Matraz aforado 100 mL	Kimax
Matraz aforado 500 mL	Kimax
Matraz Erlenmeyer 50 mL	Pyrex
Matraz Erlenmeyer 250 mL	Kimax
Pipeta graduada 10 mL	Pyrex
Pipeta graduada 5 mL	Brand
Piseta 250 mL	Nalgene
Termómetro -20 – 110 °C	Brannan
Tubo de ensaye 15 X 100	Kimax
Vaso de precipitado 150 mL	Kimax
Vaso de precipitado 250 mL	Kimax

7.2 REACTIVOS

Reactivo	Marca	Grado
Ácido clorhídrico	Meyer	Q.P.
Ácido nítrico	Meyer	R.A.
Ácido sulfúrico	Reactivos y Productos Químicos Finos	Q.P.
Agua destilada	Venec S.A.	G.A.
Carbonato de sodio	Meyer	R.A.
Cloruro de amonio	Meyer	R.A.
Dimetilglioxima	J.T: Baker	R.A.
Etanol absoluto	Reactivos y Productos Químicos Finos	Q.P.
Ferrocianuro de potasio	Meyer	R.A.
Hidróxido de sodio	Reactivos y Productos Químicos Finos	Q.P.
Hidróxido de amonio	Reactivos y Productos Químicos Finos	Q.P.
Papel indicador pH	CIVEQ	S.G.
Papel filtro No. 40	Whatman	S.G.
Pirita	J.T. Baker	Q.P.

Q.P: Químicamente Puro

R.A: Reactivo Analítico

S.G. Sin Grado

7.3 EQUIPO

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica	OHAUS	ANALITYCAL PLUS
Balanza granataria	OHAUS	750
Extractor de aire	Siemens	-----
Parrilla de calentamiento	Thermoline	HP-A1915B

8. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama se describe de manera general el orden en el cual se realizó este trabajo.

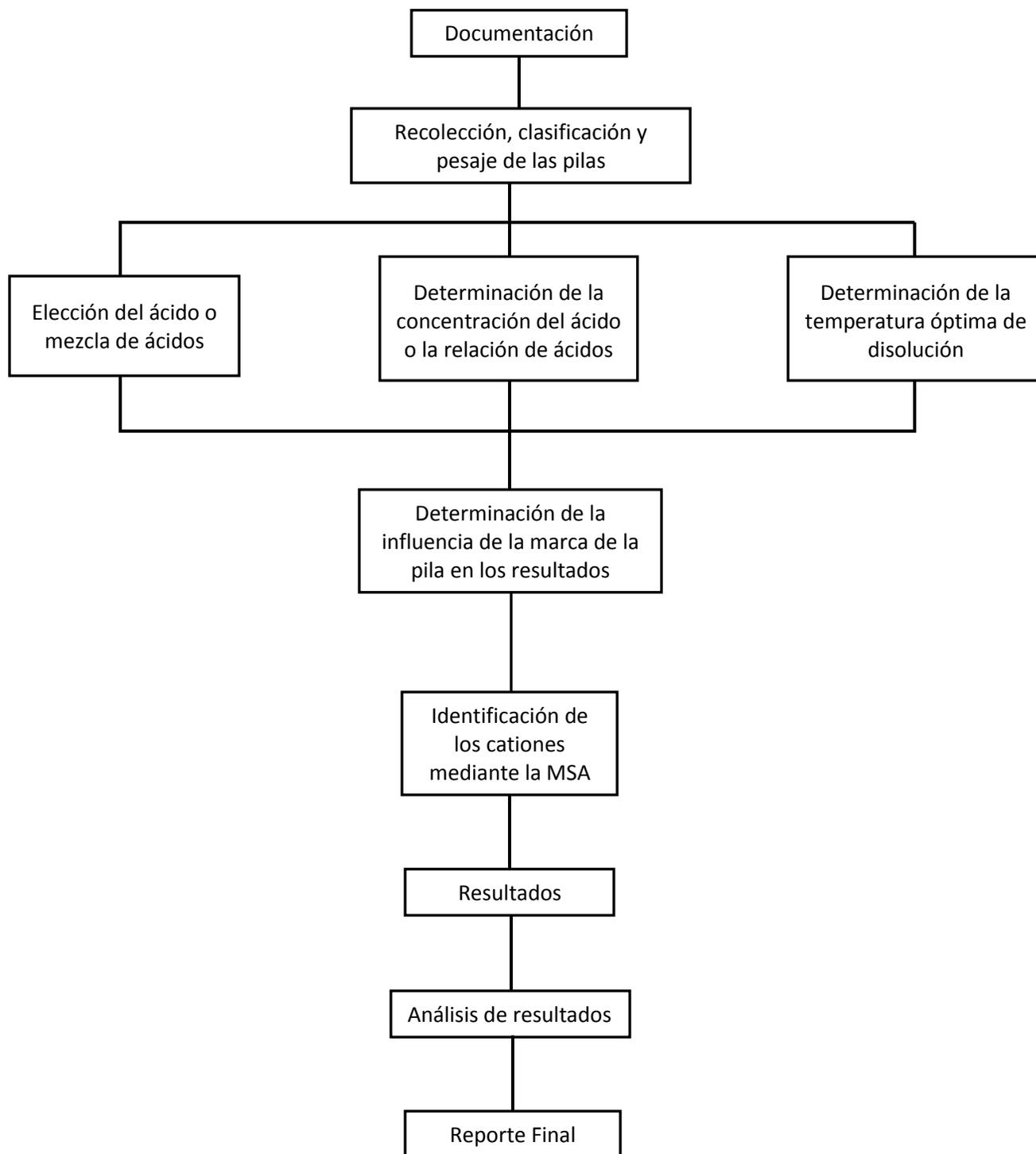


Diagrama 1. Metodología general.

8.1 ELECCIÓN DEL ÁCIDO O MEZCLA DE ÁCIDOS

En esta etapa del trabajo se evaluó la reacción entre las pilas y un determinado ácido o mezcla de ácidos, para ello se agrega una pila a un tubo de ensayo que contiene un 10 mL de un reactivo en particular, de acuerdo con el siguiente diagrama, al momento de agregar la pila se acciona un cronometro para determinar el tiempo que tarda en disolverse la pila. Esta operación se realizará por quintuplicado para cada evento.

