

Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los acumuladores de plomo de desecho

Publicado en septiembre del 2003

Número de venta : S.03.III.D.29

ISBN : 92-1-358002-9

ISSN : 1020-9107

Publicado en papel reciclado sin cloro

Esta publicación puede ser reproducida en su totalidad o en parte y en cualquier forma con fines no lucrativos y sin permiso especial de los dueños de la marca registrada siempre y cuando se cite la fuente de origen.

El PNUMA y la Secretaría del Convenio de Basilea apreciaría recibir copia de cualquier material que utilice esta publicación como fuente.

No se utilizará esta publicación para fines comerciales o de venta sin la autorización previa y por escrito del PNUMA.

Esta publicación se encuentra disponible en la

Secretaría del Convenio de Basilea,
Casa Internacional del Medio Ambiente,
15, chemin des Anémones,
CH-1219 Châtelaine, Suiza

Tel. (4122) 917 82 18 Fax: (4122) 797 34 54

E-mail : sbc@unep.ch

Web : www.basel.int

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	
¿Por qué reciclar?.....	1
1. ANTECEDENTES	3
HISTÓRICOS.....	
2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO.....	5
2.1. Conceptos y definiciones.....	5
2.2. Descripción.....	6
2.3. Funcionamiento.....	8
2.4. Tipos y aplicaciones.....	8
2.5. Vida útil.....	9
3. RECICLADO DE ACUMULADORES DE PLOMO – FASES PREVIAS AL RECICLADO.....	11
3.1. Fases previas al reciclado.....	11
3.2. Recogida.....	11
3.3. Transporte.....	12
3.4. Almacenamiento.....	13
4. RECICLADO DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO.....	15
4.1. Apertura del acumulador.....	15
4.1.1. <i>Antecedentes históricos de la apertura de acumuladores.....</i>	<i>15</i>
4.1.2. <i>Procedimientos modernos de apertura de acumuladores.....</i>	<i>16</i>
4.1.3. <i>Apertura de acumuladores : Posibles fuentes de contaminación del medio ambiente.....</i>	<i>18</i>
4.2. Reducción del Plomo.....	19
4.2.1. <i>Métodos pirometalúrgicos.....</i>	<i>19</i>
4.2.2. <i>Métodos hidrometalúrgicos.....</i>	<i>21</i>
4.2.3. <i>Reducción del plomo: Posibles fuentes de contaminación del medio ambiente.....</i>	<i>22</i>
4.3. Refinación del plomo.....	24
4.3.1. <i>Refinación pirometalúrgica.....</i>	<i>24</i>
4.3.2. <i>Refinación del plomo: Posibles fuentes de contaminación del medio ambiente.....</i>	<i>25</i>
5. CONTROL AMBIENTAL.....	27
5.1. Planificación de plantas de reciclado del plomo – Evaluación del impacto ambiental (EIA).....	27
5.2. Mejoras tecnológicas.....	28
5.2.1. <i>Tratamiento de las fuentes de contaminación y prevención de la contaminación.....</i>	<i>28</i>
5.2.1.1. <i>Electrolito ácido y efluentes.....</i>	<i>28</i>
5.2.1.2. <i>Recolección de polvo y filtrado del aire.....</i>	<i>29</i>
5.2.1.3. <i>Emisiones fugaces.....</i>	<i>29</i>
5.2.1.4. <i>Extracción del dióxido de azufre (SO₂).....</i>	<i>30</i>
5.2.1.5. <i>Uso de oxígeno (O₂).....</i>	<i>30</i>
5.2.1.6. <i>Selección de agentes fundentes y compactación de la escoria.....</i>	<i>31</i>
5.2.1.7. <i>Reciclado de materia orgánica pesada.....</i>	<i>31</i>
5.2.1.8. <i>Reciclado del polipropileno.....</i>	<i>31</i>
5.2.1.9. <i>Destino adecuado de los desechos no recuperables.....</i>	<i>31</i>
5.3. Vigilancia del medio ambiente.....	31
5.3.1. <i>Medidas de control.....</i>	<i>32</i>
5.3.2. <i>Medidas de vigilancia.....</i>	<i>33</i>
5.3.3. <i>Dioxinas.....</i>	<i>34</i>

6. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA SALUD	36
6.1. Consideraciones generales.....	36
6.2. Toxicocinética.....	37
6.2.1. <i>Absorción, distribución y eliminación</i>	37
6.2.2. <i>Toxicidad y efectos en la salud</i>	38
6.3. Límites de exposición.....	39
6.3.1. <i>Límites ocupacionales</i>	39
6.3.2. <i>Límites ambientales</i>	40
6.4. Prevención y control.....	41
6.4.1. <i>Medidas de prevención y control propuestas</i>	41
6.4.2. <i>Control médico propuesto</i>	42
6.4.3. <i>Periodicidad del control</i>	42
7. VIABILIZACIÓN: MEDIDAS FUNDAMENTALES PARA LA EJECUCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE RECICLADO DEL PLOMO	44
7.1. Determinación y definición de las prioridades nacionales.....	44
7.1.1. <i>Reciclado externo</i>	44
7.1.2. <i>Reciclado interno</i>	44
7.1.3. <i>Soluciones regionales</i>	45
7.2. Establecimiento de sistemas de recogida: Marcos normativos.....	45
7.2.1. <i>Sistema simplificado de distribución inversa</i>	47
7.2.2. <i>Sistema de colectores</i>	48
7.2.3. <i>Sistema de devolución patrocinado por el fabricante</i>	49
7.2.4. <i>Sistema de distribución inversa</i>	50
7.3. Mejor comunicación.....	50
8. DATOS ESTADÍSTICOS DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO Y DEL PLOMO	53
8.1. Plomo primario.....	53
8.1.1. <i>Plomo primario: Producción mundial de concentrados</i>	53
8.1.2. <i>Plomo primario: Producción mundial de plomo metálico</i>	53
8.1.3. <i>Plomo primario: Consumo mundial de plomo metálico</i>	54
8.1.4. <i>Plomo primario: Usos del plomo metálico</i>	54
8.2. Plomo secundario.....	55
8.2.1. <i>Producción de plomo secundario</i>	55
8.2.2. <i>Plomo secundario: Porcentaje de plomo secundario en la producción nacional</i>	55
8.3. Acumuladores de plomo.....	56
8.3.1. <i>Acumuladores de plomo: Producción anual</i>	56
8.3.2. <i>Acumuladores de plomo: Usos</i>	56
8.3.3. <i>Acumuladores de plomo: Vida útil</i>	57
8.3.4. <i>Acumuladores de plomo: Composición</i>	57

9. CONSIDERACIONES FINALES	59
ANEXO 1 – EIA: ESTRUCTURA RECOMENDADA	60
ANEXO 2 - EFECTOS TÓXICOS DEL PLOMO EN LAS PERSONAS	62
SIGLAS Y FÓRMULAS	64
BIBLIOGRAFÍA	66

INTRODUCCIÓN

1. Actualmente, en la mayoría de los países los acumuladores de plomo usados se devuelven para que se recicle el plomo. No obstante, teniendo en cuenta que un acumulador ordinario contiene también ácido sulfúrico y varios tipos de plásticos, es posible que el proceso de reciclado llegue a representar un peligro, si no se controla debidamente. Por esa razón, las presentes directrices técnicas están destinadas a orientar a los países que se proponen aumentar su capacidad de manejo de los acumuladores de plomo usados y desechados. En el documento se ha aplicado un criterio amplio y se proporciona información clara sobre varias cuestiones relacionadas con esos desechos. Cabe esperar que la utilización de las directrices permita a los países mejorar sus actividades en relación con los siguientes aspectos:

- a) protección y mejoramiento cualitativo de su medio ambiente;
- b) protección de la salud de su población;
- c) adopción de tecnologías poco contaminantes, para reducir al mínimo la generación de desechos;
- d) adopción de la reutilización y el reciclado como medio para proteger los recursos naturales no renovables y reducir el consumo de energía;
- e) adopción del manejo ambientalmente racional de los acumuladores de plomo usados;
- f) creación de un sistema sostenible y regulado de aprovechamiento del plomo;
- g) adopción de planes de manejo de los desechos de plomo;
- h) generación de beneficios sociales, económicos y ambientales mediante el manejo ambientalmente racional de los desechos de plomo.

2. No obstante, cabe señalar que en las presentes directrices no se describe tecnología alguna. Se aplica en cambio un criterio más amplio al analizar temas generales referentes al reciclado del plomo y se invita al lector a que consulte la bibliografía indicada al final del documento.

¿Por qué reciclar?

3. El proceso de reciclado es un elemento esencial del desarrollo sostenible y posibilita una utilización racional de recursos naturales escasos, o que pudieran escasear, como el plomo. El proceso de reciclado presenta grandes ventajas:

a) **Mayor duración de los recursos naturales.** Pese a que en todo el mundo existen yacimientos de minerales no descubiertos, todos, en fin de cuentas, son finitos y este límite está relacionado con su ritmo de utilización. De ahí que los procesos de reciclado aumenten la duración de esos yacimientos;

b) **Menor costo monetario:** La utilización de materiales de segunda fusión permite lograr economías monetarias porque: a) los procesos son más baratos que el de recuperación de los minerales primarios; b) se reduce la dependencia de las materias primas importadas; c) se aprovecha mejor el costo de inversión en equipo, y d) disminuye la producción de desechos, especialmente los de la extracción primaria;

c) **Conservación de energía:** Dado que muy pocos metales se encuentran en la naturaleza en formas que permitan su utilización inmediata, los procesos de reciclado

permiten la producción de metales con apenas un 25% o menos¹ de la energía utilizada en los procesos primarios. Es más, dado que la mayoría de los procesos primarios de producción de metales requiere procedimientos que utilizan una gran cantidad de energía, que suelen depender de los combustibles fósiles, como ocurre, por ejemplo, en los hornos, los procesos de reciclado constituyen un medio de reducir la contaminación.

4. Además de estos aspectos, comunes a todos los procesos de reciclado de metales, en el caso del plomo propiamente dicho hay otros factores importantes que hacen que su reciclado sea aún más aconsejable a los efectos de la protección del medio ambiente:

a) **toxicidad para el medio ambiente y la salud humana:** Son harto conocidas las consecuencias de la exposición al plomo para el ser humano o para el medio ambiente. Por lo tanto, es lógico pensar que la falta de un sistema de reciclado del plomo aumentaría extraordinariamente el riesgo de exposición, ya que los desechos de plomo podrían enviarse hacia destinos no seguros desde el punto de vista ambiental;

b) **amplias posibilidades de reciclado:** El hecho de que el plomo tiene un punto de fusión bajo y es fácil afinarlo a partir de chatarra lo hace más reciclable, es decir que resulta relativamente fácil o factible desde el punto de vista técnico aislarlo a partir de la chatarra y reintroducirlo en la corriente de materia prima;

c) **un gran mercado:** El mercado del plomo es amplio y, según el país, también lo es un sistema de recogida razonablemente bien organizado de hasta 96% de un solo producto predominante con una vida útil breve y previsible: el acumulador de arranque, iluminación e ignición AII.

5. Del análisis que antecede se infiere sin lugar a dudas que destinos tales como vertederos, incineración y otros, no pueden considerarse modalidades de manejo ambientalmente racional de los desechos de plomo no sólo por razones económicas, sino también por razones de salud y ambientales.

6. Reconocido este hecho, los procesos de reciclado se convierten en una respuesta viable al problema desde el punto de vista tecnológico, ya que, aplicados y controlados debidamente, pueden constituir una solución económica práctica y ambientalmente racional. Por lo tanto, el reciclado del plomo se debe considerar la solución óptima al manejo ambientalmente racional de los acumuladores de plomo.

¹ Heinstock; estudio del Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente.

1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

7. Las propiedades físicas y químicas del plomo, a saber maleabilidad y resistencia a la corrosión, ya eran conocidas por las civilizaciones antiguas. En realidad, hace por lo menos 8.000 años que el plomo se extrae y se funde, como lo confirman las piezas que se exhiben en diversos museos, los relatos y otros textos antiguos, incluido el libro del Éxodo, que es parte de la Biblia. Cuentas de plomo encontradas en la actual Turquía datan de alrededor de 6.500 a.C., y se dice que los egipcios utilizaban el plomo junto con el oro, la plata y el cobre ya en 5.000 a.C., lo que indica que la tecnología de producción de plomo metálico mediante fusión reductiva en presencia de fuentes de carbono se propagó poco a poco desde China hacia el Oriente Medio y desde allí a África durante los milenios quinto y sexto a.C. En el Egipto de los faraones, los compuestos de plomo se utilizaron también en cerámica vidriada, como material de soldadura y para fundirlo en la fabricación de objetos ornamentales. En el Museo Británico se exhibe una figura de plomo encontrada en el templo de Osiris, en la antigua ciudad de Abydos, Anatolia occidental, que data de 3.500 a.C.

8. Una de las más importantes aplicaciones históricas del plomo fueron los acueductos de Roma. Se fabricaban tuberías de plomo de tres metros de longitud y hasta 15 diámetros estándar. Muchas de ellas, aún en magníficas condiciones, se han descubierto en la Roma moderna y en Inglaterra. La palabra romana *plumbum*, que denotaba surtidores de agua y conectores hechos de plomo, dio origen a la palabra inglesa "plumbing" (fontanería) y al símbolo del elemento, Pb. En la época de Constantino había alrededor de 8.000 toneladas de tuberías de plomo en Roma y según una estimación aproximada, la producción de plomo del Imperio Romano llegó en cuatro siglos a 15 millones de toneladas.

