



# 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 enzimas 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 domésticas 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 domésticas. 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 liberarse 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, puede 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 domestica 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 CO<sub>2</sub> varía entre 198 y 248 Ton CO<sub>2</sub> 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 domestica). 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 escapo 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<br>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 sustitución 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)     |
|      |           | Águila Negra Cinc-Carbón    |
|      |           | Rayovac Manganese           |
|      |           | Varta Cinc-Carbón           |
|      |           | Sony Cinc-Carbón (Roja)     |
|      |           | Energizer Alcalina          |

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| C                  | 3 | Eveready Cinc-Carbón                      |
|                    |   | 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                         |
|                    |   | Eveready Cinc-Carbón                      |
| Botón y Especiales | 5 | 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 D1123bpl             |
|                    |   | Duracell Alcalina Miniatura Mn21bpl       |
| 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  |
| <b>C</b>                            |         |         |        |  |       |        |       |        |
| <b>Alcalinas</b>                    |         |         |        |  |       |        |       |        |
| 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  |
| <b>Cinc Carbono</b>                 |         |         |        |  |       |        |       |        |
| 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  |
| <b>AAA</b>                          |         |         |        |  |       |        |       |        |
| <b>Alcalina</b>                     |         |         |        |  |       |        |       |        |
| 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  |
| <b>Cinc carbono</b>                 |         |         |        |  |       |        |       |        |
| Energizer                           | 470.00  | 11,600  |        |  | 0.04  | N.D.   | N.D.  | 11.88  |
| Varta                               |         |         |        |  | 42.41 | N.D.   | N.D.  | 11.35  |
| <b>Especiales</b>                   |         |         |        |  |       |        |       |        |
| 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   |
| <b>Especiales (Botón)</b>           |         |         |        |  |       |        |       |        |
| 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   |
| <b>Linterna</b>                     |         |         |        |  |       |        |       |        |
| Duracell                            |         |         |        |  | 2.54  | N.D.   | N.D.  | 140.23 |

Nota: Los contenidos de Manganeseo 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 Niquel-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%   |
| <b>Total</b>   |                                      |                                 |                                      |                                    | <b>18,254</b>                             | <b>100.00</b>                                       |

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 a pilas Alcalinas y de Carbón-zinc con mercurio agregado (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                 |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>250,654.16</b>    | <b>60,968</b>          |

\* 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



- depositando en lugares de servicios comunitarios, centros de reciclado domestico 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. Después 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 bajo 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 Manganeseo (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 Manganeseo (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,                  |
| Batrec                | 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                               |

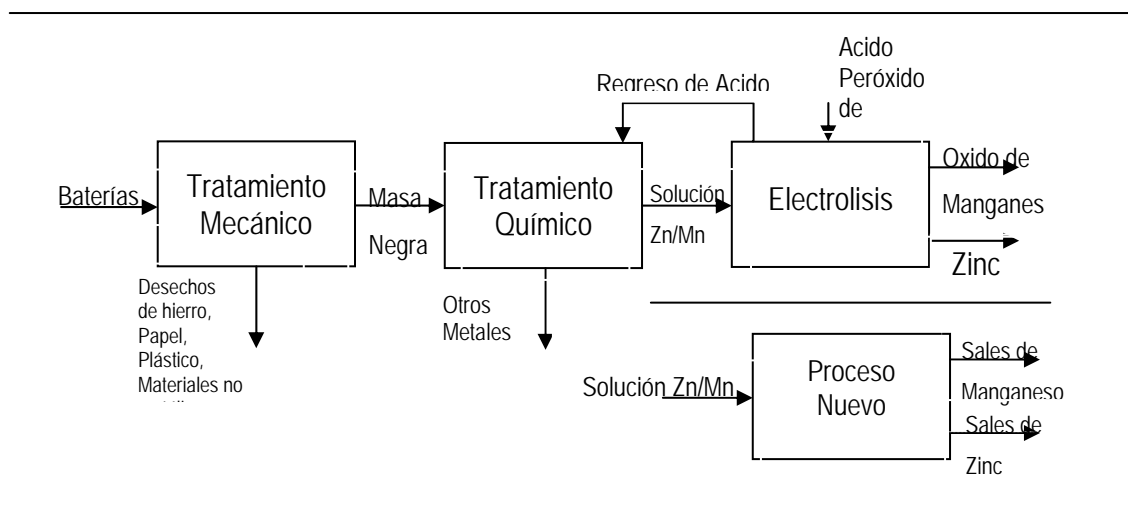
#### *Procesos Hidrometalúrgicos (Pilas de AlMn, ZnC, ZnO, Li-ion)*

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 AlMn, 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 (AlMn, 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.

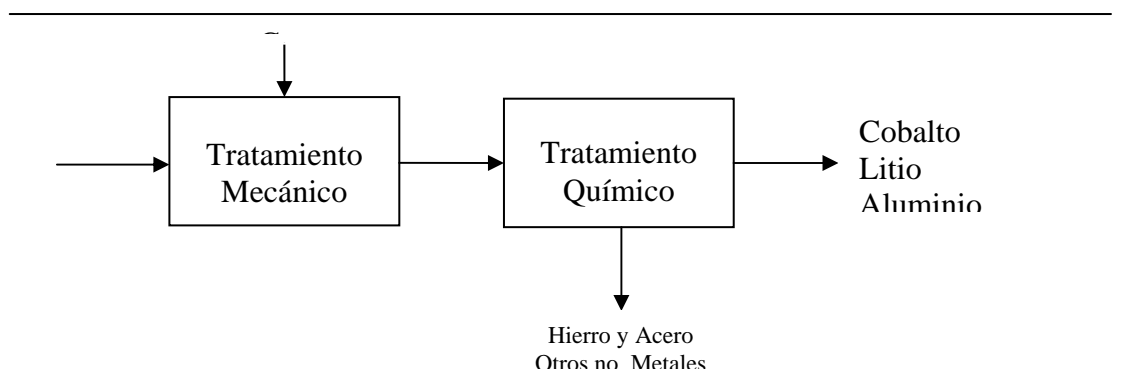
La flexibilidad del proceso Recupyl permite la obtención de varios productos finales, cuya producción relativa se determina por demanda local. Los tres diferentes productos finales son:

- 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.