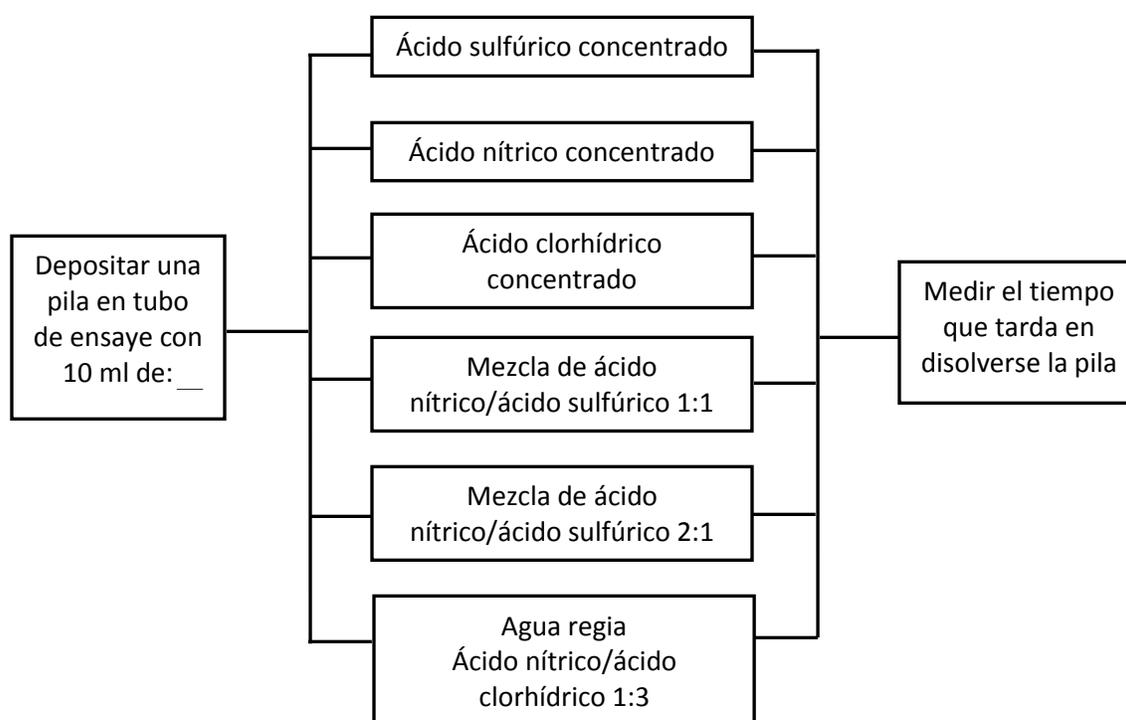


Diagrama 2. Elección del ácido o mezcla de ácidos.

8.2 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN O RELACIÓN DE ÁCIDOS

Si uno o más ácidos (puros) son capaces de disolver a las pilas, se evaluará cuál de ellos es mejor opción; para ello, se prepararan disoluciones de cada uno de los ácidos en cuestión y se evaluará el tiempo que tarda en disolverse la pila; de acuerdo al diagrama 3.

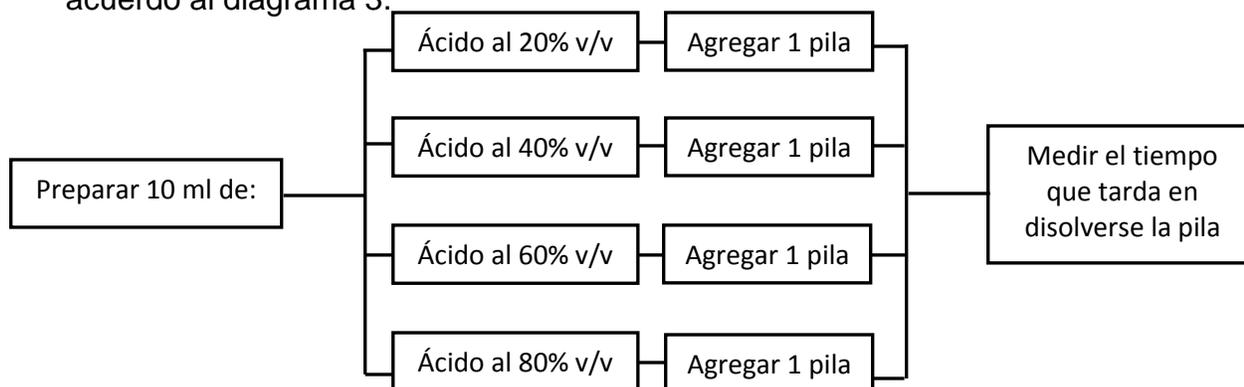


Diagrama 3. Determinación de la concentración del ácido.

En caso de que alguna mezcla de ácidos (ácido A + ácido B) sea capaz de disolver a las pilas, se variará la proporción de cada uno de los ácidos de acuerdo al indicado en el diagrama 4; para evaluar la capacidad disolvente de la mezcla de nueva cuenta determinamos el tiempo de disolución.

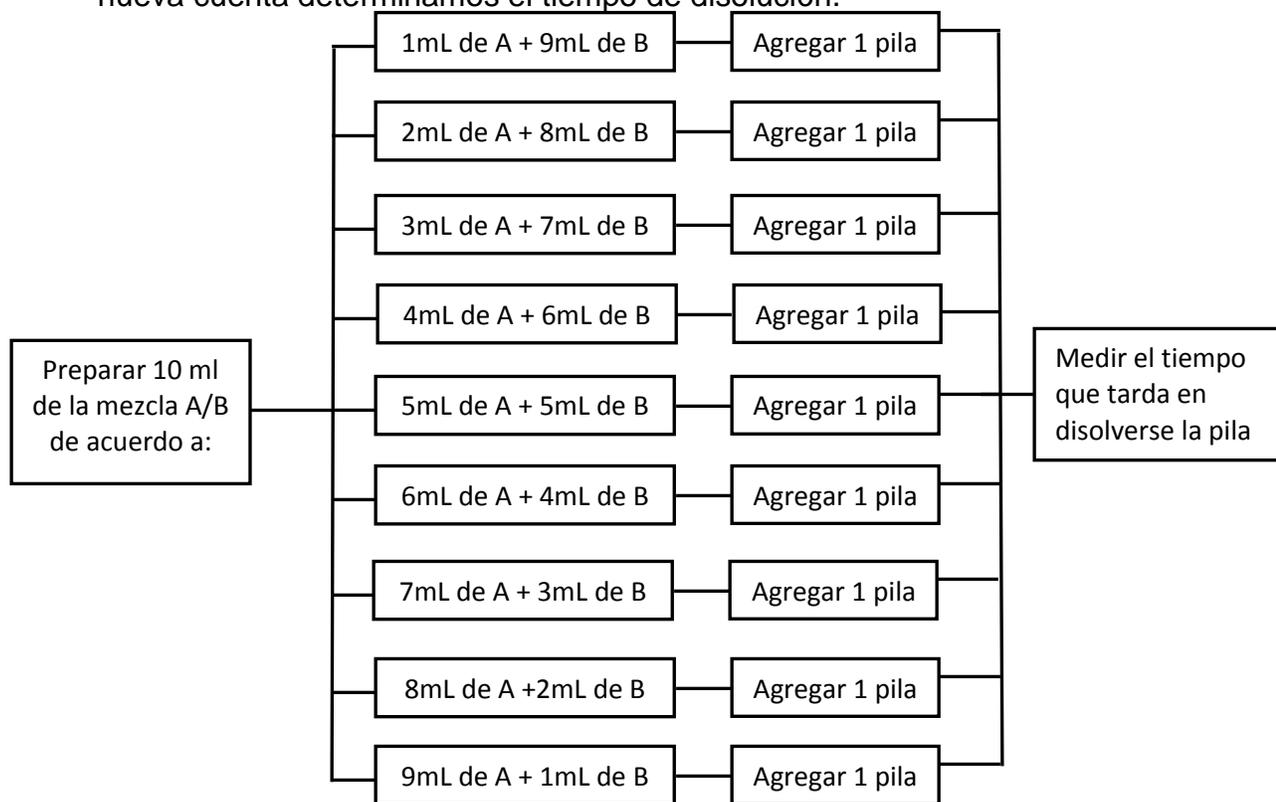


Diagrama 4. Determinación de la relación de la mezcla de ácidos.