9. Marcus Vitruvius Pollio, un arquitecto e ingeniero romano del siglo I a.C., advirtió sobre los peligros del uso de tuberías de plomo para la conducción de agua y recomendó que se utilizaran en su lugar las de barro. En sus escritos mencionó también la palidez de la piel de los trabajadores de los talleres de plomo de la época, al señalar que los gases que emanaban del plomo fundido destruían "el vigor de la sangre". Muchos creían, no obstante, que el plomo tenía propiedades médicas beneficiosas. Plinio, sabio romano del siglo I d.C., escribió que el plomo podía utilizarse para la eliminación de cicatrices, como linimento o como ingrediente en emplastos para úlceras y para los ojos, entre otras aplicaciones clínicas. Los romanos conocían también la resistencia del plomo a la corrosión, de ahí que la Marina romana fuera una gran consumidora de este metal. En investigaciones submarinas realizadas en el Mediterráneo se descubrieron galeras romanas con bisagras y clavos revestidos de plomo.

10. Después del período romano y durante la Edad Media, el plomo siguió explotándose y utilizándose. En este período se lograron adelantos en la fabricación de tuberías y en lugar de laminar una hoja de plomo, los fabricantes comenzaron a sumergir en el metal fundido un cilindro en frío con las dimensiones de diámetro interior adecuadas. Pero la fabricación de tuberías no fue la utilización principal de este metal en la Edad Media, se utilizó también para recubrir los techos de

las catedrales y edificios, para fabricar material de soldadura, instalar vitrales y con la invención de la imprenta, se encontraron nuevos usos para el plomo.

11. En 1859, un físico francés, Gaston Planté, descubrió que al ser sumergidos en un electrolito de ácido sulfúrico, los pares de electrodos de óxido de plomo y plomo metálico generaban energía eléctrica y más tarde podían ser recargados. Algunas mejoras técnicas adicionales logradas por otros investigadores llevaron en 1889 a la producción comercial de acumuladores de plomo. El enorme crecimiento de los mercados de acumuladores en el siglo XX (que con el tiempo llegaron a consumir el 75% de la producción de plomo del mundo) se produjo a la par del auge de la industria automovilística, en que se encontraron aplicaciones para los acumuladores en los procesos de arranque, iluminación e ignición.

12. Otro destacado producto de plomo era el tetraetilo de plomo, aditivo de la gasolina inventado en 1921 para resolver problemas de "golpeteo" que se habían hecho habituales con el surgimiento de los motores de alta compresión que funcionaban a altas temperaturas. Poco después de llegar a su auge, 50 años más tarde, la utilización de este compuesto de plomo se redujo al hacerse obligatoria la instalación de conversores catalizadores en los sistemas de escape de los vehículos de pasajeros, según lo dispuesto en las leyes de protección del medio ambiente.

13. Pese al constante incremento de los usos del plomo en los últimos cinco milenios, el consumo y la explotación de las minas alcanzó un ritmo industrial sólo después del siglo XIX. Se estima que el consumo de plomo desde la Prehistoria hasta entonces difícilmente habrá rebasado los 30 millones de toneladas, mientras que el consumo actual es de alrededor de cinco millones de toneladas anuales.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO

2.1. Conceptos y definiciones

Acumulador eléctrico: Dispositivo constituido por un electrolito, un elemento y un contenedor que permite almacenar la energía eléctrica en forma de energía química y liberarla cuando se conecta con un circuito de consumo externo. Un **acumulador de plomo o una batería de plomo** es un acumulador eléctrico en que el material activo de las placas positivas está formado por compuestos de plomo y el de las placas negativas es esencialmente plomo y el electrolito, una solución diluida de ácido sulfúrico.

Batería: Aparato electroquímico que suministra energía eléctrica merced a la utilización controlada de reacciones químicas. Algunas utilizan reacciones químicas reversibles y pueden ser recargadas, como las de plomo; otras utilizan reacciones no reversibles y no tienen más que una vida útil.

Caja o camisa: Contenedor subdividido por paredes intermedias en que se insertan los distintos elementos, junto con el electrolito.

Capacidad del acumulador: Cantidad de electricidad que el acumulador puede producir antes de que el voltaje se reduzca a un nivel inferior al límite de una carga de diez horas. La capacidad se expresa en amperios/hora (Ah).

Carga: Operación mediante la cual una fuente externa suministra energía eléctrica que se convierte en energía química en el acumulador.

Célula, o célula electroquímica: Se trata de un generador eléctrico constituido por no menos de dos reacciones electroquímicas (llamadas reacciones semicelulares), una de los cuales es de carácter reductor y la otra de carácter oxidante.

Conectores: Conductores de plomo metálico utilizados para interconectar no sólo las distintas placas, formando elementos, sino también los elementos entre sí para formar el circuito eléctrico interno.

Electrolito: Conductor iónico en que se sumergen las placas. En los acumuladores de plomo, el electrolito es una solución de ácido sulfúrico diluido al 36% por peso (400 g de ácido sulfúrico por litro de agua destilada). La carga de un acumulador está determinada por la gravedad específica o densidad de su electrolito: un acumulador totalmente cargado tiene un electrolito con una densidad de $1,270 \text{ kg.d}^{-1}$.

Elemento: Es una serie de placas negativas y positivas colocadas consecutivamente y aisladas entre sí por separadores de placas. Las placas de igual polaridad están conectadas eléctricamente, razón por la cual un elemento puede considerarse un conjunto de células electroquímicas conectadas en paralelo.

Material sellador: Material utilizado para sellar herméticamente la tapa de la caja del acumulador.

Placa negativa o ánodo: Placa en que tienen lugar las reacciones oxidantes.

Placa positiva o cátodo: Placa en que tienen lugar las reacciones reductoras.

Separador de placas, o espaciador: Componente insertado entre dos placas eléctricas consecutivas en un acumulador, hecho de polietileno o del antes popular PVC, cartulina u otros materiales porosos y permeables al electrolito. Es necesario impedir el contacto metálico entre placas de polaridad opuesta, dejando un espacio en entre ellas.

Tapa o cubierta: Pieza destinada a cerrar la caja del acumulador.

Tapón o tapa de ventilación: Pieza removible destinada a permitir el escape de los gases y a permitir la verificación y el mantenimiento del nivel del electrolito.

Voltaje nominal: Hay dos tipos de voltaje nominal:

a) **voltaje nominal de la célula:** Es el voltaje que puede proporcionar la reacción química utilizada en el acumulador, lo que en el caso de las reacciones de los acumuladores de plomo equivale a 2 V;

b) **voltaje nominal del acumulador:** Es una función del número de células conectadas en serie; los acumuladores de los automóviles generalmente tienen seis células en serie, con lo cual suministran un voltaje nominal de 12 V (2 V x 6 células).

2.2. Descripción

14. Sea cual fuere la función para la que haya sido diseñado, un acumulador de plomo típico consta de los siguientes elementos:

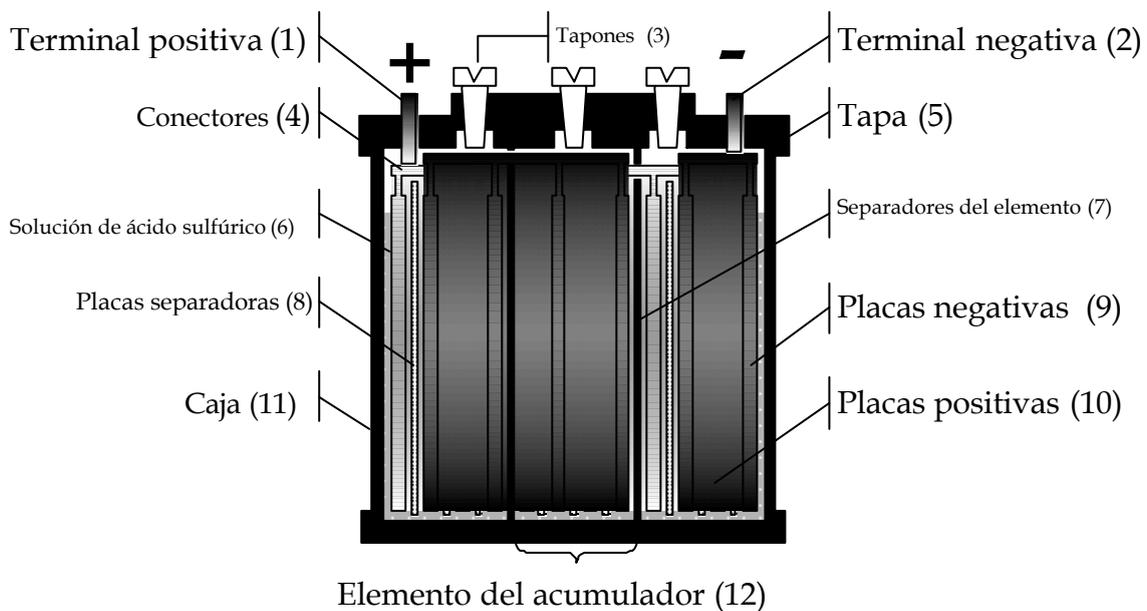


Figura 1: Componentes y estructura interna de los acumuladores de plomo

- a) **Terminales positiva (1) y negativa (2):** Están hechas de plomo, y es el lugar en que se conectan los dispositivos de consumo de electricidad externa;
- b) **Tapones (3):** Uno por cada elemento del acumulador, en que se puede reemplazar el agua destilada/desionizada siempre que sea necesario. También constituyen una vía de escape para los gases que puedan formarse en las celdas;
- c) **Conectores (4):** Están hechos de plomo, que efectúa el contacto eléctrico entre placas de igual polaridad y también entre elementos separados;
- d) **Tapa (5) y caja (11):** Originalmente se fabricaban de ebonita, en la actualidad son de polipropileno o de un copolímero;
- e) **Solución de ácido sulfúrico (6):** Es el electrolito del acumulador;
- f) **Separadores de elementos (7):** Generalmente forman parte de la caja y están hechos del mismo material; proporcionan aislamiento químico y eléctrico entre los elementos. Se conectan en serie a fin de aumentar el voltaje final del acumulador;
- g) **Separadores de placas (8):** Están hechos de PVC u otro material poroso; evitan el contacto físico entre dos placas contiguas, pero al mismo tiempo permiten el libre desplazamiento de los iones en la solución del electrolito;
- h) **Placas negativas (9):** Están constituidas por una rejilla de plomo metálico recubierta por una pasta de dióxido de plomo (PbO_2);
- i) **Placas positivas (10):** Están constituidas por placas de plomo metálico;
- j) **Elemento del acumulador (12):** Es una serie de placas negativas y positivas colocadas consecutivamente y aisladas entre sí por separadores de placas. Las placas de igual polaridad están conectadas eléctricamente.

15. Las placas del acumulador son estructuras de plomo metálico, conocidas como rejillas, recubiertas por una pasta de dióxido de plomo en el caso de las placas negativas, o por una pasta porosa de plomo metálico en el caso de las placas positivas. El plomo utilizado en los dos tipos de placas puede contener también otros elementos químicos, como antimonio, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, calcio, plata, estaño u otros. En el proceso de fabricación de las placas también se utiliza materia inerte, como sulfato de bario, negro de humo y lignina que se añaden para prevenir la contracción de la placa mientras esté en uso. Una vez preparadas, las placas se secan y curan y se les da forma para poderlas ensamblar en los elementos del acumulador.

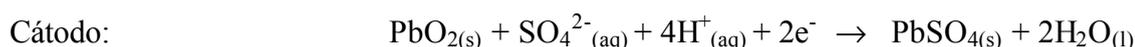
16. Después que se les ha dado forma, las placas del acumulador se intercalan de tal modo que a una negativa siga una positiva, colocándose entre ellas un separador de placas hecho de polietileno, PVC o cartulina fibrosa a los efectos de evitar cortocircuitos entre dos placas consecutivas. Este proceso se realiza hasta conseguir de 6 a 20 pares de placas negativas y positivas alineadas y eléctricamente aisladas. Luego se conectan eléctricamente las placas de igual polaridad, y las placas intercaladas, denominadas ahora elementos del acumulador, se insertan en los compartimientos del

acumulador. Un elemento estándar del acumulador tiene entre 13 y 15 placas y puede producir 2 voltios de gran amperaje. A continuación se conectan los elementos en serie mediante un conector hecho de una aleación de plomo y antimonio para producir un mayor voltaje. Cuanto mayor es el voltaje tanto mayor será el número de elementos conectados: un acumulador estándar de automóvil tiene seis elementos en serie que producen (2 V x 6 elementos) 12 V.

17. Por último, se ensambla el acumulador y se le añade el electrolito. Luego se sella la tapa, se inspecciona el producto para comprobar su hermeticidad, tras lo cual recibe su primera carga.

