



## **CUESTIONARIO DE ESTUDIO**

### **PLANTA DE RECICLAJE DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO USADAS**

#### **I. PROCESO DE RECICLAJE DE PLOMO**

|   |   |
|---|---|
| <b>1. Materiales con contenido de plomo reciclados</b>            | <i>En la planta recicladora de plomo los productos con contenido de plomo que ingresan para ser reciclados son: baterías automotrices y estacionarias, éstas últimas utilizadas en computadoras y en plantas telefónicas. Este tipo de baterías están fabricadas con plomo-antimonio o plomo-calcio. Otro de los productos que se reciben en la planta son tuberías cablegráficas.</i>  |
| <b>2. Cantidad Anual de materiales reciclados</b>                 | <i>En promedio son recolectadas 13,000 toneladas métricas anuales de materiales que contienen plomo, entre baterías ácido-plomo usadas enteras y chatarras de plomo.</i>  |
| <b>3. Procedimiento para la recolección de materiales</b>         | <i>La empresa recicladora de plomo a través de sus unidades móviles de recolección traza diferentes rutas dentro del país, llegando a talleres, comercios, sus propias salas de venta y otras empresas a recoger las baterías ácido-plomo usadas. Además, hay personas particulares que directamente llevan a la planta las baterías usadas que han recolectado.</i>  |
| <b>4. Establecimientos receptores de materiales</b>               | <i>El mayor porcentaje de recolección se realiza a través de los centros de recolección establecidos, principalmente talleres de reparación automotriz y talleres de reparación y carga de baterías. Las salas de venta de la misma empresa, sirven como centro de recolección de materiales con contenido de plomo. También pequeños reconstructores de baterías hacen la función de centro de recolección y acopio.</i>   |
| <b>5. Procedimiento para clasificar los materiales de desecho</b> | <i>Se considera como chatarra de batería a los óxidos de plomo; como plomo están las rejillas, terminales o bornes y alguna otra parte que contenga plomo.<br/>Los reconstructores de baterías del sector informal clasifican como material de desecho, la batería sellada, la cual no puede ser reacondicionada. Las placas, bornes y rejillas son productos del desarme de las baterías, los cuales son vendidos en sacos de 100 libras.<br/>Las unidades de recolección de baterías ácido-plomo usadas de la empresa Baterías de El Salvador clasifica los materiales recolectados en:</i> <ul style="list-style-type: none"><li><i>a. baterías secas(se recomienda transportarla acostada)</i></li><li><i>b. baterías húmedas(se recomienda transportarla parada)</i></li><li><i>c. Chatarra(óxidos, partes de plomo) empacarlos en sacos o bolsas plásticas.</i></li></ul> |



|  |   |
|--|---|
| <b>6. Desarmado Mecánico o manual de las baterías</b>            | <p>En la planta recicladora de plomo, las baterías ácido-plomo usadas son desarmadas mecánicamente por una trituradora en la cual, por medio de un sistema de densidad separa el plomo, el plástico y el polietileno. La máquina trituradora utilizada se conoce en el mercado bajo el nombre de: <b>Automated battery Scrap Processing Sytems Recovery Of Valuable Lead and Plastics</b><sup>1</sup>. En esta maquina se realizan los procesos de trituración, separación, lavado y transporte de materiales separados, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Plomo (bornes, postes, rejillas, puentes)</li><li>• óxidos de plomo(lodos de sulfatos de óxidos de plomo de la pasta de rejillas)</li><li>• Plásticos de polipropileno(de las cajas, tapaderas, tapones)</li><li>• Plásticos de polietileno(sobres de placas)</li><li>• Caucho</li><li>• Ácidos.</li></ul> <p>La maquina posee un molino de martillo o triturador, cámaras de agua, rociadores de agua, bombas, transportadores, depósitos contenedores. Cuando la batería es muy grande, se utiliza una especie de guillotina para romperla en pedazos, los cuales son introducidos en la banda que conduce las baterías usadas a la trituradora.</p> <p>En el sector informal(talleres)se utilizan herramientas manuales como hachas, cuchillos, machetes, mazos, martillos, taladros entre otros.</p> <p>En ambos procesos, manual y mecánico, el electrolito de la batería ha sido drenado con anterioridad.</p> |
| <b>7. Proceso de separación de los componentes de la batería</b> | <p>En la planta de reciclaje, la máquina trituradora posee un sistema mecánico- hidráulico, el cual separa por gravedad los diferentes componentes de la chatarra de baterías. Entre los componentes que son separados se pueden mencionar: plomo, lodos de óxidos, plástico polipropileno y papel de polietileno. El plástico que es usado para la fabricación de las baterías es el polipropileno, el cual se encuentra en cajas, tapas y tapones. Este material es triturado, lavado y transportado a recipientes. La mezcla de componentes que se obtienen del proceso de triturado es apilado cerca de los hornos, donde posteriormente se hace la mezcla para cargar los hornos. El volumen anual de plástico generado en este proceso es de 450 TM. El volumen que se exporta corresponde a un 89.8%(404 TM.) y un 10.2%(46 TM.) se queda para consumo en la misma planta. Otro de los subproductos que se obtienen del proceso de triturado de postes, puentes y rejillas es el plomo molido y de los lodos de óxidos sulfatados se obtienen los óxidos de plomo.</p> <p>Estos subproductos son deshidratados en un cubículo cuyo fondo hace las funciones de tamiz que reduce al mínimo el arrastre de partículas sólidas al sistema de drenaje.</p> <p>En los talleres de reparación del sector informal la chatarra de las baterías(bornes, rejillas y óxidos) es depositada en sacos de 100 lbs.(Figura I.1)</p>  |