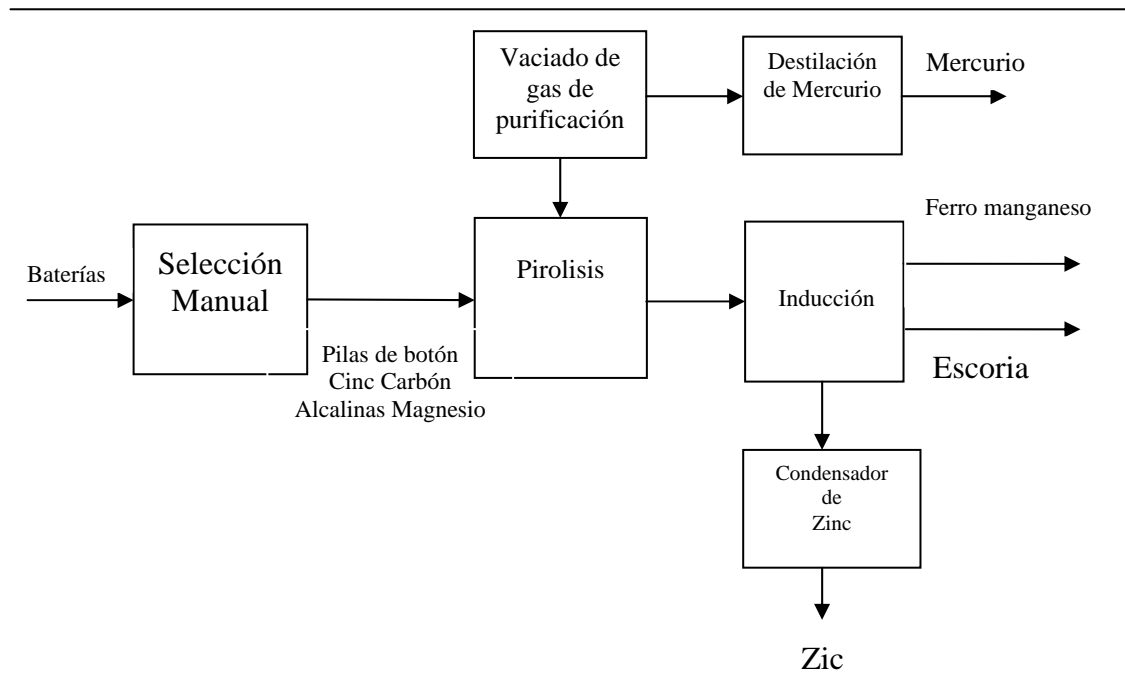
#### *Procesos Pirometalúrgicos (Pilas Al-Mn, Zn-C, ZnO, NiMH, NiCd y Li-ion)*

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*



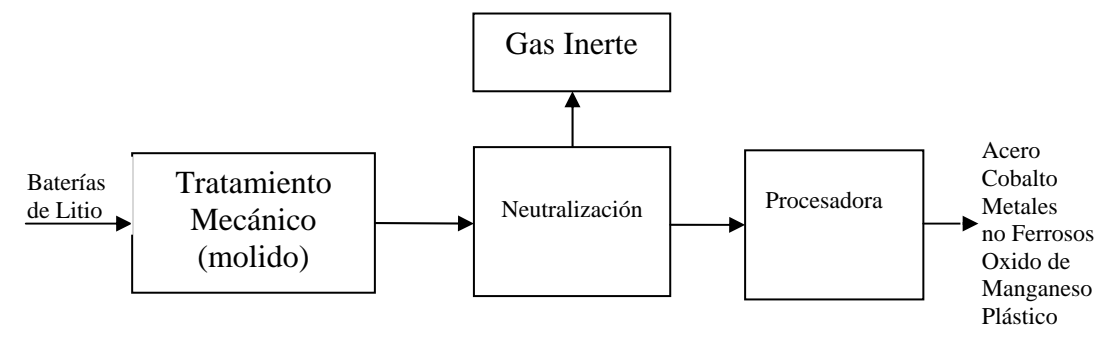
Las pilas de AlMn, Zn-C, y ZnO se clasifican manualmente antes de ser alimentada en un horno de cuba, donde están pirolizan a temperaturas hasta de 700° C. En el horno, el agua y el mercurio se evaporan y pasan al dispositivo de postcombustión, junto con los componentes orgánicos carbonizados (papel, 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*