2.3. Funcionamiento

18. Cuando el acumulador suministra energía eléctrica a un dispositivo externo se producen simultáneamente distintas reacciones químicas. En las placas positivas (cátodo) se produce una reacción reductora cuando el dióxido de plomo (PbO₂) se convierte en sulfato de plomo (PbSO₄). Por otra parte, en las placas negativas (ánodo) tiene lugar una reacción oxidante y el plomo metálico se convierte en sulfato de plomo. El electrolito, ácido sulfúrico (H₂SO₄), aporta los iones de sulfato para ambas semirreacciones y actúa como puente químico entre ellas. A cada electrón generado en el ánodo corresponde un electrón consumido en el cátodo, así las ecuaciones pasan a ser:



19. Mientras el acumulador se descarga, al arrancar un motor, por ejemplo, la concentración de ácido sulfúrico disminuye lentamente en la solución del electrolito, ya que los iones de sulfato se incorporan al sulfato de plomo que se está formando en ambos electrodos. A medida que disminuye la concentración de ácido sulfúrico en el electrolito, disminuye la densidad de la solución con respecto al valor de 1,25 kg.dl⁻¹, que es la densidad de un acumulador totalmente cargado, lo que permite determinar el nivel de carga de un acumulador con la simple medición de la densidad de su solución. Al continuar este proceso, los materiales activos se van consumiendo y la velocidad de la reacción disminuye hasta que el acumulador ya no está en condiciones de proporcionar energía eléctrica. La mayor parte del óxido de plomo y del plomo poroso adoptará entonces la forma de sulfato de plomo.

20. Cuando haya que volver a cargar el acumulador, se conectará a sus terminales una fuente externa de energía eléctrica, pero con una polaridad invertida en relación con ellas a fin de invertir las reacciones y lograr que el sulfato de plomo se transforme nuevamente, mediante un proceso electroquímico, en plomo y óxido de plomo.

21. El proceso de descarga y recarga puede repetirse varios centenares de veces con buena respuesta del acumulador, pero las placas de óxido de plomo se contaminan cada vez más con sulfato de plomo, lo que con el tiempo inhibe las reacciones químicas en las placas de óxido de plomo. Por otra parte, en el fondo del acumulador comienza a formarse una capa de sedimento (55% a 60% de PbSO₄; 20% a 25% de PbO; 1% a 5% de PbO; 1% a 5% de Pb metálico). Llega un momento en la vida del acumulador en que el alto nivel de contaminación impide una nueva recarga y es entonces que el acumulador queda “agotado” y se convierte en “acumulador de plomo usado (ULAB)”.

2.4. Tipos y aplicaciones

22. Los acumuladores de plomo tienen numerosas aplicaciones que pueden emplear diferentes voltajes, tamaños y pesos y abarcan desde los acumuladores a prueba de interrupción de 2 kg hasta los acumuladores industriales, cuyo peso puede superar los 2.000 kg.

Los acumuladores pueden clasificarse del modo siguiente:

a) **De automóviles:** los utilizados como principal fuente de energía para el arranque, la iluminación y la ignición (acumuladores AII) para vehículos tales como automóviles, camiones, tractores, motocicletas, embarcaciones, aeronaves, etc;

b) **Genéricos:** los utilizados en herramientas y equipo portátiles, sistemas de alarma doméstica, luces de emergencia, etc;

c) **Industriales:** acumuladores para aplicaciones estacionarias, como telecomunicaciones, usinas eléctricas, fuentes de electricidad ininterrumpida o sin paradas, nivelación de cargas, sistemas de alarma y seguridad, uso industrial general y arranque de motores diesel;

d) **Motores:** acumuladores utilizados para transportar cargas o personas: camionetas montacargas de horquilla, carritos de golf, transporte de equipajes en aeropuertos, sillas de ruedas, automóviles eléctricos, autobuses, etc;

e) **Especiales:** Acumuladores utilizados en aplicaciones científicas, médicas o militares específicas y los integrados en circuitos eléctricos-electrónicos.

2.5. Vida útil

23. La vida útil del acumulador consiste, por definición, en el período de tiempo en que puede ser recargado y conservar su carga. Cuando ya no puede ser recargado o no puede conservar su carga adecuadamente, esa vida útil llega a su fin y se convierte en un "acumulador usado" a los efectos de la aplicación a la que estaba destinado. Pese a que dada la reversibilidad de todo el proceso cabría pensar que la vida útil del acumulador es ilimitada, la principal causa de su "muerte" es el proceso de sulfatación. Este proceso comienza cuando se forma un precipitado de sulfato de plomo ($PbSO_4$) sobre las placas del acumulador y, a la larga, llega un momento en que esa capa de sulfato del plomo impide que los iones migren desde o hacia las placas o el electrolito y, por ende, cesan las reacciones que producen la energía eléctrica.

24. En condiciones ideales, un acumulador de automóvil puede durar hasta seis años, aunque diversos factores contribuyen a reducir esa vida útil óptima:

a) proceso de carga incompleto;

b) permanencia del acumulador sin usarse durante un período demasiado prolongado o intervalo entre dos cargas demasiado prolongado;

c) altas temperaturas, que aceleran el proceso de sulfatación;

d) intensificación del proceso de descarga; cuanto mayor es la descarga, menos tiempo dura el acumulador;

e) bajo nivel del electrolito: las placas expuestas al aire se sulfatan inmediatamente.

25. Cuando todos estos factores se analizan en conjunto, la vida útil del acumulador fluctúa entre 6 y 48 meses; sin embargo, sólo 30% del total llega realmente al límite de 48 meses. Aun así, se pueden adoptar algunos procedimientos para prolongar la vida útil del acumulador:

a) En la etiqueta del acumulador se indicarán los procedimientos correctos para prolongar la actividad del acumulador, como la adición solamente de agua destilada o sugerencias sobre formas de utilización; esta información al consumidor evitaría los problemas que se acaban de mencionar;

b) Para reducir la acumulación de sulfato en la superficie activa de las placas se podrán añadir sustancias reductoras, pese a que su utilización podría plantear problemas para el reciclado del ácido sulfúrico;

c) Se utilizarán procedimientos de recarga nuevos y mejorados que permitan prolongar la vida útil del acumulador.

26. Al final de su vida útil, el acumulador se clasificará como desecho peligroso con arreglo al Convenio de Basilea y se manejará tal como se ha previsto a fin de evitar daños a la salud humana y al medio ambiente.

3. RECICLADO DE ACUMULADORES DE PLOMO – FASES PREVIAS AL RECICLADO

3.1. Fases previas al reciclado

27. Antes de llegar a la planta de reciclado, se debe poner cuidado en la recogida, el transporte y el almacenamiento de los acumuladores usados para prevenir efectos adversos en la salud, así como la contaminación del medio ambiente. Dado que estas actividades no se realizan en la planta de reciclado, en el presente documento se les denomina “fases previas al reciclado”.

3.2. Recogida

28. La única manera de ejecutar con éxito un programa de reciclado de acumuladores de plomo consiste en instaurar una infraestructura de recogida apropiada y eficaz. La planificación de esta infraestructura debe hacerse con sumo cuidado, ya que afecta a diferentes sectores de la sociedad como son los vendedores de chatarra, los negocios de compraventa de acumuladores, los procesadores de plomo secundario y los consumidores, que constituyen una red organizada en la que se mantiene una corriente constante de material de desecho de plomo que alimenta el proceso de reciclado.

29. La experiencia demuestra que, como tendencia general, el proceso más espontáneo de recogida de acumuladores usados es el doble sistema de distribución y recogida, en el que los fabricantes, los comerciantes minoristas y mayoristas, las estaciones de servicio y otros lugares de venta al detalle entregan a los usuarios acumuladores nuevos a cambio de los usados, que conservan para su posterior envío a las plantas de reciclado. La viabilidad de este proceso se basa en el valor económico del contenido de plomo de los acumuladores usados.

30. Si bien se debe utilizar este proceso de manera que favorezca el manejo ambientalmente racional de los desechos de plomo, es recomendable que en los lugares de recogida se apliquen ciertas medidas de control para evitar accidentes que afecten al ser humano, al medio ambiente o a ambos:

a) **El drenaje de los acumuladores no debe realizarse en los puntos de recogida:** Con excepción de unos pocos acumuladores secos que pueden llegar al punto de recogida, casi todos los acumuladores usados contendrán su electrolito de ácido sulfúrico. El drenaje de este líquido puede resultar peligroso para la salud humana y para el medio ambiente: a) el electrolito tiene un alto contenido de plomo en forma de iones solubles y de partículas; b) su acidez es muy alta y puede causar quemaduras y daños en caso de derrame accidental; c) se requieren contenedores especiales ácidosresistentes para su almacenamiento; d) al realizar el drenaje, los trabajadores deben disponer de medios de protección a fin de minimizar la posibilidad de sufrir lesiones. Así pues, el drenaje de los acumuladores puede considerarse una actividad potencialmente peligrosa que requiere no sólo instrumentos, contenedores y equipo de seguridad especiales, sino también personal competente. Dado que en muchas ocasiones no se observan estos requisitos, lo que incrementa extraordinariamente el porcentaje de accidentes, debe evitarse la realización del drenaje en los puntos de recogida;

b) **Los acumuladores deben almacenarse en lugares adecuados en los puntos de recogida:** El lugar ideal para almacenar los acumuladores de plomo usados es dentro de un contenedor ácidosresistente, que puede simplemente sellarse y utilizarse también para transportarlos, con lo que se reduciría al mínimo la posibilidad de un derrame accidental. Sin embargo, ésto no es lo habitual, de ahí que deba adoptarse un conjunto de directrices en relación con el almacenamiento:

i) Los acumuladores que gotean, es decir aquellos de los que se derrama el electrolito, deben almacenarse en contenedores ácidosresistentes, pues de lo contrario contaminarían el medio ambiente y podrían causar daños a la salud;

ii) El lugar de almacenamiento se debe proteger de la lluvia y de otras fuentes de agua, debe contar con un sistema de captación de agua y también, de ser posible, estar lejos de fuentes de calor;

iii) El material de recubrimiento de los pisos del almacén debe ser preferentemente de concreto u otro material ácidosresistente, que pueda retener y encaminar cualquier derrame que se produzca hacia un contenedor de recogida del que pueda ser extraído después;

iv) El lugar de almacenamiento debe contar con un ventilador aspirante o simplemente un sistema de recirculación rápida del aire para evitar la acumulación de gases peligrosos;

v) Se deberá restringir el acceso al lugar de almacenamiento, que se identificará como lugar de almacenamiento de materias primas peligrosas;

vi) Cualquier otro material de plomo que pueda estar presente, por ejemplo en tuberías, deberá embalarse y almacenarse convenientemente según sus características.

Aunque se trata de consideraciones generales y en cada establecimiento pueden surgir problemas y necesidades específicos, estas medidas constituyen un conjunto básico que permite disminuir los posibles accidentes y crear un entorno protegido para el almacenamiento de acumuladores usados.

c) **En los puntos de recogida no deben almacenarse grandes cantidades de acumuladores usados:** Aun después de crear un lugar de almacenamiento protegido, el punto de recogida no deberá abarrotarse con un gran número de acumuladores usados, tampoco deberá convertirse en lugar de almacenamiento permanente. El número de acumuladores que se almacenen dependerá, por supuesto, del volumen de operaciones del establecimiento. El lugar de almacenamiento tendrá dimensiones tales que permitan cubrir esas demandas específicas. No obstante, almacenar grandes cantidades de acumuladores usados, o hacerlo durante tiempo excesivo, incrementa la probabilidad de derrame accidental o de goteo que hay que evitar.

d) **En los puntos de recogida no deben venderse los acumuladores a funderías de plomo no autorizadas:** Dado que las funderías no autorizadas son una de las fuentes de contaminación por plomo más importantes, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente, es preciso insistir en que en los puntos de recogida no se vendan ni se envíen acumuladores usados a establecimientos que no observen las más estrictas normas de protección.

3.3. Transporte

31. Los acumuladores de plomo usados deben ser considerados como desechos peligrosos cuando es preciso transportarlos. En este caso también, el principal problema del transporte de acumuladores es el electrolito, que puede derramarse de los acumuladores usados, lo que requiere

medidas de control para minimizar los posibles derrames y determinar cómo proceder en caso de accidente:

a) **Los acumuladores usados deben ser transportados dentro de contenedores:** Sea cual sea el medio de transporte que se utilice (barcos, trenes, etc.), los acumuladores de plomo usados deben ser transportados dentro de contenedores sellados, debido al riesgo de derrames, que puede ser alto aunque los acumuladores sean transportados en forma apropiada, en posición vertical. Durante el transporte los acumuladores pueden desplazarse de sus posiciones originales; las cajas se pueden romper o volcarse, lo que inevitablemente hará que el electrolito se derrame. Esto obliga a utilizar contenedores sellados que resistan las sacudidas y los derrames de ácidos;

b) **Los contenedores deben estar debidamente sujetos al vehículo que los transporta:** Deben ser inmovilizados para el transporte, por lo cual es preciso atarlos, ajustarlos o apilarlos correctamente para evitar ese problema;

c) **El vehículo de transporte debe estar identificado con símbolos:** El vehículo debe estar correctamente identificado, con arreglo a los convenios, símbolos y colores internacionales, para indicar que transporta productos corrosivos y peligrosos;

d) **Equipo específico:** El personal de transporte debe contar con el equipo mínimo necesario para hacer frente a cualquier accidente simple o a un problema de derrame, y conocer debidamente el manejo de ese equipo;

e) **Los conductores y sus ayudantes tienen que recibir capacitación:** Las personas que manejen desechos peligrosos deben siempre tener conocimiento de los procedimientos para casos de emergencia, como incendios, derrames, etc. y cómo comunicarse con los equipos que atienden casos de emergencia. Además, deben conocer el tipo de material peligroso concreto que transportan y cómo manejarlo;

f) **Equipo de protección personal:** Los encargados del transporte deberán recibir equipo de protección personal y aprender cómo utilizarlo en caso de accidente;

g) **Horarios y mapas de transporte:** De ser posible, el transporte de desechos peligrosos debe realizarse siempre por caminos que reduzcan al mínimo el riesgo de posibles accidentes u otros problemas específicos. Esto se logra siguiendo un recorrido preestablecido y limitándose a cumplir un horario conocido.