8.3 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE REACCIÓN

En esta fase de la experimentación ya se tiene determinado cual es la mejor solución para disolver a las pilas, así que se procede a evaluar la temperatura de reacción como una variable determinante para la disolución de las pilas, esto se realiza de acuerdo al diagrama 5

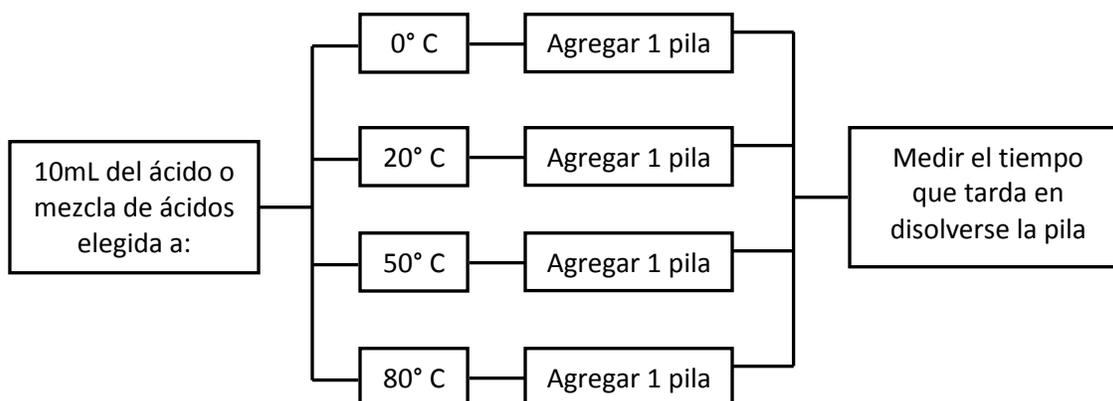


Diagrama 5. Determinación de la temperatura de reacción.

8.4 INFLUENCIA DE LA MARCA DE LA PILA EN LOS RESULTADOS

Hasta este momento de la experimentación no se ha tomado en cuenta si existe una influencia por la marca de la pila en los resultados, por tal motivo se diseña un experimento utilizando todas las marcas de pilas con las que se cuenta y sometiéndolas a iguales condiciones de reacción, con la finalidad de determinar si existe o no alguna interferencia; esto se realiza de acuerdo al diagrama 6.

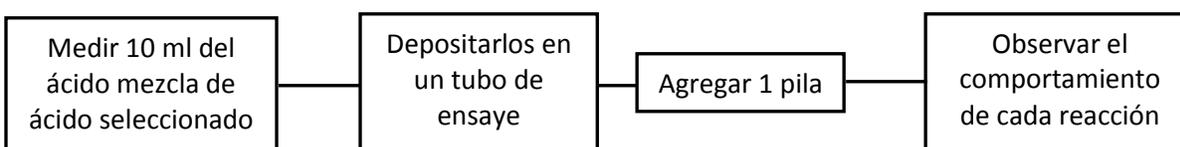


Diagrama 6. Determinación de la influencia de la marca de la pila en los resultados

8.5 IDENTIFICACIÓN DE LOS CATIONES

Para identificar los cationes presentes en las mezclas de reacción se utilizará la marcha analítica sistemática (mas); únicamente se describen los métodos de identificación para los cationes de interés para este trabajo, por ser los que se encuentran presentes en las pilas de óxido de mercurio son: mercurio, zinc, níquel y fierro.

Separación e identificación de mercurio:

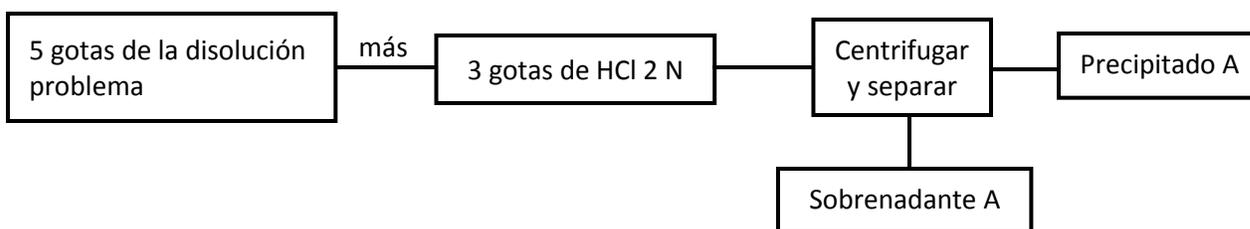


Diagrama 7. Separación del Mercurio

Identificación de mercurio:

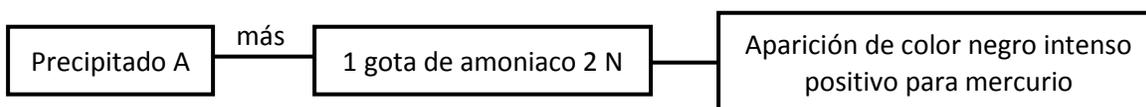


Diagrama 8. Identificación del Mercurio

Separación e identificación del Fe^{3+} , Zn^{2+} y Ni^{2+} .

Separación:

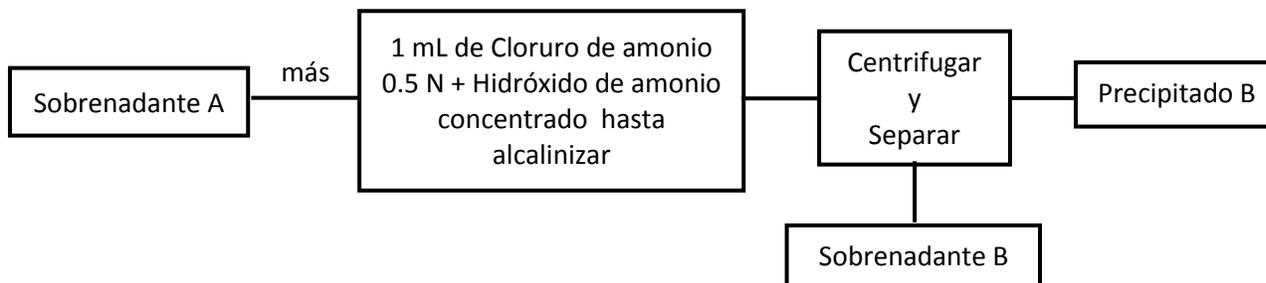


Diagrama 9. Separación del Hierro

Identificación del Fe^{3+} :

Existen dos alternativas para identificar al Fe^{3+} , en este trabajo se utilizó ferrocianuro de potasio; si se utilizan ambas pruebas se divide el precipitado a la mitad para poder realizar ambas pruebas.