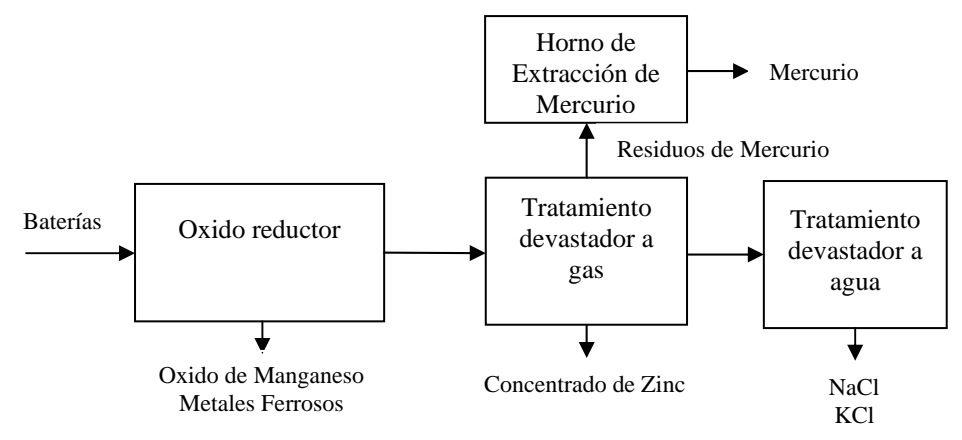


- Citron (pilas de AlMn, ZnC y ZnO) -

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%) <sup>(1)</sup>. 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:

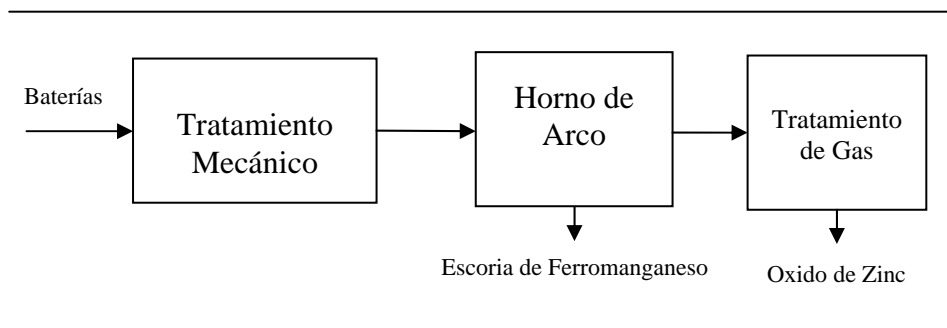
- El zinc oxidado se asienta en un compartimento por gravedad como concentrado de hidróxido del cinc;
- El mercurio se lava de la emisión gaseosa y se descarga directamente sin agua en los colectores como lodos con mercurio. Éstos son después tratados en el horno de extracción del mercurio, para obtener el mercurio;
- Todos los materiales orgánicos, tales como papel y plásticos, se oxidan totalmente en el Oxireductor y mas 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 ( $\text{MnO}_2$ ) 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  $\text{AlMn}$ ,  $\text{ZnC}$  y  $\text{ZnO}$ ) -

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**

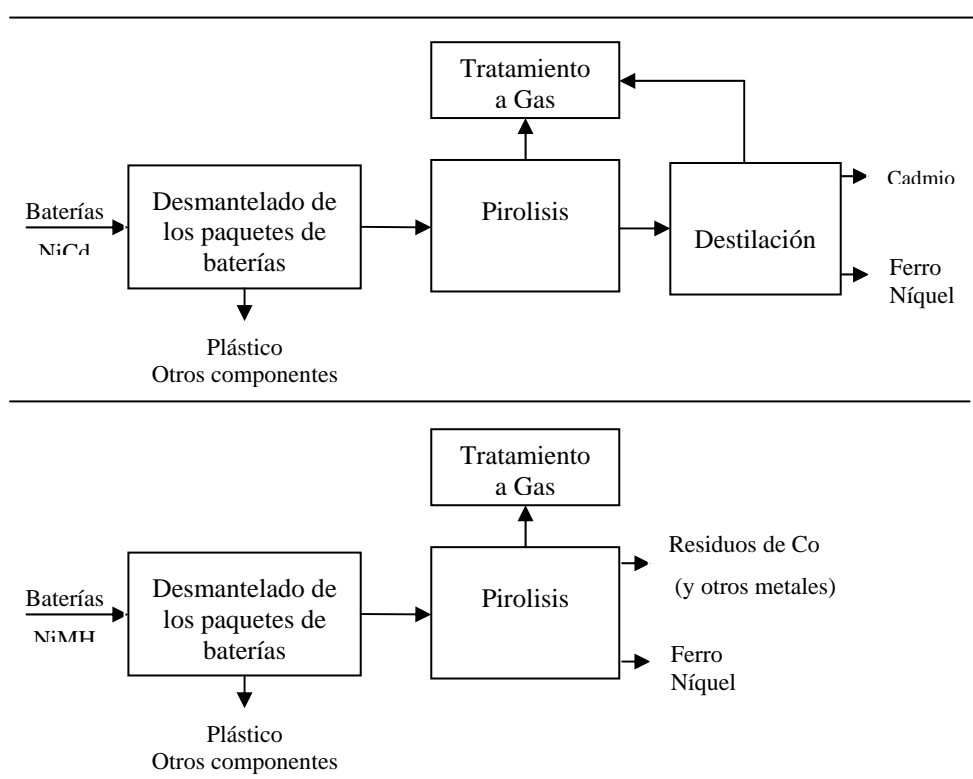


Las pilas se muelen y se secan en una etapa de pre-tratamiento mecánico previo a ser alimentada a un horno de arco. A altas temperaturas, el ferromanganeso se obtiene del horno y se vacía en lingotes. Este proceso también produce escoria y emisiones gaseosas. Los gases se tratan con el filtro de carbón 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 dismantelan, 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 <sup>(1)</sup>, 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 enfría 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) -

