



DETERMINACIÓN DE PELIGROSIDAD DE PILAS USADAS COMPLEMENTADA CON ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Reporte Final

Presentado a la

Asociación Mexicana de Pilas, A.C.

Por

Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios
sobre Medio Ambiente y Desarrollo

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Dr. Guillermo J. Román Moguel

18 de noviembre de 2008

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
 - 1.1 Contexto y Objetivo del Estudio
 - 1.2 Revisión crítica de estudios previos
2. ANÁLISIS QUÍMICO Y FÍSICO DE LAS PILAS
 - 2.1. Muestreo
 - 2.2. Metodología de Análisis Químico
 - 2.3. Resultados de Análisis
3. ANÁLISIS (ACOTADO) DE CICLO DE VIDA DE PILAS
 - 3.1 Propósito/Objetivo/
 - 3.2 Función y Unidad Funcional
 - 3.3 Sistema a Estudiar
 - 3.3.1 Escenarios de Recolección
 - 3.3.2 Escenarios de Final-de-Vida
 - 3.3.3 Tecnologías Actuales de Reciclado.
 - 3.3.4 Tratamiento en Plantas Metalúrgicas existentes
 - 3.3.5 Métodos de Confinamiento
 - 3.3.6 Manejo como Parte de los Residuos Sólidos Urbanos
 - 3.3.7 Escenarios de Instrumentación
 - 3.4 Fronteras del Sistema
 - 3.5 Análisis de Inventario
 - 3.6 Evaluación de Impacto
 - 3.7 Análisis de Sensibilidad
 - 3.8 Suposiciones Clave y Limitaciones
4. ANÁLISIS DEL INVENTARIO Y RESULTADOS
 - 4.1 Sistemas de Recolección
 - 4.1.1 Puntos de Recolección
 - 4.1.2 Requerimientos de Contenedores.
 - 4.1.3 Transporte a los Lugares de Depósito y a las Plantas de Clasificación/Separación
 - 4.1.4 Planta de Clasificación/Separación
 - 4.1.5 Transporte a Sitio de Final-de-Vida
 - 4.2 Composición de las Pilas
 - 4.3 Sistemas de Final-de-Vida

- 4.3.1 Procesos de Reciclado
 - 4.3.2 Procesos Plantas Metalúrgicas Existentes
 - 4.3.3 Métodos de Confinamiento
 - 4.4 Manejo como Residuos Sólidos Urbanos
 - 4.5 Resultados
- 5 ANÁLISIS DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA
 - 6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS OPCIONES DE MANEJO DE PILAS
 - 7 CONCLUSIONES
 - 8 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

1. INTRODUCCIÓN

Las pilas y baterías como residuos post-consumo dado su tamaño y dispersión, así como su aparente toxicidad, son actualmente tema de interés de la sociedad y cuentan con una percepción pública alta, aun cuando la cantidad consumida y por tanto desechada no sea significativa en el contexto del volumen de residuos peligrosos de otros tipos generados en el país, de varios millones de toneladas por año. Por mencionar sólo otro residuo post-consumo, los desechos electrónicos, la cantidad estimada que se produjo en 2006 fue de 150.000 a 250.000 Ton con cantidades significativas de diversos metales, como los contenidos en las pilas, pero en mayor cantidad. Aquello ha generado diversas inquietudes e iniciativas por parte de organizaciones gubernamentales y sociales así como de las cámaras industriales, que si bien cubren un propósito con campañas de recolección, requieren en el mediano plazo de una instrumentación más amplia, fundamentada e integral, particularmente en su final-de-vida.

1.1 Contexto del Proyecto y Objetivo.

La gestión y el manejo de residuos en general y de residuos peligrosos y de "manejo especial" en particular en México, presentan carencias estructurales, lo que se traduce en problemas para ambas: la sociedad y las empresas generadoras de ellos. Las pilas están consideradas por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos como residuos sólidos urbanos (RSU), con excepción de una pequeña fracción menor al 1% que están clasificadas como peligrosas y por tanto deberán ser sujetas a un Plan de Manejo, una vez que la Norma oficial que aun se encuentra en proceso de elaboración sea aprobada. Esta normatividad requiere contar con consideraciones técnicas (composición química, peligrosidad, resistencia, etc.) a la vez que económicas y sociales (consumo, acopio, costos de manejo, etc.) tratadas de una manera integral.

Adicionalmente, las autoridades ambientales federal, estatales y municipales así como el poder legislativo requieren de elementos de juicio para la elaboración de la normatividad respectiva. Algunos de estos se pueden obtener por medio de una opinión fundamentada sobre el final de vida de las pilas y su composición química por una entidad autorizada, con base en una análisis integral de los potenciales impactos ambientales así como de un análisis de los costos requeridos para su manejo adecuado.

Por los motivos anteriores, la Asociación Mexicana de Pilas A.C. se propuso obtener información sobre los aspectos antes mencionados que son, tanto el análisis químico de pilas dentro del mercado legal como de aquellas del mercado informal y el costo y beneficio de distintas alternativas tanto de recolección y acopio

como de final-de-vida, por medio de un Análisis acotado de Ciclo de Vida, en su etapa de final-de-vida, con una evaluación económica de las opciones. Por tanto, el objetivo de este trabajo se definió por Amexpilas de la siguiente manera:

"Desarrollar un estudio que proporcione elementos técnicos y de gestión a la Asociación Mexicana de Pilas acerca de la peligrosidad de las pilas como residuo postconsumo, basándose en pruebas de laboratorio y en un Análisis parcial del Ciclo de Vida del producto".

El trabajo está organizado en tres partes: La primera es una revisión crítica de información que sobre el tema se ha publicado en los últimos años. La segunda comprende el análisis químico y físico de pilas y la tercera es el Análisis de Ciclo de Vida (Acotado) de las pilas, particularmente en el Final-de-Vida, complementado con un análisis económico de las opciones de manejo de acuerdo al ACV.

1.2 Revisión Crítica de Información

En años anteriores se han desarrollado estudios referentes a la toxicidad y manejo de pilas usadas en países industrializados. A continuación se presentan algunas de las principales conclusiones.

Eficiencia del Canal de Baterías, Arnold, O., Ministerio de Ecología y de Desarrollo Sostenible de Francia, (2004)

Francia es una de las primeras en experimentar la aplicación del principio de la Responsabilidad Extendida (1997) del Productor (la EPR) que lo obliga a la recolección municipal por recolección separada. 30,000 Ton de pilas alcalinas y cinc carbono representa la vasta mayoría del volumen (7,200 fueron recicladas en 2004). El objetivo de este trabajo fue contar con un estudio de costo-beneficio que permita llegar al mejor modo de manejar responsablemente las pilas usadas. La reglamentación a partir del 1 de enero de 2005 prohíbe la venta de baterías, que contengan más de 5 ppm de mercurio, a excepción de las pilas de botón, que contengan en este caso más de 2% de mercurio y todas las baterías usadas pueden ser devueltas al distribuidor sin cargo.

Para cumplir con sus obligaciones reguladoras, algunos productores formaron eco-organizaciones, otros establecieron mecanismos individuales. Cada uno, ya sea en lo colectivo o individual, presentaron a las autoridades un convenio o acuerdo para la aprobación describiendo sus métodos de recuperación y valorización. El 1 de septiembre de 2004, 10 convenios habían sido aprobados y estaban en vigor.

Los puntos principales contenidos en estos convenios son,

- objetivos de recuperación,
- los medios de comunicación con el público,
- contratos con recolectores y recicladores.

De los datos globales fue posible identificar las tendencias tales como: las pilas alcalinas y zinc-carbón representan el 92% del número de unidades consumidas y representan el 99% del peso de las pilas en el mercado

Costos del proceso de reciclaje de baterías portátiles usadas deben contemplar los rubros tales como:

- La recolección selectiva primaria,
- lugar de la recolección,
- el contenedor, el costo del equipo requerido,
- la recolección secundaria selectiva, es decir, la recolección en puntos recaudatorios,
- el reemplazo de contenedores,
- el transporte al centro de clasificación y transporte para el centro de reciclaje,
- operaciones de reciclaje,
- costos administrativos y de comunicaciones.

Los principales costos externos específicos causados por metales pesados en la contaminación del aire durante la incineración - se estimó - son 18,000 €/t para el cadmio y 2,530 €/t para el níquel. No hay estudios que evalúen el costo de los metales pesados filtrados en aguas subterráneas. Por otra parte, los principales costos externos por impactos generales (estudio de los efectos dañinos) de los rellenos sanitarios arroja un costo de entre 0.30 y 1.50 € por tonelada de desperdicio depositado. En cuanto al transporte, se estima que el recorrido para recolectar las pilas usadas es de 225 km por tonelada en promedio si el recorrido se hace en un vehículo ligero y 25 km en un camión de carga pesada. El impacto en el aire por kilómetro conducido tiene un costo de 11.00 € /Ton para la contaminación del aire y 30.00 € /Ton para los accidentes.

El valor monetario de los metales pesados se encuentra en los impactos ambientales que se evitan por la extracción y las etapas refinadoras de las materias primas vírgenes. Se estima que el valor recuperado al reciclar metales ferrosos y no ferrosos está en la vecindad de 540.00 € /Ton y 1,700 € /Ton respectivamente.

En conclusión, el umbral de 5 ppm de mercurio contenido parece excesivamente estricto. De hecho el costo social evitado no excede 30 €/Ton cuando el límite se eleva de 5 a 100 ppm. Este ahorro necesita ser comparado con el costo para alcanzar dicho umbral. La implementación de tan solo estos puntos haría posible un ahorro de 13 millones de Euros por año, primordialmente de reciclado.

Actualmente el mejor manejo de las pilas usadas tiene la tendencia de abandonar la estrategia de regular hacia el final del proceso a favor de reforzar el control al inicio de la corriente. De hecho, parece que la justificación inicial de la recolección selectiva y el reciclado de pilas usadas han perdido su validez

Un análisis de la economía de la categoría de pilas usadas muestra que el costo de reciclado varía entre 1,500 €/Ton para pilas recargables de NiMH y 4,100 €/Ton para pilas de botón. El costo para las otras categorías está en el rango menor a 140 €/Ton.

Finalmente, la combinación de herramientas utilizadas para el manejo de pilas usadas puede ser aprovechada para reforzar los controles "corriente arriba" que tendría el efecto de eliminar los costos más altos de los controles "corriente abajo". Dado el valor contenido de mercurio extremadamente bajo de las pilas actuales, representan prácticamente ninguna amenaza al medio ambiente al final de su uso.

Evaluación del Riesgo Ambiental por Cinc Procedente de Desechar Pilas Usadas Junto con los Residuos Sólidos Urbanos. (en Bélgica). D. Rondia & J.de Graeve, Unidad de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad de Lieja, Bélgica 1992 (?)

En el pasado, las baterías fueron asociadas con la presencia de metales tóxicos, en especial mercurio y cadmio. El aumento en el uso de las pilas y baterías causó preocupación, por la liberación o acumulación de metales pesados en el suelo, aire y agua. La industria de las baterías corrigió la situación del mejor modo, disminuyendo hasta reducir a cero la cantidad de cadmio y mercurio en las baterías de uso doméstico y por otro lado desarrollando baterías recargables.

La toxicidad del cinc no puede ser comparada a la toxicidad de los metales pesados en general. El cinc es un elemento esencial para la actividad de un gran número de encimas y procesos naturales tales como el metabolismo de alcohol y glucosa, la salud de la piel y la maduración sexual de jóvenes masculinos.

La mayoría de baterías domésticas usadas se convierten en una parte integral de los residuos sólidos municipales. En la práctica, en Bélgica todo residuo sólido municipal recibe básicamente uno de los dos siguientes tratamientos, enterrado bajo capas de tierra para formar un relleno, o incinerado, el reciclado de este tipo de baterías se convierte en un componente integral. En base a esta investigación se llega a las siguientes afirmaciones:

Las pilas y baterías secas investigadas (alcalinas y cinc-carbono) en general no representan una fuente concentrada de metales pesados entre los residuos sólido municipal.

El riesgo ambiental de eliminar las baterías enterrándolas bajo capas de tierra junto con los residuos sólidos municipales para formar un relleno sanitario o la incineración no tiene ninguna probabilidad de ser significativo. Así, la mayoría de pilas y baterías domesticas pueden con seguridad ser desechadas en rellenos sanitarios o incineradores municipales.

Ahora el reciclado de pilas y baterías no recargables tiene mayor probabilidad de presentar riesgos significativos. Da la apariencia de presentar problemas relacionados con la salud asociados con la clasificación, almacenamiento, acopio, y eliminación de la mayoría de pilas y baterías domesticas. Durante el almacenamiento en un lugar seco podrían ocurrir cortos circuitos dando como resultado fuegos y explosiones, durante la eliminación de cantidades muy grandes de baterías fuera las precauciones de un relleno sanitario, altas concentraciones de cinc podrían librarse en el lugar, incluso si se tiene una alta concentración de cinc en un relleno sanitario, si no se encuentra con un material neutral adecuado o inerte para ser completamente absorbido, pude tener mayor oportunidad para dejar el relleno sanitario. Sin embargo, con la eliminación de mercurio en la mayoría de las pilas y baterías primarias (especialmente las alcalinas y cinc-carbono), el reciclado no es necesario.

El análisis del Impacto Ambiental y los Costos Financieros de una Posible Nueva Directiva Europea sobre Pilas, Environmental Resources Management, (2000)

Este estudio ha evaluado los costos financieros y los probables impactos ambientales en el Reino Unido para la recolección y reciclado de residuos de baterías de consumo doméstico, industrial y automotriz. En el Reino Unido, la recolección y la tasa de reciclaje para baterías de uso doméstico son bajas, con excepción de pilas de botón de óxido de plata. Sin embargo, para baterías automotrices e industriales de plomo ácido, la tasa global de reciclaje es cercana al 90%.

Todo tipo de baterías, por sus metales constitutivos son progresivamente separadas de la basura hacia la recolección y reciclaje, por lo que las tasas de reciclaje ascienden, al efectuarse esto, otros impactos ambientales se incrementan y se asocian al requerimiento de recolección y sobre todo de transporte. Todos los impactos ambientales se reducen si la tasa de reciclaje aumenta. Por tanto, es más efectivo ambientalmente, reciclar una proporción tan grande de baterías como sea posible.

No hay pruebas suficientes para sugerir que hay impactos ambientales significativos asociados con los materiales contenidos de las baterías que actualmente se mezclan con la basura en el Reino Unido. Esto es debido al alto grado de reciclado de baterías industriales y automotrices actualmente logradas. Sin embargo, debería aminorar la producción y uso de plomo y cadmio en la elaboración de baterías pues, las cantidades reportadas de estos materiales podrían requerir que esta conclusión sea revisada.

Con respecto a la logística, cobrar al consumidor por el uso de baterías sería problemático. Se puede lograr mejores resultados fomentando la conciencia y participación del público en la separación de baterías de la basura doméstica pero se requerirá de comunicación coherente y de publicidad continua; la participación tiene probabilidad de éxito con el paso del tiempo.

Las tasas de recolección y de reciclaje para baterías industriales y automotrices están siendo logradas ahora. Sin embargo, estos dependen del precio pagado a los recolectores.

Los costos financieros de reciclado de baterías están fuertemente influenciados por los altos precios de los equipos, tales como hornos.

Las estimaciones precisas de la cantidad propensa a ser recolectada y reciclada en el Reino Unido y los métodos de recolección, en los años anteriores y posteriores al 2006 y los costos son las principales implicaciones para que la WEEE proponga la implementación de la Directiva sobre pilas, baterías y acumuladores.

Evaluación de Ciclo de Vida del Manejo de Pilas Usadas, Environmental Resources Management, 2006.

En este estudio se evaluaron los posibles alternativas de mejora de los impactos ambientales para el manejo de pilas primarias y secundarias en el Reino Unido, incluyendo los costos y beneficios, bajo nueve escenarios, combinando 3 alternativas de recolección (por los servicios municipales, en sitios públicos y en sitios privados) y 3 alternativas de final-de vida (reciclado hidrometalúrgico en el Reino Unido, reciclado hidrometalúrgico en iguales proporciones en el Reino Unido y en Europa y reciclado pirometalúrgico en Europa), comparando con respecto a la línea base de depositar las pilas como residuos sólidos urbanos, en un horizonte de 25 años, con una tasa de recolección máxima del 45%. Se contabilizaron los consumos de materias primas, de energéticos y de sustancias químicas así como las emisiones en cada caso. Los flujos totales se utilizaron por medio de software con bases de datos para Europa para evaluar los impactos

ambientales de cada escenario, en siete categorías: agotamiento de recursos abióticos, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, acuática y terrestre, acidificación y eutrofización.

El estudio concluye que incrementar el reciclado de las pilas es benéfico para el ambiente debido a la recuperación de metales y la reducción a partir de materias primas vírgenes. Sin embargo, lo anterior es obtenido a un costo significativo cuando se compara con el desecho en los rellenos sanitarios. La disminución de la generación de CO₂ varía entre 198 y 248 Ton CO₂ por tonelada de pilas, al compararla con el manejo actual.

Reporte del Estudio de los Efectos al Enterrar Pilas Alcalinas en el Suelo, Laboratorio de Ciencias del Agua e Ingeniería Sanitaria, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Fukuoka.

El estudio fue realizado por la universidad de Fukuoka en Japón. Comenzó en 1985 y duro diez años. Se enterraron pilas alcalinas secas en 4 tanques anaeróbicos a baja escala y en 4 tanques anaeróbicos a gran escala (mezclada con la demás basura doméstica). Los aspectos a investigar fueron los siguientes:

- a) Cuantificar el rango de filtrado de mercurio y otros metales pesados.
- b) Cuantificar el rango de vaporización de mercurio.
- c) Corrosión de las pilas alcalinas secas usadas enterradas a pequeña y a gran escala.

En septiembre de 1995, después de diez años se desmantelaron los tanques anaeróbicos, obteniéndose los siguientes resultados:

- A) Las pilas alcalinas secas utilizadas en el experimento no sufrieron de corrosión importante, es decir que la corrosión que se encontró en las pilas no es significativa como para representar un riesgo de verter sus contenidos al suelo (muy por debajo de la estimación original).
- B) La cantidad de mercurio que escapó al suelo y al aire en diez años fue muy pequeña. En los entierros a gran escala el mercurio sufrió algo parecido a una absorción, es decir los demás desechos lo absorbieron. La cantidad de mercurio que se encontró en el tanque cambió muy poco en estos diez años.

Como complemento a este estudio se realiza uno otro actualmente, en el cual se enterraran pilas sin cubrir completamente para observar el revestimiento de la superficie de la pila enterrada y de la superficie que queda expuesta o sobresaliendo, cabe mencionar que los tanques de experimentación son cubiertos con una película de polietileno de alta densidad para prevenir la penetración de agua de lluvia en los tanques de entierro. Este nuevo estudio también pretende comprobar la posible corrosión de las baterías secas usadas y los derrames o fugas de mercurio de estas en un periodo de tiempo mayor a los diez años del estudio actual.

La Decreciente Presencia de Mercurio en Baterías y en Residuos Sólidos Municipales, (NEMA) National Electrical Manufacturers Association, (1996)

El mercurio fue usado en baterías con electrodo de cinc como aditivo, para suprimir la formación interna de gases. La otra forma de uso del mercurio, fue el empleo de un compuesto de oxido de mercurio como uno de los electrodos de la batería, a este tipo de baterías se les llamo de oxido de mercurio o simplemente de mercurio. A finales de los 80's las legislaturas exigieron la reducción del contenido de mercurio en las baterías, con el fin de reducir la presencia de este en los residuos sólidos municipales. Las baterías alcalinas de manganeso que se fabricaban en Estados Unidos a mediados de los 80's por ejemplo, contenían entre un 0.8 y un 1.2% de su peso en mercurio, entre 8000 y 12000 partes por millón.

Cuando las baterías alcalinas y de cinc-carbón se identificaron como una fuente aportadora de mercurio en los residuos sólidos municipales, se propuso recolectarlas y reciclarlas, con el propósito de minimizar la contaminación por mercurio. Una mejor solución para eliminar esta fuente de mercurio fue la de desarrollar nuevas tecnologías en la fabricación de baterías para suprimir la formación de gases en unas y la reducción de energía en otras. Las leyes prohibieron la venta de baterías alcalinas con más del 0.025% (250 ppm) de su peso en mercurio. Ya en 1996 ni este tipo de baterías ni las de cinc-carbón contenían mercurio entre sus componentes. Las baterías que usaban oxido de mercurio como electrodo fueron substituidas en la mayoría de los casos por baterías cinc-aire.

Dado que las baterías alcalinas y cinc-carbón fueron marcadas por su contenido de mercurio, se desarrollo una nueva tecnología "sin mercurio agregado", es decir el mercurio fue eliminado de los componentes y procesos de fabricación de baterías. Actualmente, según las leyes federales este tipo de baterías libres de mercurio no son residuos peligrosos ni de manejo especial y pueden ser dispuestas de forma normal junto con los residuos sólidos municipales.