En una placa de toque agregar en pozos diferentes el precipitado B:

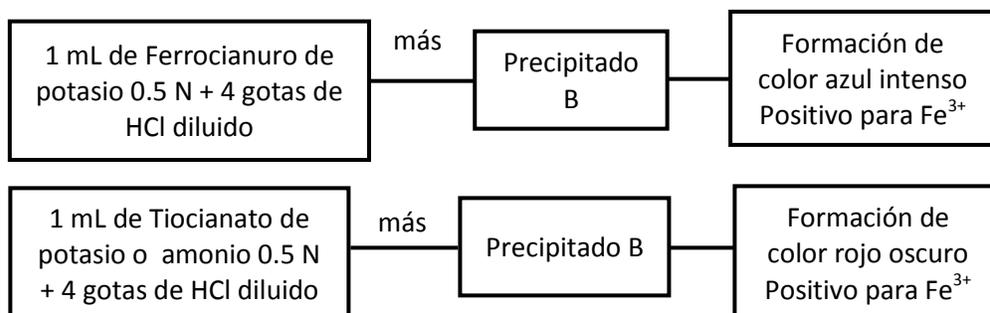
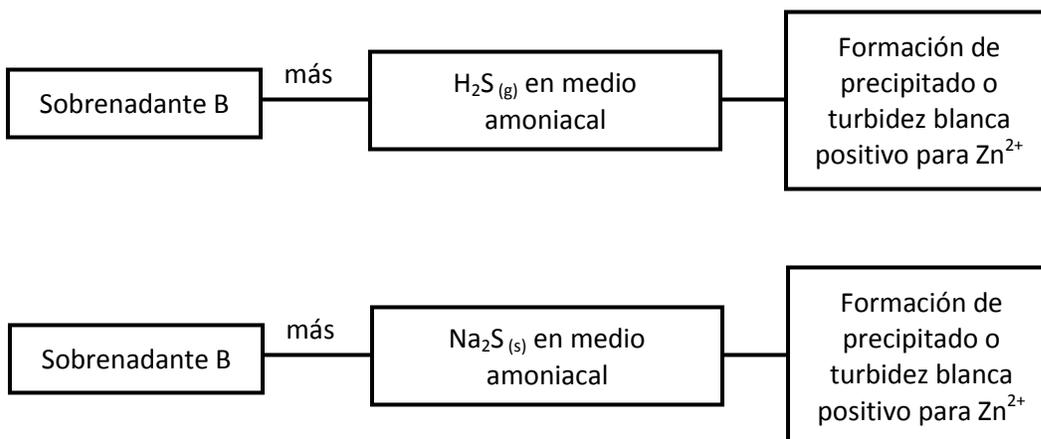


Diagrama 10. Identificación del Hierro

Para la identificación de zinc y níquel se divide el sobrenadante B, en dos partes, una de ellas se utilizara para identificar al zinc y en la otra al níquel.

Identificación de Zn^{2+} .

Para la identificación del Zn^{2+} , se puede utilizar cualquiera de los siguientes métodos



Diagramas 11 y 12. Separación e identificación del Zinc

Identificación de Ni²⁺

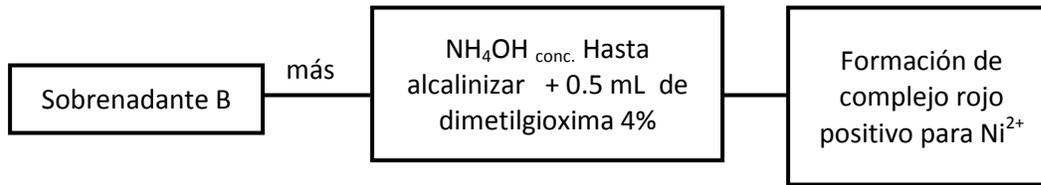


Diagrama 13. Identificación del Níquel

9 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuadro 6. ELECCIÓN DEL ÁCIDO O MEZCLA DE ÁCIDOS						
Ácido o mezcla de ácidos	Concentración o relación	Volumen utilizado	Marca y modelo de la pila	Masa de la pila	Resultado	Análisis de resultados
Ácido sulfúrico	98%	10 mL	Maxell SR521SW	0.2365 g	No se disuelve	En todos estos casos no se observó reacción entre la pila y el ácido o mezcla de ácidos correspondientes; esto se debe a un fenómeno denominado pasivación, el cual consiste en la formación de una película relativamente inerte sobre la superficie del metal, esta capa va a reducir o impedir completamente la reacción química entre la pila y el ácido o mezcla de ácidos.
Ácido clorhídrico	36%	10 mL	Maxell SR521SW	0.2337 g	No se disuelve	
Ácido nítrico	65%	10 mL	Maxell SR521SW	0.2303 g	No se disuelve	
Ácido nítrico/ ácido sulfúrico	1:1	10 mL	Maxell SR521SW	0.2311 g	No se disuelve	
Ácido nítrico/ ácido sulfúrico	2:1	10 mL	Maxell SR521SW	0.2343 g	No se disuelve	
Agua regia (ácido nítrico/ácido clorhídrico)	1:3	10 ML	Maxell SR521SW	0.2367 g	Se disuelve en 190 min.	La acción combinada de estos dos ácidos permite que los metales con los que está fabricada la pila puedan reaccionar de una manera continua, evitando el fenómeno de la pasivación.

OBSERVACIONES

- Todas las determinaciones se realizaron a temperatura ambiente (21°C).
- Para esta etapa de la experimentación se utilizó la misma marca y modelo de pila.
- No fue monitoreada la temperatura de reacción.
- El tiempo límite de observación fue de 5 horas.

Cuadro 7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE LA MEZCLA DE ÁCIDOS

Número de ensayo	Relación de ácidos (HNO ₃ /HCl)	Volumen utilizado	Marca y modelo de la pila	Masa de la pila	Resultado	Análisis de resultados
1	9:1	10 mL	Maxell SR521SW	0.2346 g	No se disuelve	<p>El tiempo de reacción de las pilas aumenta al disminuir la cantidad de HNO₃ y aumentar la de HCl, también se aprecia una disminución de la fuerza de reacción, ya que se aprecian componentes de la pila sin reaccionar. En el ensayo 2, reaccionan todas las partes de la pila, se observa la formación de un precipitado de color negro.</p> <p>En el ensayo 3, la pila se disuelve parcialmente, queda intacta la amalgama de Zn-Hg y componentes plásticos de la pila, no se observan precipitados.</p> <p>Los tiempos de reacción de la pila en los ensayos 2 y 3 son los más cortos.</p> <p>Se eligen las relaciones 8:2 y 7:3 para experimentos posteriores.</p>
2	8:2	10 mL	Maxell SR521SW	0.2328 g	30 min	
3	7:3	10 mL	Maxell SR521SW	0.2386 g	32 min	
4	6:4	10 mL	Maxell SR521SW	0.2316 g	90 min	
5	5:5	10 mL	Maxell SR521SW	0.2352 g	No se disuelve	
6	4:6	10 mL	Sony SR521SW	0.2370 g	145 min	
7	3:7	10 mL	Sony SR521SW	0.2248 g	180 min	
8	2:8	10 MI	Sony SR521SW	0.2348 g	240 min	
9	1:9	10 MI	Sony SR521SW	0.2516 g	280 min	

OBSERVACIONES

- Todas las determinaciones se realizaron a temperatura ambiente (21°C).
- El ensayo 4, se comporta de manera similar al 3, la diferencia es el tiempo de disolución.
- En los experimentos 6 al 9 no se disuelve la tapa ni la amalgama, la diferencia es el tiempo de reacción.
- Los valores de masa de la pila, así como los resultados de cada ensayo son el promedio de 5 experimentos.
- El tiempo límite de observación fue de 5 horas.