<sup>1</sup> Sistema de Procesamiento Automático de recuperación de Plomo y Plástico Valorables de Baterías.



|  |  |
|--|--|
| <b>8. Sistema de Transporte de los componentes separados</b> | <p>En la planta recicladora se da el siguiente proceso de transporte de los componentes separados:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. El ácido en la planta es conducido a los tanques de neutralización.</li><li>2. El plástico ya triturado y con el primer lavado, es transportado en recipientes para ser llevados a la sección de segundo lavado y secado. Para efectuar el segundo lavado, estos son depositados en una pila, la cual cuenta con un sistema de paletas rotativas que se mueven en base a la fuerza del agua, ese movimiento giratorio da la segunda lavada a los segmentos plásticos, después del segundo tiempo de lavada, son secados al sol para luego almacenarlos en sacos o en recipientes a granel. Este material plástico procesado es exportado hacia Guatemala, Colombia y Estados Unidos, como materia prima para la fabricación de cajas y tapas plásticas para baterías.</li><li>3. El plomo y óxidos de plomo después de ser deshidratados son transportados a las respectivas áreas de almacenamiento, para posteriormente hacer las cargas de materiales que entrarán a proceso de fundición.</li></ol> <p>En general, Las diferentes rutas que toman los componentes de las baterías trituradas son manipuladas con seguridad y son depositados en recipientes metálicos, los cuales son transportados por montacargas a los almacenes de bodega.</p> <p>En los talleres de reparación del sector informal, las baterías usadas destinadas a la planta son transportadas en la espalda o en carretillas(Figura I.2) al lugar de almacenamiento.</p> |
| <b>9. Proceso de fundición de materiales de desechos</b>     | <p>El proceso de fundición de materiales de desechos de plomo consiste en la mezcla de material plúmbico compuesto de baterías y residuos de plomo que han sido seleccionados en el proceso de separación de materiales. En dicho proceso de fundición se utilizan reactivos y fundentes tales como: carbón, soda ash y hierro los cuales actúan como agentes oxi-reductores y fundentes. De este proceso resultan dos capas fundidas. La capa superior contiene las escorias y la capa inferior es la que contiene el plomo. Está última es la que se destina al proceso de normalizado.</p> <p>De las chatarras fundidas un 70% son reducidas a plomos metálicos, los cuales son extraídos a moldes para su manejo posterior. También en un 30% son extraídas las escorias sobrantes, las cuales son depositadas en moldes para luego ser transportadas a su lugar de confinamiento.</p> <p>En los talleres artesanales el material que se funde es el plomo de los bornes, pues las placas para reacondicionar una nueva batería se compran en la fábrica. (Figura I.3)</p>   |
| <b>10. Hornos</b>  | <p>Los materiales son mezclados en hornos rotativos que alcanzan 950°C máximo de temperatura de fusión, donde se realizan reacciones metalúrgicas físico-químicas de fusión, reducción y oxidación del material.</p> <p>En cambio en los talleres artesanales se utiliza una cocina de leña o en el mejor de los casos cocina de gas o eléctrica y un soplete. Para fundir el plomo se utilizan recipientes de aluminio y en algunos casos de acero inoxidable(Figura I.4)</p>   |