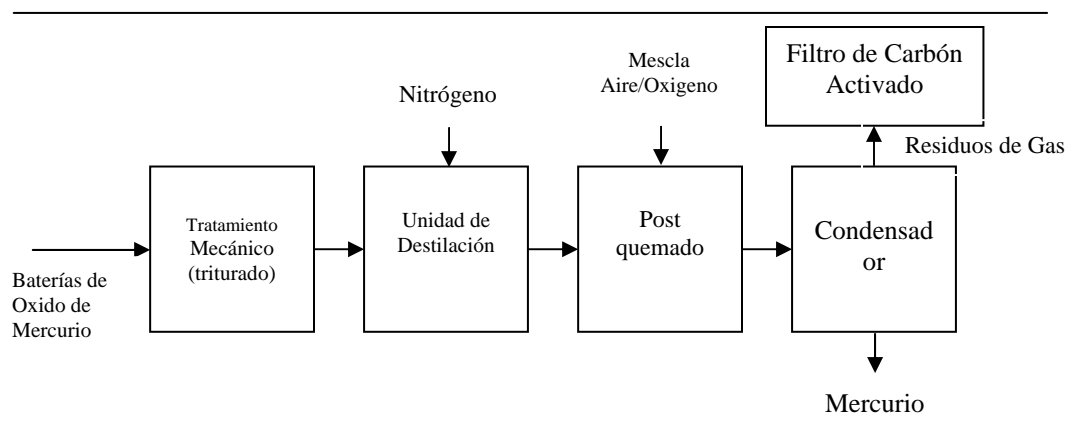
Durante los procesos de destilación de mercurio, el mercurio se recupera de residuos con mercurio. Las pilas o baterías de botón, las pilas de óxido mercúrico particularmente, son sólo uno de los tipos de desechos que se someten a destilación de mercurio. El proceso es un tratamiento térmico basado en 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, Wältz. 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

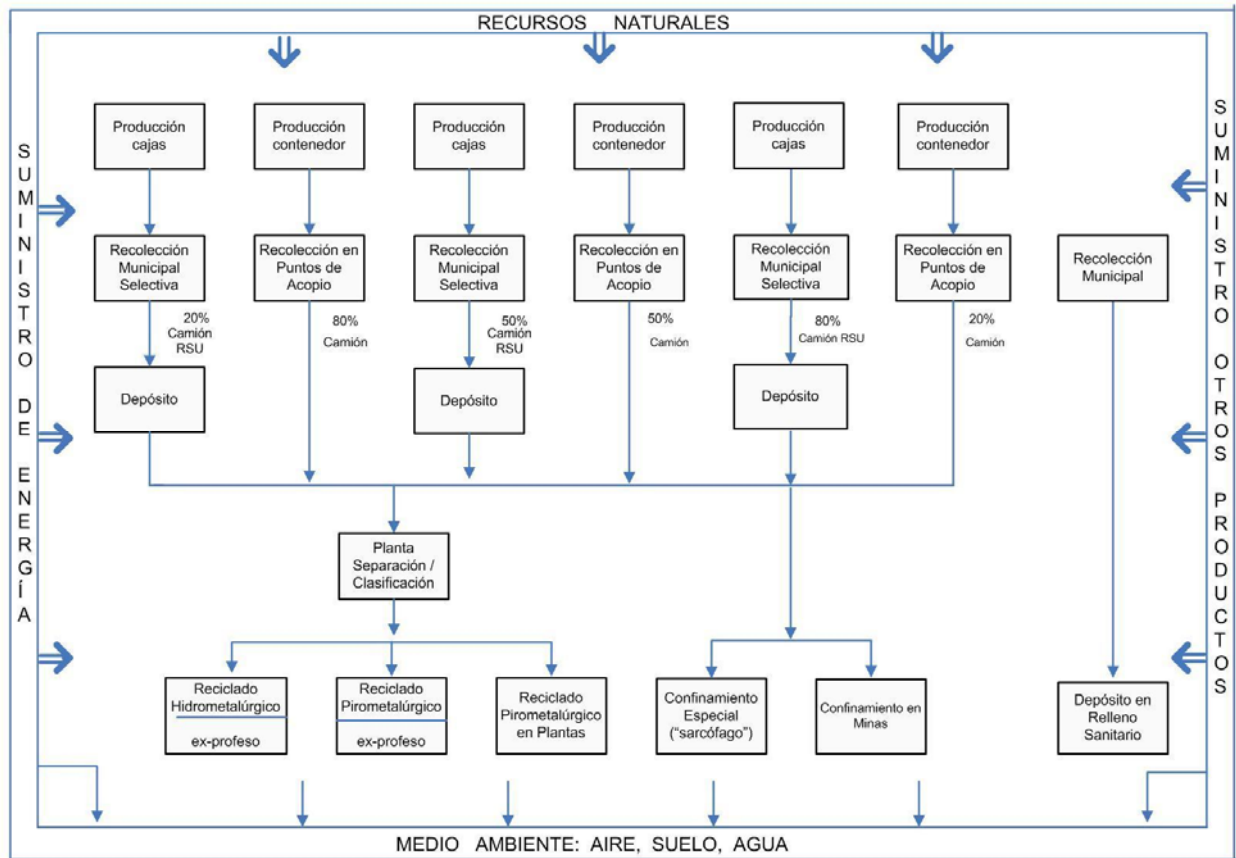


Figura 10. Fronteras del Sistema y Etapas del Ciclo de Vida considerados en el estudio