Cuadro 8. DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

No.	Temperatura de reacción (°C)	Volumen utilizado	Marca y modelo de la pila	Masa de la pila	Resultado	Análisis de resultados
1	0	10 mL	MALAN SR621SW	0.5275 g	No se disuelve	Se observa que las reacciones a temperaturas elevadas son más rápidas, más violentas y reaccionan todos los componentes de la pila. Para los objetivos de este trabajo se decide realizar los experimentos temperatura ambiente debido a que la reacción no es violenta y además se logran obtener partes enteras de la pila
2	22	10 mL	RENATA 371	0.5890 g	28 min	
3	50-60	10 mL	SONY SR920SW	0.5368 g	7 min	
4	80-87	10 mL	RENATA 371	0.6131 g	6 min	

OBSERVACIONES

- En todas las determinaciones se utiliza la relación de ácidos 7:3.
- En el experimento 2 no se disuelve la tapa ni la amalgama de (Zn-Hg).
- En los experimentos 3 y 4 la reacción es violenta, la amalgama reacciona formándose precipitados.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE DISOLUCIÓN VARIANDO LA TEMPERATURA Y RELACIÓN DE ÁCIDOS

Partiendo de los resultados presentados en el cuadro 7; se discriminan los ensayos donde no hay reacción o cuando los tiempos para que esta se complete son largos; por tal motivo se toman como relaciones de referencia las usadas en los ensayos 2 y 3.

Se diseñaron otros experimentos a diferentes temperaturas, variando la relación de la mezcla de ácidos (HNO_3/HCl), volumen de mezcla utilizado y temperatura, se mide la temperatura de reacción.

Cuadro 9. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA Y RELACIÓN DE ÁCIDOS

No.	Temperatura inicial	Masa de la pila	Relación de HNO_3/HCl	Volumen utilizado	Temperatura de reacción	Análisis de resultados
1	21°C	0.3105 g	9:2	4 mL	24°C	Con la relación 9:2 no se observa reacción; es necesario adicionar ácido clorhídrico para iniciar la reacción. El comportamiento de las reacciones utilizando mezclas 7:3 y 2:1 a temperatura ambiente es similar, la diferencia es el tiempo de reacción, es más lenta con la relación 2:1
2	30°C	0.3163 g	2:1	3 mL	72°C	
3	20°C	0.2923 g	2:1	2.5 mL	65°C	
4	21°C	0.3105 g	8:2	4 mL	ND	
5	21°	0.2915 g	7:3	4 mL	ND	

ND. No determinada

OBSERVACIONES

- En el experimentos 3 se logra disolver la pila quedando la amalgama (Zn-Hg) inalterada.
- En el experimento 2 reacciona ligeramente el amalgama (Zn-Hg)
- La disolución de la pila en el experimento 4 es incompleta.
- En el experimento 5 se disuelve la carcasa, queda sin reaccionar la amalgama y la tapa de la pila.
- No se tomó en consideración la marca y modelo de pila.

Hasta este momento no se ha considerado la marca de la pila como una variable, por tal motivo se diseñan los siguientes experimentos, con la finalidad de evaluar si la marca es un factor determinante en los resultados.

DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA MARCA DE LA PILA EN LOS RESULTADOS

Para determinar una posible influencia de la marca de la pila en los resultados, se hicieron reaccionar tres pilas de diferentes marcas, pero de un mismo modelo con cuatro relaciones diferentes de HNO₃/HCl, de acuerdo con el siguiente cuadro.

Cuadro 10. INFLUENCIA DE LA MARCA EN LOS RESULTADOS						
No.	Marca	Relación de HNO ₃ /HCl	Resultados			Análisis de resultados
			Tapa	Carcasa	Amalgama	
1	SONY	2:6	+	+	-	Se puede apreciar claramente como el comportamiento de las pilas con las mezclas de reacción es consistente, salvo el caso que corresponde a la determinación No. 9, en la cual reaccionan todos los componentes de la pila; cabe destacar que esta pila únicamente tenía indicado el modelo, denominada AG1; esta pila no ostentaba ninguna otra leyenda.
2	MAXELL	2:6	+	+	-	
3	SEIZNKEN	2:6	+	+	-	
4	SONY	4:7	+	+	-	
5	MAXELL	4:7	+	+	-	
6	MAXELL	4:7	+	+	-	
7	SONY	7:3	-	+	-	
8	MAXELL	7:3	-	+	-	
9	AG1	7:3	+	+	+	
10	SONY	9:2	-	+	-	
11	MAXELL	9:2	-	+	-	
12	SEIZNKEN	9:2	-	+	-	

Signo (+) hubo disolución, signo (-) no hubo disolución.

OBSERVACIONES

- Se utilizaron 10 mL de mezcla de ácidos para cada determinación.
- En el ensayo 9 la amalgama se pulveriza.
- No se midieron los tiempos de disolución.
Se repite el mismo experimento, ahora solamente utilizando la relación de ácidos 4:7 para hacerla reaccionar con pilas de cualquier marca y modelo.

Cuadro 11. INFLUENCIA DE LA MARCA EN LOS RESULTADOS

No.	Marca	Masa (g)	Modelo	Resultados			Análisis de resultados
				Tapa	Carcasa	Amalgama	
1	SIN MARCA	0.2809	36A4	+	+	*	De nueva cuenta se observan resultados consistentes con la pilas de marca reconocida, sin importar el modelo; la excepción, de nuevamente son las pilas sin marca o de marca no reconocida.
2	RENATA	0.2284	379	+	+	-	
3	SONY	03647	SR626SW	+	+	-	
4	ENERGYSER	0.4363	362	+	+	-	
5	NATIONAL	0.4065	SR626SW	+	+	-	
6	ALKALINE CELL	0.3678	SR521	+	+	*	
7	PANASONIC	0.3504	CR1216	+	+	-	

Signo (+) hubo disolución, signo (-) no hubo disolución, * la amalgama se desintegra.

OBSERVACIONES

- Se utilizaron en todos los casos 10 mL de mezcla 4:7
- Las determinaciones se realizaron a temperatura ambiente.
- En los experimentos 1 y 6 la amalgama se desintegra, pudiéndose separar por filtración.