|   |   |
|---|---|
| <b>11. Sistema de carga del horno</b>                               | <p>La mezcla para realizar la fundición se realiza en un área dentro de la nave industrial de fundición haciendo uso de maquinaria de carga, la cual se encarga de dosificar y mezclar los distintos reactivos, para lo cual hace uso de un brazo mecánico que en su extremo posee un recipiente para mezclar (mini cargador frontal de cucharón). Posteriormente la mezcla preparada alimenta a los hornos haciendo uso de la maquinaria de carga y brazo mecánico de la misma, recogiendo la mezcla del piso con el minicargador que la deposita en el "scoop o cucharón" instalado en el montacargas y de ahí es introducida la carga horizontalmente dentro de la boca del horno que se encuentra en un plano vertical.</p> <p>En los talleres artesanales que se visitaron, las personas cuando funden el plomo lo toman con la mano (sin guantes de protección) y lo depositan en los recipientes donde son fundidos.</p>                               |
| <b>12. Condiciones de combustión del horno.</b>                     | <p>Los hornos rotativos usados por la planta de fundición alcanzan una temperatura de 950°C máximo de fusión y 1,500°C en llama. Los distintos reactivos. La eficiencia en los hornos de fundición de chatarra es de 70%, el 30% sale como parte de las escorias y cenizas colectadas. Como combustible, los hornos utilizan aceite quemado de motor, el cual es recolectado por la misma empresa.</p> <p>En los talleres artesanales las cocinas o estufas donde derriten el plomo están expuestas al aire libre o en dentro del local, utilizando el tiempo necesario de fundición según la potencia de la llama de combustión y cantidad de plomo a fundir,</p>  |
| <b>13. Programa de limpieza del horno</b>                           | <p>Dentro de la planta recicladora existe un esquema de limpieza de los hornos. Estrictamente la escoria es evacuada 6 veces diarias al lugar de confinamiento. Por otro lado, la evacuación de la ceniza de combustión y de arrastre es permanente, por medio de colectores y ciclones. Una vez por semana se hace la limpieza general de ducterías, ciclones, colectores (mangas y filtros), quemadores y todo el equipo de eliminación de escorias. Diariamente es limpiada la boquilla del quemador del carbón y las cenizas. Las paredes de los hornos son limpiadas del material refractario el cual es retirado al sitio de confinamiento de escoria.</p> <p>Normalmente, en los talleres artesanales los recipientes utilizados en el proceso de fundición quedan con residuos de plomo, las herramientas también tienen partículas de plomo, las cuales son limpiadas o en su defecto raspadas con cuchillo al momento de ser usados nuevamente.</p> |
| <b>14. Sistema de ventilación de la cámara de filtros de bolsa.</b> | <p>La planta de reciclaje, en su nave industrial, cuenta con sistemas de extractores de techo, extractores de pared, entrada y salida de aire a través de celosías en la pared y áreas abiertas con la suficiente ventilación.</p> <p>Por otro lado, los talleres de reparación y reacondicionamiento de baterías no cuentan con cámara de filtros de bolsa.</p>  |
| <b>15. Programas de vaciado de escoria y plomo del horno</b>        | <p>En la planta de fundición el mecanismo de extracción de la escoria desde los hornos se realiza por decantación a recipientes donde se deja enfriar para ser depositada en el sitio de confinamiento definido. El proceso de evacuación de la escoria dura 20 minutos; en cambio, el proceso de evacuación del plomo dura 5 minutos.</p>  |