Evaluando los Efectos Ambientales de las Alternativas de Disposición Final para Pilas y Baterías Secas Domésticas. Instituto para la Prevención de Riesgos, Universidad de Waterloo, Febrero de 1992

Las baterías de interés en este estudio incluyen las pilas secas clasificadas por tamaño o formato como AAA, AA, C, D y de 9 volts, del tipo alcalinas, de cinc-carbón, cinc-cloruro y de la familia de baterías níquel-cadmio. Las baterías alcalinas representan la porción más grande del mercado de baterías domesticas. Los metales de riesgo potencial que se estudiaron, son el cadmio, manganeso, mercurio, níquel y cinc.

En este estudio se concluyó lo siguiente:

Las pilas y baterías secas que se estudiaron en general no representan una fuente concentrada de metales pesados en los residuos sólidos urbanos. No existe evidencia clara que sugiera que la disposición de pilas y baterías secas junto a los residuos sólidos urbanos, tanto en incineradores como en rellenos sanitarios represente problemas para la salud o el ambiente. Los riesgos por la disposición de pilas y baterías en rellenos sanitarios e incineradores no son significativos. De esta manera la mayoría de las baterías domésticas pueden ser dispuestas de manera segura en rellenos sanitarios o incineradores, pero las baterías de níquel-cadmio es mejor que se depositen en rellenos sanitarios.

Con la actual reducción de mercurio en las baterías primarias, el reciclado de baterías no recargables es probable que represente más riesgos que beneficios. Estos riesgos asociados con la recolección, la separación, almacenaje y disposición final de las baterías domésticas pueden llegar a ser significativos, sin embargo el reciclado de baterías secundarias de níquel-cadmio si es mucho más viable de adoptar.

En la Tabla 1 se presentan los métodos recomendados para el manejo de los desechos de las pilas y baterías secas.

Tabla 1. Opciones de manejo para las pilas secas en Canadá (1992)

Tipo de Batería	Opción Preferida de Manejo	Opción Alternativa de Manejo	Comentarios
Alcalina (de manganeso)	Relleno Sanitario	Incineración	En ninguna de las dos opciones, en cualquier concentración representa riesgos significativos
Cinc-Carbón Cinc-Cloruro	Relleno Sanitario	Incineración	En ninguna de las dos opciones, en cualquier concentración representa riesgos significativos
Níquel-Cadmio	Reciclado	Relleno Sanitario	La recolección separada y el reciclado son preferibles por el riesgo potencial del cadmio.

Las siguientes recomendaciones deben seguirse en las prácticas de disposición final de pilas y baterías domésticas:

- Es necesario informar al público sobre los diferentes componentes de las baterías y su adecuada disposición final.
- Todos los incineradores municipales deben ser equipados con filtros para gases y equipos que permitan recuperar partículas de metales pesados, tales como el mercurio que se emitan durante la combustión.
- Las normas para la industria deberán incluir:
 - Información o educación al público en general.
 - Implementar procesos de reciclado apropiados para baterías que así lo requieran, como es el caso de las de níquel-cadmio.
 - Establecer políticas en términos de manejo de pilas y baterías al final de su vida útil.
- Continuar la investigación y el desarrollo. (Por ejemplo para la substitución de baterías.)

- Establecer estrategias de comunicación con las dependencias gubernamentales y municipales.

2. ANÁLISIS QUÍMICO Y FÍSICO DE LA PILAS

Muestras representativas de cada una de las marcas, en los distintos tipos de primarias y secundarias y de cada uno de los tamaños disponibles en el mercado fueron provistas por la Amexpilas, en un total de 67 distintas. La lista de muestras y sus respectivos lotes se presentan en el Anexo A. Los análisis químicos fueron desarrollados por el laboratorio de análisis metalúrgicos de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del Instituto Politécnico Nacional, que es un laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación en 2007 con registro válido hasta 2011, Anexo B. Los análisis físicos (de compresión) fueron desarrollados en el laboratorio de pruebas físicas de la misma ESIQIE.

2.1 Muestreo.

A partir de cada una de las 67 muestras provistas por Amexpilas, se tomaron de diferentes paquetes las muestras al azar para el análisis químico y para las pruebas físicas. Las muestras se agruparon en lotes por tamaño y por tipo de acuerdo al listado de la Tabla 1 siguiente. Las muestras se priorizaron para su análisis de acuerdo principalmente a su importancia del peso consumido de ellas. Una muestra de 6 pilas de cada tipo, marca y tamaño se enviaron al laboratorio de análisis químicos metalúrgicos. No se analizaron todas las marcas de todos los tipos.

Tabla 2. Muestra proporcionada de pilas de distintas marcas, prioridad para análisis por tipo.

Tipo	Prioridad	Marca
AA	1	Varta Alcalina
		Rayovac Alcalina
		Duracell Alcalina
		Sony Alcalina
		Sony Oxy Nickel
		Energizer NIHM (Recargable)
		Rayovac Cinc-Carbón
		Sony Alcalina
		Energizer Alcalina
		Energizer Litio
		Rocket (INFORMAL)
		Tectron (INFORMAL)
		Megatec (INFORMAL)
D	2	Varta Alcalina
		Rayovac Alcalina
		Duracell Alcalina
		Sony Alcalina
		Sony Cinc-Carbón (Gris)
		Aguila Negra Cinc-Carbón
		Rayovac Manganeseo
		Varta Cinc-Carbón
		Sony Cinc-Carbón (Roja)
		Energizer Alcalina

		Eveready Cinc-Carbón
C	3	Varta Alcalina
		Rayovac Alcalina
		Duracell Alcalina
		Sony Alcalina
		Energizer Alcalina
		Sony Cinc-Carbón (Gris)
		Rayovac Cinc-Carbón
		Varta Cinc-Carbón
		Eveready Cinc-Carbón
AAA	4	Varta Alcalina
		Rayovac Alcalina
		Duracell Alcalina
		Sony Alcalina
		Sony Cinc-Carbón
		Energizer NiHM (Recargable)
		Rayovac Cinc-Carbón
		Varta Cinc-Carbón
		Energizer Alcalina
		Energizer Litio
		Energizer (Titanium) Alcalina
		Eveready Alcalina
Boton y Especiales	5	Eveready Cinc-Carbón
		Sony Alcalina Lr44
		Sony Zinc Aire Pr312
		Sony Litio Cr2032
		Sony Litio 2cr5 Photo
		Energizer Litio 2032 Botón
		Energizer Alcalina A76 Botón
		Energizer Litio Cr2-1 Photo
		Energizer Alcalina A23 Miniatura
		Energizer Amplificador Cinc-Aire Ac13-6ap
		Duracell Litio Photo Dl123bp1
		Duracell Alcalina Miniatura Mn21bp1
9 V	6	Sony Alcalina
		Duracell Alcalina
		Energizer Alcalina
		Rayovac Alcalina
		Varta Alcalina
		Eveready Cinc-Carbón
Linterna	7	Rayovac Linterna 6v Cinc-Carbón
		Varta Linterna 6v Cinc-Carbón
		Eveready Linterna 6v Cinc-Carbón
		Duracell Linterna 6v Alcalina

2.2 Metodología de Análisis Químico

Las muestras individuales de las pilas fueron preparadas para su disolución utilizando herramientas manuales y los contenidos depositados en bolsas de plástico selladas. Las muestras fueron disueltas y analizadas con base a la metodología del documento provisto por Amexpilas, "Battery Industry Standard Analytical Method for the Determination of Mercury, Cadmium and Lead in Alkaline Manganese Cells Using AAS, ICP-AES and Cold

Vapour". En este caso, las soluciones resultantes de la disolución fueron analizadas por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Al inicio de los análisis se presentaron problemas en el contenido determinado de los metales, debido al método de disolución, lo cual fue afinado en su metodología. El protocolo detallado que se siguió, así como los resultados de los análisis de todas las muestras de pilas, se presenta en el reporte final del laboratorio, Anexo C.

2.3 Resultados del Análisis Químico.

Cuarenta y nueve muestras fueron analizadas químicamente por mercurio, dado el interés específico por conocer los contenidos de este metal. Asimismo, cada muestra por duplicado, fue analizada por 4 metales de entre los siguientes: Plomo, Cinc, Cadmio, Níquel, Litio según el tipo de pila y el interés de conocer el contenido de metales clasificados como tóxicos o por su potencial de reciclado, como en el caso del cinc. Los resultados se presentan en la Tabla 3 siguiente.

Tabla 3. Resultados del Análisis Químico de Pilas.

Pila	mg/kg [ppm]							Peso/g	
	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg		
AA									
Alcalinas									
Varta Alcalina		264,155			100	0.19	N.D.	22.749	
Eveready Alcalina		596,984			20	0.77	N.D.	18.133	
Rayovac Alcalina		524,246			87	N.D.	N.D.	23.398	
Sony Alcalina		390,822			8.00	N.D.	N.D.	22.98	
Duracell Alcalina					5.88	1.53	N.D.	24.299	
Cinc Carbono									
Rayovac Zn-C		75,601			30	N.D.	N.D.	16.432	
Eveready	155,430	68,881			572.48	N.D.	N.D.	18.08	
Sony Plus	154,550	44,258			19.76	N.D.	N.D.	22.75	
Sony	163,350	43,033			21.36	N.D.	N.D.	22.98	
Energizer	97,040	25,091			20.89	N.D.	N.D.	23.69	
Litio									
Energizer Litio			17,290		0.54	N.D.	1.90	14.46	
Informales									
Megatec (Informal)		260,129			8.58	4.10	367.51	13.28	
Rocket (Informal)		301,038			N.D.	2.75	260.61	14.45	
Tectron (Informal)		227,155			N.D.	5.45	337.11	12.39	
D									
Alcalinas									
Rayovac Mn	590,929	185,228			1.72	3.76	2.95	86.52	
Varta Alcalina	183,540	145,707			0.03	0.0070	0.74	140.35	
Sony Alcalina : Azul		141,301			0.06	0.0048	N.D.	127.76	
Duracell	5,830	180,000			2.33	N.D.	N.D.	140.19	
Energizer Alcalina					0.02	0.0026	0.28	148.12	
Cinc Carbono									
Rayovac D		17,609			0.08	0.01	1.40	141.62	

Sony Zn-C; Rojo		144,677			0.31	1.17	4.36	75.61
Sony Zn-C; Gris	162,030	164,652			1.32	2.17	N.D.	87.39
Eveready Zn-C	354,133	170,961			1.46	1.78	2.43	97.29
Varta Long Life		16,994			0.50	0.05	1.50	84.81
Águila Negra					0.42	0.06	1.18	85.46
C								
Alcalinas								
Varta Alcalina	141,240	208,884			6.71	N.D.	N.D.	42.30
Eveready	118,480	213,957			4.24	N.D.	N.D.	49.42
Rayovac Alcalina	106,350	216,440			6.10	N.D.	N.D.	43.10
Sony New Ultra (Alcalina)	86,990	196,380			5.45	N.D.	N.D.	46.60
Cinc Carbono								
Rayovac	165,400	125,940			27.82	N.D.	N.D.	70.62
Sony Plus Cinc-Carbón	36,927	147,873			4.22	N.D.	N.D.	64.88
Varta	46,629	25,798			25.26	N.D.	N.D.	70.13
Rayovac Cinc Carbón	6,550	24,093			21.58	N.D.	N.D.	70.55
Energizer Alcalina	40,593	82,895			5.40	N.D.	N.D.	68.29
AAA								
Alcalina								
Duracell	323.62	59,547			33.90	N.D.	N.D.	11.05
Sony Plus	277.54	34,046			31.71	N.D.	N.D.	11.50
Eveready Gold	357.30	47,163			36.51	N.D.	N.D.	11.70
Cinc carbono								
Energizer	470.00	11,600			0.04	N.D.	N.D.	11.88
Varta					42.41	N.D.	N.D.	11.35
Especiales								
Energizer Foto CR2 Litio			20,775		0.48	N.D.	4.01	10.719
Duracell MN71PPL (8 pilas de botón)					1.14	N.D.	38.36	6.19
Duracell DL123BPL Litio			14,970		0.37	0.0125	4.69	17.28
Energizer A23 (8 pilas de botón)					1.29	N.D.	51.79	6.08
Especiales (Botón)								
Sony LR44 Alcalina					1.21	1.91	54.35	1.91
Energizer amplifier AC13					3.16	0.17	89.22	0.80
Sony PR312 Alcalina					3.80	0.26	77.28	0.51
Energizer A76 Alcalina					1.21	0.08	36.62	1.88
Sony CR2030 Li			17,725		0.68	0.050	N.D.	3.19
Linterna								
Duracell					2.54	N.D.	N.D.	140.23

Nota: Los contenidos de Manganese y de Cinc son indicativos, ya que por la alta concentración dentro de las pilas y por lo tanto las numerosas diluciones de las soluciones, el análisis no es tan preciso. Sin embargo, los metales no fueron analizados por su posible toxicidad sino como referencia para su recuperación al reciclar.

3. ANÁLISIS (ACOTADO) DE CICLO DE VIDA DE PILAS

Dado que como fue definido en los objetivos y alcances del estudio, el Análisis de Ciclo de Vida completo de las pilas iría más allá de los recursos de este proyecto, se desarrolla aquí una aproximación siguiendo la metodología y secuencia de la Norma ISO 14040 pero en una forma “limitada”, solamente de la etapa de Final-de-Vida. Esto es, se cubren los puntos marcados en la Norma pero no se realizaron corridas con software. Adicionalmente, no se cuenta con bases de datos para las condiciones de México ni es posible tener acceso al software respectivo.

3.1 Objetivo del Análisis del Ciclo de Vida

La norma internacional 14041 requiere que el objetivo de un Análisis de Ciclo de Vida establezca claramente la aplicación del estudio, las razones para su desarrollo y la audiencia a la que estará dirigida. Este estudio fue contratado por la Asociación Mexicana de Pilas A.C. con el propósito de conocer el costo financiero de los escenarios de recolección y reciclado y estimar el “retorno ambiental” por dicho costo. Por tanto, el objetivo de este estudio tiene los dos componentes siguientes:

1. *Determinar los impactos ambientales asociados con escenarios alternativos de recolección y final-de-vida de las pilas en México, comparándolos con los impactos que se tendrían si las pilas se desecharan en los Residuos Sólidos Urbanos.*
2. *Estimar los costos financieros de la instrumentación de diferentes rutas de recolección y final-de-vida (reciclado y confinamiento).*

Los resultados serán utilizados para informar a tomadores de decisiones en políticas ambientales sobre el consumo de recursos y las emisiones al ambiente que resultan de los procesos de recolección y reciclado así como la escala de beneficios asociados al reciclado de los materiales y los costos económicos asociados a ellos.

El estudio supone que a lo largo de 10 años, límite temporal de este estudio, no se llevarán a cabo cambios tecnológicos significativos en la producción, uso ni reciclado de pilas.

3.2 Función y Unidad Funcional

La función de los sistemas evaluados es el manejo de las pilas desechadas entre 2007 y 2016 en todo el país. Se consideran las pilas primarias y secundarias, definidas las primeras como las pilas desechables para uso en dispositivos electrónicos, fotográficos, juegos, lámparas, etc. y las segundas como las pilas para algunos de los mismos usos pero recargables. No se consideran las pilas recargables de los equipos de cómputo, lap-tops ni las de teléfonos celulares.

En la Tabla 4, se presentan los consumos de pilas agrupados por tipo y tamaño en 2007. Las cantidades fueron obtenidas incrementando en 0.5% las cantidades consumidas en 2006, con base a la información proporcionada por Amexpilas para dicho año y considerando que todos los tipos y tamaños de pilas se incrementaron en su consumo a la misma tasa. De la misma fuente, el consumo global se distribuye en 55.12% de pilas carbón-cinc y 44.78 de alcalinas. Adicionalmente a la cantidad presentada abajo, se consumirán aproximadamente un 5% más (900 Ton) en el periodo, de las cuales solo un 1% son de Níquel-cadmio, y son utilizadas principalmente por el gobierno para usos de radiocomunicación.

Tabla 4. Consumo de Pilas Primarias en México en 2007, por tipo y por tamaño

Tamaño de pila	Peso promedio pila cinc - Carbón (g)	Peso promedio pila Alcalina (g)	Peso promedio pilas Botón y Esp. (g)	Peso promedio pila individual (gr)	Peso total anual por tamaño de pila (Ton)	Porcentaje por tamaño de pila vs. el peso total (%)
AA	15.00	25.00		19.46	7,750.55	42.46%
AAA	9.68	11.50		10.49	1,156.26	6.33%
D	89.00	148.00		115.33	7,207.02	39.48%
C	45.00	66.20		54.45	1,834.65	10.05%
6 V y 9V	37.00	45.60		40.81	300.05	1.64%
Botón*			1.40	1.40	0.68	0.002%
Especiales**			10.00	10.00	1.23	0.01%
Otras***			20.00	20.00	3.68	0.02%
Total					18,254	100.00

Fuente: AMEXPILAS

Notas:

* Las pilas de botón incluyen las Alcalinas miniatura, Litio Dióxido de Manganeso, Zinc-aire, Zinc óxido de plata y óxido de mercurio

** Las pilas especiales son las de Litio-Dióxido de Manganeso y Litio Disulfato de Fierro.

*** En la clasificación "Otras" pilas puede incluir pilas Alcalinas y de Carbón-zinc con mercurio obsoleta (Tecnología obsoleta).

Los consumos proyectados pueden solamente ser estimados a partir del crecimiento económico y bajo las suposiciones siguientes:

- Crecimiento anual en consumo de pilas seguirá la proyección del crecimiento del PIB
- No habrá cambios substanciales en la tecnología ni en los pesos de las pilas en los 10 años siguientes

- Las proporciones de consumo de los diferentes tipos y tamaños permanecerán constante. Si acaso las baterías alcalinas de los distintos tamaños habrán de ganar una parte del mercado sobre las Cinc-Carbono

En la Tabla 5, se presenta el crecimiento anual del consumo de pilas y por tanto de su desecho para tener un acumulado total de 250,654.16 Ton en el periodo 2007-2016. Se supone una tasa de recolección posible, considerando experiencias de otros países, de 20% de recolección en 5 años y a partir de entonces incrementar linealmente hasta lograr 40% de recolección en 10 años.

Tabla 5. Consumo de pilas proyectado en el periodo 2007-2016 y fracción recolectada

Año	PIB Nacional expresado en miles de millones de unidades monetarias nacionales	Ton Pilas Desechadas	Ton Pilas Recolectadas
2007	9,762.86	18,254	730
2008	10,405.51	19,455	1,556
2009	10,950.23	20,474	2,456
2010	11,800.50	22,064	3,530
2011	12,735.40	23,812	4,762
2012	13,668.33	25,556	6,133
2013	14,580.05	27,261	7,633
2014	15,600.65*	29,169	9,334
2015	16,692.70*	31,211	11,236
2016	17,861.18*	33,396	13,598
TOTAL	250,654.16	60,968	

* Para la proyección de los años 2014, 2015 y 2016 se tomó como base la variación del 1.07 % anual con respecto a la tendencia de crecimiento reflejada del 2011 a 2013. Fuente: International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, April 2008

3.3 Sistema a Estudiar

El sistema que se estudió es el que comprende las operaciones de recolección y de final-de-vida en distintos escenarios, con un paso intermedio de separación/clasificación. Se evaluaron dos escenarios de recolección y se combinaron con 5 escenarios de Final-de-Vida, produciendo un total de 10 escenarios de implementación. Estos se compararon con un decimoprimer escenario en el cual las pilas se manejaron como parte de los residuos sólidos urbanos, lo cual se esquematiza en la Figura 1:

Escenarios:

- De recolección:
 - Recolección selectiva por servicios de limpia municipales
 - Centros de acopio públicos y privados

- De Final-de-Vida
 - Reciclado hidrometalúrgico en planta ex profeso
 - Reciclado pirometalúrgico en planta ex profeso
 - Reciclado en planta de procesamiento de metales
 - Confinamiento especial ("Sarcófago de Cemento")
 - Confinamiento en minas

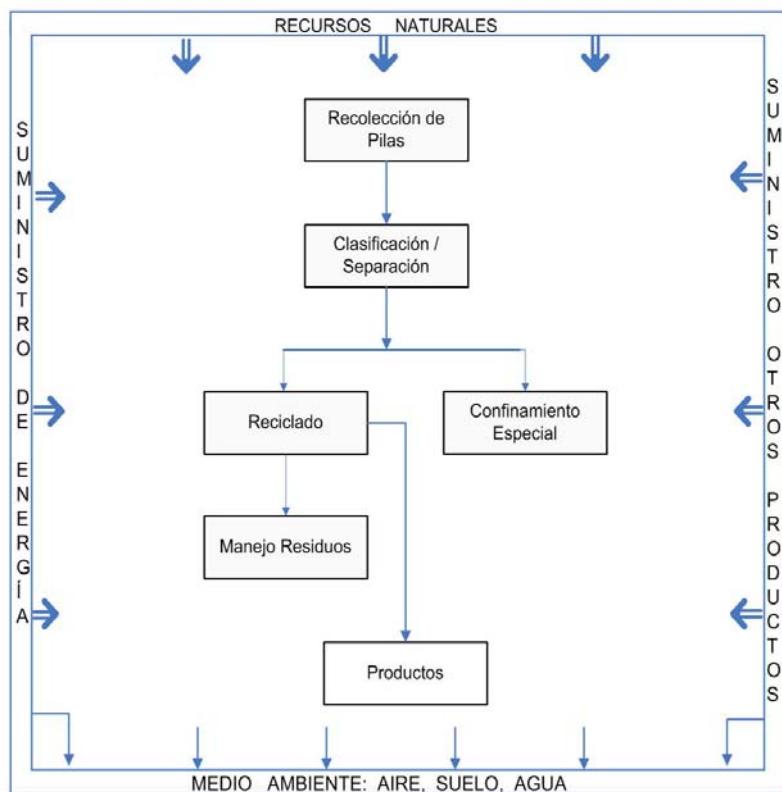


Figura 1. Fronteras del Sistema y etapas del Ciclo de Vida considerados en el Estudio

Lo anterior se comparará con respecto al caso tomado como línea base, de depósito de las pilas usadas en Relleno Sanitario en conjunto con los Residuos Sólidos Urbanos.