### 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: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, y SO<sub>x</sub>, principalmente. En este caso se utilizará como base de comparación entre los escenarios las toneladas de CO<sub>2</sub> como gas de referencia.
- Riesgo por Toxicidad a Humanos (RTH): se estima el daño potencial (y no el impacto real) de sustancias 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<sup>1</sup> 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                   |
| <b>Total</b> | <b>115,500</b> | <b>60,968</b>            |

#### 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 en 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. 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"> <li>○ Grafito</li> <li>○ Dióxido de Manganeso</li> <li>○ Zinc</li> <li>○ Hidróxido de Potasio</li> <li>○ Agua</li> <li>○ Acero</li> </ul>  | 2 - 6<br>30 - 45<br>12 - 25<br>4 - 8<br>8 - 12<br>20 - 25                      | Cámaras digitales, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, controles remoto, etc. |
|                         | Carbón-Zinc                | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Negro de Acetileno</li> <li>○ Cloruro de amonio</li> <li>○ Dióxido de Manganeso</li> <li>○ Zinc</li> <li>○ Cloruro de Zinc</li> <li>○ Agua</li> </ul>  | 3 - 7<br>0 - 10<br>15 - 31<br>7 - 42<br>2 - 10<br>10 - 15                      | Linternas, radios, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, Controles remoto, etc. |
|                         | Litio Bisulfato de Hierro  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Carbón</li> <li>○ Bisulfato de Hierro</li> <li>○ Litio</li> <li>○ Acero</li> </ul>   | 0 - 4<br>24 - 35<br>5 - 8<br>35 - 41   | Cámaras digitales, juguetes, aplicaciones electrónicas, etc.                            |
|                         | Alcalina Miniatura         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Grafito</li> <li>○ Dióxido de Manganeso</li> <li>○ Mercurio</li> <li>○ Hidróxido de Potasio</li> <li>○ Hidróxido de Sodio</li> <li>○ Zinc</li> <li>○ Acero</li> </ul>                              | 1 - 3<br>15 - 30<br>0.1 - 0.9<br>0 - 12<br>0 - 12<br>4 - 10<br>30 - 50         | Cámaras, relojes, juguetes electrónicos, etc.   |
|                         | Litio Dióxido de Manganeso | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Carbón negro</li> <li>○ Grafito</li> <li>○ Litio</li> <li>○ Dióxido de Manganeso</li> <li>○ Acero</li> </ul>   | 0 - 1<br>0 - 3<br>1 - 6<br>12 - 42<br>25 - 35                                  | Relojes de pulsera, juguetes electrónicos, etc.   |
|                         | Zinc Aire                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zinc</li> <li>○ Hidróxido de Potasio</li> <li>○ Mercurio</li> <li>○ Acero</li> </ul>   | 31 - 44<br>3 - 4<br>1.0 - 1.4<br>31 - 42                                       | Aparatos auditivos  |
|                         | Óxido de Mercurio          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Grafito</li> <li>○ Dióxido de Manganeso</li> <li>○ Mercurio</li> <li>○ Óxido de Mercurio</li> <li>○ Hidróxido de Potasio</li> <li>○ Hidróxido de Sodio</li> <li>○ Zinc</li> <li>○ Acero</li> </ul> | 1 - 3<br>0 - 15<br>0.3 - 1.5<br>20 - 50<br>0 - 6<br>0 - 6<br>5 - 15<br>35 - 55 | Relojes de pulsera, juguetes, dispositivos electrónicos, etc.                           |
|                         | Oxido de Plata             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Grafito</li> <li>○ Dióxido de Manganeso</li> <li>○ Mercurio</li> <li>○ Hidróxido de Potasio</li> <li>○ Óxido de Plata</li> <li>○ Hidróxido de Sodio</li> <li>○ Zinc</li> <li>○ Acero</li> </ul>    | 0 - 3<br>0 - 20<br>0.3 - 1.0<br>0 - 7<br>10 - 35<br>0 - 7<br>6 - 11<br>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"> <li>Aluminio</li> <li>Cobalto</li> <li>Hidróxido de Litio</li> <li>Níquel</li> <li>Hidróxido de Potasio</li> <li>Hidróxido de Sodio</li> <li>Zinc</li> <li>Manganeso</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 2</li> <li>2.5-6.0</li> <li>0 - 4</li> <li>30 - 50</li> <li>&lt; 7</li> <li>0 - 4</li> <li>&lt; 3</li> <li>&lt; 3</li> </ul> | Calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc. |
|                           | Ion-Litio               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Negro de acetileno</li> <li>Grafito</li> <li>Litio óxido de cobalto</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>0 - 2</li> <li>7 - 22</li> <li>15 - 30</li> </ul>   | Calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc. |
|                           | Níquel Cadmio           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cadmio</li> <li>Cobalto</li> <li>Hidróxido de Litio</li> <li>Níquel</li> <li>Hidróxido de potasio</li> <li>Hidróxido de Sodio</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>13 - 22</li> <li>0.5 - 2</li> <li>0 - 4</li> <li>20 - 32</li> <li>0 - 4</li> <li>0 - 4</li> </ul>                                 | Calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía               |
|                           | Plomo-Ácido             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Plomo</li> <li>Ácido Sulfúrico</li> <li>Antimonio</li> <li>Arsénico</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>36 - 90</li> <li>6 - 30</li> <li>&lt;=2</li> <li>&lt;=0.2</li> </ul>  | 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; combustóleo 58 kg, propano 6 kg, y 1400 kg de agua.
- Productos: 290 kg de ferromanganeso, 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, combustóleo 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/m<sup>3</sup>, más un 60% de huecos entre ellas, para dar una densidad aparente de 1.5 Ton/m<sup>3</sup>, se requerirían la construcción de 42,000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>2</sup> 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, CO<sub>2</sub>; 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 <sub>2</sub>           | -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 <sub>2</sub>           | -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 <sub>2</sub>           | -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 <sub>2</sub>           | 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 <sub>2</sub>           | 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 <sub>2</sub>           | 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 <sub>2</sub>           | -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 <sub>2</sub>           | -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 <sub>2</sub>           | 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 <sub>2</sub>           | 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 <sub>2</sub>           | 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<br>Inventari-<br>ado<br>[kg] | 1<br>Municipal +<br>Reciclado<br>Hidromet. | 2<br>Municipal +<br>Reciclado<br>Piromet. | 3<br>Municipal +<br>Reciclado<br>Planta | 4<br>Municipal +<br>Confin.<br>Especial | 5<br>Municipal +<br>Confin. en<br>Minas | 6<br>Acopio +<br>Reciclado<br>Hidromet. | 7<br>Acopio +<br>Reciclado<br>Piromet. | 8<br>Acopio +<br>Reciclado<br>Planta | 9<br>Acopio +<br>Confin.<br>Especial | 10<br>Acopio +<br>Confin. en<br>Minas | 11<br>Municipal +<br>Relleno<br>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 <sub>2</sub>                      | -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 abióticos (ARA) ejemplificado por el cinc, el potencial de calentamiento global (PCG) ejemplificado por el CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>
- 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 CO<sub>2</sub> 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 último 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<br>Final-de-Vida | Final-de-<br>Vida | Confinamiento<br>Residuos<br>Peligrosos | Total  |
|---|-------------|------------|-----------------------------|-------------------|---|--------|
| 1 Municipal + Reciclado<br>Hidrometalúrgico | 19.54       | 87.20      | 23.20                       | 545.60            | 8.78                                    | 684.32 |
| 2 Municipal + Reciclado<br>Pirometalúrgico  | 19.54       | 87.20      | 23.20                       | 545.60            | 10.68                                   | 686.22 |
| 3 Municipal + Reciclado<br>Planta           | 19.54       | 87.20      | 34.10                       | 73.16             | 7.32                                    | 221.32 |
| 4 Municipal +<br>Confinamiento Especial     | 19.54       | 0          | 28.00                       | 25.2              | 0                                       | 72.74  |
| 5 Municipal +<br>Confinamiento en Minas     | 19.54       | 0          | 28.00                       | 5.00              | 0                                       | 52.54  |
| 6 Acopio + Reciclado<br>Hidrometalúrgico    | 54.87       | 87.20      | 23.20                       | 545.60            | 8.78                                    | 719.65 |
| 7 Acopio + Reciclado<br>Pirometalúrgico     | 54.87       | 87.20      | 23.20                       | 545.60            | 10.68                                   | 721.55 |
| 8 Acopio + Reciclado<br>Planta              | 54.87       | 87.20      | 34.10                       | 73.16             | 7.32                                    | 256.65 |
| 9 Acopio + Confinamiento<br>Especial        | 54.87       | 0          | 28.00                       | 25.2              | 0                                       | 108.07 |
| 10 Acopio +<br>Confinamiento en Minas       | 54.87       | 0          | 28.00                       | 5.00              | 0                                       | 87.87  |
| 11 Municipal + Relleno<br>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/cm<sup>2</sup>.