32. Los aspectos que se acaban de tratar no agotan la lista de posibilidades. El personal de transporte puede y, de hecho, debe, recibir capacitación e instrucciones mucho más específicas, ya que el transporte puede afectar zonas densamente pobladas u otros lugares vulnerables por los que pase y en donde un derrame accidental podría tener trágicas consecuencias.

3.4. Almacenamiento

33. Finalizado el transporte, los acumuladores llegan a la planta de reciclado. Aunque algunas medidas de protección son muy parecidas a las utilizadas en los lugares de almacenamiento de los puntos de recogida, la diferencia notable entre ellas estriba en la cantidad de acumuladores que se almacenan en esas plantas, que puede llegar fácilmente a varios miles de toneladas. Por lo tanto, en esos lugares se debe proceder de otra manera:

a) **Los acumuladores deben ser drenados y preparados para el reciclado:** El reciclado de acumuladores drenados mejora los coeficientes de reciclado y crea menos problemas ambientales. Por lo tanto, los acumuladores deben ser drenados, el electrolito debe ser conducido a la planta de tratamiento de efluentes y los acumuladores deben almacenarse vacíos y listos para el reciclado;

b) **Es necesario identificar y clasificar los acumuladores:** Cada tipo de acumulador requiere un método de reciclado diferente. De ahí que sea preciso identificarlos correctamente, etiquetarlos y almacenarlos en lugares diferentes;

c) **Los acumuladores deben ser almacenados en un edificio o lugar cubierto apropiado:** A menos que circunstancias específicas lo requieran, el almacenamiento en contenedores deja de ser práctico en la planta de reciclado, ya que en esta etapa los acumuladores deben ser clasificados, identificados y cuidadosamente separados. De ahí que, para almacenarlos, se deba construir un hangar adecuado, o en el peor de los casos, asignar un espacio descubierto, cuyas características mínimas serán las siguientes:

- i) Pisos impermeables y ácidosresistentes;
- ii) Un sistema eficaz de captación de agua que conduzca las soluciones derramadas hacia la planta de tratamiento de efluentes o electrolitos ácidos;
- iii) Una entrada única y una sola salida, que deben permanecer cerradas, a menos que otras razones dicten lo contrario, para evitar que se levante el polvo;
- iv) Un sistema colector de gases especial que filtre el aire para extraer el polvo de plomo y al mismo tiempo renueve el aire dentro del hangar a fin de evitar la concentración de gases tóxicos;
- v) Equipo suficiente de extinción de incendios². Pese a que es improbable que los acumuladores mismos provoquen un incendio, no se debe olvidar que otras causas pueden provocar un incendio en los acumuladores, debido al alto contenido de compuestos de carbono de las cajas plásticas. Esto hace que se requieran extintores;
- vi) Sólo el personal autorizado podrá entrar al lugar de almacenamiento.

34. También en este caso, se trata sólo de consideraciones generales que deben adaptarse a las necesidades específicas de cada planta de reciclado. Se recomienda adoptar métodos más restrictivos y cuidadosos. En particular, y siempre que sea posible, el lugar de almacenamiento deberá tener debajo un pozo ácidosresistente para evitar que los líquidos derramados salgan del lugar de almacenamiento. Se deberá instalar un sistema de colector y bomba de drenaje para extraer el exceso de líquido del hangar, así como contenes de seguridad para impedir que los camiones caigan al pozo cuando estén descargando. Un elemento fundamental de este sistema es también un sistema de ventilación eficiente.

² QUE NO SEA AGUA, a fin de impedir la producción de gases tóxicos como arsina y estibina.

4. RECICLADO DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO

35. Las etapas previas al reciclado terminan cuando los acumuladores son recibidos y almacenados convenientemente en el lugar de almacenamiento de la planta de reciclado. Cumplida esa etapa, los acumuladores usados entran en el proceso de reciclado, que cabría dividir hipotéticamente en tres procesos principales:

- a) Apertura o rotura de los acumuladores
- b) Reducción del plomo
- c) Refinación del plomo

4.1. Apertura del acumulador

36. Sea cual sea la tecnología de reciclado que vaya a utilizarse, es imprescindible drenar los acumuladores antes de que entren en el proceso de reciclado, ya que el electrolito ácido crea algunas complicaciones en el proceso de fusión-reducción del plomo. Después del drenaje la necesidad de abrir o no los acumuladores dependerá del proceso de reciclado que se utilice.

37. Con las metodologías clásicas de los procesos de reciclado del plomo, incluidas las de horno de combustión de enfriamiento por agua, los hornos de reverberación, la fundición por arco eléctrico y los hornos rotatorios de poco o gran volumen, no hace falta abrir el acumulador antes del proceso de fundición. Los acumuladores drenados pasan directamente al proceso de reciclado, ya que las técnicas pirometalúrgicas aceptan materias orgánicas y otras sustancias, que se queman o se incorporan en la escoria.

38. No obstante, es preferible utilizar procesos en que haya que abrir los acumuladores antes del reciclado porque:

- a) aumenta el porcentaje de producción de plomo y disminuye la escorificación;
- b) se puede producir plomo blando³, así como plomo antimonial;
- c) cabe la posibilidad de recuperar polipropileno;
- d) se simplifica el tratamiento de los gases del horno;
- e) las técnicas pirometalúrgicas no admiten el ácido del electrolito del acumulador.

39. Además, las mejoras en la industria de producción de acumuladores llevan, en fin de cuentas, a la producción de acumuladores "sellados" y de otros sistemas que ya no permiten un fácil drenaje. Por lo tanto es cada vez mayor el número de acumuladores que es preciso romper antes de que sean sometidos al proceso de reciclado.

4.1.1. *Antecedentes históricos de la apertura de acumuladores*

³ Con bajo contenido de antimonio o sin antimonio.

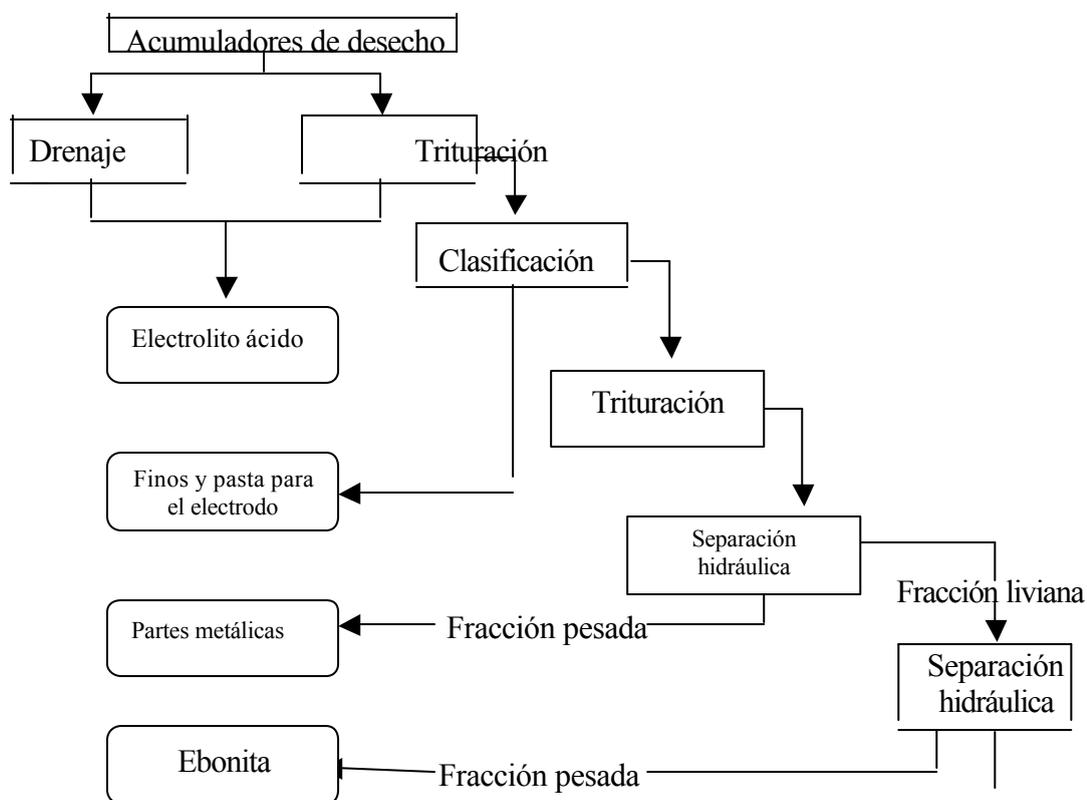
40. Antes de los años sesenta, en momentos en que precisamente el proceso de reciclado exigía la reducción del contenido de materia orgánica en el horno, los acumuladores se abrían principalmente a hachazos, de lo contrario iban a parar directamente al horno. Esta situación ha cambiado en la mayoría de los países, especialmente en los desarrollados, aunque lamentablemente no ha ocurrido lo mismo en la mayoría de los países en desarrollo. Cabe subrayar, sin embargo, la necesidad de evitar a toda costa la apertura manual de los acumuladores, no sólo porque se trata de una de las principales fuentes de contaminación para la salud humana, sino también porque no es la manera ambientalmente racional de manejar esos desechos. No obstante, en algunas funderías modernas se siguen abriendo en forma manual los grandes acumuladores industriales que, por sus dimensiones, no pueden romperse con aparatos normales. Si es preciso aplicar esa técnica, habrá que adoptar todas las medidas pertinentes para proteger a los trabajadores y al medio ambiente.

41. En los años sesenta y setenta, la apertura de los acumuladores fue evolucionando hasta llegar a la utilización de una guillotina o sierra mecánica que redujo en gran medida el contacto humano durante el proceso de apertura. A ello vino a sumarse el traslado automatizado, siendo éstos los primeros ejemplos de sistemas totalmente mecanizados, que todavía siguen utilizándose.

42. A partir de los años ochenta, muchas de las modernas funderías fueron adoptando sistemas totalmente mecanizados, en que los acumuladores llegaban, se transportaban y se cortaban en trozos suficientemente pequeños para lograr la separación de todas sus partes.

4.1.2. Procedimientos modernos de apertura de acumuladores

43. El moderno proceso de apertura de acumuladores (figura 2) comienza con la llegada de los acumuladores usados a la planta de reciclado. En general el contacto humano se reduce al mínimo posible; los acumuladores se reciben y por medio de correas transportadoras o vagonetas, de ser posible, se llevan hacia la trituradora.





Polipropileno

Figura 2: Proceso de apertura de acumuladores.

44. Una vez que los acumuladores llegan a la máquina pasan a las trituradoras de martillo u otros mecanismos de trituración que las dividen en pequeños trozos. Este procedimiento garantiza que todos los componentes, tales como placas de plomo, conectores, cajas de plástico y electrolitos ácidos, puedan separarse fácilmente en las etapas siguientes.
45. A continuación, los óxidos y sulfatos de plomo se separan hidráulicamente de los demás materiales gracias a un sistema de cedazos de movimiento variable. Una vez separados, se envían al horno, si se va a utilizar una técnica pirometalúrgica, o se someten a otros procesos, por ejemplo, técnicas hidrometalúrgicas.
46. Después de la primera rotura gruesa, en algunos casos se aplican otros mecanismos de trituración que reducen aún más el tamaño del material restante. Las partes metálicas, incluidas las placas de plomo, las rejillas, los conectores y los bornes, se separan entonces de las partes orgánicas, incluidas las cajas de polipropileno, ebonita o PVC, los separadores de placas, etc., aprovechando la diferencia de densidades, en separadores hidráulicos que difieren de un proceso a otro.
47. Mediante otros procesos en que se aprovechan las propiedades de densidad y los mecanismos hidráulicos, se separan los trozos de los acumuladores rotos en tres capas diferentes: la primera está constituida por fracciones livianas, como los plásticos; la segunda por piezas de óxido y sulfatos de plomo de granulometría fina, y la tercera es la capa pesada formada por placas de plomo, conectores, etc. En este método, por lo tanto, está ausente la etapa de filtración a fin de extraer los compuestos de plomo antes de la recuperación del plástico. No obstante, la complejidad de estos sistemas dificulta su regulación y utilización.
48. Después de estas etapas de separación, la capa orgánica vuelve a separarse en desechos de polipropileno (los denominados desechos orgánicos livianos) y en separadores y ebonita (los denominados desechos orgánicos pesados). Los primeros se lavan para extraer los restos de óxido de plomo, se Trituran hasta obtener piezas pequeñas, cuyas dimensiones dependen de su uso futuro, mientras que la ebonita y los separadores se almacenan convenientemente. Si el sistema de trituración no está conectado con el horno en un proceso continuo, los compuestos de plomo y las partes metálicas se almacenan también en espera de su ulterior procesamiento.
49. Los métodos de apertura de acumuladores difieren entre sí en cuanto a los detalles del proceso y evolucionan a medida que se dispone de nuevas tecnologías. La conveniencia de cada uno para determinada planta de recuperación de plomo depende de factores específicos tales como la economía local, la cantidad de materias primas y la demanda de las fundeñas. Algunos ejemplos de estos sistemas son los de Metaleurop, Bunker Hill, Engitec y MA Engineering, que pueden conocerse en detalle consultando referencias especializadas. Con todo, no se deben escatimar esfuerzos para eliminar el uso de la apertura manual de los acumuladores y los riesgos para la salud humana y el medio ambiente que entraña esta práctica. Si no se puede disponer de un sistema de apertura mecánica de los acumuladores, por la razón que sea, el método más seguro para preparar la fundición del acumulador sería perforar la caja y drenar el electrolito del acumulador para darle el tratamiento correspondiente; quitar la tapa del acumulador y sacar las placas y los separadores utilizando una sierra circular y observando el uso correcto de dispositivos y equipo de protección,

enviar las placas y las rejillas con la tapa del acumulador a la fundería y devolver la caja del acumulador al fabricante para que la vuelva a utilizar.