3.3.1 Escenarios de Recolección

En países europeos las pilas se recolectan de 4 formas alternativas:

- depositando en lugares de servicios comunitarios, centros de reciclado doméstico y sitios para depósito
- depósito en receptáculos en tiendas minoristas, escuelas o edificios públicos, negocios y en desmanteladores de electrónicos
- recolección por los servicios públicos de limpia
- Retorno por vía sistema postal

En este estudio, los escenarios de recolección examinados son dos, a través de centros públicos y privados de acopio y por recolección selectiva por servicios de limpia municipales. Se supone también que todas las baterías de los distintos tipos, tamaños y marcas se colectarán por los mismos medios. Entonces, los dos escenarios evaluados son:

- Escenario de Recolección 1, en el cual se favorece la recolección selectiva por los servicios de limpia municipales;
- Escenario de Recolección 2, en el cual se favorece la recolección por medio de centros públicos y privados de acopio.

Escenario de Recolección 1.

La recolección consiste en recoger de las casa habitación por el servicio municipal de limpia las pilas usadas en una bolsa diferenciada. Esta se depositará en un recipiente separado ex profeso en el vehículo de recolección y seguirá la misma ruta que los RSU. Se considera que una ruta de recolección recogerá los RSU de 300 a 500 casas.

En el lugar de depósito, relleno sanitario, las pilas se almacenan en recipientes de polietileno de 500 kg hasta que se justifique la recolección por un transporte especializado para llevar al sitio de final-de-vida. Al considerar la generación de pilas *per capita* y el número de pobladores y municipios del país, en muchos municipios, los 500 kg se reunirían en un periodo de 2 años en 2008 a 2 meses en 2016, considerando los promedios anteriores. Necesariamente en zonas urbanas la tasa de recolección sería mayor y por lo tanto el periodo de acumulación de los 500 kg se reduciría.

Un transporte especializado, de 25 Ton de capacidad, trasladaría los recipientes hasta la planta de separación/clasificación, cuyas características y localización se describe más adelante; las distancias son variables.

Escenario de Recolección 2.

La recolección en este caso consiste en recoger las pilas usadas desde recipientes específicos de polietileno localizados en una combinación de sitios públicos (escuelas públicas, oficinas de gobierno, puntos de recolección gubernamentales y otros) y de sitios privados (tiendas de autoservicio, escuelas privadas, asociaciones privadas). La recolección se efectúa por camionetas ligeras que puedan cargar una tonelada aproximadamente. Las pilas de los recipientes de polietileno se vacían en recipientes de polietileno más grandes, de 500 kg, en el vehículo de donde se llevan a sitios de acopio temporal.

De manera igual a la anterior, un transporte especializado, de 25 Ton de capacidad, trasladaría los recipientes hasta la planta de separación/clasificación, cuyas características y localización se describe más adelante; las distancias son variables.

Centros de Acopio

Los escenarios a considerar y que pueden ser adecuados según el diseño son los siguientes:

- Existen 2455 municipios en el país, los cuales podrían potencialmente introducir un programa de recolección municipal selectiva, además que al menos cuentan con una escuela primaria y/o secundaria. De estos, solamente 273 municipios y delegaciones cuentan con un lugar adecuado para depositar RSU.
- En 378 de los municipios, que son urbanos, se concentra 70% de la población y se produce 81% de los RSU, los cuales podrían establecer sitios de recolección ex profeso.
- En el Distrito federal, con una población de 9 millones de habitantes se establecieron 280 sitios de recolección, en los cuales se colectaron 26 Ton de pilas en un año. En forma proporcional, los 378 municipios con 71 millones de habitantes podrían establecer 2,200 sitios.
- La Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales integra a 14,034 establecimientos.

Plantas de Separación/Clasificación

En estas plantas se descargan los contenedores grandes de baterías. Una de estas estará localizadas en cada Entidad Federativa y recibirán las pilas generadas en la entidad. La separación aún en la mayoría de los países se efectúa manualmente. El consumo de energía de una banda es de 2.4 kWh/Ton. Despues de su

clasificación, las baterías se almacenan en super-bolsas de una tonelada para su posterior envío a los lugares de final-de-vida cuya localización se expone más adelante.

3.3.2 Escenarios de Final-de-Vida

Se desarrollaron cinco escenarios de final-de-vida, como se mencionó arriba, tres de ellos de reciclado y dos de confinamiento. Tomando en consideración que en México no existen plantas de reciclado de pilas ex profeso, se utilizaron y adaptaron los datos de plantas de la Unión Europea, para ambos tipos, hidrometalúrgicas y pirometalúrgicas. La tercera opción de reciclado por evaluar es introducir las pilas desechadas en plantas que procesan otros residuos para obtener metales como plomo y cinc. Los escenarios de confinamiento considerados fueron en dos distintos: un confinamiento "especial" sugerido por la SEMARNAT y el otro fue su depósito en minas que ya no operen.

Localización de lugares de Final-de-Vida

La localización de las plantas de reciclado hidrometalúrgico o pirometalúrgico se definió que sea el bajío mexicano, específicamente en León, Guanajuato, por ser un centro geográfico que balancea las distancias y las cantidades potenciales de generación de pilas usadas del país. Por su parte, la localización de la planta de reciclado que podría aprovecharse para el reciclado de algunos de los metales está localizada en Monterrey.

Los lugares para el confinamiento "especial" se establecerán en las capitales de las 31 entidades federativas, ya que al definirse las pilas usadas como residuos de manejo especial, son de competencia de los estados su vigilancia del manejo.

La otra alternativa de confinamiento es en minas abandonadas. Se sabe que la mayoría de ellas están localizadas preferentemente al norte del país, por lo que para estimar las distancias a ellas requerirá.

3.3.3 Tecnologías Actuales de Reciclado

Primeramente, existen dos categorías principales de métodos de reciclaje que puede alcanzar más del 50% del volumen de recuperación de los materiales: procesos hidrometalúrgicos, donde los metales se recuperan por métodos químicos acuosos y los procesos pirometalúrgicos, donde se usan hornos a alta temperatura para recuperar los metales. Los principales métodos de reciclaje que se usan actualmente en Europa y otros países se muestran en la Tabla 6. En México no se cuenta con empresas que reciclen pilas.

En este caso al no contarse con empresas en México, se pueden utilizar como referencia solamente, para la evaluación del reciclado.

Tabla 6. Métodos Actuales de Reciclado de Pilas.

Tipo de Pila	Método Actual de Reciclado en Otros Países
Oxido de Plata (AgO)	Destilación de mercurio y recuperación de plata Inglaterra
Aire Zinc (ZnO)	Pirometalúrgico e Hidrometalúrgico UE
Litio Manganese (LiMn)	Criogénico en EUA. Procesos Pirometalúrgicos e Hidrometalúrgicos, desarrollados recientemente en Europa.
Litio (Li)	Criogénico en EUA. Procesos Pirometalúrgicos e Hidrometalúrgicos, desarrollados recientemente en Europa.
Zinc Carbón (ZnC)	Pirometalúrgico e Hidrometalúrgico en UE
Alcalina Manganese (AlMn)	Pirometalúrgico e Hidrometalúrgico UE
Ión de Litio (Li-Ion)	Criogénico en EUA. Procesos Pirometalúrgicos e Hidrometalúrgicos, desarrollados recientemente en Europa.
Níquel Cadmio (NiCd)	Pirometalúrgico e Hidrometalúrgico UE
Níquel Hidruro Metal (NiMH)	Pirometalúrgico e Hidrometalúrgico UE

La descripción de los procesos se toma del reporte de Environmental Resources Management (ERM) para el Departamento de Medio Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales del Reino Unido (DEFRA). En la Tabla 7 se presentan los procesos específicos para distintos tipos de pilas y se describen subsecuentemente.

Tabla 7. Procesos Industriales de Reciclado de Pilas.

Compañía / Procesador	Localización	Tipo de Proceso	Tipos de Pilas Tratadas
Recupyl	UE	Hidrometalúrgico	AlMn, Zn-C, ZnO, Li, LiMn, Li-ion
G&P	Inglaterra	Hidrometalúrgico (Solo etapa mecánica)	AlMn, Zn-C, ZnO,
Citron	UE	Pirometalúrgico	AlMn, Zn-C, ZnO,
Batre	UE	Pirometalúrgico	AlMn, Zn-C, ZnO, Li, LiMn, Li-ion
Valdi	UE	Pirometalúrgico	AlMn, Zn-C, ZnO,
Indaver Relight	UE	Destilación de mercurio	AgO
SNAM	UE	Pirometalúrgico y Destilación de mercurio	NiCd, NiMH
Campine	UE	Pirometalúrgico	PbA

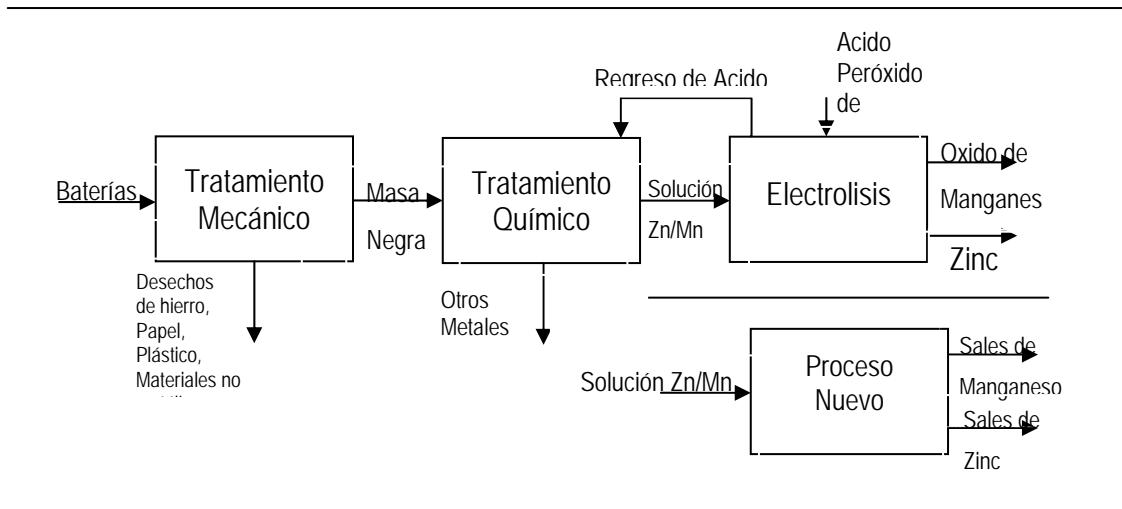
Procesos Hidrometalúrgicos (Pilas de AlMn, ZnC, ZnO, Li-ion)

El procesamiento hidrometalúrgico en las pilas desechadas implica una etapa mecánica y una etapa química. En la etapa mecánica, las pilas se desmenuzan para separar los metales, papel, plástico y la "masa negra". La masa negra se procesa químicamente para producir una solución, a la cual se le aplica electrólisis, o algún otro tratamiento, para separar y obtener los metales disueltos.

- Recupyl (Pilas de AIMn, de Zn-C y de ZnO) -

Recupyl es una compañía de desarrollo de procesos localizada en Grenoble, Francia. Recupyl ha desarrollado diversos tipos de patentes para reciclar desechos especiales. Han patentado su proceso para reciclar pilas alcalinas y salina (AIMn, ZnC, ZnO), llamado proceso Recupyl™. El proceso utiliza la hidrometalurgia para procesar lotes de pilas mezcladas y la planta de reciclaje industrial de Recupyl está autorizada para manejar todo tipo de pilas usada. El proceso se muestra esquemáticamente en la figura 2

Figura 2. Proceso de Reciclado Recupyl



Inicialmente, se clasifican y desmenuzadas por tamaño las pilas. El tratamiento mecánico del paso que sigue tamiza y separa magnéticamente el acero, papel y plásticos de las pilas desmenuzadas, dejando una "masa negra". La masa negra se trata posteriormente con ácido, dando por resultado una solución de Zn/Mn y la separación de mercurio y de otros metales (no ferrosos). Dos pasos alternativos se pueden utilizar para purificar la solución de Zn-Mn. Utilizando el paso tradicional de electrólisis, el cinc se separa del manganeso usando ácido y electricidad. Otro, proceso de desarrollo reciente de purificación, permite la separación del cinc y de sales de manganeso.

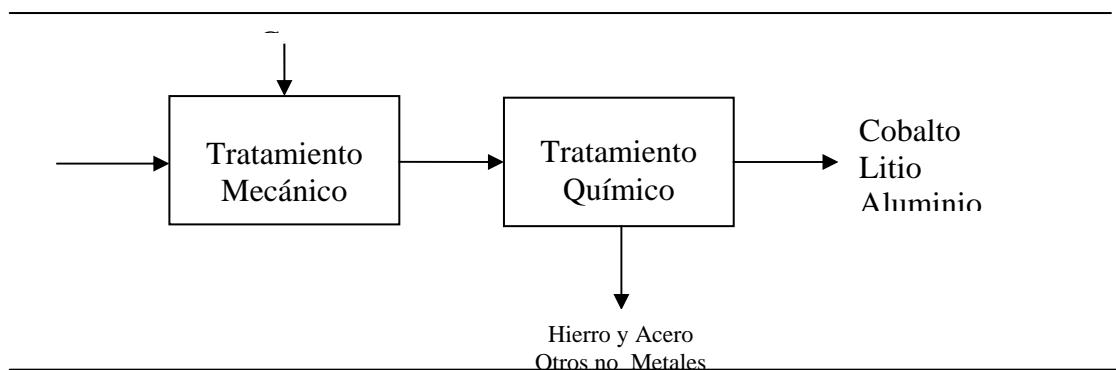
La flexibilidad del proceso Recupyl permite la obtención de varios productos finales, cuya producción relativa se determina por demanda local. Los tres diferentes productos finales son:

- Solución de manganeso y cinc, vía tratamiento químico;
- Cinc y óxido de manganeso vía electrólisis; y
- Cinc y sales de manganeso vía el paso del proceso nuevo.

- Recupyl (Pilas de Li-ion) -

Una variante del proceso de Recupyl, llamado Valibat, se utiliza para reciclar las baterías de Li-ion. Este proceso incluye tratar las pilas con gas inerte una vez que se desmenuzan. Los productos obtenidos incluyen sales del litio y algunos otros metales. El proceso se muestra esquemáticamente en la figura 3.

Figura 3 Proceso Valibat de Recupyl Para Reciclar Baterías de Litio



- G&P Batteries (Pilas de AlMn, de ZnC y de ZnO) -

G&P Batteries es una compañía de recolección de pilas con base en Darlaston, y es la primera compañía en haber comenzado a reciclar pilas alcalinas y salinas (AlMn, ZnC, ZnO) en el Reino Unido. Han obtenido una patente de Recupyl para realizar el paso de la etapa mecánica del proceso Recupyl, que produce la masa negra, desechos de hierro, papel, plástico y otros metales no ferrosos.

La masa negra producida se exporta actualmente a Europa para su transformación posterior. Sin embargo, la intención es que G&P realicen el proceso de reciclaje completo, incluyendo las etapas químicas del proceso hidrometalúrgico, una vez que la demanda británica por los compuestos del manganeso y cinc se haya establecido.

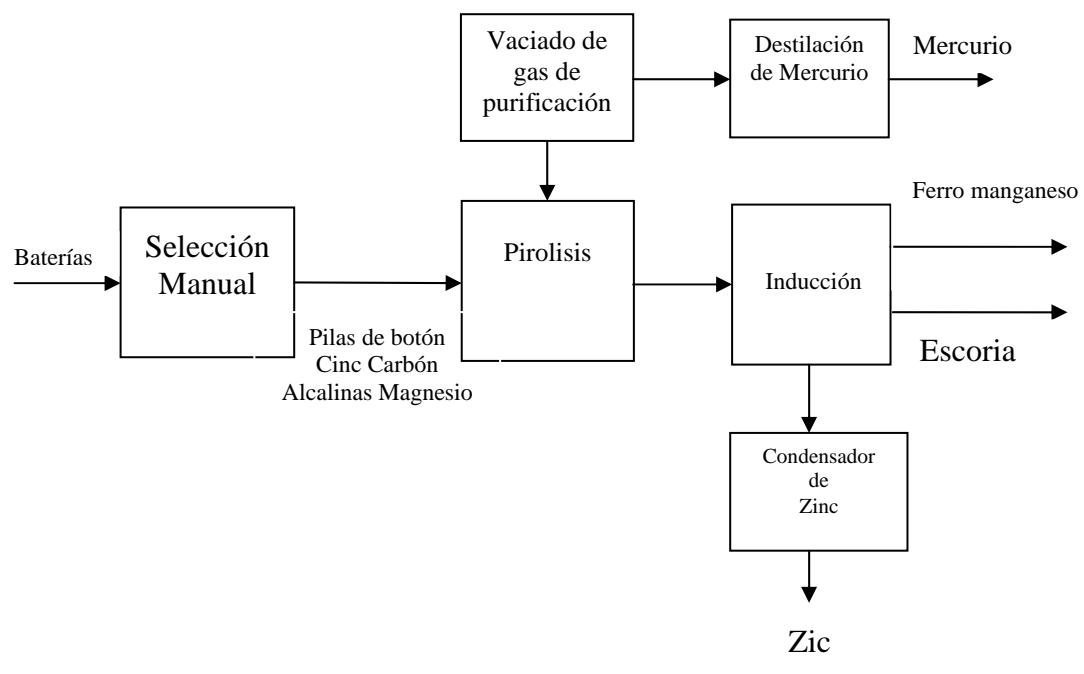
Procesos Pirometalúrgicos (Pilas Al-Mn, Zn-C, ZnO, NiMH, NiCd y Li-ion)

La pirometalurgia utiliza altas temperaturas para transformar los metales. No hay método genérico para reciclar baterías pirometalúrgicamente y cada uno de los métodos existentes es único. Para baterías alcalinas y salinas (AlMn, ZnC, ZnO), Batrec (Suiza), Citron (Francia) y Valdi (Francia) realizan procesos pirometalúrgicos. Batrec también ha desarrollado un proceso pirometalúrgico que puede tratar las baterías de Li-ion. Para las baterías secundarias de NiCd y de NiMH, Snam (Francia) aplica un proceso de alta temperatura para recuperar el cadmio y otros metales.

- Batrec (Pilas AlMn, ZnC, ZnO) -

El negocio principal de la compañía suiza Batrec es el reciclaje de pilas usadas y de materiales que contienen metales pesados. Su proceso de reciclaje se basa en una planta de pirolisis y se muestra esquemáticamente en la Figura 4.

Figura 4 Proceso de Reciclado de Batrec



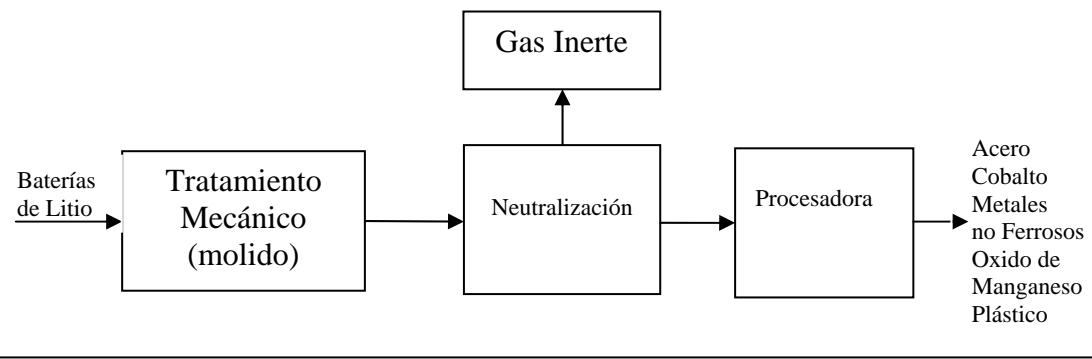
Las pilas de AlMn, Zn-C, y ZnO se clasifican manualmente antes de ser alimentada en un horno de cuba, donde están pirolizadas a temperaturas hasta de 700° C. En el horno, el agua y el mercurio se evaporan y pasan al dispositivo de postcombustión, junto con los componentes orgánicos carbonizados (papel, plástico, cartón, etc.). Los gases de combustión se transfieren a la planta de purificación de gas residual. Aquí, los gases se lavan con agua en circulación. Se eliminan los materiales sólidos y el mercurio se condensa en forma metálica. Los componentes metálicos producto de la pirolisis se pasan al horno de inducción, donde se reducen durante la fusión a una temperatura de 1500° C. El hierro y el manganeso permanecen en el baño metálico y se combinan formando ferromanganeso. El zinc se evapora y se recupera en el condensador del zinc.