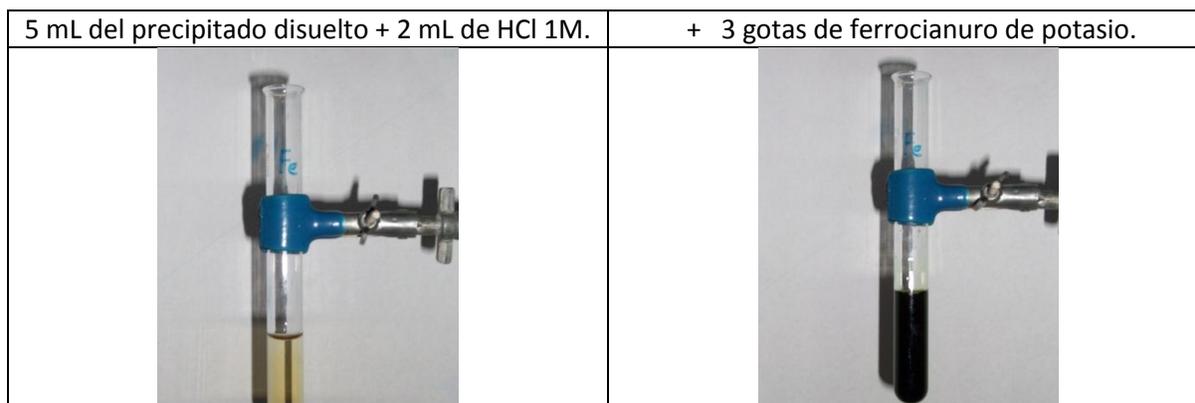
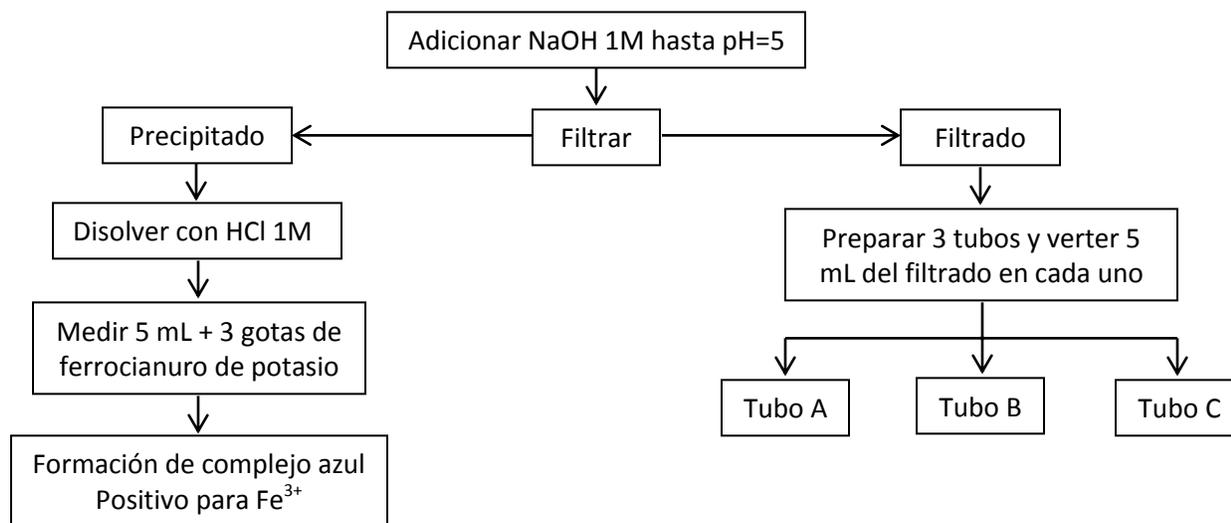
IDENTIFICACION DE CATIONES

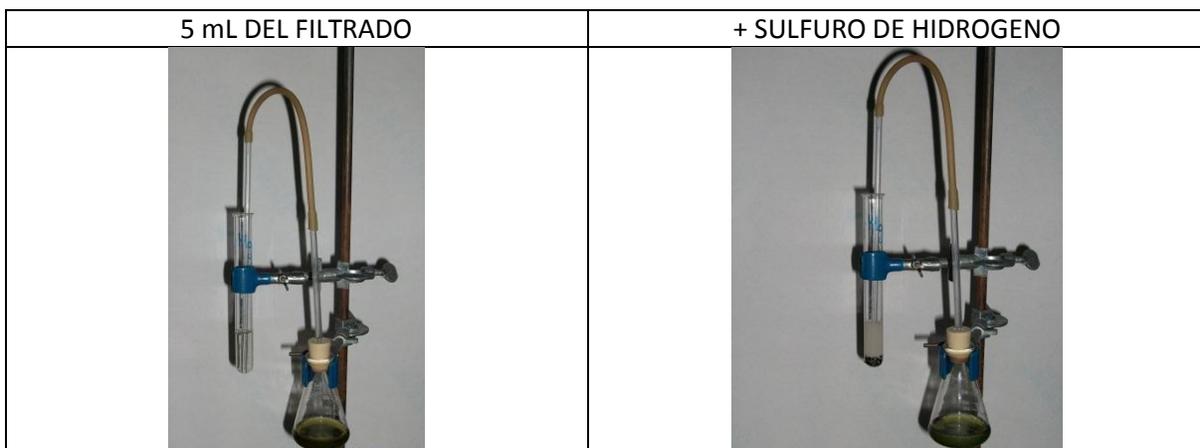
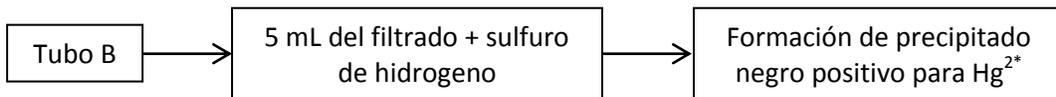
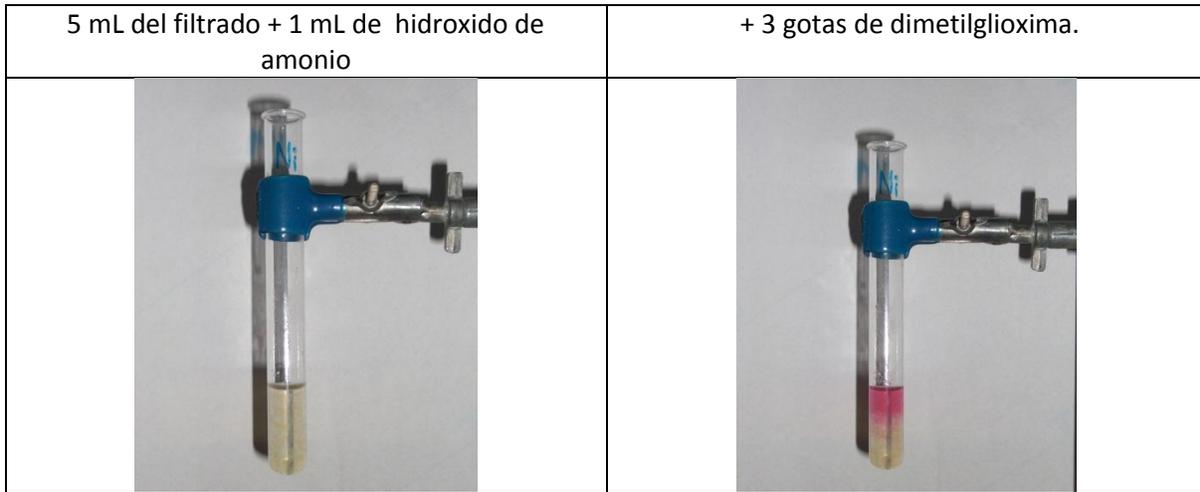
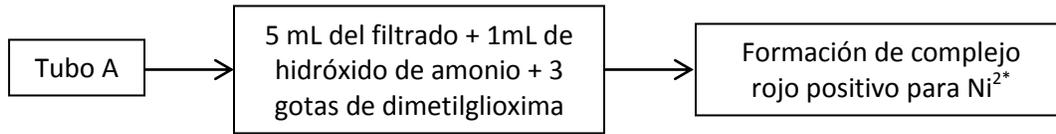
Se neutraliza el producto de disolución de las pilas utilizando NaOH 1M con la finalidad de iniciar la marcha analítica, antes de llegar a la neutralización se produce la formación de un precipitado color marrón, se mide el pH en ese momento el cual es de 5.