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 sustancias toxicas dejan de depositarse con los residuos sólidos urbanos. Asimismo, los ahorros de CO<sub>2</sub> logrados en estos escenarios están entre 19 kg y 311 kg CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> de entre 248 kg y 413 kg CO<sub>2</sub> 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.<br>Costos de depósito en confinamiento de residuos peligrosos | -160.00                  | Efectos de NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , 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 Domesticas), 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 cinc 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 | TIRA 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<br>BLISTERS C/2<br>PILAS | 2 | 48  |
|  | SONY STAMINA              | C          | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/12<br>BLISTERS C/2<br>PILAS | 2 | 48  |
|  | SONY STAMINA              | AAA        | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/12<br>BLISTERS C/2<br>PILAS | 2 | 48  |
|  | SONY STAMINA              | AA         | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/12<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1 | 48  |
|  | SONY                      | LR44-B1A   | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/10<br>BLISTERS C/1<br>PILAS | 5 | 50  |
|  | SONY                      | CR2032-B1A | 3 V   | LITIO           | CAJA C/10<br>BLISTERS C/1<br>PILAS | 5 | 50  |
|  | SONY                      | LR23A      | 12 V  | ALCALINA        | CAJA C/10<br>BLISTERS C/1<br>PILAS | 5 | 50  |
|  | SONY                      | PR675-D6A  | 1.4 V | ZINC-AIRE       | CAJA C/5<br>BLISTERS C/6<br>PILAS  | 8 | 240 |
|  | SONY                      | CR2025-B1A | 3 V   | LITIO           | CAJA C/10<br>BLISTERS C/1<br>PILAS | 5 | 50  |
|  | SONY WALKMAN<br>AM3WM-B4A | AA         | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/12<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1 | 48  |
|  | SONY WALKMAN<br>AM3WM-C4  | AA         | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/12<br>PAQUETES C/4<br>PILAS | 1 | 48  |
|  | SONY ZR6-B4               | AA         | 1.5 V | OXIDO DE NICKEL | CAJA C/12<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1 | 48  |
|  | SONY LITHIUM<br>PHOTO     | CR123 A    | 3 V   | LITIO           | CAJA C/10 PILAS                    | 1 | 10  |
|  | SONY LITHIUM<br>PHOTO     | CR 2       | 3 V   | LITIO           | CAJA C/10 PILAS                    | 1 | 10  |
|  | SONY LITHIUM<br>PHOTO     | CR-P2      | 6 V   | LITIO           | CAJA C/10 PILAS                    | 1 | 10  |
|  | SONY LITHIUM<br>PHOTO     | 2CR5       | 6 V   | LITIO           | CAJA C/10 PILAS                    | 1 | 10  |
|  | SONY R14/2 (N5)           | C          | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/2<br>PAQUETES C/10<br>PILAS | 3 | 60  |
|  | SONY R20/1 (N5)           | D          | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/2<br>PAQUETES C/10<br>PILAS | 3 | 60  |
|  | SONY                      |            | 9 V   | ZINC/CARBON     | CAJA C/10 PILAS                    | 5 | 50  |
|  | SONY                      | AA         | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/4<br>PAQUETES C/12<br>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<br>PAQUETES C/12<br>PILAS | 2 | 48 |