- Batrec (baterías de Li-ion) -

Batrec usa un proceso alternativo para tratar las pilas del Li-ion, donde la preocupación principal de seguridad es mantener inertes a las pilas que son altamente inflamables. El proceso se muestra esquemáticamente en la Figura 5.

Las pilas del Li-ion se alimentan a una unidad trituradora, donde se muelen en una atmósfera controlada. El litio liberado se neutraliza y los otros productos (acero inoxidable, cobalto, metales no ferrosos, óxido de manganeso y plástico) se separan en una planta de separación multi-etapas.

Figura 5 Proceso de Batrec para Reciclar Baterías de Litio

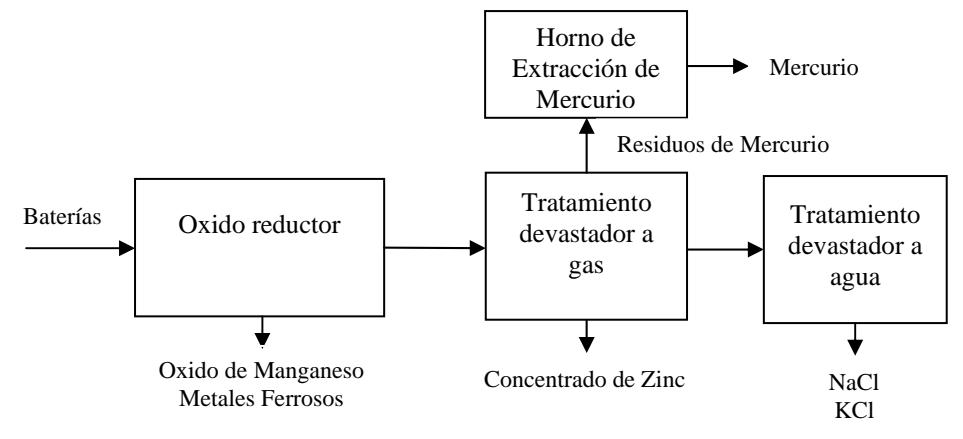


- Citron (pilas de AlMn, ZnC y ZnO) -

La planta de reciclado de pilas de Citron se encuentra en Rogersville, cerca de La Havre en Francia. La planta recupera los metales de las pilas alcalinas y salinas (AlMn, ZnC, ZnO) del hogar, residuos de automóviles desmenuzados, de lodos de hidróxido, de lodos de pulido y de catalizadores.

Estos desechos se tratan mediante un proceso pirometalúrgico patentado llamado Oxyreducer™. Este proceso puede extraer metales de todo tipo de desechos que contenga metales pesados. En 2003, 71.000 toneladas fueron recicladas en la planta, de las cuales 4400 toneladas eran baterías alcalinas y salinas (aproximadamente 6%) ⁽¹⁾. El proceso se muestra esquemáticamente en la Figura 6.

Figura 6. Proceso de Reciclado de Citron



Se clasifican las baterías y se alimentan al Oxi-reductor, un horno de cuba rotatoria donde se evaporan el cinc, el mercurio, los materiales orgánicos y las sales. Estas emisiones gaseosas pasan a las instalaciones de tratamiento del gas residual, en donde tienen lugar varios procesos:

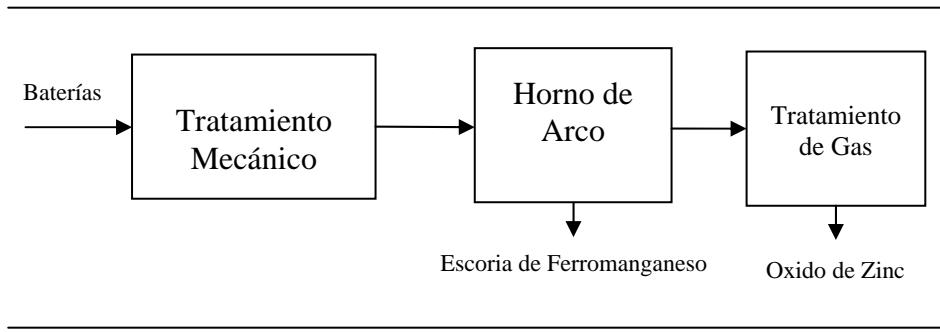
- El zinc oxidado se asienta en un compartimiento por gravedad como concentrado de hidróxido del zinc;
- El mercurio se lava de la emisión gaseosa y se descarga directamente sin agua en los colectores como lodos con mercurio. Éstos son después tratados en el horno de extracción del mercurio, para obtener el mercurio;
- Todos los materiales orgánicos, tales como papel y plásticos, se oxidan totalmente en el Oxireductor y más del 50% de la energía invertida se recupera. Esta energía se utiliza para secar los lodos del hidróxido del zinc; y
- Las sales evaporadas se lavan en el sistema de tratamiento de gas. Se reducen principalmente a cloruro de sodio (NaCl) y a cloruro del potasio (KCl) y salen de la planta con las aguas residuales tratadas.

El hierro y el manganeso no se evaporan debido a sus altos puntos de ebullición. Estos metales se descargan junto con los electrodos de carbón. El óxido del manganeso (MnO_2) se obtiene y se vende para diversos usos, y los metales ferrosos se venden como chatarra. Los electrodos de carbón se reintroducen en el proceso como agente reductor.

- Valdi (Pilas de AlMn , ZnC y ZnO) -

Valdi es una compañía de reciclaje con ubicación en Francia, especializada en refinación de aleaciones ferrosas y en el reciclado de pilas alcalinas y salinas. Un proceso pirometalúrgico se utiliza para el reciclado de baterías, mostrado esquemáticamente en la Figura 7.

Figura 7 Proceso de Reciclado de Valdi

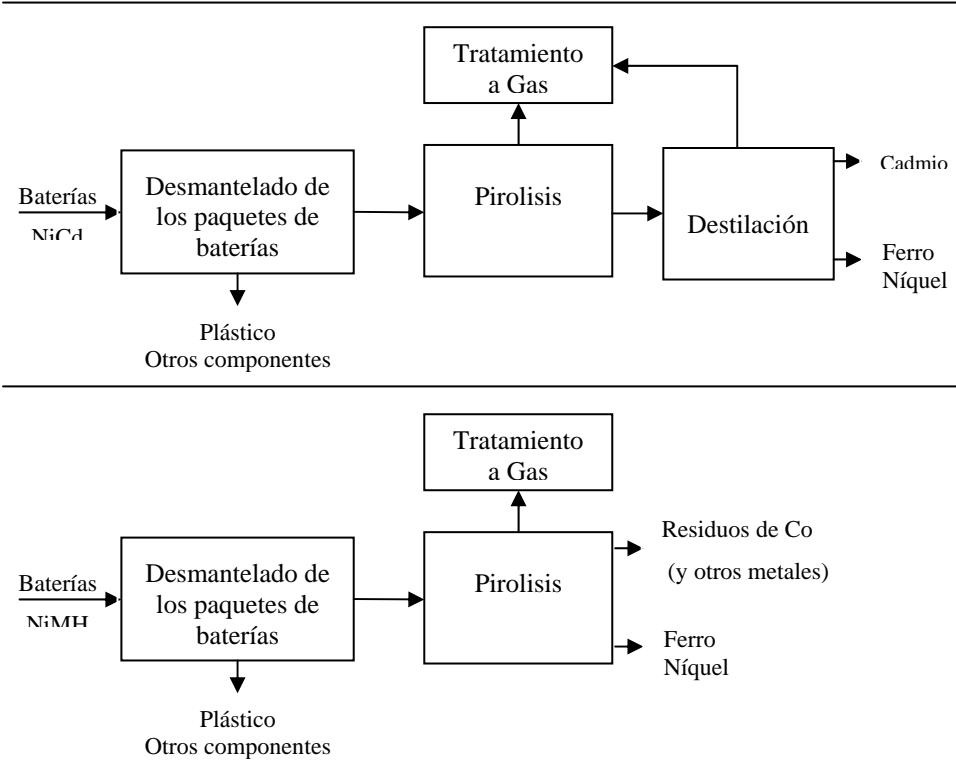


Las pilas se muelen y se secan en una etapa de pre-tratamiento mecánico previo a ser alimentada a un horno de arco. A altas temperaturas, el ferromanganeso se obtiene del horno y se vacía en lingotes. Este proceso también produce escoria y emisiones gaseosas. Los gases se tratan con el filtro de carbón activo para obtener el óxido de zinc en polvo.

- SNAM (Pilas de NiCd y NiMH) -

Société Nouvelle d' Affinage des Métaux (SNAM) es una compañía de reciclaje con instalaciones en Lyon y Viviez, Francia. La compañía procesa pilas caseras e industriales de NiCd y de NiMH, desechos con contenidos de cadmio (polvos, escoria, etc.) y otros desechos que contienen cadmio. El proceso usado para reciclar baterías de NiCd y NiMH se muestran esquemáticamente en la Figura 8.

Figura 8 Proceso de SNAM para Reciclar Baterías de NiCd y NiMH



En primer lugar, los paquetes de pilas se desmantelan, separando las celdas de la cubierta plástica. Las celdas están, junto con otras pilas recargables portátiles, alimentadas en el reactor estático de pirolisis (horno). A una temperatura de 500°C ⁽¹⁾, los desechos de pilas se mantienen en el reactor por 16 horas. A esta temperatura, no se desprende el cadmio. Los rastros de mercurio, presentes como consecuencia de una clasificación incompleta de la materia base de baterías, se evapora en el reactor de pirolisis. El carbón activado se utiliza para su retiro y es el único aditivo en el proceso. El tratamiento de las baterías de NiMH termina en esta etapa, y los residuos de ferroníquel se recuperan y se utilizan en la producción de acero.

El tratamiento de las baterías de NiCd implica un paso adicional. Después de pirólisis, los residuos se colocan en hornos de destilación de acero, que se sellan fuertemente. Cada hornada se calienta eléctricamente a 900°C por 16 horas y se enfriada posteriormente por ocho horas. A estas temperaturas, ocurre una combinación de destilación de cadmio metálico y de sublimación de óxidos de cadmio y de hidróxidos. El cadmio se condensa a partir de la fase gaseosa y se purifica más a fondo, por medio de una destilación continua.

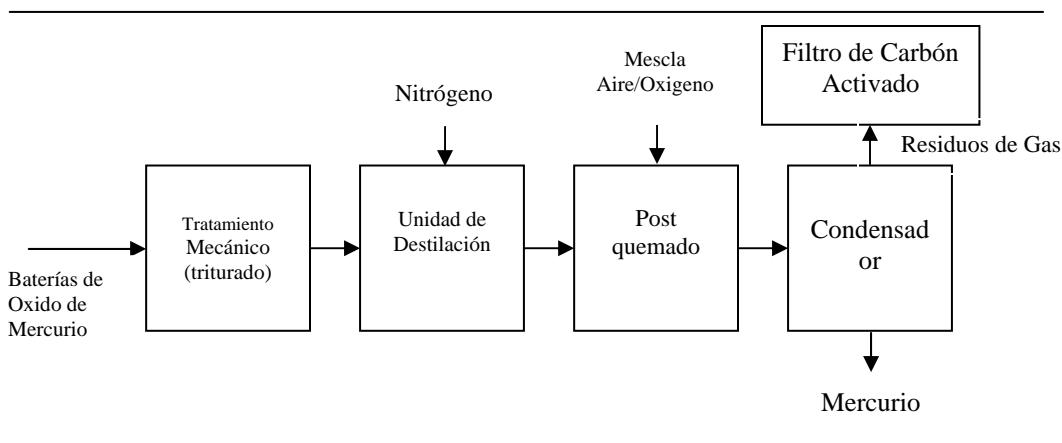
- Destilación de mercurio y recuperación de plata (pilas de botón) -

Durante los procesos de destilación de mercurio, el mercurio se recupera de residuos con mercurio. Las pilas o baterías de botón, las pilas de óxido mercúrico particularmente, son sólo uno de los tipos de desechos que se someten a destilación de mercurio. El proceso es un tratamiento térmico basado en vacío, durante el cual el mercurio se vaporiza. A temperatura reducida, el mercurio se condensa, produciendo mercurio en forma metálica. Este proceso es realizado por Indaver Relight (Bélgica), Duclos (Francia) y Citron (Francia). Los datos se han obtenido de Indaver Relight.

- Indaver Relight (pilas de botón) -

Indaver Relight, localizado en Flandes, Bélgica, realiza una destilación de mercurio, como se muestra en la Figura 9. La unidad de destilación puede procesar un número de desechos con mercurio, tales como lámparas fluorescentes, termómetros, amalgamas de dentista, interruptores de mercurio y pilas de botón.

Figura 9 Proceso de Destilación de Mercurio de Indaver Relight



Alrededor de 200 kilogramos de pilas de botón se procesan en cada hornada. Las pilas en primer lugar se trituran y se ponen en la unidad de destilación. La temperatura en la unidad se eleva a 600°C, en el cual el mercurio se vaporiza y se vuelve gaseoso. La unidad se lava continuamente con nitrógeno para remover los gases, que pasan por el compartimiento de post-combustión. Aquí, una mezcla de oxígeno y aire se inyecta y se mezcla con los gases a una temperatura de 800°C. A esta temperatura, se queman todas las sustancias orgánicas. El Mercurio se recupera de los humos vía la condensación a -6°C y los gases residuales se filtran con carbón activado. La duración del proceso es de entre 24 y 40 horas en total. El residuo restante está disponible para que en la etapa posterior se recupere la plata. El residuo se mezcla con otros materiales con plata y la mezcla resultante se combina con plomo y aditivos y se carga en un horno de cuba. Se produce una aleación de plomo con plata con una pureza de plata de cerca de 50%. El plomo es retirado preferentemente por oxidación, para producir plata de alto grado (98+%) y óxido de plomo.

3.3.4 Tratamiento en Plantas Metalúrgicas Existentes

Existen en México plantas que extraen cinc a partir de minerales por procesos hidrometalúrgicos en San Luis Potosí (Grupo México) y en Torreón (Peñoles). El proceso en ambos casos consiste en la disolución de los concentrados minerales (Sulfuro de cinc originalmente, que ha sido oxidado pirometalúrgicamente antes de la disolución) con soluciones de ácido sulfúrico. Después de varias etapas de purificación de la solución, el cinc se extrae por electrólisis. Las plantas producen 100,000 Ton de cinc anualmente, por lo que procesan más de 200,000 Ton de concentrados minerales. Las baterías usadas se agregarían a la carga normal.

La otra alternativa está constituida por una planta recicladora de desechos que contienen Cinc por el proceso de horno rotatorio, Wälz. La empresa se localiza en Monterrey. En este proceso se introducen los residuos (principalmente polvos de los sistemas de control ambiental de las plantas productoras de acero) y en un horno rotatorio se reducen los óxidos para obtener 8 metales distintos, cinc, plomo, cadmio, entre otros.

3.3.5 Métodos de Confinamiento

Como escenarios de final-de-vida se presentan dos alternativas. Primero, un confinamiento "especial", el cual consiste en piletas de cemento construidas para el almacenamiento seguro de las pilas usadas pero sin necesidad que cumpla los requerimientos de un confinamiento de residuos peligrosos. Las piletas únicamente serían elaboradas con cemento resistente a los ácidos o con un recubrimiento epóxico con unas propiedades equivalentes. El tamaño de estos receptáculos tendría que diseñarse de manera creciente, de acuerdo a la proyección de las pilas usadas que fueran generándose en las zonas geográficas por la población.

La segunda alternativa de confinamiento es efectuarlo en minas que hayan concluido su vida útil. Las minas subterráneas son aprovechadas como depósito de residuos en algunos países bajo condiciones especiales. En este caso se tendrían que resolver algunos aspectos legales de propiedad del sitio y de los residuos. Realmente el volumen generado de pilas sería muy pequeño comparado con el orden de magnitud del movimiento de materiales de una mina normal. En el caso del confinamiento en minas, la localización sería una de los aspectos más importantes de considerar.

3.3.6 Manejo como Parte de los Residuos Sólidos Urbanos

La línea base contra la cual se comparan los 10 escenarios anteriores consiste en el desecho y depósito en relleno sanitario de las pilas usadas en conjunto con los Residuos Sólidos Urbanos, ya que no existen otras formas de manejar dichos residuos en México. Como ya se expuso arriba, en la sección 3.3.1 se cuenta solamente con 263 sitios con las condiciones adecuadas, que captan menos del 50% de los RSU.

En este caso, se utilizarán datos de rellenos sanitarios que cumplan con la normatividad existente, como es en el Distrito federal y algunos sitios del Estado de México, al contarse con mayores datos sobre estos.

3.3.7 Escenarios de Instrumentación

Por tanto, los escenarios de instrumentación del sistema son los 8 que se presentan en la Tabla siguiente, con un decimoprimer escenario como línea base.

Tabla 8. Escenarios de Implementación de Final-de-Vida de Pilas en México

Escenario	Tipo Recolección		Tipo Final-de-Vida
1	Selectiva por servicios municipales	+	Reciclado Hidrometalúrgico
2	Selectiva por servicios municipales	+	Reciclado pirometalúrgico
3	Selectiva por servicios municipales	+	Reciclado en planta metalúrgica
4	Selectiva por servicios municipales	+	Confinamiento especial ("Sarcófago de Cemento")
5	Selectiva por servicios municipales	+	Confinamiento en minas
6	Centros de Acopio	+	Reciclado Hidrometalúrgico
7	Centros de Acopio	+	Reciclado pirometalúrgico
8	Centros de Acopio	+	Reciclado en planta metalúrgica
9	Centros de Acopio	+	Confinamiento especial ("Sarcófago de Cemento")
10	Centros de Acopio	+	Confinamiento en minas
11	Servicios municipales	+	Depósito en relleno sanitario

3.4 Fronteras del Sistema

Se definen los límites del sistema a partir de la recolección. Esto es, no se considera ni la manufactura, ni el uso de las pilas con todas sus sub-etapas de transporte. Sólo se toma como base comparativa la producción de nueva materia prima a partir de los materiales que se puedan reciclar. Se considera entonces:

- Recolección de las baterías: Manufactura de contenedores y transporte
- Clasificación de baterías: requerimientos de la operación de clasificación/separación
- Transporte hacia punto de Final-de-Vida
- Proceso de Final-de-Vida: requerimientos del proceso de reciclado, de los de la planta establecida y del proceso de preparación para su confinamiento
- Manejo de los residuos del proceso de reciclado: confinamiento
- Bono positivo al reciclar y evitar extracción y uso de materias primas nuevas al recuperar materiales

Los escenarios en detalle se presentan en la Figura 10.

DIAGRAMA DE ESCENARIOS DEL SISTEMA DE MANEJO DE PILAS EN MÉXICO

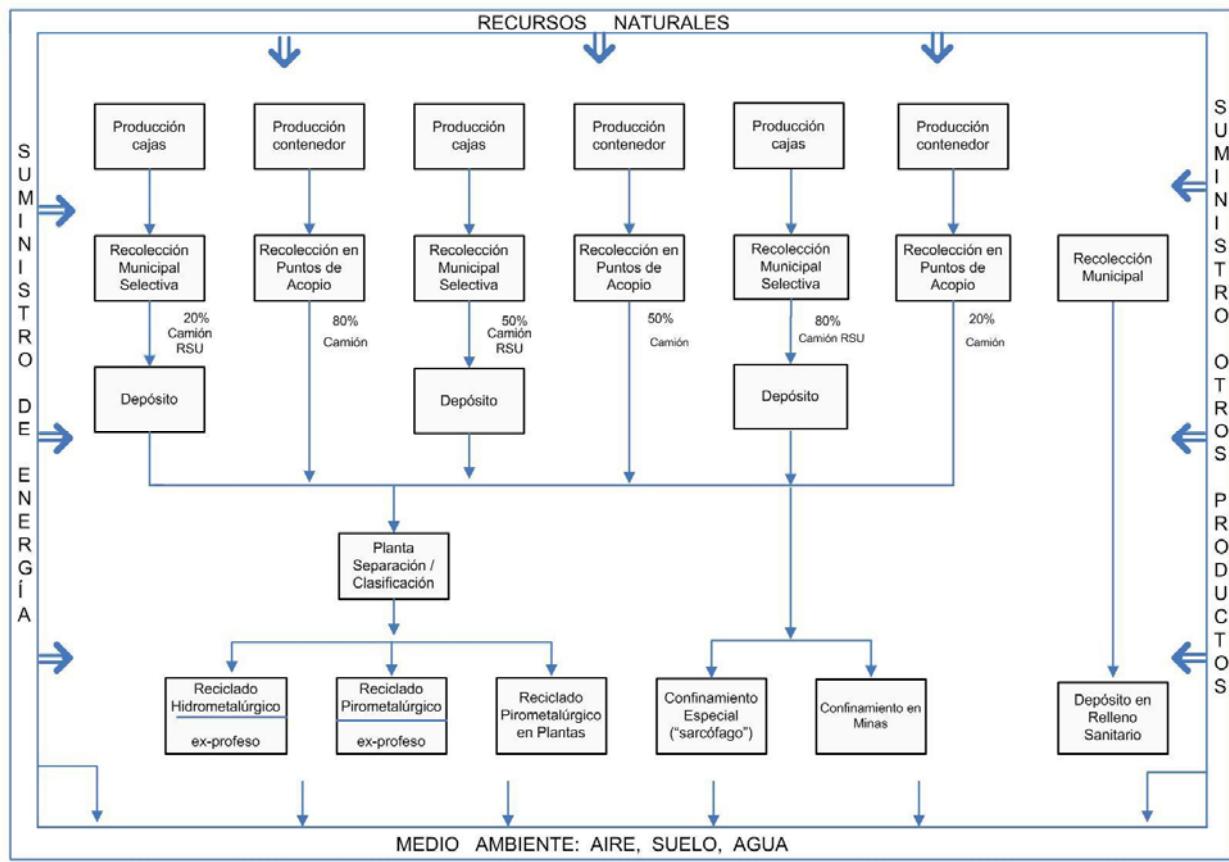


Figura 10. Fronteras del Sistema y Etapas del Ciclo de Vida considerados en el estudio

3.5 Análisis de Inventario

Se elabora el inventario a partir de los datos proporcionados por la Asociación Mexicana de Pilas, en lo referente a consumos en el país por tipos y tamaños de pilas y considerando el mercado de ventas en sus vertientes formal e informal. Se toma el dato proporcionado de que 35% del mercado es cubierto por pilas informales.