|  |   |
|--|---|
|  | <p>Según los registros de la empresa, por cada 1,000 toneladas métricas de plomo que entran al horno se obtienen 350 toneladas métricas de escorias de plomo.</p>   |
| <b>16. Tratamiento, almacenamiento y eliminación de la escoria</b> | <p>Las escorias provenientes del proceso de fundición, son temporalmente almacenadas en la zona cerca de la nave de fundición, mientras se enfrían, posteriormente con un montacargas son transportadas para ser confinadas al interior de la planta en un ambiente subterráneo e impermeabilizado. Al finalizar la vida útil del lugar de confinamiento final, éste es sellado e impermeabilizado para evitar la infiltración de aguas lluvias que causen lixiviados. Las cenizas son polvos resultantes del proceso de fundición, las cuales son confinadas dentro de un recinto techado y delimitado por paredes con cortinas plásticas que lo protegen contra el viento. El piso está impermeabilizado con plástico y asfalto para evitar infiltraciones. Las cenizas son incorporadas a la carga de los hornos para su fundición.</p> <p>Entre tanto, en los talleres artesanales las escorias son tiradas al suelo o son amontonadas en una esquina del taller, alguna porción es tirada a la basura municipal.</p> |
| <b>17. Proceso de refinado de plomo reciclado</b>                  | <p>El proceso de refinado de plomo se realiza con el objeto de reducir las cantidades de cobre, antimonio y otros metales.</p> <p>El plomo obtenido de la chatarra de baterías en los hornos es nuevamente fundido en crisoles a temperaturas bajas entre 400 a 600°C, con el propósito de limpiar el plomo del contenido de otros metales, por lo que se obtiene plomo con un 99.98% de pureza</p>   |
| <b>18. Separación y almacenamiento de subproductos</b>             | <p>Los subproductos derivados de la limpieza, del afinado y del proceso de aleado de plomo son reincorporados en la próxima carga del horno. Las cenizas colectadas por las mangas son incorporadas también a éstas cargas.</p>   |
| <b>19. Tratamiento de subproductos</b>                             | <p>Todos los productos que resultan del proceso de fundición son reciclados, excepto las escorias, ya se considera que su contenido de plomo es despreciable, por lo que se determina enviarlas a los sitios de disposición final adecuado dentro de la planta.</p> <p>Otros subproductos como el plástico es lavado y empacado para exportar y hacer nuevas cajas para baterías. El papel plástico que sirve como aislante de las placas es incorporado a la carga del horno. Igualmente las cenizas son enviadas en la mezcla del horno.</p>  |
| <b>20. Procedimiento de colada de lingotes</b>                     | <p>En la planta fundidora el proceso de lingoteado o colado de plomos normalizados se realiza mediante una máquina automática que por medio de una bomba es alimentada con plomo desde los crisoles.</p> <p>En los talleres artesanales no existe el proceso de colado de lingotes. Del proceso de fundición se obtienen barras de plomo de aproximadamente un 1cm. de diámetro. (Figura 1.5).</p>  |



A continuación se presenta el balance de materiales de la planta de fundición secundaria de plomo, en las etapas de triturado de baterías y del proceso de fundición de plomo en hornos.

| <b>Balance de materiales en el Proceso de triturado de baterías ácido-plomo usadas y chatarra de plomo(por año)</b> |                      |                           |                     |
|---|----------------------|---------------------------|---------------------|
| <i>Entrada</i>  | <i>Cantidad(TM)</i>  | <i>Salida</i>             | <i>Cantidad(TM)</i> |
| Baterías usadas recolectadas  | 7132 <sup>(1/)</sup> | Sólidos de plomo          | 2353                |
| Agua de reposición  | 308                  | Plástico de polietileno   | 107                 |
| Agua tratada  | 4550                 | Lodos óxidos de plomo     | 4085                |
|   |                      | Aguas aciduladas          | 4550                |
|   |                      | Plástico de polipropileno | 50                  |
|   |                      | Lodos sedimentados        | 137                 |
|   |                      | Evaporación de agua       | 308                 |

TM= toneladas métricas

(1/)= éstas 7,132 TM de plomo corresponden a 475,466 unidades de baterías ácido plomo descartadas.

| <b>Balance de materiales en el Proceso de fundición de plomo en hornos (Por año)</b> |                     |                     |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Entrada</i>   | <i>Cantidad(TM)</i> | <i>Salida</i>       | <i>Cantidad(TM)</i> |
| <b>Chatarra de plomo</b>   | 9380                | Cenizas de colector | 554                 |
| Aserrín  | 15                  | Cenizas de plomo    | 16                  |
| Aceite quemado   | 1259                | Gases calientes     | 15457               |
| Aire de combustión   | 13269               | Escorias            | 2857                |
| Soda ash   | 668                 | Humos               | 12                  |
| Carbón mineral   | 230                 | Plomo               | 8154                |
| Hierro   | 230                 |                     |                     |
| Separador de polietileno   | 107                 |                     |                     |
| Cenizas de Pb normalizado  | 1019                |                     |                     |
| Lavados de Cu y Sb   | 685                 |                     |                     |
| Cenizas de colector  | 6                   |                     |                     |
| Sólidos sedimentados   | 159                 |                     |                     |
| Cenizas de colector  | 554                 |                     |                     |
| Cenizas de plomo   | 16                  |                     |                     |



Figura I.1 La chatarra de plomo se deposita en sacos en los lugares de acopio.



Figura I.2 Forma de manipuleo en el transporte de las baterías usadas en los centros de acopio.



*Figura 1.3. Barras de plomo obtenidas del proceso de fundición de bornes y placas en talleres del sector informal.*



*Figura 1.4. Utensilios y Herramientas convencionales en el proceso de fundición de plomo en el sector informal.*



*Figura 1.5. Barras de plomo de 1 pulgada de diámetro obtenido en los talleres de fundición del sector informal.*



*Manejo Ambientalmente Adecuado de Baterías Ácido-plomo Usadas en Centroamérica y el Caribe  
Diagnóstico de El Salvador*