|           |                |       |       |                 |                                    |            |    |
|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|------------------------------------|------------|----|
|           | SONY NEW ULTRA | AAA   | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/4<br>PAQUETES C/12<br>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<br>BLISTERS C/2<br>PILAS | 2          | 48 |
|           | EVEREADY       |       | 9 V   | ZINC/CARBON     | CAJA C/18<br>BLISTERS C/1<br>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<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1          | 48 |
|           | ENERGIZER      | C     | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/6<br>BLISTERS C/2<br>PILAS  | 4          | 48 |
|           | ENERGIZER      | AA    | 1.5 V | ALCALINA        | CAJA C/12<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1          | 48 |
|           | ENERGIZER      | AA    | 1.5 V | NiMH RECARGABLE | CAJA C/6<br>BLISTERS C/4<br>PILAS  | 2          | 48 |
|           | ENERGIZER      | AAA   | 1.5 V | NiMH RECARGABLE | CAJA C/6<br>BLISTERS C/4<br>PILAS  | 2          | 48 |
|           | ENERGIZER      | AC675 | 1.4 V | AIRE-ZINC       | CAJA C/8<br>BLISTERS C/6<br>PILAS  | 1          | 48 |
|           | ENERGIZER      | AC13  | 1.4 V | AIRE-ZINC       | CAJA C/8<br>BLISTERS C/6<br>PILAS  | 1          | 48 |
|           | ENERGIZER      | AC312 | 1.4 V | AIRE-ZINC       | CAJA C/8<br>BLISTERS C/6<br>PILAS  |            | 48 |
|           | ENERGIZER      | AC10  | 1.4 V | AIRE-ZINC       | CAJA C/8<br>BLISTERS C/6<br>PILAS  | 1          | 48 |
|           | EVEREADY       | AA    | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/12<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1          | 48 |
|           | EVEREADY       | D     | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/12<br>BLISTERS C/2<br>PILAS | 2          | 48 |
|           | EVEREADY       | AAA   | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/12<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1          | 48 |
|           | EVEREADY       | C     | 1.5 V | ZINC/CARBON     | CAJA C/12<br>BLISTERS C/2<br>PILAS | 2          | 48 |
|           | ENERGIZER      | AAA   | 1.5 V | LITIO           | CAJA C/6<br>BLISTERS C/2<br>PILAS  | 4          | 48 |

|          |           |     |       |          |                                    |   |    |
|----------|-----------|-----|-------|----------|------------------------------------|---|----|
| TITANIUM | ENERGIZER | AA  | 1.5 V | LITIO    | CAJA C/6<br>BLISTERS C/2<br>PILAS  | 4 | 48 |
|          | ENERGIZER | AAA | 1.5 V | ALCALINA | CAJA C/12<br>BLISTERS C/4<br>PILAS | 1 | 48 |

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



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.

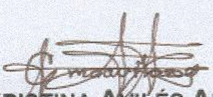
Como Laboratorio de Ensayos de acuerdo a los  
Requisitos establecidos en la Norma  
ISO/IEC 17025:2005 para las actividades de  
evaluación de la conformidad en la rama:

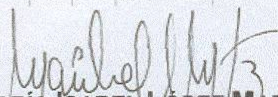
**QUÍMICA\***

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   | PAGINA |
|---|--------|
| Determinación de Mercurio (Hg), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni) y Litio (Li). | 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), Manganeso (Mn), Niquel (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 goteo. 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 ( $\text{HNO}_3$ ).

II. Ácido Nítrico al 20%.

III. Peróxido de hidrógeno al 30% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

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% ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

VIII. Ácido nítrico al 35% ( $\text{HNO}_3$ ).

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% ( $\text{KMnO}_4$ ).

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 ( $\text{MnO}_2$ ).

XV. Gránulos de hidróxido de potasio ( $\text{KOH}$ ).



### 3.- TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA 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  $\text{MnO}_2$  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  $\text{HNO}_3$ .
- iii. Peróxido de Hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) adicionado a la. (No burbujear sobre el  $\text{H}_2\text{O}_2$  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 Níquel 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.