Se aprovecharán y adaptarán la metodología y algunos datos del estudio desarrollado por ERM para el Departamento de Asuntos de Medio Ambiente, Comida y Rurales del Reino Unido publicado a fines de 2006, así como los datos de otras de las referencias revisadas, particularmente con respecto a costos de procesamiento.

3.6 Evaluación de Impacto

En este estudio no se evaluarán todos los impactos que generalmente se evalúan en un Análisis de Ciclo de Vida completo. Como método comparativo, se evaluarán solamente 3 aspectos considerados como más importantes en el manejo de pilas usadas, que son:

- Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA): Se evalúa el consumo de materiales no renovables (principalmente metales, incluyendo también combustibles), que como estándar se refieren al agotamiento de antimonio como referencia. En este estudio se tomará como base de comparación el agotamiento del Cinc por ser éste uno de los dos metales que consumen más recursos naturales (energéticos, agua, etc.) en su producción para la manufactura de pilas
- Potencial de Calentamiento Global (PCG): Aquí se cuantifican todos los gases que contribuyen al efecto invernadero: CO₂, CH₄, NO_x, y SO_x, principalmente. En este caso se utilizará como base de comparación entre los escenarios las toneladas de CO₂ como gas de referencia.
- Riesgo por Toxicidad a Humanos (RTH): se estima el daño potencial (y no el impacto real) de substancias tóxicas a los humanos. La referencia se expresa regularmente como *equivalentes de 1,4 diclorobenceno/kg* de emisión y en este estudio se utilizará como elemento de comparación a la cantidad de Mercurio.

3.7 Análisis de Sensibilidad

No se efectuará un análisis de sensibilidad ya que los supuestos de los que se parte no se considera que se modifiquen. No se consideran modificaciones de tecnología significativas en los próximos 10 años, los niveles de recolección son conservadores, ni se esperan cambios abruptos en consumos.

3.8 Suposiciones Clave y Limitaciones

Las suposiciones principales ya han sido establecidas a lo largo de las secciones anteriores, referentes a las cantidades recolectadas, los sistemas de recolección, el tipo de procesos de final-de-vida, los elementos para considerar a los impactos y otras. Al ser este un estudio no tan detallado como un análisis de ciclo de vida completo, se considera que los resultados bajo las suposiciones proveerán información indicativa de la tendencia y los resultados serán aproximados.

4. ANÁLISIS DEL INVENTARIO Y RESULTADOS

El acopio de datos y los procedimientos de cálculo presenta dificultades para efectuarse en México. En un estudio de ciclo de vida se requieren contar con bases de datos adecuadas a las condiciones del país, principalmente hacia las formas de generación y distribución de energía eléctrica así como las condiciones de los combustibles fósiles. Sin embargo, se pueden hacer estimaciones y aproximaciones a los resultados que permitan producir elementos de juicio para la toma de decisiones de las políticas de manejo de las pilas usadas. Un documento que sirvió de base para este análisis es el trabajo desarrollado recientemente por Environmental Resources Management (ERM) para el Departamento de Medio Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales del Reino Unido (DEFRA).

4.1 Sistemas de Recolección

El análisis de los sistemas de recolección incluye el número de puntos de recolección, las características de los contenedores y transportes, las distancias de transporte entre ellos y los centros de acopio y/o centros de separación/clasificación.

4.1.1 Puntos de Recolección

En el escenario 1 de recolección, por medio de los sistemas municipales de limpia, los puntos de recolección son las casas y se puede contar con algunos datos iniciales a partir de dos de las entidades federativas que son el Distrito Federal y el Estado de México. El primero de ellos cuenta con 2,163 unidades de colección de RSU que recorren 1819 rutas para una población de 9.8 millones. Esto se estima que permita la recolección de RSU y en este caso, por recolección separada las pilas usadas, de 300 a 500 casas. En lo que respecta al Estado de México, se tienen 1,118 vehículos de recolección de RSU con 1,309 rutas para una población de 14 millones de habitantes; los vehículos se encuentran principalmente en las zonas urbanas del Estado de México. Por lo anterior, se puede estimar que existen de 12,000 a 15,000 vehículos en todo el país. Es posible lograr la recolección separada deseada si se proveen los medios (recipientes) para separar las pilas así como la concientización a la población para depositarlos separadamente y a los operadores de los vehículos para el mismo fin.

En el escenario 2 de recolección, a través de puntos de acopio en instituciones públicas y privadas así como puntos de acopio específicamente situados para el fin, se puede tomar como referencia la recolección de este tipo en otros países. En Bélgica, para una población de 10.4 millones, se cuenta con 19,500 sitios de acopio,

que producen una tasa de recolección del 56%, mientras que en Holanda, con una población de 16.3 Millones de habitantes, a través de 10,710 sitios de recolección se obtiene una tasa de recolección del 37%. Al proyectar estos datos a nuestro país, para obtener la tasa de recolección deseada de 20% al final de 5 años se requieren 57,750 sitios, o aproximadamente el doble de ellos, 115,500 para obtener el 40% de recolección.

El número de sitios que se requieren progresivamente se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Sitios Requeridos para Recolectar Pilas hasta las Metas Propuestas

Año	Sitios	Cantidad Colectada [Ton]
2007	11,550	730
2008	23,100	1,556
2009	34,650	2,456
2010	46,200	3,530
2011	57,750	4,762
2012	69,300	6,133
2013	80,850	7,633
2014	92,400	9,334
2015	103,950	11,236
2016	115,500	13,598
Total	115,500	60,968

4.1.1 Requerimientos de Contenedores.

En el escenario 1, se requieren dos tipos de contenedores. Uno para cada vehículo de recolección y otros más grandes en los sitios de depósito de los RSU. Mientras que en el caso del escenario 2, se requerirán contenedores crecientemente para el acopio en los sitios establecidos, así como los contenedores para las camionetas recolectoras. Para simplificación de los cálculos se definen solamente 2 tamaños de contenedores. Uno pequeño de 20 kg para los camiones del servicio urbano y para la recolección en los sitios de acopio y uno más grande, de 500 kg, para los lugares de depósito de RSU y las camionetas recolectoras.

Se supone que los contenedores tienen una vida útil de 5 años. Entonces los contenedores en los 10 años de recolección son los presentados en la Tabla 10:

Tabla 10. Contenedores Requeridos para la Recolección bajo los dos Escenarios

Escenario de Recolección	Contenedores pequeños	Contenedores grandes	Contenedores Totales
1	30,000	2,500	32,500
2	155,571	4,568	160,039

Los contenedores pequeños son hechos de 80% policarbonato y de 20% ABS y tienen un peso aproximado de 1.5 kg. Y son manufacturados por extrusión de tubo de policarbonato y moldeo de las partes de ABS. Los contenedores grandes por su parte son de polietileno de alta densidad y pesan aproximadamente 23 kg. Son manufacturados por moldeo por inyección. Adicionalmente los contenedores grandes requerirán cierto mantenimiento, un lavado anual.

4.1.2 Transporte a los Lugares de Depósito y a las Plantas de Clasificación/Separación

En el Escenario 1, las pilas son colectadas selectivamente por el servicio municipal y llevadas al sitio de disposición, donde se adecua un área para su almacenamiento temporal. Una vez que se tenga la cantidad que justifique un transporte especializado, se traslada a la planta de Clasificación/Separación, que como se definió, está localizada en la capital de la Entidad Federativa. Las distancias entre las principales poblaciones de cada Entidad Federativa y sus respectivas capitales se presentan en el Anexo D.

A partir de las distancias, muy variables al compararlas entre un Estado y otro, se toma una distancia promedio de 200 km. Se supone que los camiones de transporte operarán a un 50% de su capacidad, ya que irán vacíos a las Plantas y regresarán llenos. Llevarán 50 contenedores de 500 kg cada uno.

4.1.3 Planta de Clasificación/Separación

Para inventariar la operación de una planta de Clasificación/Separación, ya que en México no existe, se utilizará la reportada el Reino Unido. En realidad las operaciones no pueden variar tanto ya que no se consume tanta energía de procesos ni se producen tantas emisiones. La separación en dicha planta, como en otras de Suiza y Alemania, una gran parte es realizada manualmente. Se considera asimismo que continuarán las plantas operando de esta manera ya que la automatización sólo se puede incrementar hasta un cierto nivel, antes de que la contaminación entre las corrientes separadas sea inadecuada para los procesos subsecuentes de reciclado.

Los consumos por tonelada de baterías clasificadas, sin una variación significativa por la escala de operación, son 1.25 kg de empaques, 0.47 kg de agua, 2.4 kWh y 0.17 litros de combustible para un montacargas de diesel. Las emisiones son la misma cantidad de empaques y de aguas (residuales, en este caso) y las emisiones respectivas de gases, en este caso CO₂ de 0.46 kg.

4.1.4 Transporte a Sitio de Final-de-Vida

El transporte al sitio de final-de-vida se realiza de acuerdo a los dos escenarios de recolección y a las 3 alternativas de final-de-vida antes planteados. Las distancias entre las ciudades definidas para cada una de las opciones se presentan en el Anexo E. Todos los traslados se efectúan en un camión de 25 Ton que se describe en el mismo anexo. Con base en el número de habitantes de cada Estado se estima la generación de pilas usadas, de estas la fracción captada a partir del total nacional de 60,968 Ton y se determina el número de viajes promedio dividiendo la capacidad captada por año entre la capacidad individual del transporte de 25 Ton y se integra en los 10 años, con un total de 2,438 viajes. Finalmente, por medio de un factor para el tipo de transporte, se determina la emisión de CO₂. El inventario de esta etapa se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Características del Transporte de las Pilas Usadas hasta el Lugar de Final-de-Vida

Escenario	Final-de-Vida	Distancia promedio desde Capitales Estatales, (km)	Distancia total (km)
1 y 6	Reciclado Hidrometalúrgico	León: 750	1,828,500
2 y 7	Reciclado Pirometalúrgico	León: 750	1,828,500
3 y 8	Reciclado Planta Metalúrgica	Monterrey: 1,000	2,438,000
4 y 9	Confinamiento Especial	20	48,760
5 y 10	Confinamiento en Minas	Torreón + SLP: 1050 + 750 = 900	2,194,200

4.2 Composición de las Pilas

La composición que se considera para el inventario de consumo de materiales y emisiones producidas, fue proporcionada por Amexpilas, con la única excepción del contenido de mercurio que fue tomado del análisis químico efectuado en este trabajo. Estos se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Composición promedio de las pilas Usadas en México

Clasificación	Tipo	Principales Componentes	% en peso	Usos más comunes
Primarias (Desechables)	Alcalina	<ul style="list-style-type: none"> ○ Grafito ○ Dióxido de Manganeso ○ Zinc ○ Hidróxido de Potasio ○ Agua ○ Acero 	2 - 6 30 - 45 12 - 25 4 - 8 8 - 12 20 - 25	Cámaras digitales, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, controles remoto, etc.
	Carbón-Zinc	<ul style="list-style-type: none"> ○ Negro de Acetileno ○ Cloruro de amonio ○ Dióxido de Manganeso ○ Zinc ○ Cloruro de Zinc ○ Agua 	3 - 7 0 - 10 15 - 31 7 - 42 2 - 10 10 - 15	Linternas, radios, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, Controles remoto, etc.
	Litio Bisulfato de Hierro	<ul style="list-style-type: none"> ○ Carbón ○ Bisulfato de Hierro ○ Litio ○ Acero 	0 - 4 24 - 35 5 - 8 35 - 41	Cámaras digitales, juguetes, aplicaciones electrónicas, etc.
	Alcalina Miniatura	<ul style="list-style-type: none"> ○ Grafito ○ Dióxido de Manganeso ○ Mercurio ○ Hidróxido de Potasio ○ Hidróxido de Sodio ○ Zinc ○ Acero 	1 - 3 15 - 30 0.1 - 0.9 0 - 12 0 - 12 4 - 10 30 - 50	Cámaras, relojes, juguetes electrónicos, etc.
	Litio Dióxido de Manganeso	<ul style="list-style-type: none"> ○ Carbón negro ○ Grafito ○ Litio ○ Dióxido de Manganeso ○ Acero 	0 - 1 0 - 3 1 - 6 12 - 42 25 - 35	Relojes de pulsera, juguetes electrónicos, etc.
	Zinc Aire	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zinc ○ Hidróxido de Potasio ○ Mercurio ○ Acero 	31 - 44 3 - 4 1.0 - 1.4 31 - 42	Aparatos auditivos
	Óxido de Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Grafito ○ Dióxido de Manganeso ○ Mercurio ○ Óxido de Mercurio ○ Hidróxido de Potasio ○ Hidróxido de Sodio ○ Zinc ○ Acero 	1 - 3 0 - 15 0.3 - 1.5 20 - 50 0 - 6 0 - 6 5 - 15 35 - 55	Relojes de pulsera, juguetes, dispositivos electrónicos, etc.
	Óxido de Plata	<ul style="list-style-type: none"> ○ Grafito ○ Dióxido de Manganeso ○ Mercurio ○ Hidróxido de Potasio ○ Óxido de Plata ○ Hidróxido de Sodio ○ Zinc ○ Acero 	0 - 3 0 - 20 0.3 - 1.0 0 - 7 10 - 35 0 - 7 6 - 11 38 - 55	Relojes de pulsera, juguetes, dispositivos electrónicos, etc.

Tabla 12. Composición promedio de las pilas Usadas en México (Cont.)

Clasificación	Tipo de Pila	Principales Componentes	% de peso	Usos más comunes
Secundarias (Recargables)	Níquel Hidruro de Metal	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aluminio < 2 ○ Cobalto 2.5-6.0 ○ Hidróxido de Litio 0 - 4 ○ Níquel 30 - 50 ○ Hidróxido de Potasio < 7 ○ Hidróxido de Sodio 0 - 4 ○ Zinc < 3 ○ Manganeso < 3 		Calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc.
	Ion-Litio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Negro de acetileno 0 - 2 ○ Grafito 7 - 22 ○ Litio óxido de cobalto 15 - 30 		Calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc.
	Níquel Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cadmio 13 - 22 ○ Cobalto 0.5 - 2 ○ Hidróxido de Litio 0 - 4 ○ Níquel 20 - 32 ○ Hidróxido de potasio 0 - 4 ○ Hidróxido de Sodio 0 - 4 		Calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía
	Plomo-Ácido	<ul style="list-style-type: none"> ○ Plomo 36 - 90 ○ Ácido Sulfúrico 6 - 30 ○ Antimonio <=2 ○ Arsénico <=0.2 		Automóviles, vehículos eléctricos, uso industrial, etc.

Fuente: NEMA, AMEXPILAS, A.C.

Nota: El cuadro no incluyen los componentes que forman parte de la presentación comercial de las pilas (cartón, papel, lámina, adhesivos, plásticos, etc.).

Nota: La cantidad de los componentes químicos de las pilas Primarias varían dependiendo de las marcas y los tamaños de pilas. El servicio eléctrico que se obtiene de cada pila (duración, potencia y seguridad para los aparatos) depende en forma directa de la cantidad y de la calidad de los materiales que se ocupan en su fabricación

Tabla 13. Materiales recuperables y aprovechables contenidos en las pilas consumidas en el periodo 2007-2016, con base en información de composiciones promedio proporcionada por Amexpilas

Elemento	Toneladas
Grafito (carbono)	13,106
Manganeso	53,700
Potasio	5,393
Zinc	67,375
Hidrógeno	733
Acero	29,053
Cloro	10,228
Litio	0.87
Mercurio*	0.05
Mercurio (pilas informales)**	10.27
Azufre	0.5
Plata	0.5

* Determinados por análisis químico de pilas

** Determinado por análisis químico de pilas, solo tamaño AA

4.3 Sistemas de Final-de-Vida

Las secciones siguientes describen los datos y sus suposiciones para inventariar el procesamiento y emisiones de los 5 escenarios de final de vida.

4.3.1 Procesos de Reciclado.

Los procesos de reciclado en plantas específicamente diseñadas para el fin y sólo se puede contar con el referente europeo. En particular, los procesos están enfocados a procesar una combinación de pilas, pero con una mayoría de pilas alcalinas y cinc carbono.

Proceso Hidrometalúrgico.

Para una tonelada de pilas, las entradas y salidas del proceso son (proceso Recupyl):

- Insumos principales: 284 kg de H_2SO_4 y 75 kg de H_2O_2 . El consumo de electricidad es de 959 kWh y 569 kg de agua.
- Productos: 205 kg de cinc, 317 kg de MnO_2 y 180 kg de hierro.
- Emisiones principales: 99 kg de aguas residuales, 120 kg de desechos sólidos no peligrosos, residuos de disolución 107 kg (10 kg de metales pesados); emisiones al aire de 0.005 kg NH_3 , 0.00003 kg de mercurio + Cadmio y 39 kg O_2

Proceso Pirometalúrgico.

Para una tonelada de pilas tratadas, las entradas y salidas del proceso son (Proceso Batrec):

- Consumo de electricidad de 1690 kWh; combustoleo 58 kg, propano 6 kg, y 1400 kg de agua.
- Productos: 290 kg de ferromanganese, 200 kg de cinc y 0.3 kg de mercurio
- Emisiones principales: al aire 0.52 kg de CO, 0.000006 kg de Cadmio, 0.000001 kg de mercurio, 1400 kg de aguas residuales tratadas y 146 kg de escoria como residuos sólidos a confinamiento; una cantidad de aproximadamente 200 kg de residuos no peligrosos.

Existen también datos de insumos, productos y emisiones para baterías de litio, de Níquel-cadmio y de óxido de plata.

4.3.2 Procesos en Plantas Metalúrgicas Existentes

Las alternativas de procesamiento en plantas metalúrgicas de tratamiento de minerales presenta como principal obstáculo el contenido de cloro en las pilas. Por ello se presentaría como una alternativa viable solamente la empresa recicladora de zinc en México. Este es un proceso pirometalúrgico de fusión de desechos de acería que contienen óxido de zinc y hierro principalmente. En este proceso, el manganeso contenido en las pilas se concentraría en la escoria, a partir de la cual se podría extraer como óxido principalmente, o como ferromanganeso. Se extraería el cinc en su totalidad y el cadmio.

Para una tonelada de pilas tratada, las entradas y salidas (estimadas) del proceso serían:

- Consumo de electricidad: 1000 kWh, combustoleo 250 kg, 1000 kg de agua.
- Productos: 250 kg de ferromanganeso y 250 kg de cinc
- Emisiones principales: al aire 0.5 kg de CO, 0.000001 kg de mercurio, 1000 kg de aguas residuales tratadas y 100 kg de escoria a confinamiento.

4.3.3 Métodos de Confinamiento

La primera alternativa de confinamiento sería en el receptáculo de cemento resistente. Considerando que el peso específico promedio de la pilas es de 2.3 Ton/m³, más un 60% de huecos entre ellas, para dar una densidad aparente de 1.5 Ton/m³, se requerirían la construcción de 42,000 m³ de receptáculo a lo largo de los 10 años y de la captación y confinamiento del 40% de las pilas. Con una profundidad promedio de 5 m., se requeriría un área de 8,400 m² para todo el país, localizándose distribuidamente en cada estado de acuerdo a la cantidad de pilas generada y recolectada.

La emisión principal a lo largo de los años sería el cloro que se iría liberando de las pilas y los lixiviados que se generaran se tendrían que captar y neutralizar.

La segunda alternativa de reciclado solo tendría como impacto inventariable las emisiones de combustión adicionales del transporte hasta los sitios en donde las minas se encuentren.

4.4 Manejo como Residuos Sólidos Urbanos

El impacto inventariable de las pilas al depositarse con residuos sólidos urbanos no está completamente claro, aun cuando estudios de referencia de Estados Unidos, Japón y otros no reportan lixiviación de metales

pesados, la suposición que se hace en el estudio del Reino Unido es de una (emisión) lixiviación de 5% de dichos metales. Esta suposición resulta excesivamente alta debido a que las pilas siendo sistemas sellados por su naturaleza, es muy difícil que liberen los metales, particularmente el mercurio. Por ello, la suposición que se hace en este estudio es de una lixiviación de 1% de los metales pesados como único impacto. No habría consumo adicional de energía ni de otros insumos.