4.1.3. *Apertura de acumuladores: Posibles fuentes de contaminación del medio ambiente*

50. La finalidad de esta sección, y de las otras dos secciones relacionadas con los procesos de reducción y refinación del plomo, no es describir o enumerar la larga lista de todas las posibles fuentes de contaminación en los procesos de recuperación de plomo, tarea que resultaría imposible, se trata simplemente de incluir una lista breve de fuentes previsibles y comunes de contaminación y de dónde puede consultarse a la hora de determinarlas. Las fuentes específicas de contaminación se determinarán según el proceso que se utilice. Los métodos de prevención de la contaminación se tratarán en el capítulo referente a la protección del medio ambiente. Hecha esta aclaración, cabe señalar que en el proceso de apertura de acumuladores, el origen común de las consecuencias para el medio ambiente son pues:

a) los acumuladores que gotean - *Fuente de contaminación por electrolito ácido y polvo de plomo*: Los derrames en los acumuladores pueden ser una fuente muy común de contaminación del medio ambiente y problemas de salud para el ser humano, ya que el electrolito no sólo es una solución sumamente corrosiva, sino también un portador idóneo del plomo soluble y de partículas de plomo. De manera que si esa solución se derrama en una zona no protegida puede contaminar el suelo o lesionar a los trabajadores. Además, el derrame en suelo no protegido hace que el propio suelo se convierta en fuente de polvo de plomo al evaporarse la solución; el plomo se incorpora a las partículas del suelo, que pueden ser arrastradas por el viento o levantadas por el paso de los vehículos;

b) la apertura manual de los acumuladores – *Fuente de daños para la salud humana y para el medio ambiente provocados por fuertes derrames y formación de polvo contaminado con plomo*: Generalmente la apertura manual se lleva a cabo con herramientas primitivas, los trabajadores están mal protegidos y no se protege en absoluto el medio ambiente. La situación empeora en el caso de los acumuladores sellados cuyo drenaje no es fácil, lo que incrementa extraordinariamente el riesgo de fuertes derrames y daños para la salud humana. Por lo tanto, este método deberá evitarse a toda costa;

c) la apertura mecánica de los acumuladores – *Fuente de partículas de plomo*: El proceso de apertura de acumuladores por trituración en trituradoras de martillo puede propagar las partículas de plomo. No obstante, el hecho de que la planta está cerrada y la utilización de chorros de agua dentro de la trituradora impide la formación de esas partículas;

d) la separación hidráulica – *Derrame de agua contaminada*: En general, la separación hidráulica, tanto del metal y la materia orgánica como de los desechos orgánicos pesados y livianos, se suele llevar a cabo en máquinas de cierre hermético y con un sistema cerrado de inyección de agua, pero si se produce algún derrame de agua, con toda seguridad estará muy contaminada por compuestos de plomo;

e) las virutas de plástico y ebonita – *Desechos contaminados*: Los residuos de ebonita que quedan del proceso de apertura pueden plantear un problema, ya que suelen tener un porcentaje de contaminación de hasta 5% (p/p) de plomo. De ahí la importancia de extraer los últimos restos de

plomo mediante un segundo lavado, preferiblemente en una solución alcalina, seguida de otro enjuague antes de continuar el tratamiento y de extraerlos.

4.2. Reducción del plomo

51. La chatarra obtenida a partir del proceso de apertura de los acumuladores consiste en una mezcla de varias sustancias: plomo metálico, óxido de plomo (PbO), sulfato de plomo (PbSO₄) y otros metales, como (Ca), cobre (Cu), antimonio (Sb), arsénico (As), estaño (Sn) y, en ocasiones, plata (Ag). Para aislar el plomo metálico de esa mezcla pueden aplicarse dos métodos: métodos pirometalúrgicos, conocidos también como de fusión y reducción, y métodos hidrometalúrgicos o electrolíticos. También se puede utilizar una combinación de ambos, en lo que sería un procedimiento híbrido.

4.2.1. *Métodos pirometalúrgicos*

52. El objetivo de los métodos pirometalúrgicos, o métodos de fusión y reducción, consiste en reducir químicamente todos los compuestos metálicos a sus formas metálicas, o reducidas, mediante calentamiento y la adición de agentes fundentes y reductores (figura 3).

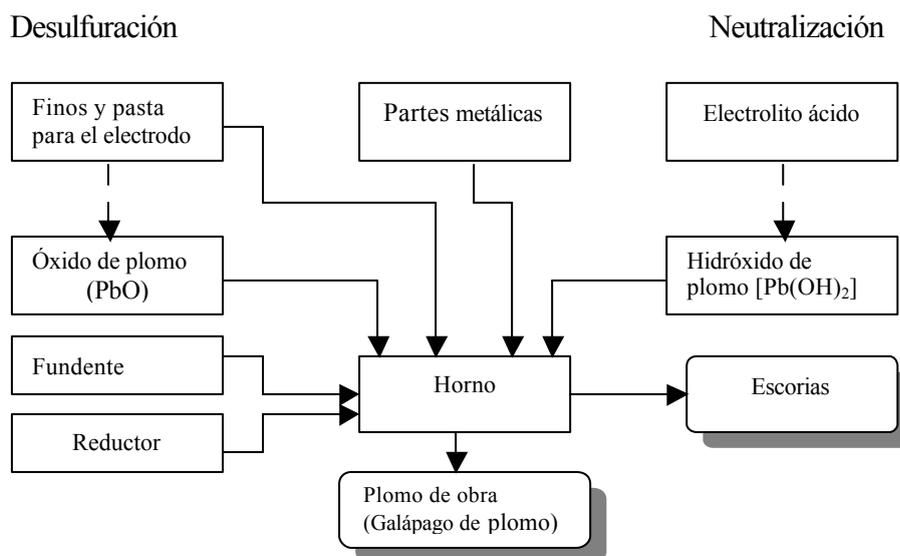


Figura 3: Diagrama de un proceso de fundición de plomo

53. Antes de la fundición se puede desulfurar la pasta de sulfato de plomo sometiéndola a una reacción con una mezcla de carbonato de sodio (Na₂CO₃) e hidróxido de sodio (NaOH), como en los procesos de CX y conexos, que convierten el sulfato de plomo (PbSO₄) en óxido de plomo (PbO). El agente desulfurante puede ser también óxido de hierro (Fe₂O₃) o piedra caliza (CaCO₃). Este procedimiento reduce el volumen de formación de escoria y también, según el método de fundición utilizado, la cantidad de dióxido de azufre (SO₂) que se desprende a la atmósfera. Pero con otros métodos simplemente se añaden directamente al horno cantidades controladas de sulfato de plomo y agente desulfurante.

54. El electrolito ácido debe ser tratado también antes de que su contenido de plomo sea enviado al horno de fundición, neutralizando la solución del electrolito con hidróxido de sodio, que precipita el plomo que esté presente en la forma de hidróxido de plomo $[Pb(OH)_2]$. Este compuesto se extrae entonces por decantación o filtrado y se envía al horno. La solución que queda, sulfato de sodio diluido en agua (Na_2SO_4), se puede seguir afinando y se puede aislar la sal en grados de gran pureza (hasta alcanzar la calidad granulométrica de alimento), como ocurre en el proceso de CX Engitec Impianti.

55. La fracción metálica y los compuestos de plomo derivados de los procesos de desulfuración y neutralización pasan luego al horno y se funden con agentes fundentes y reductores. Según el método que se utilice, el calor necesario puede provenir de petróleo, gas, coque, electricidad, etc. El proceso de fundición puede realizarse, además, en recipientes de diverso tipo: hornos rotatorios, hornos de reverberación, horno de combustión u hornos eléctricos, hornos giratorios de calcinación, etc. El mejor método depende, también en este caso, de varios factores, como la economía local, el volumen de reciclado programado, etc. En la bibliografía que figura al final de estas directrices se puede encontrar información específica.

56. Los agentes fundentes, que se derriten a una temperatura inferior a la de fusión de los compuestos de plomo, se añaden no sólo para bajar la temperatura de fusión del plomo, sino también para aportar un solvente líquido que atrape los diversos compuestos indeseables durante los procesos de fundición y reducción. A medida que el fundente comienza a contaminarse con todo tipo de impurezas provenientes del proceso de fundición, comienza también la formación de escoria. Las propiedades físicas y químicas de esta escoria, que son características importantes a considerar para su tratamiento ulterior, dependen totalmente de la composición química del fundente que se utilice.

57. Se agregan, además, agentes reductores a los efectos de reducir el óxido de plomo (PbO) y el hidróxido de plomo $[Pb(OH)_2]$ a plomo metálico. Se trata generalmente de un compuesto basado en el carbono, como el coque, los finos u otra fuente natural de carbón.

58. Hay que controlar cuidadosamente la cantidad de fundente y reductor que se añada:

a) La falta de fundente impedirá atrapar todo el azufre y los demás materiales presentes en la chatarra, por lo que se desprenderá una gran cantidad de óxidos de azufre;

b) Si, por otra parte, se añade poca cantidad de agente reductor, no se reducirán todos los óxidos de plomo presentes en la chatarra, y la escoria quedará muy contaminada con plomo, lo que puede representar un peligro para el medio ambiente.

59. Una vez logrado el debido equilibrio en el proceso, el plomo metálico fundido comienza a acumularse en el fondo de la vasija, aunque en algunos casos, como se señaló, presentará una gran contaminación con otros metales de valor económico. Esto obliga a someter al galápagos de plomo a un proceso de refinación antes de poder recuperar el plomo puro.

4.2.2. Métodos hidrometalúrgicos

60. El objetivo de los métodos hidrometalúrgicos o electrolíticos es reducir eléctrica y selectivamente todos los compuestos de plomo a plomo metálico, como ocurre con la tecnología PLACID (figura 4).

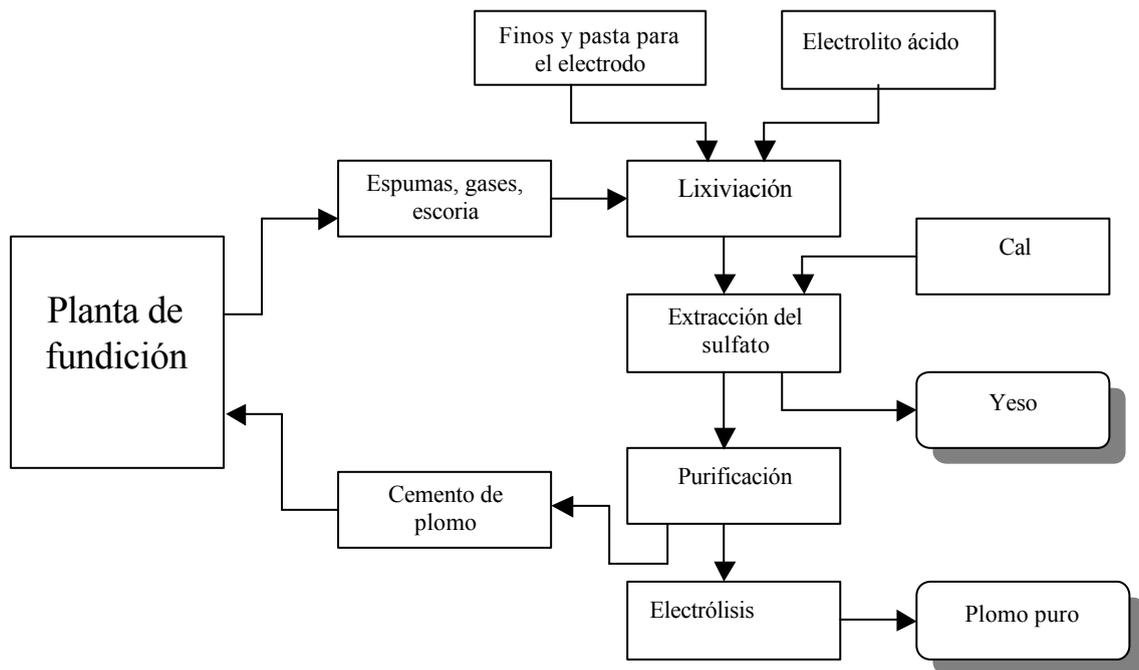


Figura 4: Diagrama de un proceso de electrólisis de plomo

61. Este proceso, aunque a veces resulta costoso para una sola planta, logra buenos resultados cuando se realiza en una planta de fundición a baja temperatura, pues la separación pertinente de las materias primas ofrece una solución tecnológica a los procesos de refinación del plomo.