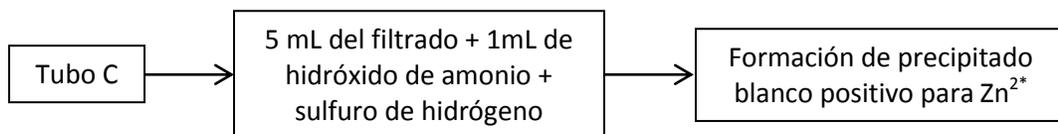
Se separó el precipitado por filtración, el cual dio positivo para Hierro, con el filtrado se procede a dar inicio a la marcha analítica, pudiendo identificar:

- Níquel
- Mercurio
- Zinc

De acuerdo al siguiente diagrama d eflujo:







5 mL del filtrado + 1 mL de hidróxido de amonio	+ sulfuro de hidrogeno
	

Este trabajo se divide básicamente en dos partes, la disolución de las pilas y la identificación de los metales presentes en el producto de disolución.

En la parte referente a la disolución de las pilas, se logró determinar que de todos los ácidos y mezclas de ácidos utilizadas en la parte experimental la única que logra ese objetivo es la mezcla de ácido nítrico con ácido clorhídrico, dependiendo la relación de mezcla de ellos varía la intensidad de reacción así como el tiempo en que esta se lleva a cabo; el objetivo inicial de este trabajo fue el de disolver completamente las pilas, lo cual se logró utilizando la mezcla de ácidos 7:3 (HNO_3/HCl) a una temperatura de 50°C , esta determinación se lleva a cabo en un periodo de tiempo corto (7 min.) se observa una reacción muy violenta con formación de precipitados. Utilizando las relaciones 7:3 y 9:2 de la mezcla de ácidos HNO_3/HCl a temperatura ambiente, se logra una disolución parcial de la pila, quedando dos partes de la pila sin reaccionar, la amalgama de Zn/Hg y la tapa de la pila que corresponde al polo negativo de la misma, esta situación simplifica la tarea de separar los componentes de la pila.

De acuerdo a estos resultados afirmamos que la temperatura óptima para disolver parcialmente la pila botón es la temperatura ambiente.

En cuanto a la identificación de los metales disueltos en la mezcla de reacción se inició con la neutralización de disolución para poder dar inicio a la marcha sistemática analítica, al neutralizar con NaOH se forma un precipitado marrón; conociendo que metales están presentes en la pila se dedujo que el precipitado formado corresponde $\text{Fe}(\text{OH})_3$, lo cual fue confirmado posteriormente mediante la formación del complejo azul de prusia. Una vez separado el Fe^{3+} , se pudieron identificar el Hg^{2+} , Zn^{2+} y Ni^{2+} aplicando las reacciones propuestas.

De esta manera se logran alcanzar los objetivos que dieron origen a este trabajo.

10 CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo es fundamentar las bases para poder diseñar algún método para poder reciclar o en su caso confinar de una manera segura, económica y con un impacto ambiental mínimo a las pilas botón de óxido de mercurio; de los resultados y observaciones obtenidos podemos sustentar las siguientes conclusiones:

- La disolución incompleta de la pila facilita la separación de los componentes de la pila.
- Al obtener la tapa de la pila entera, esta se puede reintroducir a la industria metalúrgica.
- La amalgama de Zn/Hg se puede confinar, o bien, se puede evaluar que tan factible sería separar los componentes de la amalgama.
- De la disolución resultante se pueden obtener sales ferrosas como el FeCl_3 o FeSO_4 , los cuales una vez purificados se pueden comercializar como reactivos; o el azul de Prusia, el cual una vez purificado se puede utilizar en:
 - La elaboración de tintes o pigmentos.
 - Se emplea en la rectificación de motores, para el control del asentado de válvula en la tapa.
 - Las sales alcalinas de este compuesto son reactivos que se emplean en fotografía y en el tinte de la lana y la seda.
 - Se emplea como colorante en el diagnóstico de la hemosiderosis empleando la tinción de Perls.
- Es posible obtener sales de níquel como NiCO_3 .
- El zinc presente se puede separar como ZnS
- El mercurio se obtiene en forma de sulfuro el cual es muy estable y permitiría una confinación segura.
- El realizar las reacciones a temperatura ambiente implica un ahorro en energía al no tener que calentar o enfriar la mezcla de reacción.

De acuerdo a lo anterior, podemos afirmar que es posible separar los componentes de las pilas botón de óxido de mercurio para su comercialización o confinamiento seguro.

11 REFERENCIAS

1. Gavilán A, Rojas L, Barrera J. Las pilas en México: Un diagnóstico ambiental (informe, marzo 2009). México: Instituto Nacional de Ecología: 2009. pág. 12, 13.
2. Castillo F. et al. Biotecnología Ambiental. Madrid (España). Tebar, S.L.; 2005. Pág. 221.
3. Aguilar J, García C. Pilas ¿Las tiro o las acopio?. Revista del Consumidor [revista en internet] 2006 [diciembre 2011]. pág. 67.
(http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_06/pilas_ago06.pdf)
4. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La Ciencia Central. 9ª ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 784
5. Allier C, Castillo B, Fuse M. La Magia de la Química. México: Mc Graw Hill; 1999. pág. 246.
6. Daub G, Seese W. Química. 8ª ed. México: Pearson Educación; 2005. Pág. 526.
7. Chang R. Química. 7ª ed. México: McGraw-Hill; 2002. Pág. 770.
8. Daub G, Seese W. Química. 8ª ed. México: Pearson Educación; 2005. Pág. 526.
9. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pila_di_Volta.jpg [diciembre 2011]
10. Aguilar J, García C. Pilas ¿Las tiro o las acopio?. Revista del Consumidor [revista en internet] 2006 [diciembre 2011]. pág. 67.
(http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_06/pilas_ago06.pdf).
11. Gavilán A, Rojas L, Barrera J. Las pilas en México: Un diagnóstico ambiental (informe, marzo 2009). México: Instituto Nacional de Ecología: 2009. pág. 6.
12. Gavilán A, Rojas L, Barrera J. Las pilas en México: Un diagnóstico ambiental (informe, marzo 2009). México: Instituto Nacional de Ecología: 2009. pág. 6.
13. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 53.
14. The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. 14ª ed. Merck & Co. Inc. 2006. Pag.1017,1018.
15. Castillo F. et al. Biotecnología Ambiental. Madrid (España). Tebar, S.L.; 2005. Pág. 221-223.
16. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 65.
17. http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.pdf. [noviembre 2013]
18. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 66.
19. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 66.
20. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000590.htm>
[diciembre 2011]
21. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 67.

22. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 67.
23. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002570.htm> [diciembre 2011]
24. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 67.
25. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/leadpoisoning.html> [diciembre 2011]
26. <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Contm etalessesados.asp> [dicembre 2011]
27. <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Contm etalessesados.asp> [dicembre 2011]
28. La NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. pág. 23.
29. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 68.
30. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 68, 69.
31. Arredondo C. Recuperación de Metales Contenidos en Pilas y Baterías Domesticas, Trabajo monográfico de actualización. [Tesis de Licenciatura]. México: UNAM; 2001. pág. 20.
32. Arredondo C. Recuperación de Metales Contenidos en Pilas y Baterías Domesticas, Trabajo monográfico de actualización. [Tesis de Licenciatura]. México: UNAM; 2001. pág. 21.
33. Arredondo C. Recuperación de Metales Contenidos en Pilas y Baterías Domesticas, Trabajo monográfico de actualización. [Tesis de Licenciatura]. México: UNAM; 2001. pág. 22-24.
34. Arredondo C. Recuperación de Metales Contenidos en Pilas y Baterías Domesticas, Trabajo monográfico de actualización. [Tesis de Licenciatura]. México: UNAM; 2001. pág.24-26.
35. Arredondo C. Recuperación de Metales Contenidos en Pilas y Baterías Domesticas, Trabajo monográfico de actualización. [Tesis de Licenciatura]. México: UNAM; 2001. pág. 26, 27.
36. Castro J, Díaz M. La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica; Instituto Nacional de Ecología.2004. núm. 72. pág. 67.
37. Aguilar J, García C. Pilas ¿Las tiro o las acopio?. Revista del Consumidor [revista en internet] 2006 [diciembre 2011]. pág. 69 (http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_06/pilas_ago06.pdf)
38. Arredondo C. Recuperación de Metales Contenidos en Pilas y Baterías Domesticas, Trabajo monográfico de actualización. [Tesis de Licenciatura]. México: UNAM; 2001. pág. 28,29.
39. Huheey J, Keiter E, Keiter R. Química Inorgánica, Principios de estructura y reactividad. 4ª ed. México: Alfaomega; 2007. pág. 336.
40. Daub G, Seese W. Química. 8ª ed. México: Pearson Educación; 2005. pág. 470
41. Huheey J, Keiter E, Keiter R. Química Inorgánica, Principios de estructura y reactividad. 4ª ed. México: Alfaomega; 2007. pág. 336.

42. Huheeeey J, Keiter E, Keiter R. Química Inorgánica, Principios de estructura y reactividad. 4^a ed. México: Alfaomega; 2007. pág. 343.
43. <http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido> [diciembre 2011]
44. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 121, 122.
45. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 645, 646.
46. Daub G, Seese W. Química. 8^a ed. México: Pearson Educación; 2005. pág. 472-475.
47. Harris D. Análisis Químico Cuantitativo. 3^a ed. Reverté; 2009. Pág. 115.
48. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 645.
49. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 122.
50. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 646.
51. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 133.
52. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 130-132.
53. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 131.
54. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 594
55. Skoog D, West D, Holler F, Crouch S. Fundamentos de Química Analítica. 8^a ed. México: Thomson; 2005. pág. 237.
56. Holkova L. Química Analítica Cualitativa, teoría y práctica. 2^a ed. México: Trillas; 1993. pág. 117.
57. Vogel A. Química Analítica Cualitativa, Incluyendo semimicroanálisis cualitativo. 5^a ed. Argentina: Kapelusz; 1974. Pág. 138.
58. Gavilán A, Rojas L, Barrera J. Las pilas en México: Un diagnóstico ambiental (informe, marzo 2009). México: Instituto Nacional de Ecología; 2009. pág. 13.
59. Arredondo C. Recuperación de Metales Contenidos en Pilas y Baterías Domesticas, Trabajo monográfico de actualización. [Tesis de Licenciatura]. México: UNAM; 2001. pág.11.
60. Brown T, LeMay e, BurstenB, Burdge J. Química La ciencia central. 9^a ed. México: Pearson Educación; 2004. pág. 949-952.
61. Burriel F, Lucena F, Arribas S, Hernández J. Química Analítica Cualitativa. 16^a ed. España: Paraninfo; 1998. pág. 449, 752, 753.
62. Burriel F, Lucena F, Arribas S, Hernández J. Química Analítica Cualitativa. 16^a ed. España: Paraninfo; 1998. pág. 761-763.
63. Burriel F, Lucena F, Arribas S, Hernández J. Química Analítica Cualitativa. 16^a ed. España: Paraninfo; 1998. pág. 769, 770, 773.
64. Vogel A. Química Analítica Cualitativa, Incluyendo semimicroanálisis cualitativo. 5^a ed. Argentina: Kapelusz; 1974. Pág.216-218.

65. Burriel F, Lucena F, Arribas S, Hernández J. Química Analítica Cualitativa. 16^a ed. España: Paraninfo; 1998. pág. 666.
66. <http://en.wikipedia.org/wiki/Dimethylglyoxime> [noviembre 2013]
67. Gavilán A, Rojas L, Barrera J. Las pilas en México: Un diagnóstico ambiental (informe, marzo 2009). México: Instituto Nacional de Ecología: 2009. pág. 2.
68. Gavilán A, Rojas L, Barrera J. Las pilas en México: Un diagnóstico ambiental (informe, marzo 2009). México: Instituto Nacional de Ecología: 2009. pág. 3, 12.
69. Trejo R, Reyna P, Sánchez I, Molina R, Villalobos F. Estimación del potencial contaminante por pilas en el relleno sanitario "San Nicolas", de la ciudad de Aguascalientes, México. Investigación y Ciencia, Mayo-agosto, 2008/vol. 16; núm. 41. México: Universidad Autónoma de Aguascalientes. pág.6.

Vivimos en una sociedad profundamente dependiente de la ciencia y la tecnología y en la que nadie sabe nada de estos temas. Ello constituye una fórmula segura para el desastre.

Carl Sagan