4.5 Resultados

Los inventarios que se presentan a continuación consideran las características que se han descrito en todas las secciones anteriores y bajo las suposiciones establecidas. Estos resultados son aproximados pero permiten formarse elementos de juicio sobre el comportamiento respecto al medio ambiente de los 9 escenarios de final de vida de las pilas. Los resultados se presentan, como se expuso en la sección 3.6, referentes a 3 aspectos que se consideran como más importantes en su efecto al medio ambiente: el Agotamiento de Recursos Bióticos (ARB), tomando como indicador de comparación el agotamiento de cinc; el Potencial de Calentamiento Global (PCG) tomando como indicador la producción de bióxido de carbono, CO₂; y el Riesgo por Toxicidad a Humanos (RTH) tomando como indicador el mercurio liberado al ambiente. Respecto a este último, en las evaluaciones se considera solamente el mercurio contenido en las pilas del comercio formal, según los análisis químicos.

Tabla 14. Análisis de Inventario de Elementos Selectos de los 10 escenarios y línea base

Escenario	Aspecto Inventariado [kg]	Total	Contenedores	Transporte Recolección	Separación	Transporte Final-de-Vida	Final-de-Vida	Desechos
1 Municipal + Reciclado Hidrometalúrgico	Zn	-12,100,000	-	-	-	-	-12,100,000	
	CO ₂	-1,143,900	1,495,720	12,550,000	608,000	8,620,000	-30,526,315	6,108,695
	Hg	-54.71	-	-	-	-	-54.71	
2 Municipal + Reciclado Pirometalúrgico	Zn	-11,700,000	-	-	-	-	-11,700,000	
	CO ₂	-13,425,144	1,495,720	12,550,000	608,000	5,067,000	-39,254,559	6,108,695
	Hg	-54.71					-54.71	
3 Municipal + Reciclado en Planta	Zn	-12,900,000	-	-	-	-	-12,900,000	
	CO ₂	-7,809,688	1,495,720	12,550,000	608,000	6,757,000	-35,329,103	6,108,695
	Hg	0	-	-	-	-	0	
4 Municipal + Confinamiento Especial	Zn	0	-	-	-	-	0	
	CO ₂	15,113,220	1,495,720	12,550,000	0	67,500	1,000,000	0
	Hg	0	-	-	-	-	0	
5 Municipal + Confinamiento en Minas	Zn	0	-	-	-	-	0	
	CO ₂	21,127,720	1,495,720	12,550,000	0	6,082,000	1,000,000	0
	Hg	0					0	
6 Acopio + Reciclado Hidrometalúrgico	Zn	-12,100,000	-	-	-	-	-12,100,000	
	CO ₂	8,896,350	2,835,970	21,250,000	608,000	8,620,000	-30,526,315	6,108,695
	Hg	-54.71					-54.71	
7 Acopio + Reciclado Pirometalúrgico	Zn	-11,700,000	-	-	-	-	-11,700,000	
	CO ₂	-3,384,849	2,835,970	21,250,000	608,000	5,067,000	-39,254,559	6,108,695
	Hg	-54.71	-	-	-	-	-54.71	
8 Acopio + Reciclado en Planta	Zn	-12,900,000	-	-	-	-	-12,900,000	
	CO ₂	-18,998,188	2,835,970	21,250,000	608,000	6,757,000	-35,329,103	6,108,695
	Hg	0	-	-	-	-	0	
9 Acopio + Confinamiento Especial	Zn	0	-	-	-	-	0	
	CO ₂	25,153,470	2,835,970	21,250,000	0	67,500	1,000,000	0
	Hg	0	-	-	-	-	0	
10 Acopio + Confinamiento en Minas	Zn	0	-	-	-	-	0	
	CO ₂	24,085,977	2,835,970	21,250,000	0	6,082,000	1,000,000	0
	Hg	0	-	-	-	-	0	
11 Municipal + Relleno sanitario	Zn	0						
	CO ₂	12,500	-	6,275	0	6,275	0	0
	Hg	0.54					0.54	

Tabla 15. Análisis de Inventario Totales de Elementos Selectos de los 10 escenarios y línea base

Aspecto Inventarioiado [kg] \	1 Municipal + Reciclado Hidromet.	2 Municipal + Reciclado Piromet.	3 Municipal + Reciclado Planta	4 Municipal + Confin. Especial	5 Municipal + Confin. en Minas	6 Acopio + Reciclado Hidromet.	7 Acopio + Reciclado Piromet.	8 Acopio + Reciclado Planta	9 Acopio + Confin. Especial	10 Acopio + Confin. en Minas	11 Municipal + Relleno sanitario
Zn	-12,100,000	-11,700,000	-12,900,000	0	0	-12,100,000	-11,700,000	-12,900,000	0	0	0
CO ₂	-1,143,900	-13,425,144	-7,809,688	15,113,220	21,127,720	8,896,350	-3,384,849	-18,998,188	25,153,470	24,085,977	12,500
Hg	-54.71	-54.71	0	0	0	-54.71	-54.71	0	0	0	0.54

5. ANÁLISIS DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

De igual manera que en la sección anterior, aquí se presentará el análisis del impacto de los 10 escenarios planteados y su comparación con el impacto de la línea base, o sea su desecho con los residuos sólidos urbanos, con respecto a 3 aspectos seleccionados que representan el agotamiento de recursos abioticos (ARA) ejemplificado por el cinc, el potencial de calentamiento global (PCG) ejemplificado por el CO₂ y el riesgo por toxicidad a humanos (RTH) ejemplificado por la cantidad de mercurio liberada.

El análisis muestra lo siguiente:

- La implementación de los 6 escenarios que incluyen reciclado presenta oportunidades de beneficio global, esto es los escenarios 1 a 3 y 6 a 8.
- En particular los escenarios 2, 7 y 1 presentan los mayores beneficios en los 3 aspectos, en orden descendente de valores.
- Los escenarios 8, 3 y 6 presentan beneficios en sólo dos aspectos en cada caso, ya que en los dos primeros no hay recuperación de mercurio y en el último hay mayor producción de CO₂
- Los cuatro escenarios restantes: 7, 8, 10 y 9 muestran incrementos de los impactos ya que no hay recuperación de cinc, ni captura de mercurio y la generación de CO₂ es superior en los 4 casos a la línea base.

El examen de los procesos que contribuyen a los impactos y beneficios potenciales en cada aspecto muestra que la mayor parte de los beneficios ocurren como resultado de evitar la producción de materias primas, ejemplificado por el cinc en este estudio, que resulta de mayor importancia dado que hay una predominancia de las pilas cinc-carbono y alcalinas en su uso y por tanto en su desecho, más de 99% del peso total. Esto representa los impactos evitados por la extracción de los metales primarios, el consumo de energía y de combustible durante los procesos de producción y transporte primarios.

Las mayores cargas ambientales en los escenarios estudiados son, en orden de importancia:

- las de la energía y combustibles consumidos en los procesos de reciclado,
- los de transporte de recolección de los escenarios de acopio específico, seguidos de los de la recolección municipal selectiva y en tercer término los de transporte al lugar de final de vida

Las diferencias en los procesos de reciclado, los dos diseñados ex profeso y el de tratamiento en una planta ya existente, muestran una ventaja del proceso hidrometalúrgico sobre el pirometalúrgico y del de la planta existente (pirometalúrgico también) sobre los dos anteriores. Una desventaja de este ultimo es la distancia

para el transporte hasta la instalación ya que los otros dos al diseñarse ex profeso estaría situados en un lugar más estratégico con respecto a la generación, como el aquí planteado.

Los 4 escenarios que incluyen las dos formas de confinamiento representan cargas ambientales debidas esencialmente al consumo de energía y combustibles para el traslado hasta los sitios propuestos, adicionalmente a la consumida en la construcción de los receptáculos de cemento en el caso del confinamiento especial.

En la línea base, la cantidad potencial liberada de mercurio, representa el único y principal impacto negativo, que aunque de una dimensión muy pequeña, es una de las razones originales para la búsqueda de escenarios alternativos.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS OPCIONES DE MANEJO DE PILAS

En el análisis económico, como se estableció antes, no se considera el costo de inversión, sino como servicios subcontratados o establecidos en una infraestructura ya existente. Se consideran los costos de las distancias de recolección y traslado a sitios de final de vida del Anexo D y Tabla 11 así como los valores económicos contenidos en los metales recuperables de la Tabla 15. Se toman los costos de tratamiento de los procesos de reciclado del documento de ERM, esto es, los costos en Europa y los costos de confinamiento.

6.1 Costos de las etapas

Los costos de recolección del escenario 1, de recolección selectiva por los servicios municipales de limpia, se basan en los datos de la Guía Práctica de Valorización de Residuos Sólidos en Municipios del Estado de México, que se componen de los costos de recolección de residuos sólidos urbanos proyectada a los 10 años, de 200 \$/Ton, y del costo adicional de los recipientes para la recolección selectiva, 200 \$/recipiente. El escenario 2 considera la recolección desde puntos de acopio determinados a un costo de 900 \$/Ton.

Los costos de separación/clasificación son adaptados del reporte de ERM, considerando la proporción del PIB per capita entre el Reino Unido y México, esto es de 1/6 a partir de un costo de operación de la planta de separación manual, de aproximadamente 1,400 \$/Ton.

Los costos de transporte al sitio de final-de-vida, ya sea reciclado o confinamiento, considera las distancias a los sitios establecidos y los costos promedio del Anexo E. Se determina que para trasladar 60,968 Ton de pilas usadas, se requieren 2,439 viajes de camiones de 25 Ton de carga.

Los costos de reciclado en plantas establecidas ex profeso son proyectados también desde el estudio de ERM, permaneciendo tal cual sin adaptar a México ya que la tecnología sería la misma. Estos costos resultan de aproximadamente 8,950 \$/Ton procesada. Se consideran sólo los costos de reciclado de las pilas alcalinas y de las de plomo-Zn, sin tomar en cuenta las otras pilas especiales y de botón. Se busca en los procesos sólo reciclar Cinc y manganeso. Mientras que los costos de reciclar en la empresa que trata residuos de cinc serán menores, 1,200 \$/Ton. Adicionalmente al costo de procesamiento se deben agregar los correspondientes al manejo de los residuos del proceso de reciclado, los cuales necesariamente estarán clasificados como peligrosos para en este caso enviarse a confinamiento. Finalmente, los costos del confinamiento especial son los de la construcción de las celdas donde se depositarán las pilas usadas.

En la Tabla 16 se presentan los resultados resumidos para los 10 escenarios más la línea base.

Tabla 16. Costos de los 10 escenarios de la etapa de final-de-vida y de la línea base, en millones de pesos

Escenario	Recolección	Separación	Transporte Final-de-Vida	Final-de-Vida	Confinamiento Residuos Peligrosos	Total
1 Municipal + Reciclado Hidrometalúrgico	19.54	87.20	23.20	545.60	8.78	684.32
2 Municipal + Reciclado Pirometalúrgico	19.54	87.20	23.20	545.60	10.68	686.22
3 Municipal + Reciclado Planta	19.54	87.20	34.10	73.16	7.32	221.32
4 Municipal + Confinamiento Especial	19.54	0	28.00	25.2	0	72.74
5 Municipal + Confinamiento en Minas	19.54	0	28.00	5.00	0	52.54
6 Acopio + Reciclado Hidrometalúrgico	54.87	87.20	23.20	545.60	8.78	719.65
7 Acopio + Reciclado Pirometalúrgico	54.87	87.20	23.20	545.60	10.68	721.55
8 Acopio + Reciclado Planta	54.87	87.20	34.10	73.16	7.32	256.65
9 Acopio + Confinamiento Especial	54.87	0	28.00	25.2	0	108.07
10 Acopio + Confinamiento en Minas	54.87	0	28.00	5.00	0	87.87
11 Municipal + Relleno Sanitario	0	0	12.19	5.46	0	17.65

Finalmente, los costos externos de los impactos ambientales, se estiman desde el estudio de ERM, considerándose el daño ambiental potencial asociado con la implementación de cada uno de los escenarios utilizando factores de costos ambientales por Tonelada de emisión contaminante. Los escenarios de reciclado en plantas, 1, 2, 3, 6, 7 y 8 tienen un costo de -168 millones de pesos, mientras que los escenarios de confinamiento, 4, 5, 9 y 10, así como la línea base tiene un valor de 9.50 millones de pesos.

7. CONCLUSIONES.

En los estudios previos, se concluye que en ninguno de los países como Japón, Reino Unido, Francia y Estados Unidos, se considera que las pilas desechadas sean clasificadas como un residuo peligroso aunque se sugiere el manejo de una forma particular. Se establece que el impacto ambiental y a la salud no compensa el trabajo e inversión requeridos para un tratamiento.

A partir del análisis químico de las pilas analizadas, aun cuando no fueron cubiertas todas las marcas de todos los tipos, pero si muestras suficientemente representativas, el mercurio determinado es menor de 5 mg/kg (partes por millón) en todos los tamaños y tipos, con excepción de algunas de las pilas recargables y de botón y especiales. Especial mención merece el contenido de mercurio encontrado en las pilas "informales" de tamaño AA, las cuales contienen un promedio de 321 mg/kg. Los contenidos de cadmio de la misma manera, en todos los casos presentan valores menores a 5 mg/kg. Las pruebas físicas de compresión de las pilas presentaron un valor promedio, antes de ceder, de 5 kg/cm².

El análisis del ciclo de vida de las pilas usadas muestra que hay un beneficio neto asociado con la implementación de cada uno de los escenarios estudiados, como en la mayoría de los procesos de reciclado, cuando se comparan con la línea base manejarlas como residuos sólidos municipales. En particular, los dos escenarios de reciclado pirometalúrgico y el de reciclado hidrometalúrgico con recolección municipal selectiva.

Los escenarios que incluyen reciclado presentan un beneficio neto de Riesgo por Toxicidad a Humanos, al compararse con la línea base, ya que substancias tóxicas dejan de depositarse con los residuos sólidos urbanos. Asimismo, los ahorros de CO₂ logrados en estos escenarios están entre 19 kg y 311 kg CO₂ por Ton de pilas. Mientras que en los escenarios de confinamiento los beneficios son menores en lo referente a toxicidad y hay un incremento en emisión de CO₂ de entre 248 kg y 413 kg CO₂ por Ton de pilas, debido a la recolección y transporte principalmente.

La Tabla 17 muestra los costos de tratamiento, y los ambientales y sociales que se han estimado para la implementación de cada escenario. El manejo bajo cualquiera de ellos resultará en un incremento significativo en los costos de manejo de las pilas usadas, con algunos ahorros en los costos financieros cuantificados para los aspectos ambientales y sociales.

Tabla 17 Costos financieros totales de la implementación de escenarios, en millones de pesos

Escenario	Costo de Manejo	Cobertura	Costo Ambiental y Social	Cobertura	Costo Total del escenario
1 Municipal + Reciclado Hidrometalúrgico	684.32	Costos de servicio de recolección, clasificación y reciclado. Costos de depósito en confinamiento de residuos peligrosos	-160.00	Efectos de NO _x , SO ₂ , emisiones de partículas, costos de carbono de cambio climático, agotamiento de recursos	524.32
2 Municipal + Reciclado Pirometalúrgico	686.22		-160.00		526.22
3 Municipal + Reciclado en Planta	221.32		-160.00		61.32
4 Municipal + Confinamiento Especial	72.74		9.50		82.24
5 Municipal + Confinamiento en Minas	52.54		9.50		62.24
6 Acopio + Reciclado Hidrometalúrgico	719.65		-160.00		559.65
7 Acopio + Reciclado Pirometalúrgico	721.55		-160.00		561.55
8 Acopio + Reciclado en Planta	256.65		-160.00		96.65
9 Acopio + Confinamiento Especial	108.07		9.50		118.20
10 Acopio + Confinamiento en Minas	87.87		9.50		97.20
11 Municipal + Relleno Sanitario	17.65		9.50		27.15

El estudio muestra que el costo financiero de reciclado y/o confinamiento controlado de las pilas usadas resulta significativamente alto con respecto al beneficio ambiental obtenido, que esencialmente lo es con respecto al agotamiento de recursos, cuando se compara con el desecho de las pilas con los residuos sólidos urbanos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Arnold, O., Ministerio de Ecología y de Desarrollo Sostenible de Francia, Efficiency of Battery Channel (Eficiencia del Canal de Baterías), 2004.

Environmental Resources Management, Analysis of the Environmental Impact and Financial Costs of a Possible New European Directive on Batteries (El análisis del Impacto Ambiental y los Costos Financieros de una Posible Nueva Directiva Europea sobre Baterías), 2000.

Environmental Resources Management, Battery Waste Management Life Cycle Assessment (Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de Pilas Usadas), 2006.

Institute for Risk Research, University of Waterloo, Assessing the Environmental Effects of Disposal Alternatives for Household Batteries (Evaluando los Efectos Ambientales de las Alternativas de Disposición Final para Pilas y Baterías Secas Domésticas), 1992.

F. McDougal *et al*, Gestión Integral de Residuos Sólidos: Inventariod e Ciclo de Vida, Procter & Gamble Industrial, S.C.A. 2004

NEMA National Electrical Manufacturers Association, The Declining Presence of Mercury in Batteries and Municipal Solid Waste (La Decreciente Presencia de Mercurio en Baterías y en Residuos Sólidos Municipales), 1996.

Román Moguel, Guillermo. Guía Práctica de Valorización de Residuos Sólidos en Municipios del Estado de México, Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y Gobierno del Estado de México, 2008. (En prensa).

D. Rondia & J.de Graeve, Environmental Risk Assessment of Zinc Arising from Disposal of Used Batteries with municipal Solid Wastes, (Evaluación del riesgo ambiental por zinc procedente de desechar pilas usadas junto con los residuos sólidos urbanos). (en Bélgica), 1992 (?)

Water Science and Sanitary Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Fukuoka University, Study Report on an Investigation of the Effect of Burying Used Alkaline Dry Batteries in the Soil (Reporte del estudio de los efectos al enterrar pilas alcalinas secas en el suelo),1995.

Anexo A. Inventario de Pilas para muestrear para análisis

	MARCA	TAMAÑO	VOLTAJE	TIPO	PRESENTACIÓN	PAQ	TOTAL DE PILAS
RAYOVAC	VARTA	C	1.5 V	ZINC/CARBON	PAQUETES C/10 PILAS	5	50
	VARTA	AA	1.5 V	ZINC/CARBON	PAQUETES C/48 PILAS	1	48
	VARTA	D	1.5 V	ZINC/CARBON	PAQUETES C/24 PILAS	2	48
	VARTA	AAA	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/10 BLISTERS C/2 PILAS	3	60
	RAYOVAC	C	1.5 V	ZINC/CARBON	PAQUETES C/24 PILAS	2	48
	RAYOVAC	AA	1.5 V	ZINC/CARBON	PAQUETES C/40 PILAS	1	40
	RAYOVAC	AA	1.5 V	ZINC/CARBON	DIRA C/12 PILAS	4	48
	RAYOVAC	D	1.5 V	ZINC/CARBON	PAQUETES C/24 PILAS	2	48
	AGUILA NEGRA	D	1.5 V	ZINC/CARBON	PAQUETES C/24 PILAS	2	48
	RAYOVAC	LINTERNA	6 V	ZINC/CARBON	CAJA C/4 PILAS	6	24
	VARTA	LINTERNA	6 V	ZINC/CARBON	CAJA C/16 PILAS	2	32
	VARTA	C	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	3	72
	VARTA	D	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	4	96
	RAYOVAC		9 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/1 PILA	4	48
	VARTA		9 V	ALCALINA	CAJA C/48 BLISTERS C/1 PILA	1	48
	VARTA	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/10 BLISTERS C/2 PILAS	3	60
	RAYOVAC	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	RAYOVAC			ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	2	96
SONY	SONY PLATINUM	D	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	SONY PLATINUM	C	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	SONY PLATINUM	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	1	24
	SONY PLATINUM	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	2	96
	SONY PLATINUM		9 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/1	4	48

				PILA		
--	--	--	--	------	--	--

	SONY STAMINA	D	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	SONY STAMINA	C	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	SONY STAMINA	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	SONY STAMINA	AA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	SONY	LR44-B1A	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/10 BLISTERS C/1 PILAS	5	50
	SONY	CR2032-B1A	3 V	LITIO	CAJA C/10 BLISTERS C/1 PILAS	5	50
	SONY	LR23A	12 V	ALCALINA	CAJA C/10 BLISTERS C/1 PILAS	5	50
	SONY	PR675-D6A	1.4 V	ZINC-AIRE	CAJA C/5 BLISTERS C/6 PILAS	8	240
	SONY	CR2025-B1A	3 V	LITIO	CAJA C/10 BLISTERS C/1 PILAS	5	50
	SONY WALKMAN AM3WM-B4A	AA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	SONY WALKMAN AM3WM-C4	AA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 PAQUETES C/4 PILAS	1	48
	SONY ZR6-B4	AA	1.5 V	OXIDO DE NICKEL	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	SONY LITHIUM PHOTO	CR123 A	3 V	LITIO	CAJA C/10 PILAS	1	10
	SONY LITHIUM PHOTO	CR 2	3 V	LITIO	CAJA C/10 PILAS	1	10
	SONY LITHIUM PHOTO	CR-P2	6 V	LITIO	CAJA C/10 PILAS	1	10
	SONY LITHIUM PHOTO	2CR5	6 V	LITIO	CAJA C/10 PILAS	1	10
	SONY R14/2 (N5)	C	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/2 PAQUETES C/10 PILAS	3	60
	SONY R20/1 (N5)	D	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/2 PAQUETES C/10 PILAS	3	60
	SONY		9 V	ZINC/CARBON	CAJA C/10 PILAS	5	50
	SONY	AA	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/4 PAQUETES C/12 PILAS	1	48
		D	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/2	2	48