62. El concepto químico en que se basa el proceso electrolítico es la conversión de todos los compuestos de plomo hasta formar una especie química única, en este caso plomo en estado de oxidación +II (Pb^{2+} o plomo plumboso), que luego se reduce electrolíticamente para producir plomo metálico (figura 5).

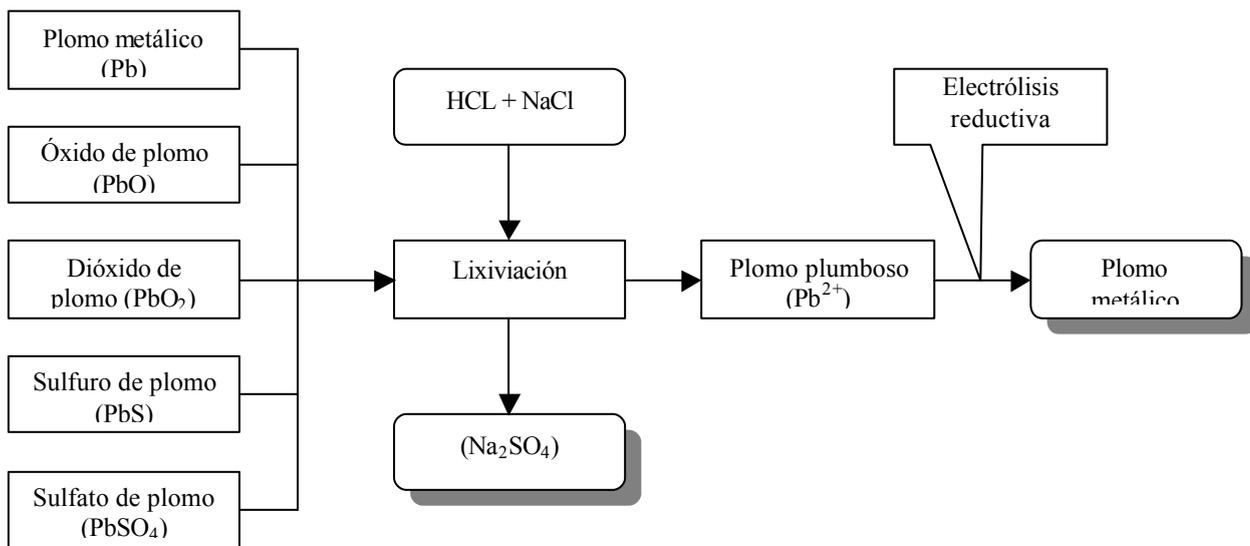


Figura 5: Proceso electroquímico en la producción hidrometalúrgica de plomo.

63. La electrólisis deposita el plomo en forma de dendritas o materia esponjosa, que luego se separa por sacudimiento, se recoge en una correa transportadora y se comprime para formar laminillas de plomo puro (99,9%), que pueden ser transportadas a una caldera para fundirlas en lingotes. Todo el proceso de extracción puede realizarse durante las 24 horas del día sin interrupción.

4.2.3. Reducción del plomo: Posibles fuentes de contaminación del medio ambiente

64. Durante la reducción pirometalúrgica del plomo, el medio ambiente se puede ver afectado por:

a) Los compuestos de plomo derivados del proceso de apertura – *Plomo y compuestos de plomo en el polvo y en el agua*: Las materias separadas y finas obtenidas en el proceso de apertura de acumuladores suelen estar húmedas, ya que los principales procesos de separación se basan en técnicas que utilizan agua. No obstante, si no se incorporan en un proceso totalmente automatizado habrá que transportarlas desde la trituradora hasta la planta de reducción, momento en que pueden derramarse y caer del mecanismo de transporte algún material fangoso y/o acuoso. Al secarse, queda un polvillo de plomo que puede contaminar la fábrica y sus alrededores;

b) Las espumas – Materias contaminadas con plomo: Las espumas se forman durante el proceso de fusión. La función de estas espumas es la de extraer materiales que no sean de fácil incorporación o cuya presencia en el plomo de obra sea indeseable. No obstante, todavía contienen plomo que puede recuperarse, por lo que se reciclan en el proceso de fusión. Para ello las espumas se sacan y se transportan a la tolva de carga del horno, pero como ese material suele ser pulverulento y a veces quebradizo (espumas de cobre), puede convertirse en fuente de contaminación por plomo durante su transporte;

c) Los filtros – Polvos contaminados con plomo: Los hornos requieren filtros para retener el polvo de plomo formado en el proceso de fusión. Una vez utilizados, se les suele reciclar en el mismo proceso de fusión, ya que pueden contener hasta un 65% de plomo. Sin embargo, el cuidado y mantenimiento de esos filtros usados puede ser una importante fuente de polvo contaminante y un posible riesgo para la salud humana y para el medio ambiente. Además, los filtros utilizados en demasía dejan de retener el polvo de plomo para lo cual se colocaron originalmente, de manera que las emisiones de polvo del horno de fusión se convierten en una importante fuente de contaminación. Por último, hay que tener presente también que la entrada del horno es de por sí una fuente de polvo de plomo para el medio ambiente, porque se puede abrir. Los gases a altas temperaturas que salen por la entrada del horno y las zonas de colada, por ejemplo, tienen un alto contenido de plomo, que es fácilmente absorbido por el organismo humano;

d) Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) – El porcentaje de azufre proveniente de determinada cantidad de carga de chatarra de plomo que abandona el sistema de reducción en la forma de dióxido de azufre (SO₂) depende, en gran medida, no sólo de las condiciones del horno, sino también del tipo de espuma que se forme. Como tendencia general, la proporción puede estar comprendida entre 0% y 10%, y se reduce considerablemente si el fundente utilizado es una mezcla de hierro y compuestos de base sódica que producen espumas de sodio y piritas. La ebonita tiene también un contenido de azufre de 6% a 10%, que puede contribuir a la emisión de SO₂ si se añade a la carga del horno;

e) La combustión de materias orgánicas – Formación de alquitrán: Con un horno de afino bien estructurado y controlado no hay por qué preocuparse por la formación de alquitrán, ya que su proceso de reducción consume todas las materias orgánicas. Por otra parte, si el control del proceso de reducción es mínimo, tanto mayores serán las emisiones de alquitrán, especialmente en las funderías artesanales. Si el horno de reducción tiene filtros, la emisión de alquitrán es un problema aún mayor por ser muy pirogénicos, de ahí la posibilidad de que se produzcan incendios en la planta de filtrado, lo que aumenta la probabilidad de accidentes y de una emisión violenta. La introducción de retardadores de la combustión para completar la combustión de gases provenientes del horno es la solución habitual a este problema, pero tal vez presente mejores perspectivas la reestructuración total del proceso, por ejemplo extrayendo la materia orgánica;

f) La emisión de cloro (Cl₂) y compuestos de cloro: Una separación inicial de los materiales cuya presencia en el proceso de reducción se haya admitido reduce considerablemente la emisión de cloro. Pero si en el horno aumenta la cantidad de PVC, la probabilidad de emisión de cloro aumenta. La mayor parte de ese cloro se absorbe en las espumas básicas de calcio o sodio; no obstante, parte del cloro se convierte químicamente en cloruro de plomo, que es volátil en las condiciones del horno, pero queda retenido por los filtros de polvo al bajar la temperatura;

g) La producción de escoria: Representa la mayor parte de la producción de desechos durante el proceso de reducción. Como norma, por cada tonelada de plomo metálico se producen entre 300 kg y 350 kg de escoria, lo que dependerá de factores específicos del proceso y del tipo de

residuo que se forme (espumas de calcio o sodio) y alrededor del 5% (p/p) de esta escoria consiste en compuestos de plomo. De ahí la necesidad de prestar consideración especial al lixiviado que puede producirse, si una escoria inestable soluble en agua entra en contacto con el agua o la humedad. Debe preverse con mucha antelación un lugar adecuado de destino y almacenamiento de este material para evitar problemas para la salud humana y para el medio ambiente.

4.3. Refinación del plomo

65. Como ya se indicó, si la actividad de la planta de fundición sólo llega a la etapa de fusión y reducción, se producirá lo que se conoce como plomo endurecido o antimonial. Si la planta está destinada a producir plomo blando, el galápago de plomo de obra debe ser sometido a un proceso de refinación, cuya finalidad es extraer casi todo el cobre (Cu), el antimonio (Sb), el arsénico (As) y el estaño (Sn), ya que el plomo blando estándar no puede contener más de 10 g por tonelada de estos metales.

66. Hay dos métodos de refinación del plomo: métodos hidrometalúrgicos, ya descritos en la sección sobre reducción del plomo, y procesos pirometalúrgicos o térmicos, que se describen a continuación.

4.3.1. Refinación pirometalúrgica

67. La refinación térmica se realiza en una fase líquida, lo que significa que el plomo de obra debe fusionarse a temperaturas entre 327°C (punto de fusión del plomo) y 650°C (punto de ebullición del plomo). Como tendencia general, el proceso se realiza en lotes de 20 a 200 t, según la capacidad de la planta de refinación.

68. El concepto químico en que se basa el proceso de refinación consiste en añadir reactivos específicos al plomo fundido a temperaturas adecuadas. Esos reactivos extraerán los metales no deseados en un orden específico, ya que se van añadiendo selectivamente (figura 6).

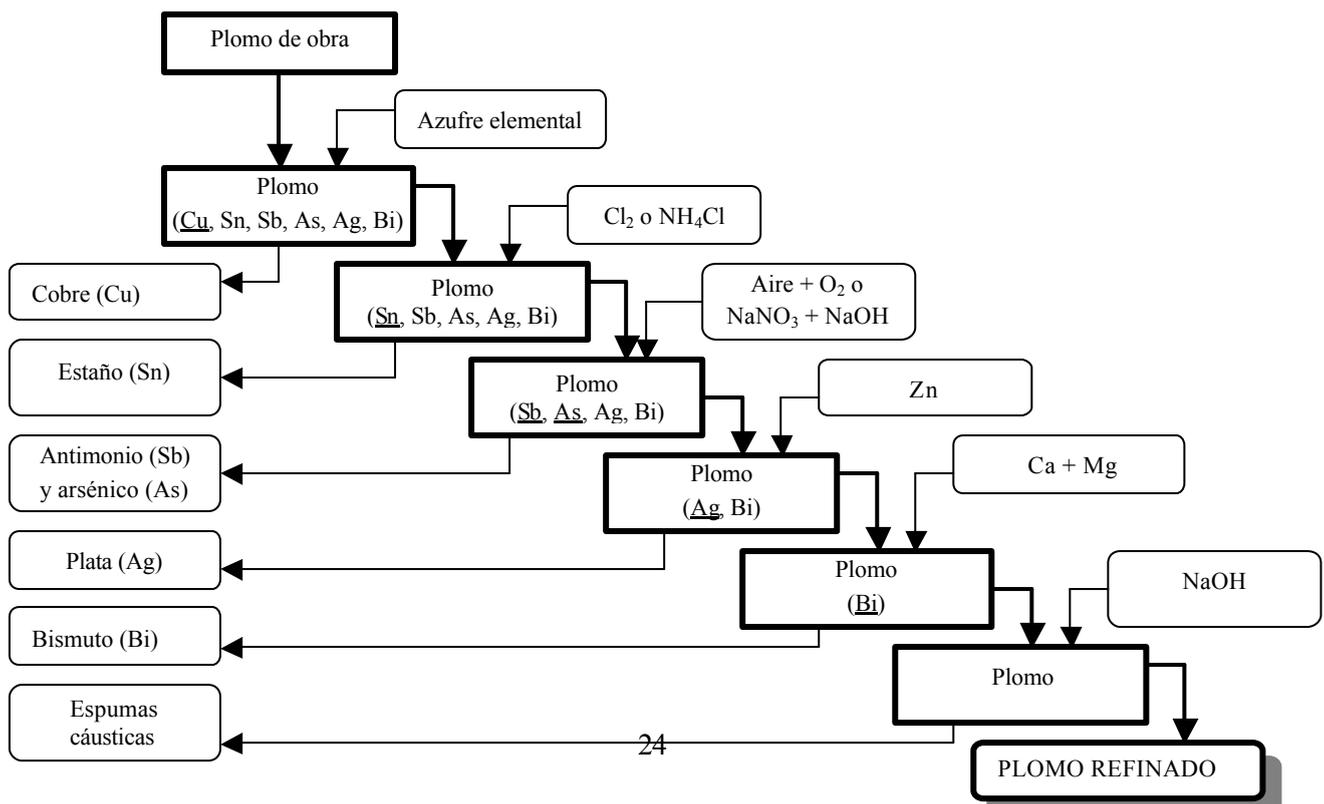


Figura 6: Refinación pirometalúrgica del plomo.