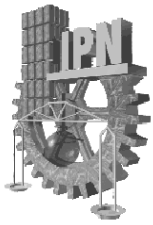
En matraces volumétricos de 100 *ml*, por separado agregue 25 *ml* de la solución matriz, para determinar Hg, Pb y Cd (Únicamente). Preparar las soluciones patrón a partir de soluciones estándar de 1000 ppm para cada uno de los elementos de la Tabla 1.

Tabla. 1. Soluciones Patrón

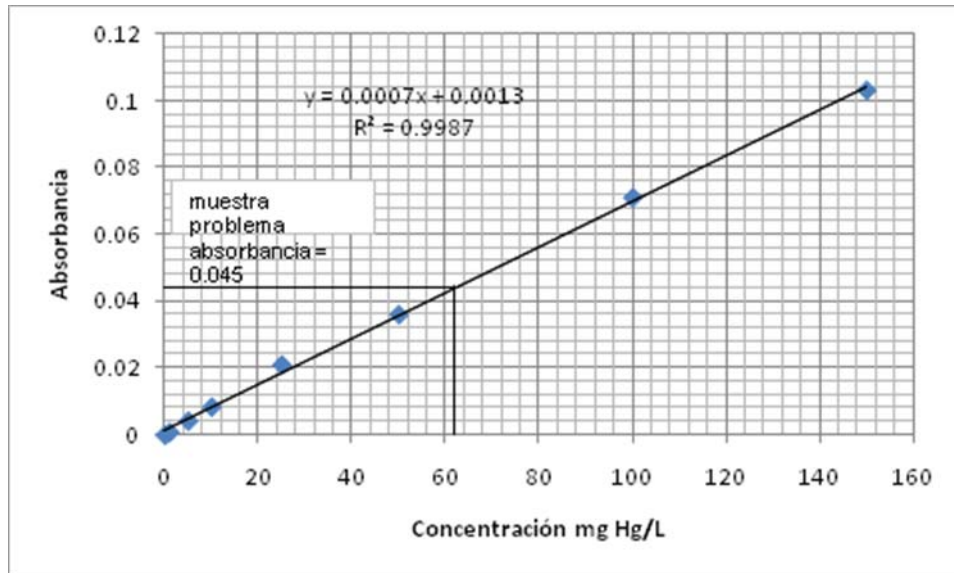
| Concentración de las soluciones patrón por EAA |         |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Hg mg/l  | Pb mg/l | Cd mg/l | Zn mg/l | Mn mg/l | Ni mg/l |
| 0  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| 1  | 1       | 0.1     | 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.



#### 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 porcentaje peso (%W)

Formula

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

$$\%W = (62.42 \times 500) / (6.106 \times 10000) = 0.511 = 511.06 \text{ mg/Kg}$$



# 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 remanente 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 <sub>2</sub> O (ml) | HNO <sub>3</sub> (ml) | Volumen final (V)<br>(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 por ciento peso (%W) se efectúa vía el siguiente cálculo:

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

Donde:

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

V<sub>1</sub> = Volumen 1 de dilución en ml.

V<sub>2</sub> = 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 = 10mg/g o bien 1%W = 10000 mg/Kg.

## 7. RESULTADOS.

### 7.1. PILAS TAMAÑO AA

|                   | mg/kg |         |       |    |        |      |      |        |
|-------------------|-------|---------|-------|----|--------|------|------|--------|
| Pila              | Mn    | Zn      | Li    | Ni | Pb     | 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

|                      | mg/Kg  |          |    |    |        |      |      |        |
|----------------------|--------|----------|----|----|--------|------|------|--------|
| PILA                 | 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.

|                        | mg/kg     |           |    |    |      |        |      |         |
|------------------------|-----------|-----------|----|----|------|--------|------|---------|
| 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   |          |       |      |      |  | Peso/g |
|----------------|---------|----------|-------|------|------|--|--------|
|                | Mn      | Zn       | Pb    | Cd   | Hg   |  |        |
| 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

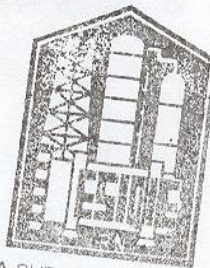
LAM-F04 REPORTE DE SERVICIO EXTERNO



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

*P. A. Ángel de Jesús Morales Ramírez*

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

*Dr. Elías Rangel Salinas*

Dr. Elías 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   |
|                 | Huachinango            | 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 Luís 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     |
|                 | Navjoa                 | 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](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<br>(km) | Costo<br>Promedio (\$) | Monterrey<br>(km) | Costo<br>Promedio (\$) | León<br>(km) | Costo<br>Promedio (\$) | San Luis<br>Potosí (km) | Costo<br>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 Luís 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 Luís Potosí | Río Verde             | 759.200      | 7,395               | 546.200        | 2,067               | 280.000   | 3,839               | 173.000              | 2,067               |
|                 | San Luís 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 Luís Potosí (km) | Costo Promedio (\$) |
|-----------|---------------|--------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Veracruz  | Xalapa        | 1,252.890    | 23,140              | 1,015.980      | 21,836              | 646.580   | 14,913              | 706.950              | 15,201              |
|           | Acayucan      | 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            | 24,067              |
| Zacatecas | Guadalupe     | 393.060      | 5,405               | 436.000        |                     | 233.850   |                     | 192.000              |                     |

La delimitación de las 55 principales ciudades mas importantes esta 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