SONY NEW ULTRA

PAQUETES C/12

				PILAS			
	SONY NEW ULTRA	C	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/2 PAQUETES C/12 PILAS	2	48

	SONY NEW ULTRA	AAA	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/4 PAQUETES C/12 PILAS	1	48
	SONY 6AM6-B1A		9 V	ALCALINA	CAJA C/48 PILAS	1	48
AMPLIFIER	ENERGIZER	D	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	EVEREADY		9 V	ZINC/CARBON	CAJA C/18 BLISTERS C/1 PILAS	2 + 1 C/14	50
	ENERGIZER		9 V	ALCALINA	CAJA C/48 PILAS	1	48
	ENERGIZER	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	ENERGIZER	C	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/6 BLISTERS C/2 PILAS	4	48
	ENERGIZER	AA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	ENERGIZER	AA	1.5 V	NiMH RECARGABLE	CAJA C/6 BLISTERS C/4 PILAS	2	48
	ENERGIZER	AAA	1.5 V	NiMH RECARGABLE	CAJA C/6 BLISTERS C/4 PILAS	2	48
	ENERGIZER	AC675	1.4 V	AIRE-ZINC	CAJA C/8 BLISTERS C/6 PILAS	1	48
	ENERGIZER	AC13	1.4 V	AIRE-ZINC	CAJA C/8 BLISTERS C/6 PILAS	1	48
	ENERGIZER	AC312	1.4 V	AIRE-ZINC	CAJA C/8 BLISTERS C/6 PILAS		48
	ENERGIZER	AC10	1.4 V	AIRE-ZINC	CAJA C/8 BLISTERS C/6 PILAS	1	48
	EVEREADY	AA	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	EVEREADY	D	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	EVEREADY	AAA	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	EVEREADY	C	1.5 V	ZINC/CARBON	CAJA C/12 BLISTERS C/2 PILAS	2	48
	ENERGIZER	AAA	1.5 V	LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/2 PILAS	4	48

TITANIUM	ENERGIZER	AA	1.5 V	LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/2 PILAS	4	48
	ENERGIZER	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48

	EVEREADY	AA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
MINIATURA	EVEREADY	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	EVEREADY	LINTERNA	6 V	ZINC/CARBON	CAJA C/12 PILAS	4	48
	DURACEL	DL2025BPL	3 V	LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	3	18
	DURACEL	DL123BPL	3 V	LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	3	18
	DURACEL	MN21BPL	12 V	ALCALINA	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	3	18
	DURACEL	LINTERNA	6 V	ALCALINA	CAJA C/6 PILAS	3	18
	ENERGIZER	A23		ALCALINA	CAJA C/6 BLISTERS C/2 PILAS	4 + 2 BLIST.	50
	ENERGIZER	A76 (BOTON)		ALCALINA	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	6 + 2 BLIST.	50
	ENERGIZER	ECR202S (BOTON)		LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	8 + 2 BLIST.	50
	ENERGIZER	CR2		LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	8 + 2 BLIST.	50
	EVEREADY	AA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
MINIATURA	EVEREADY	AAA	1.5 V	ALCALINA	CAJA C/12 BLISTERS C/4 PILAS	1	48
	EVEREADY	LINTERNA	6 V	ZINC/CARBON	CAJA C/12 PILAS	4	48
	DURACEL	DL2025BPL	3 V	LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	3	18
	DURACEL	DL123BPL	3 V	LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	3	18
	DURACEL	MN21BPL	12 V	ALCALINA	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	3	18
	DURACEL	LINTERNA	6 V	ALCALINA	CAJA C/6 PILAS	3	18
	ENERGIZER	A23		ALCALINA	CAJA C/6 BLISTERS C/2 PILAS	4 + 2 BLIST.	50
	ENERGIZER	A76 (BOTON)		ALCALINA	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	6 + 2 BLIST.	50
	ENERGIZER	ECR202S (BOTON)		LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	8 + 2 BLIST.	50
	ENERGIZER	CR2		LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	8 + 2 BLIST.	50
FOTO	ENERGIZER	2CRS-1		LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	8	48
	ENERGIZER	ECR2032		LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	8 + 2 BLIST.	50
FOTO	ENERGIZER	123-1		LITIO	CAJA C/6 BLISTERS C/1 PILAS	8	48

Anexo B. Certificado de Acreditación de Laboratorio de la ESIQIE-IPN



entidad mexicana de acreditación a.c.

ACREDITA
A

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA,
QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS.
LABORATORIO DE ANÁLISIS METALÚRGICOS.**

UNIDAD PROFESIONAL ADOLFO LÓPEZ MATEOS EDIFICIO 7,
COL. ZACATENCO, C.P. 07738, MÉXICO, D.F.

Como Laboratorio de Ensayos de acuerdo a los
Requisitos establecidos en la Norma
ISO/IEC 17025:2005 para las actividades de
evaluación de la conformidad en la rama:

QUÍMICA*

El cumplimiento de los requisitos de la Norma ISO/IEC 17025:2005 por parte de un laboratorio significa que el laboratorio cumple tanto los requisitos de competencia técnica como los requisitos del sistema de gestión necesarios para que pueda entregar de forma consistente resultados de ensayos y calibraciones técnicamente válidas. Los requisitos del sistema de gestión de la Norma ISO/IEC 17025:2005 (sección 4) están escritos en un lenguaje que corresponde con las operaciones de un laboratorio y satisfacen los principios de la Norma ISO 9001:2000 "Sistemas de Gestión de la Calidad- Requisitos" y además son afines a sus requisitos pertinentes."

Acreditación No: Q-0002-001/07

Vigencia: 2007-01-17 al 2011-01-17*

MARÍA CRISTINA AVILÉS ALCÁNTARA
Presidenta del Comité de Evaluación de
Laboratorios de Ensayo de ema, a.c.

MARÍA ISABEL LÓPEZ MARTÍNEZ
Directora Ejecutiva de ema, a.c.

*El presente documento no tiene validez sin su anexo técnico correspondiente *06LP0072



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO



Anexo C. Reporte de Análisis de Laboratorio

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DE METALES PESADOS PRACTICADO A MUESTRAS DE PILAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

REPORTE FINAL

28 de Octubre de 2008



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO



CONTENIDO

Determinación de Mercurio (Hg), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni) y Litio (Li).

PAGINA

3

Aparatos	3
Reactivos	4
Técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica	
Preparación de estándares	5
Preparación de la Muestra	8
Cálculos	8
Resultados Pilas Tamaño AA	10
Resultados Pilas Tamaño AA	10
Resultados Pilas "Pirata" Tamaño AA	10
Resultados Pilas Tamaño D	11
Resultados Pilas especiales (Miniatura)	12
Resultados Pilas especiales (Botón)	13
Resultados Pilas Linterna	13
Resultados Pilas Tamaño AAA	14
Resultados Pilas Tamaño C	15



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO



LABORATORIO DE ANALISIS METALURGICOS

El Laboratorio de Análisis Metalúrgicos esta ubicado a la altura del edificio Z-6 de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos dentro de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional.

El Laboratorio forma parte de la infraestructura operativa en materia de Ensayos Químicos, prestando servicio interno a investigadores, docentes y alumnos así como servicio externo a la Industria Minero Metalúrgica.

Como Laboratorio de ensayos químicos este, se encuentra actualmente acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. cumpliendo con los requisitos de competencia técnica y requisitos del sistema de gestión necesarios para entregar de forma consistente resultados de ensayos y calibraciones técnicamente válidas.

Acreditación No: Q-0002-001/07.

Vigencia: 2007-01-17 al 2011-01-17.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

Determinación de Mercurio (Hg), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), Zinc (Zn), Manganese (Mn), Níquel (Ni) y Litio (Li).

La celda se abre con pinzas de corte. La celda abierta, sin la etiqueta, es disuelta en ácido nítrico, adicionando peróxido de hidrógeno por goleo. La muestra es diluida en un volumen en específico, mezclada minuciosamente y luego filtrada. Una parte alícuota de lo filtrado es tomada para la determinación de cadmio y plomo por Absorción Atómica (AA), Espectrofotometría mediante una flama de aire acetileno.

Las longitudes de onda recomendadas son:

Instrumento	Elementos	Longitud de onda en nm
EAA	Pb	217
EAA	Cd	228.8
EAA	Hg	253.7
EAA	Mn	279.5
EAA	Zn	231.9
EAA	Ni	232

1.- APARATOS

- I. Espectrofotometría de Absorción Atómica, (EAA).
- II. Matraces volumétricos 2L, 1L, 500 ml, 250 ml, 100 ml y 5 ml.
- III. Matraces Erlenmeyer, 3L, 2L, 1L, 500 ml y 100 ml.
- IV. Filtro Büchner de vacío o su equivalente.
- V. Filtro de papel, Watman No. 50 o su equivalente.
- VI. Pipetas volumétricas, 10 ml, 20 ml, 25 ml y 50 ml.
- VII. Micropipetas, 10 µl, 50 µl, 250 µl, 500 µl y 1000 µl.
- VIII. Botellas BOD de 300 ml.
- XI. Microondas cerrada del recipiente.
- IX. Recipientes de digestión de microonda.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO



X. Vasos de precipitados, 2 L, 1 L y 500 ml.

2.- REACTIVOS

I. Ácido Nítrico concentrado (HNO_3).

II. Ácido Nítrico al 20%.

III. Peróxido de hidrógeno al 30% (H_2O_2).

IV. Solución estándar de cadmio de 1000 mg/l.

V. Solución estándar de plomo de 1000 mg/l.

VI. Solución estándar de mercurio de 1000 mg/l.

VII. Ácido sulfúrico al 50% (H_2SO_4).

VIII. Ácido nítrico al 35% (HNO_3).

IX. Solución de cloruro de estaño al 10%.

X. Solución de sulfato de hidroxilamina ($2\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$)

XI. Solución de permanganato de potasio al 5% (KMnO_4).

XII. Solución estándar de mercurio preparada para trabajar con solución estándar de 1 mg/l.

XIII. Polvo de zinc de pureza elevada.

XIV. Polvo de dióxido de manganeso de pureza elevada (MnO_2).

XV. Gránulos de hidróxido de potasio (KOH).



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

3.- TÉCNICA DE ESPECTROSCOPÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

La absorción atómica es una técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos del sistema periódico. Sus campos de aplicación son, por tanto, muy diversos. Este método se puede aplicar para la determinación de ciertos metales, como antimonio, cadmio, mercurio, oro, plomo, níquel, entre otros. Se emplea en el análisis de aguas, análisis de suelos, bioquímica, toxicología, medicina, industria farmacéutica, petroquímica.

Este método consiste en la determinación de especies atómicas por su absorción a una longitud de onda en particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, siendo los distintos procedimientos utilizados para llegar al estado fundamental del átomo lo que diferencia las técnicas y los accesorios utilizados. La técnica de atomización más utilizada es la técnica de absorción con flama o llama, que nebuliza la muestra y luego la disemina en forma de aerosol dentro de una llama de aire-acetileno.

4.- PREPARACIÓN DE SOLUCIONES PATRON (SOLUCIONES ESTANDAR).

Las pilas son consistentes de metales tales como hierro (carcasa), zinc, manganeso. Para la determinación de Mercurio, Plomo y Cadmio es indispensable preparar una solución matriz que funja como blanco a fin de evitar interferencias en la determinación de Mercurio, Plomo y Cadmio, el procedimiento de preparación es mencionado a continuación.

4.1. Preparación de la Matriz para Cadmio, Plomo y Mercurio para Análisis por AAE

- i. Pesar 20 gr. de polvo de zinc, 40 gr. de MnO_2 y 6 gr. de KOH dentro de un vaso precipitado de 2 L. Nota: Los materiales de la matriz deberán estar libres de Hg, Cd y Pb o con concentración de Hg, Cd y Pb para corregir la concentración estándar.
- ii. 500 ml de agua desionizada fueron agregados mas 400 ml de HNO_3 .
- iii. Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) adicionado a la. (No burbujejar sobre el H_2O_2 añadido). La solución matriz fue calentada en un plato caliente a fin de disolver.
- iv. La solución matriz fría fue vaciada en un frasco volumétrico 2L .

4.2 Soluciones estándar para Plomo, Cadmio, Mercurio, Zinc, Manganeso y Niquel para análisis por EAA.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

Toda determinación espectroscópica, tal como la absorción atómica requiere de la preparación de soluciones estándar.

En matraces volumétricos de 100 *ml*, por separado agregue 25 *ml* de la solución matriz, para determinar Hg, Pb y Cd (Únicamente). Preparar las soluciones patrón a partir de soluciones estándar de 1000 ppm para cada uno de los elementos de la Tabla 1.

Tabla. 1. Soluciones Patrón

Concentración de las soluciones patrón por EAA					
Hg mg/l	Pb mg/l	Cd mg/l	Zn mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l
0	0	0	0	0	0
1	1	0.1	0.2	0.5	0.5
5	5	0.25	0.4	1.0	1.0
15	10	0.5	0.6	1.25	1.5
25	12	0.75	0.8	1.5	1.8
50	15	1.0	1.0	2.0	2.0
100	20				

4.3 Calibración del Equipo de Espectroscopia de Absorción Atómica.

Cada elemento tiene asociada una absorción a una longitud de onda característica, la luz absorbida por cada elemento es linealmente dependiente de la concentración, cada solución patrón que ha sido preparada debe tener una respuesta de absorbancia y con ello se elabora una recta de calibración de Absorbancia en función de la concentración, la muestra problema i.e. la solución de lixiviación de la pila debe tener una lectura de absorbancia ubicada dentro del intervalo de concentraciones con las que se ha construido la recta de calibración.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

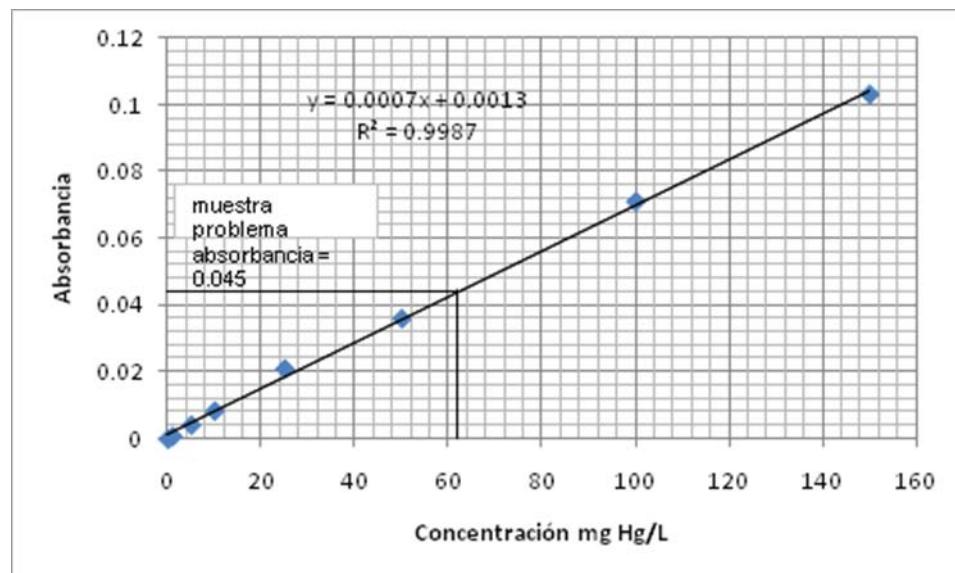
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO



4.3.1 Ejemplo. Determinación de Hg.

CURVA DE CALIBRACION



Pila Energizer Miniatura A23 alcalina (8 Pilas Botón), su solución de disolución proporciona una absorbancia igual a 0.045, Calcular la concentración en mg de mercurio por litro. (mg/L).

Formula

$$X = (y - 0.0013)/0.0007$$

$$X = 62.42 \text{ mg/L}$$

Calculo de porciento peso (%W)

Formula

$$\%W = \frac{\text{ppm} \times V_1 \times V_2}{\text{peso} \times \text{alto}_1 \times 10000}$$

$$\%W = (62.42 \times 500)/(6.106 \times 10000) = 0.511 = 5112.06 \text{ mg/Kg}$$



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1 Pesar la celda y registro del peso total de cada una de ellas.

5.2 Abrir las celdas con unas pinzas de corte, en caso de derrame de electrolitos hágalo dentro de una bolsa de plástico. Remueva la terminal negativa del conductor. Con la ayuda de pinzas, remueva el papel separador que contiene el ánodo de la celda. Con cuidado y completamente, raspe del separador todo el material lechado del ánodo, ponga este dentro de un tubo de centrifugado. Centrifugue el lechado del ánodo para separar el gelante del zinc. Transfiera la porción de gelante en recipientes para microondas. Transfiera el componente remante de la celda (lata, cátodo, electrolito, separador, conductor incluyendo el ojal de plástico, etc.) y la porción de Zinc en un matraz Erlenmeyer (use un frasco 3L para celdas de tamaño D, 2L para celdas de tamaño C, 1L para celdas tamaño AA y 500 ml para tamaño AAA). Asimile el gelante después del paso (vi). Asimile los componentes de la celda remanente de los pasos (iii) o (iv).

5.3 Para los análisis AA agregue ácido nítrico y agua de acuerdo con la tabla 2 que se encuentra abajo:

TABLA 2

Tamaño de celda	H ₂ O (ml)	HNO ₃ (ml)	Volumen final (V) (ml)
D	400	400	2000
C	400	200	1000
AA	200	100	500
AAA	100	50	250

6.- CALCULOS

La unidad de concentración determinada por el equipo de absorción atómica (EAA) es mg/L para cada elemento determinado, la conversión de mg/L a porcentaje peso (%W) se efectúa vía el siguiente cálculo:

$$\%W = \frac{ppm \times V_1 \times V_2}{peso \times alic_1 \times 10000}$$

Donde:

ppm; partes por millón (V) o mg/L, determinados por EAA.

V₁ = Volumen 1 de dilución en ml.

V₂ = Volumen 2 de dilución en ml (si es necesario).

alic. 1= alícuota 1 en ml (si es necesario).



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

peso; peso de la pila sometido a lixiviación en gramos.