69. El cobre (Cu) es el primer elemento que debe extraerse mediante azufre elemental en un procedimiento de dos etapas. En la primera se extrae casi todo el cobre en la forma de espumas de sulfuro de cobre (CuS), añadiendo azufre elemental al plomo fundido a 450° C. En la segunda se extrae todo el cobre restante añadiendo pequeñas cantidades de azufre elemental al plomo fundido a 330° C hasta que cesa toda reacción. Dado que el uso del azufre supone la aplicación de normas de protección e higiene rigurosas para prevenir incendios y la asfixia causada por los gases irritantes, una posibilidad más segura es utilizar pirita de hierro para evitar el riesgo de incendio y los gases irritantes.

70. Luego se extrae el estaño en el proceso de fundición sólo en la etapa de refinación, si se han añadido a la caldera de refinación las rejillas de chatarra de plomo y otros materiales sólidos de plomo y se dejan derretir en un baño de metal licuado. El estaño es tan inestable que para extraerlo sólo basta con agitar este baño y añadir un poco de nitrato de sodio (NaNO₃). Si quedara algún residuo de estaño, se podrá extraer inyectando aire en la caldera.

71. El arsénico (As) y el antimonio (Sb) se extraen mecánicamente mediante oxidación con aire enriquecido con oxígeno (O₂) o una mezcla de nitrato de sodio (NaNO₃) e hidróxido de sodio (NaOH). La temperatura del plomo fundido se eleva hasta los 550° C y se insufla un chorro de aire enriquecido con O₂. La reacción es sumamente exotérmica, por lo que la temperatura aumenta rápidamente a 650° C. Las espumas resultantes son una mezcla de óxidos (25% de Sb, 10% de As y 65% de Pb).

72. A continuación se extrae la plata (Ag), mediante el proceso Parkes, en que se aprovecha la solubilidad preferible de la plata en el zinc (Zn) fundido y no en el plomo (Pb) fundido. Por lo tanto se añade zinc (Zn) metálico al plomo fundido a 470° C y la mezcla se deja enfriar hasta los 325° C. Se separa una aleación de plata, plomo y zinc, que forma una costra en la superficie. Se saca esa costra y el zinc se separa de la plata por destilación al vacío. La plata en bruto se refina por medio de oxígeno para producir plata de ley. Del plomo desprovisto de plata se extrae el zinc residual mediante destilación al vacío y, posteriormente, con hidróxido de sodio (NaOH).

73. Por último, se extrae el bismuto (Bi) mediante el tratamiento del plomo resultante con una mezcla de calcio (Ca) y magnesio (Mg), lo que se conoce también como proceso Kroll-Betterton. Se forma una aleación de calcio, magnesio y bismuto que sobrenada en la superficie del plomo fundido y luego se extrae. Esa costra se oxida y se sigue refinando para producir bismuto de gran pureza.

74. El plomo puro se trata entonces con hidróxido de sodio (NaOH) para extraer todas las impurezas restantes, y finalmente se funde en bloques o lingotes. En general los gases, los residuos y litargirios y cualesquiera otras sustancias que se formen durante el proceso de refinación se suelen fundir en un pequeño horno de combustión como galápagos de plomo de obra que se reintroduce en el ciclo de refinación.

4.3.2. Refinación del plomo: Posibles fuentes de contaminación del medio ambiente

75. El proceso de refinación puede ser contaminante si no se adoptan algunas medidas de control. En el proceso de refinación del plomo, algunas fuentes de contaminación que pueden repercutir en el medio ambiente son:

a) el plomo recalentado – *Vapores de plomo*: A veces el plomo proveniente del proceso de reducción se introduce directamente en la caldera de refinación, que puede alcanzar una temperatura de hasta 1.000° C. Por lo tanto, no son pocos los casos en que el proceso de refinación del plomo produce vapor de plomo en grandes cantidades. Lo ideal sería que el plomo pasara directamente del horno al baño de fundición o que se le permitiera enfriarse antes de la colada;

b) las emisiones de dióxido de azufre (SO₂): La extracción del cobre añadiendo azufre elemental puede producir grandes cantidades de dióxido de azufre (SO₂), ya que el azufre se oxida fácilmente en presencia de oxígeno a las temperaturas del horno. La utilización de pirita de hierro elimina este problema;

c) la producción y extracción de las espumas – *Contaminaciones metálicas*: La producción de espumas y su extracción de la caldera de refinación mientras se afinan los metales no deseados a partir del plomo de obra puede plantear riesgos para la salud humana y el medio ambiente debido a las características físicas de las espumas. A veces adoptan la forma de un polvo muy fino y seco con cierto porcentaje de plomo y otros metales, de ahí la importancia de disponer de transporte y almacenamiento adecuados, cubiertos o sellados, y un destino apropiado para este subproducto potencialmente peligroso;

d) la extracción y recuperación del estaño (Sn) por medio del cloro (Cl₂) – *Desprendimiento de gases de cloro*: La extracción del estaño mediante cloro gaseoso es un proceso sumamente delicado. Se programa la entrada de gas de modo de evitar las emisiones de cloro, es decir el gas reacciona con el estaño antes de llegar a la superficie del plomo fundido. No obstante, si no se controla la adición de cloro pueden desprenderse gases venenosos a la atmósfera. Además, el almacenamiento y manejo del cloro es de por sí una operación delicada, debido a sus propiedades corrosivas y a su toxicidad;

e) la extracción de estaño (Sn) mediante aire enriquecido con oxígeno (O₂) – *Vapor de plomo*: Mientras el aire pasa por los metales fundidos, el nitrógeno (N₂) presente en el aire no reacciona. La consecuencia es que el gas burbujea violentamente en la superficie de los metales, liberando polvos y vapores metálicos.

5. CONTROL AMBIENTAL

76. Hasta aquí se han descrito varios aspectos del reciclado del plomo, entre ellos la recogida, el manejo, el almacenamiento, el transporte, la apertura de acumuladores y la reducción y refinación del plomo. Pero quedan aún por analizar algunas cuestiones importantes, sobre todo las relacionadas con las medidas de control ambiental.

77. El proceso de control ambiental puede dividirse en tres elementos principales según el estado en que se encuentre la planta de reciclado: a) es posible que todavía no se haya encargado su construcción; b) la planta lleva años de construida, pero necesita mejoras tecnológicas y orientación a los efectos del control, o c) la planta utiliza las mejores tecnologías disponibles y sólo requiere orientación a los efectos del control.

5.1. Planificación de plantas de reciclado del plomo – Evaluación del impacto ambiental (EIA)

78. La evaluación del impacto ambiental (EIA) es un estudio que se realiza antes del establecimiento de cualquier posible fuente de contaminación con el objetivo de evaluar las consecuencias para el medio ambiente de un proyecto industrial en su fase de concepción. Por lo tanto, este estudio aporta elementos para mejorar el proyecto y también datos que orienten a los responsables de la adopción de decisiones, a los inversionistas y a los gobiernos y les alerten de las consecuencias del proyecto. Los estudios de EIA suelen ser obligatorios en varios países del mundo, y los fondos destinados a la ejecución del proyecto no se desembolsan hasta después de la presentación del estudio y de su aprobación por los organismos públicos competentes.

79. En teoría, ésta es la etapa por la que deben pasar todas las plantas de reciclado del plomo para prevenir la contaminación del medio ambiente y prever todos los aspectos de la protección del medio ambiente y de la salud humana. También es la ocasión idónea para introducir modificaciones en el proyecto a un costo mínimo y planificar por anticipado la utilización de las mejores tecnologías disponibles para la técnica de reciclado que se elija. En fin de cuentas, proporciona orientación sobre cómo lograr que la planta de reciclado se relacione con su entorno, no sólo desde el punto de vista ambiental, sino también económico, social, y demás.

80. En la EIA se examinarán las secciones que a continuación se mencionan. En el anexo I se puede consultar una guía más completa al respecto:

- a) Metas y objetivos, así como importancia social y económica del proyecto;
- b) Descripción del sitio de ejecución, del proyecto mismo y de la relación entre ambos, que incluya la mayor cantidad de elementos de que se disponga;
- c) Cronograma de las actividades;

- d) Indicación cualitativa y cuantitativa de las consecuencias en el medio ambiente y de las medidas que se aplicarán para reducirlas en todo lo posible;
- e) Posibles medidas de rehabilitación del sitio después del proyecto, o si éste se da por terminado;
- f) Legislación aplicable en relación con el proyecto;
- g) Variantes de ejecución del proyecto, especialmente otros posibles sitios;
- h) Dimensiones, tecnologías empleadas, fuentes de materias primas, fuentes de energía y productos energéticos;
- i) Justificación de los métodos y las tecnologías empleados;
- j) Para finalizar, la EIA debe ser un informe conciso y objetivo, en el que se evitará en todo lo posible emitir juicios de valor.

81. Pese a su evidente utilidad, en algunos casos la EIA puede llegar a ser un pequeño inconveniente debido a que: a) su contenido no siempre se hace público; b) tal vez se le considere un fin y no parte de un contexto mayor de ordenación del medio ambiente; c) suele estar a cargo de colaboradores independientes, y no tiene por qué reflejar los objetivos que la empresa que pidió la realización del estudio se ha propuesto alcanzar, y d) se podría emplear para imponer demasiados requisitos y restricciones que permitan ejercer un control del mercado.

5.2. Mejoras tecnológicas

82. Cuando no se lleva a cabo una EIA antes de la instalación de una planta de reciclado del plomo, es muy probable que ésta tenga que resolver problemas tecnológicos y ambientales debido a que por omisión o descuido se han dejado de observar algunas medidas importantes. No obstante, cabe destacar que el simple cierre de una planta de reciclado del plomo que no funcione en forma totalmente satisfactoria y el establecimiento de una totalmente nueva no siempre es la mejor solución, dadas las enormes sumas de dinero que ello requiere. Por lo tanto, tal vez la mejor opción, y quizás la única, sea la introducción de mejoras tecnológicas y el ejercicio del control ambiental. En esta sección se describirán las mejoras tecnológicas, y en la siguiente se tratará sobre el control ambiental.

5.2.1. *Tratamiento de fuentes de contaminación y prevención de la contaminación*

83. En una moderna planta de reciclado del plomo, el costo de tratamiento de la contaminación, que abarca a los efluentes, los gases y los polvos, y de extracción del dióxido de azufre (SO₂), representa entre 20% y 30% del costo de la inversión.

5.2.1.1. Electrolito ácido y efluentes

84. La eliminación directa en el ambiente de estos líquidos, sin tratamiento, traería consigo consecuencias para el medio ambiente de gran envergadura. Uno de los métodos que se recomiendan para hacer frente a este problema consiste en tratar de estabilizarlos en todo lo posible, con arreglo al presupuesto disponible:

a) Se utilizan ciertas tecnologías de eliminación del ácido sulfúrico presente en el electrolito, mediante extracción líquido-líquido. Estas tecnologías permiten producir ácido sin plomo que puede utilizarse nuevamente como electrolito de acumuladores, o venderse;

b) El electrolito puede ser tratado con carbonato de sodio (Na_2CO_3) o carbonato cálcico (CaCO_3), para producir sulfato de sodio (Na_2SO_4) o yeso (CaSO_4) que, luego del filtrado de los sedimentos de plomo, puede seguir afinándose para su venta a la industria del cemento o la construcción;

c) Debe evitarse en todo lo posible la descarga directa del electrolito neutralizado;

d) La descarga del electrolito no tratado no es una medida ambientalmente racional, por lo que debe evitarse a toda costa.

85. Toda planta de reciclado del plomo deberá contar con un equipo de tratamiento de efluentes, para tratar el agua que salga de la planta, incluida la proveniente de la neutralización del electrolito, el agua de lluvia y el agua que se derrama en el lugar de almacenamiento de los acumuladores, a los efectos de controlar, proteger y mejorar su calidad.

5.2.1.2.Recolección de polvo y filtrado del aire

86. En todas las etapas de funcionamiento de la planta de reciclado de acumuladores se liberan gases o polvo de algún tipo, que deben ser recogidos y tratados antes de que pasen a la atmósfera. Teniendo en cuenta que una planta de reciclado normal debe filtrar alrededor de 70 toneladas de aire por cada tonelada de plomo producido, es evidente que se trata de un proceso cuyo control tiene suma importancia.

87. El polvo denominado "mecánico", es decir las partículas de gran tamaño, es relativamente fácil de filtrar y extraer del aire. No obstante, cuanto más fino es el polvo tanto más difícil es su extracción, de ahí que haya que aplicar técnicas especiales para purificar el aire. Hay muchas opciones que se deben evaluar en función de las normas de la contaminación admisible y de los recursos presupuestarios: filtros de tela o mangas para filtrar, precipitadores electrostáticos, precipitadores electrostáticos húmedos, clasificadores de aire seco, filtros de cerámica y sistemas de depuración con agua. La tendencia general es enviar todo el polvo recogido hacia la planta de fundición para recuperar el plomo.