La conversión de %W a la unidad de concentración mg/g de pila, se efectúa utilizando el factor:

$$1\%W = 10\text{mg/g} \text{ o bien } 1\%W = 10000 \text{ mg/Kg}.$$

7. RESULTADOS.

7.1. PILAS TAMAÑO AA

Pila	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	mg/kg		
						Cd	Hg	Peso/g
Varta Alcalina		269,419			104	0.39	N.D.	23.362
Varta Alcalina		258,890			96	N.D.	N.D.	22.136
Eveready Alcalina		606,207			17	1.54	N.D.	18.124
Eveready Alcalina		587,760			23	N.D.	N.D.	18.142
Rayovac Alcalina		524,246			90	N.D.	N.D.	22.987
Rayovac Alcalina		127,700			83	N.D.	N.D.	23.81
Rayovac Zn-C		82,898			30	N.D.	N.D.	16.529
Rayovac Zn-C		68,303			29	N.D.	N.D.	16.334
Sony Alcalina		411,756			8.00	N.D.	N.D.	22.98
Sony Alcalina		369,888			8.00	N.D.	N.D.	22.98
Energizer Litio			17430		0.6117	N.D.	1.90	14.46
Energizer Litio			17150		0.4700	N.D.	1.90	14.46



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

7.2. PILAS TAMAÑO AA

PILA	mg/Kg							
	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg	Peso/g
Duracell Alcalina AA					5.75	1.49	N.D.	24.280
Duracell Alcalina AA					6.01	1.57	N.D.	24.317
Eveready	159.26	70879.12			566.63	N.D.	N.D.	18.094
Eveready	151.60	66883.98			578.33	N.D.	N.D.	18.065
Sony Plus	155.47	44620.43			19.76	N.D.	N.D.	22.75
Sony Plus	153.63	43896.56			19.76	N.D.	N.D.	22.75
Sony	164.69	44280.30			20.98	N.D.	N.D.	22.99
Sony	162.00	41785.16			21.74	N.D.	N.D.	22.96
Energizer	96.37	24621.47			20.92	N.D.	N.D.	23.69
Energizer	97.71	25561.31			20.85	N.D.	N.D.	23.69

7.3. PILAS “INFORMALES” TAMAÑO AA.

	mg/kg							
	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg	Peso/g
Megatec		260,129.54			8.58	4.10	367.51	13.278
Rocket		301,038.06			N.D.	2.75	260.61	14.450
Tectron		227,155.00			N.D.	5.45	337.11	12.388



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

7.4. PILAS TAMAÑO D.

Pila	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg	Peso/g
Rayovac D		17564.20			0.07	0.01	1.37	141.617
Rayovac D		17653.75			0.08	0.01	1.42	141.624
Rayovac Mn	590380.36	188616.00			1.72	3.76	2.84	86.525
Rayovac Mn	59113.45	185432.10					2.98	86.520
Varta Alcalina	18354.53	145707.38			0.03	0.0070	0.74	140.350
Sony Alcalina : Azul		141345.8			0.03	0.0027	N.D.	127.736
Sony Alcalina : Azul		141256.61			0.09	0.0069	N.D.	127.778
Sony Zn-C Color : Rojo		144043.44			0.28	1.16	5.39	75.589
Sony Zn-C Color : Rojo		145311.32			0.34	1.18	3.33	75.624
Sony Zn-C, Color Gris	16234.65	164652.23			1.28	2.34	N.D.	75.653
Sony Zn-C, Color Gris	162025.48	164652.23			1.36	2.00	N.D.	99.118
Energizer Alcalina					0.02	0.0024	0.29	148.115
Energizer Alcalina					0.02	0.0027	0.27	148.115
Eveready Zn-C	354133.82	170961.46			1.66	1.77	2.89	97.451
Eveready Zn-C	354133.82	170961.46			1.26	1.79	1.97	97.133
Varta Long Life		16987.67			0.26	0.03	N.D.	84.804
Varta Long Life		16995.56			0.57	0.05	2.00	84.808
Águila Negra					0.44	0.06	1.81	85.464
Águila Negra					0.39	0.06	0.54	85.458
Duracell	5862.00	178000.00			2.33	N.D.	N.D.	140.15
Duracell	5798.00	182000.00			2.33	N.D.	N.D.	140.23



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

7.5. PILAS ESPECIALES

	mg/Kg							
	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg	Peso/g
Pila Energizer Foto CR2 Litio			20940		0.4807	N.D.	3.27	10.744
Pila Energizer Foto CR2 Litio			20610		0.4741	N.D.	4.74	10.693
Pila Energizer Miniatura A23 alcalina (8 Pilas Botón)					1.3479	N.D.	52.88	6.106
Pila Energizer Miniatura A23 alcalina (8 Pilas Botón)					1.2358	N.D.	50.71	6.061
Pila Duracell Miniatura MN71PPL Alcalina (8 Pilas Botón LR932)					1.1243	N.D.	37.06	6.195
Pila Duracell Miniatura MN71PPL Alcalina (8 Pilas Botón LR932)					1.1481	N.D.	39.67	6.18
Pila Duracell fotográfica DL123BPL Litio			14910		0.3991	0.0200	7.35	17.237
Pila Duracell fotográfica DL123BPL Litio			15030		0.3336	0.0049	2.03	17.312

7.6. PILAS ESPECIALES.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

Pila	mg/kg							
	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg	Peso/g
Pila Botón Sony LR44 Alcalina					1.61	1.91	59.95	1.9133
Pila Botón Sony LR44 Alcalina					0.80	1.90	48.74	1.9046
Pila Botón Energizer amplifier AC13 Aire-Cinc					3.45	0.08	37.92	0.8005
Pila Botón Energizer amplifier AC13 Aire-Cinc					2.86	0.25	140.52	0.7998
Pila Botón Sony PR312 Alcalina					4.31	0.11	11.66	0.5065
Pila Botón Sony PR312 Alcalina					3.29	0.40	142.89	0.5042
Pila Botón Energizer A76 Alcalina					1.41	0.06	30.47	1.8988
Pila Botón Energizer A76 Alcalina					1.00	0.11	42.76	1.8566
Pila Botón Sony CR2030 Li			17720		0.65	0.059	N.D.	3.1792
Pila Botón Sony CR2030 Li			17730		0.7	0.040	N.D.	3.1940

7.7. PILAS LINTERNA.

Pila	mg/kg							
	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg	Peso/g
Duracell					2.54	N.D.	N.D.	140.24
Duracell					2.54	N.D.	N.D.	140.21

7.8. PILAS “AAA”.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

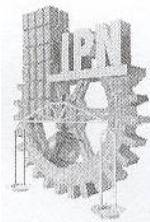
LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO

PILA	mg/Kg							Peso/g
	Mn	Zn	Li	Ni	Pb	Cd	Hg	
Duracell	323.62	595470.00			35.79	N.D.	N.D.	10.938
Duracell					32.00	N.D.	N.D.	11.152
Sony Plus	277.54	340460.00			33.85	N.D.	N.D.	11.442
Sony Plus					29.58	N.D.	N.D.	11.55
Eveready Gold	357.30	47163.00			35.55	N.D.	N.D.	11.736
Eveready Gold					37.47	N.D.	N.D.	11.665
Energizer	470.47	11600.00			0.035	N.D.	N.D.	11.883
Varta					42.41	N.D.	N.D.	11.348

7.9. PILAS TAMAÑO "C".

PILA	mg/kg					
	Mn	Zn	Pb	Cd	Hg	Peso/g
Varta	14124.3	208884.9	6.71	N.D.	N.D.	42.3
Eveready	10668.4	214063.4	3.48	N.D.	N.D.	49.3
Eveready	13708.4	216788.3	4.13	N.D.	N.D.	49.7
RayoVac	10516.3	217208.4	6.25	N.D.	N.D.	43.3
RayoVac	10754.2	215672.2	5.95	N.D.	N.D.	42.8
Eveready	11170.5	211021.3	5.11	N.D.	N.D.	49.25
Sony New Ultra	8699.2	196379.9	5.45	N.D.	N.D.	46.6
RayoVac	1654.1	125939.9	27.82	N.D.	N.D.	70.618
Sony Plus	33601.8	107393.6	4.02	N.D.	N.D.	65.331
Sony Plus	40252.0	188351.9	4.42	N.D.	N.D.	64.43
Varta	47728.1	22346.4	21.65	N.D.	N.D.	69.91
Varta	45530.2	29250.5	28.88	N.D.	N.D.	70.338
Energizer	44493.0	105669.6	5.36	N.D.	N.D.	68.00
Energizer	36513.0	60120.2	5.44	N.D.	N.D.	68.567
RayoVac	6500.9	29668.4	21.88	N.D.	N.D.	70.555
RayoVac	6599.3	18518.5	24.27	N.D.	N.D.	70.541

Agradeciendo la atención puesta al presente reporte, quedamos de usted para cualquier duda o aclaración

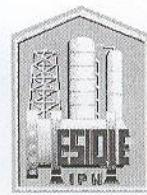


INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

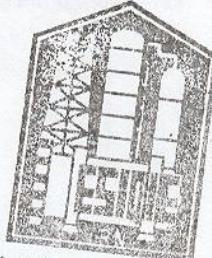
LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO



Agradeciendo la atención puesta al presente reporte, quedamos de usted para cualquier duda o aclaración

P.A. *Angel Elias*

M. en C. Ángel de Jesús Morales Ramírez
Jefe del Laboratorio de Análisis Metalúrgicos



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA
QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS
DEPTO. DE INGENIERIA
METALURGICA

Angel Elias
Dr. Elias Rangel Salinas
Ejecución de Análisis

FIN DEL INFORME

Prohibida la reproducción del presente informe sin el consentimiento del Laboratorio
Los resultados aquí mostrados solo amparan a las muestras recibidas por lo que el uso de los mismos para otros sistemas es responsabilidad del cliente.

Anexo D. Distancias y Costos de Transporte de Carga entre las Principales Poblaciones de los Estados y sus Capitales Respectivas

Estado	Ciudad/Municipio *	Distancia a Capital/Municipio (km)	Costo Promedio \$
Aguascalientes	Aguascalientes	0.000	0.00
	Asientos	59.000	800.63
	Calvillo	44.000	597.08
	Cosío	56.000	759.92
	Jesús María	11.000	149.27
	Pabellón de Arteaga	31.000	420.67
	Rincón de Romos	39.000	529.23
	San Francisco de los Romo	21.000	284.97
	Tepezalá	49.000	664.93
Baja California	Ensenada	281.280	4,171.38
	Mexicali	0.000	0.00
	Rosarito	210.570	3,122.75
	Tecate	62.100	920.94
	Tijuana	29.250	433.78
Baja California Sur	Loreto	357.000	5,294.31
	Mulegé	491.000	7,281.53
	Cabo San Lucas	154.000	2,089.78
	La Paz	0.000	0.00
Campeche	Campeche	0.000	0.00
	Calkiní	83.000	1,181.09
	Candelaria	207.500	3,141.55
	Escárcega	144.500	2,187.73
	Cd. Del Carmen	207.500	3,141.55
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	0.000	0.00
	Tapachula	383.500	7,083.25
	San Cristóbal de las Casas	68.000	1,255.96
	Chiapa de Corzo	22.000	406.34
	Comitán de Domínguez	139.000	2,567.33
	Ocosingo	156.000	2,516.28
Chihuahua	Chihuahua	0.000	0.00
	Delicias	85.000	1,153.45
	Cuauhtémoc	104.000	1,411.28
	Hidalgo del Parral	222.000	3,012.54
	Cd. Juárez	351.500	4,769.86
Coahuila	Saltillo	0.000	2,990.00
	Monclova	191.000	2,990.00
	Matamoros	251.000	2,990.00
	Sabinas	287.000	2,990.00
	Piedras Negras	418.000	2,990.00
	Torreón	278.000	2,990.00

Colima	Colima	0.000	0.00
	Cuauhtémoc	19.000	185.06
	Comala	11.000	107.14
	Manzanillo	89.000	866.86
Durango	Gómez Palacio	238.230	3,232.78
	Durango	0.000	0.00
Guanajuato	Guanajuato	0.000	0.00
	Dolores Hidalgo	53.000	516.22
	San Miguel de Allende	97.000	944.78
	Silao	25.000	243.50
	León	65.000	633.10
	Irapuato	47.000	457.78
	Acámbaro	166.050	1,617.33
	Salamanca	68.000	662.32
	Pénjamo	108.000	1,051.92
	Celaya	105.750	1,030.01
Guerrero	Chilpancingo	0.000	0.00
	Iguala	137.960	2,383.95
	Acapulco	103.620	1,790.55
	Atoyac de Álvarez	198.620	3,432.15
	Chilapa de Álvarez	54.000	933.12
	Zihuatanejo	344.990	5,961.43
Hidalgo	Pachuca	0.000	0.00
	Tulancingo	49.000	366.03
	Cd. Sahagún	49.000	366.03
	Tula de Allende	93.000	694.71
Jalisco	Guadalajara	0.000	0.00
	Lagos de Moreno	180.500	3,570.29
	San Juan de los Lagos	146.400	2,895.79
	Tequila	66.700	1,319.33
	Tepatitlán de Morelos	80.510	1,780.08
	Puerto Vallarta	334.500	7,395.80
	Zapopan	9.000	178.02
Estado de México	Toluca	0.000	0.00
Michoacán	Morelia	0.000	0.00
	La Piedad	165.890	2,251.13
	Uruapan	105.500	1,431.64
	Lázaro Cárdenas	357.000	4,844.49
	Apatzingán	197.500	2,680.08
	Zitácuaro	152.000	2,062.64
	Pátzcuaro	53.000	719.21
Morelos	Jojutla	39.800	687.74
	Cuautla	43.000	743.04
	Xochitepec	18.070	312.25

	Cuernavaca	0.000	0.00
Nayarit	Tepic	0.000	0.00
Nuevo León	Monterrey	0.000	0.00
	Apodaca	14.000	104.58
	Linares	138.000	1,344.12
Oaxaca	Oaxaca	0.000	0.00
	Salina Cruz	281.210	4,859.31
	Huatulco	412.200	7,122.82
	Puerto Escondido	261.000	4,510.08
Puebla	Atlixco	30.000	292.20
	Huauchinango	168.500	1,641.19
	San Martín Texmelucan	39.000	379.86
	San Pedro Cholula	19.000	185.06
	Tehuacán	131.370	1,279.54
	Zacatlán	122.000	1,188.28
	Puebla	0.000	0.00
Querétaro	Querétaro	0.000	0.00
	Tequisquiapan	71.000	1,746.60
	San Juan del Río	51.000	1,254.60
Quintana Roo	Chetumal	0.000	0.00
	Cancún	396.000	5,635.08
	Felipe Carrillo Puerto	156.000	2,361.84
San Luis Potosí	San Luís Potosí	0.000	0.00
	Ciudad Valles	297.000	2,892.78
	Matehuala	192.000	1,434.24
	Rioverde	173.000	1,685.02
	Tamazunchale	403.000	3,925.22
Sinaloa	Mazatlán	224.500	3,046.47
	Los Mochis	221.800	3,289.29
	Rosario	300.800	4,081.86
	Culiacán	0.000	0.00
	Navolato	33.000	447.81
	Ahome	243.800	3,615.55
	Guasave	163.800	2,429.15
Sonora	Cananea	291.300	4,319.98
	Cd. Obregón	258.210	3,503.91
	Hermosillo	0.000	0.00
	Navojoa	318.000	4,315.26
	Guaymas	130.000	1,927.90
	Nogales	288.800	4,282.90
Tabasco	Villa Hermosa	0.000	0.00
Tamaulipas	Nuevo Laredo	823.580	8,021.67
	Tampico	0.000	0.00
	Matamoros	508.480	4,952.60

	Reynosa	516.480	5,030.52
	Ciudad Victoria	277.480	2,702.66
Tlaxcala	Tlaxcala	0.000	0.00
	Apizaco	20.000	629.00
Veracruz	Xalapa	0.000	0.00
	Poza Rica	183.000	5,755.35
	Coatzacoalcos	413.970	13,333.97
	Veracruz	101.970	3,206.96
	Minatitlán	391.970	12,625.35
	Córdoba	174.500	5,488.03
	Orizaba	179.180	5,635.21
Yucatán	Mérida	0.000	0.00
	Valladolid	163.000	2,319.49
Zacatecas	Zacatecas	0.000	0.00
	Fresnillo	58.900	799.27

Fuentes:

- SCT http://aplicaciones4.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta
- Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Norma Oficial para transportes <http://www.dof.gob.mx>
- Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2006. Publicación Técnica No. 282. Sanfandila, Querétaro, 2006
José Antonio Arroyo Osorno y Roberto Aguerrebere Salido
- INEGI. Censo de Población y Vivienda 2005
<http://www.sedesol.gob.mx/index/index.php>

Anexo E. Distancias y Costos entre Ciudades de México

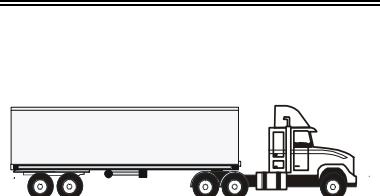
Estado	Distancia a:	Torreón (km)	Costo Promedio (\$)	Monterrey (km)	Costo Promedio (\$)	León (km)	Costo Promedio (\$)	San Luis Potosí (km)	Costo Promedio (\$)
Aguascalientes	Aguascalientes	509.060	6,908	693.960	1,985	117.850	1,748	205.000	1,740
Baja California	Tijuana	1,889.320	28,019	2,215.320	4,563	2,453.000	36,378	2445.340	36,264
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	1,820.630	27,035	1,724.530	25,730	1,214.320	18,807	1,235.570	19,095
Chihuahua	Chihuahua	469.900	6,969	795.900	11,803	1,067.770	15,835	1,025.920	15,214
	Cd. Juárez	821.400	12,181	1,147.400	17,016	1,419.270	21,048	1,377.420	20,427
Coahuila	Saltillo	278.000	4,395	70.000	837	620.970	4,639	451.200	5,392
	La Laguna (del Rey)	193.000	3,051	489.000	7,252	819.880	12,159	778.030	11,538
	Monclova - Frontera	304.000	4,806	217.000	2,593	795.960	5,946	626.200	7,483
	Piedras Negras	531.000	8,395	417.100	4,983	1,022.960	12,224	893.300	10,675
Colima	Tecomán	973.410	10,261	1,083.460	9,199	444.500	3,774	594.500	5,047
	Colima - Villa de Álvarez	941.410	9,989	1,051.460	8,927	416.500	3,536	562.500	4,776
Distrito Federal	Distrito Federal	994.060	9,214	897.960	8,746	387.750	5,262	409.000	3,542
Guanajuato	San Francisco del Rincón	634.910	8,616	695.900	6,778	20.000	311	206.940	2,808
	Moreoleón - Uriangato	782.100	10,613	751.210	7,317	150.250	2,333	262.250	3,559
	León	626.910	8,507	670.960	9,240	0.000	0	182.000	2,495
Guerrero	Acapulco	1,390.720	19,622	1,269.090	10,990	758.870	17,502	780.120	6,756
Hidalgo	Pachuca	1,011.030	13,720	914.930	8,911	404.720	5,492	425.970	3,689
	Tula	919.210	12,474	823.110	8,017	312.900	4,246	334.150	4,534
	Tulancingo	1,065.860	14,464	969.760	9,445	459.500	6,235	480.800	4,164
Jalisco	Guadalajara	748.410	8,940	858.460	7,288	219.500	1,864	369.500	3,137
	Ocotlán	771.610	9,137	881.660	7,485	242.700	2,061	392.700	3,334
	Puerto Vallarta	1,077.910	11,738	1,187.960	10,086	549.000	4,661	699.000	5,935
Estado de México	Toluca	969.560	13,157	873.460	8,508	380.570	5,164	384.500	5,550

Estado	Distancia a:	Torreón (km)	Costo Promedio (\$)	Monterrey (km)	Costo Promedio (\$)	León (km)	Costo Promedio (\$)	San Luis Potosí (km)	Costo Promedio (\$)
Michoacán	La Piedad	721.910	8,715	770.960	6,545	170.000	2,640	282.000	2,394
	Jacona - Zamora	780.910	13,538	829.960	7,046	229.000	3,556	341.000	2,895
	Morelia	834.100	9,668	803.210	6,819	202.250	7,419	314.250	2,895
Morelos	Cuautla	1,084.030	28,200	987.930	9,622	477.720	6,483	498.970	6,771
	Cuernavaca	1,073.600	28,058	977.510	9,521	467.290	6,341	488.540	6,629
Nayarit	Tepic	787.490	10,686	1,060.080	9,000	421.120	3,575	571.120	4,849
Nuevo León	Monterrey	351.000	5,549	0.000	0	673.960	9,240	504.200	3,766
Oaxaca	Oaxaca	1,449.020	21,040	1,352.920	19,732	842.710	12,813	863.960	13,101
Puebla	San Martín Texmelucan	1,071.890	16,416	975.790	9,504	465.580	8,317	486.830	9,733
	Puebla	1,106.890	17,672	1,010.790	9,845	500.580	9,445	521.830	8,606
Querétaro	Querétaro	805.100	10,925	692.960	6,749	173.250	3,139	204.000	1,987
Quintana Roo	Cancún	2,592.130	36,417	2,496.030	24,067	1,985.830	28,190	2,007.080	24,067
San Luis Potosí	Río Verde	759.200	7,395	546.200	2,067	280.000	3,839	173.000	2,067
	San Luis Potosí	585.060	7,939	201.200	0	182.000	2,495	0.000	0
Sonora	Guaymas	1,179.900	17,498	1,505.900	16,454	1,479.380	20,075	1,629.380	21,889
Tabasco	Villa Hermosa	1,730.930	26,450	1,634.830	25,146	1,124.620	18,223	1,145.870	18,511
Tamaulipas	Tampico	942.460	14,900	600.460	5,098	595.760	18,331	426.000	3,617
	Nuevo Laredo	563.100	8,903	223.100	3,527	886.060	10,588	716.300	8,560
	Reynosa - Río Bravo	569.020	8,996	210.020	2,510	891.980	10,659	722.220	8,631
	Matamoros	655.060	10,356	296.060	3,538	978.020	11,687	808.260	9,659
Tlaxcala	Tlaxcala	1,095.170	15,147	999.080	9,731	488.870	9,196	510.120	4,418
	Apizaco	1,085.890	15,154	989.790	9,641	479.580	9,213	500.830	4,337

Estado	Distancia a:	Torreón (km)	Costo Promedio (\$)	Monterrey (km)	Costo Promedio (\$)	León (km)	Costo Promedio (\$)	San Luis Potosí (km)	Costo Promedio (\$)
Veracruz	Xalapa	1,252.890	23,140	1,015.980	21,836	646.580	14,913	706.950	15,201
	Acatlán	1,515.780	21,156	1,423.530	14,240	909.480	13,952	934.570	14,240
	Poza Rica	1,213.560	17,364	832.980	25,255	607.250	14,033	628.500	18,619
	Coatzacoalcos	1,577.780	22,038	1,485.530	15,240	971.480	14,952	996.570	15,240
	Veracruz	1,382.780	26,559	1,070.140	25,255	776.480	18,331	801.570	18,619
	Córdoba	1,270.780	22,951	1,178.530	6,716	664.480	14,723	689.570	6,716
	Minatitlán	1,555.780	21,725	1,463.530	21,521	949.480	14,597	974.570	14,885
	Orizaba	1,245.110	22,124	1,152.860	16,509	638.810	13,897	663.900	9,874
	Yucatán	Mérida	2,282.130	32,006	2,186.040	30,702	1,675.830	23,778	1,697.080
Zacatecas	Guadalupe	393.060	5,405	436.000		233.850		192.000	

La delimitación de las 55 principales ciudades más importantes está basada de acuerdo al documento realizado por SEDESOL, CONAPO e INEGI en 2004, el cual integra las 55 Zonas Metropolitanas en México.

Para el cálculo en distancia y costo se tomó como base un tractocamión con las siguientes características:

Número de ejes:	5	
Número de llantas:	18	
Carga útil en Kg.:	25,000	
Caja:	40 ft	

Es importante mencionar que el costo del flete varía según la ruta y el tamaño de la empresa, pero también de acuerdo con la temporada del año y el balance direccional de los flujos (mercado), así como el costo de operación varía para los diferentes tipos de terreno