5.2.1.3.Emisiones fugaces

88. Las emisiones fugaces son descargas producidas por las materias primas o en los procesos industriales que van a la atmósfera sin pasar por ningún dispositivo de filtrado ni por ningún mecanismo de control destinado a reducir o eliminar el contenido o la cantidad de materias peligrosas que se producen antes de su absorción en el medio ambiente.

89. Los temas ya tratados en la sección que se ocupa de las medidas de control adoptadas para las instalaciones de almacenamiento, los procesos de apertura de acumuladores, la refinación del plomo y demás permiten inferir algunas de las posibles fuentes de emisiones fugaces, aunque también proceden del plomo caliente fundido "al rojo" cuando se vacía el horno de fundición, a causa de la alta presión de los vapores de plomo y de sus componentes a una temperatura cercana a los 1000°C . En ese mismo contexto, se generarían emisiones fugaces, si en un cucharón o "caldero" de colada se trasladase el galápago de plomo fundido a una temperatura de 1000°C y se vertiese en

una caldera de refinación y, más tarde durante el procesamiento, se quitara la capa de polvo manualmente sin extracción ni ventilación.

90. Hay dos maneras básicas de controlar las emisiones fugaces:

a) desviando mediante ventilación controlada el galápago fundido hacia un molde para que allí se solidifique. Sólo cuando el bloque de plomo se haya solidificado se pasará a la caldera de refinación y luego poco a poco se irá derritiendo en un baño líquido de plomo fundido. Cualquier residuo se eliminaría en un procedimiento que ventile el área de trabajo y que extraiga y acumule todo el polvillo producido en una cámara de sacos para filtrar;

b) desviando el plomo fundido al rojo vivo del horno hacia un baño de plomo fundido, que esté a una temperatura de unos veinte grados por encima del punto de congelación del plomo y muy por debajo de la temperatura que pueda producir emisiones fugaces. El baño de plomo fundido debe cubrirse y ventilarse de manera que cualquier emisión fugaz vaya a parar a la cámara de filtrado. A medida que vaya llenándose la caldera de refinación que contiene el baño de plomo fundido, se podrá bombear el plomo hacia otra caldera para dar inicio al proceso de refinación.

5.2.1.4. Extracción del dióxido de azufre (SO_2)

91. En algunos países se aplican parámetros de emisión de dióxido de azufre (SO_2) muy restrictivos, por tratarse, en la práctica, de un importante contaminante que es preciso controlar, ya que afecta seriamente al medio ambiente. Su extracción puede realizarse por varias vías, tales como procesos en seco, semisecos, semihúmedos y húmedos, por lo que una variante sencilla consiste en la utilización de sistemas de depuradores con agua que utilizan carbonato cálcico (CaCO_3) como reactivo, lo que produce yeso sulfuroso. Este compuesto a su vez puede venderse o usarse en el horno como reactivo para la formación de escoria. Aun después del filtrado y la extracción del polvo, los gases siguen conteniendo vestigios de polvo y de SO_2 .

5.2.1.5 Uso de oxígeno (O_2)

92. El oxígeno (O_2) se utiliza para enriquecer los gases que participan en los procesos de calentamiento, lo que tiene tres consecuencias principales:

a) Como el aire tiene un alto porcentaje de nitrógeno [N_2 , ~72% (v/v)] que no participa en ninguna reacción química a temperaturas normales, la utilización de oxígeno puro (O_2) reduce extraordinariamente (alrededor de cinco veces) la formación de gases de combustión;

b) Reduce la pérdida de calor, pues en el horno circula menos gas frío;

c) Incrementa la producción del horno.

93. Por lo tanto, la utilización de oxígeno puro (O_2) para enriquecer el aire que utilizan los quemadores del horno permite lograr una producción mucho menos contaminante.

5.2.1.6 Selección de agentes fundentes y compactación de la escoria

94. La escoria de calcio, formada al añadir el fundente de carbonato cálcico (CaCO_3) al horno, produce una escoria no lixiviable, lo que equivale a desechos más tolerables por el medio ambiente. Por otra parte, aumenta la temperatura de funcionamiento del horno y libera más dióxido de azufre

(SO₂), lo que supone un mayor gasto de energía y alteraciones en el funcionamiento del horno, en particular en la duración de los ladrillos refractarios. Además, el carbonato cálcico (CaCO₃) es un producto natural mucho más fácil de manejar que el carbonato de sodio (Na₂CO₃), lo que reduce el costo del fundente y otros problemas de funcionamiento. Por lo tanto, debe planificarse con cuidado la selección del fundente.

95. La compactación de la escoria que, en fin de cuentas, supone controlar debidamente las etapas de fusión-reducción-refinación, representaría un adelanto enorme hacia una producción menos contaminante, ya que se trata de la formación de desechos más importante de todo el proceso. La escoria de sodio, proveniente de la utilización de carbonato de sodio (Na₂CO₃), no tiene uso alguno, dadas sus propiedades físicas y químicas, por lo cual se elimina en vertederos de desechos peligrosos.

96. Por otra parte, pese a algunos aumentos en los costos del reciclado, se han encontrado algunos usos a la escoria de calcio como materia prima en la producción de cemento para la construcción de carreteras, la fabricación de ladrillos y otros usos, con resultados prometedores. Por ende, la utilización de fundente con base de calcio podría considerarse una opción viable en el futuro, ya que la utilización de un gran volumen de estos desechos aportaría una solución.

5.2.1.7 Reciclado de materia orgánica pesada

97. La parte correspondiente a materia orgánica pesada está formada por separadores de placas y ebonita, y 50% de su masa consiste en carbono, lo que significa que la materia orgánica pesada puede usarse como agente reductor en el horno. Pese a las precauciones especiales que hay que tomar para impedir la contaminación, la utilización de materia orgánica pesada como agente reductor disminuye la cantidad de otros agentes reductores y el volumen de desechos que, de otro modo, requerirían un manejo racional. No obstante, algunos inconvenientes del proceso, como menos escorias fluidas, formación de alquitrán, etc., impidieron llegar a conclusiones terminantes en el informe, de ahí que haya que seguir estudiando la cuestión, pero se trata de un destino de los desechos que promete buenos resultados.

5.2.1.8 Reciclado del polipropileno

98. El polipropileno es un producto tan valioso que por sí solo podría costear la apertura de acumuladores de plomo. Por lo tanto, el reciclado de los componentes plásticos debería considerarse una actividad rentable que, lamentablemente, no se ha generalizado en el mundo.

5.2.1.9 Destino adecuado de los desechos no recuperables

99. Algunos desechos producidos durante el reciclado del plomo no pueden volver a reciclarse o utilizarse, lo que hace necesario darles un destino adecuado. Cabe subrayar que generalmente tienen un contenido de plomo de hasta 2% a 5% y corresponde tratarlos como desechos peligrosos aunque ese plomo no sea lixiviable y haya que eliminarlos en vertederos de desechos peligrosos.

5.3 Vigilancia del medio ambiente

100. Las tecnologías menos contaminantes requieren un control permanente, incluso si se utiliza la mejor tecnología disponible. Este proceder no sólo aporta una clara imagen de los efectos de las plantas de reciclado del plomo en el medio ambiente, ya que indica correctamente los errores en la cadena de reciclado, sino que proporciona también datos concretos para mejorar el proceso e

incrementar el nivel de protección del medio ambiente y de la salud humana. A la larga, esa vigilancia mantiene el proceso de reciclado en un nivel ambientalmente racional.

101. Por otra parte, las medidas de control permiten reducir en todo lo posible los errores de procedimiento y los accidentes, al tiempo que proporcionan un conjunto elemental de instrucciones que, si se cumplen, reducirán considerablemente el riesgo de contaminación del medio ambiente.

5.3.1 Medidas de control

102. Independientemente de las tecnologías de control de la contaminación empleadas en la planta de reciclado, se adoptan en general diversas medidas de control para prevenir o reducir al mínimo la contaminación del medio ambiente. Las medidas que se describen a continuación son sólo algunas de las que ya se aplican, por lo cual se recomienda introducir mejoras adicionales, que se indican resaltando determinadas características específicas de cada planta de reciclado. Aunque breve, la lista ofrece algunas ideas útiles para lograr prácticas de control ambiental acertadas.

a) **Equipo de protección individual (EPI):** Todos los trabajadores deben poseer su propio EPI, diferente para cada sección de la planta de reciclado, según las necesidades específicas. Además es preciso capacitarlos en su utilización adecuada conforme a las especificaciones del fabricante, y en cada sección de la planta de reciclado deben existir medios de identificación claros y visibles del EPI que el trabajador debe utilizar mientras se encuentra en ella. El EPI debería constar, como mínimo, de respiradores, cascos y calzado de protección;

b) **Prácticas de trabajo:** Se adoptarán algunas normas laborales y se capacitará a los trabajadores en su observancia, a fin de reducir los riesgos para la salud debidos a la contaminación.

- i) Prohibir que se fume en el lugar de trabajo;
- ii) Separar las zonas de trabajo de los comedores;
- iii) Hacer cumplir la obligación de ducharse al final de la jornada de trabajo;
- iv) Obligación de cambiarse antes de regresar al domicilio;
- v) Cambio y lavado diarios de la ropa de trabajo;
- vi) Revisión y limpieza diarias de los respiradores.

c) **Operaciones de apertura, reducción y refinación dentro de edificios cerrados:** La recolección del polvo debe realizarse, en su totalidad, mediante un sistema de filtrado conveniente, evitando la liberación de polvo contaminado en la atmósfera;

d) **Zonas no cubiertas:** Todas las zonas no cubiertas de la planta de reciclado tendrán una superficie dura y lisa, de ser posible pavimentada con material impermeable, que sea fácil de lavar y limpiar. Debe recogerse todo el material barrido y enviarse al horno de reducción, a fin de reciclar el polvo de plomo u otros metales que pueda contener;

e) **El transporte interno debe realizarse en correas transportadoras cubiertas,** para evitar la emisión innecesaria de polvo. Cuando ello no sea posible, el contenedor de transporte debe taparse como es debido. Los medios de transporte interno deben estar separados de los de transporte externo;

f) **Almacenamiento de escoria:** Los materiales peligrosos deben almacenarse con el mismo cuidado que los acumuladores usados, pues contienen muchos materiales y sustancias

peligrosos que pueden lixiviarse o producir otros problemas para la salud y el medio ambiente. Por lo tanto, las escorias, los residuos, las espumas y otros subproductos, desechos y materiales peligrosos quedarán sujetos a las mismas medidas de control que las adoptadas para el almacenamiento de acumuladores (piso pavimentado, cobertura, etc.);

g) **El sistema de filtración del aire** debe estar tan próximo a la zona de ventilación como sea posible, y todos los sistemas de extracción deben formar un sistema cerrado, para evitar la emisión de polvo;

h) **Todas las operaciones al aire libre deben realizarse por vía húmeda:** La humidificación evita la formación de polvo. Por lo tanto, todas las operaciones que se realicen en el exterior de edificios cerrados, como las de barrido, limpieza de calles, transporte por caminos no pavimentados, transporte en contenedores abiertos, gases de las cámaras de filtros y extracción de polvo, transporte de polvo, etc., deben realizarse con materiales húmedos;

i) **Los camiones y otros medios de transporte deben ser lavados antes de abandonar la planta de reciclado,** en especial las ruedas y las partes de abajo, para evitar la propagación de polvo de plomo fuera de la planta de reciclado. El interior de los gabinetes debe limpiarse con aspiradora con cierta frecuencia. Todos los vehículos deben salir de la planta de reciclado por una salida única controlada;

j) **Debe protegerse el carbón almacenado:** Si la planta de reciclado utiliza carbón como combustible o como reductor, habrá que almacenarlo en una zona aislada y cubierta. También en esta zona habrá que instalar equipo especial de extinción de incendios y capacitar al personal.

k) **Debe recogerse el agua de lluvia:** Dado que el agua de lluvia puede producir lixiviados peligrosos, debería adoptarse un sistema de captación de agua de diseño especial, que conduzca todas las aguas hacia la planta de tratamiento de efluentes.

103. Sean cuales fueren las tecnologías de lucha contra la contaminación que se utilicen en la planta de reciclado, se ha generalizado la adopción de diversas medidas de control tendientes a prevenir o reducir al mínimo la contaminación del medio ambiente. Las medidas que a continuación se describen son sólo algunas de las que ya se aplican, por lo cual se recomienda introducir mejoras adicionales, que se indican resaltando determinadas características específicas de cada planta de reciclado. No obstante, la lista ofrece algunas ideas útiles para lograr prácticas de control ambiental acertadas.

5.3.2 *Medidas de vigilancia*

104. Las medidas de vigilancia pueden concebirse como un termómetro de la contaminación del medio ambiente. Los datos recogidos por este medio pueden utilizarse no sólo como guía para medir las mejoras y los resultados tecnológicos, sino también como fuente de credibilidad y confianza en las relaciones con la población circundante, ya que las plantas de reciclado del plomo suelen considerarse una poderosa fuente de contaminación del medio ambiente. Por lo tanto, cada planta de reciclado del plomo debe aplicar esas medidas.

105. Algunos de los objetivos de la vigilancia son los siguientes:

a) **Efluentes:** Una vez tratada en la planta de tratamiento de efluentes, toda el agua que salga de la planta de reciclado debe ser objeto de controles para determinar, como mínimo, su pH y su contenido de sulfuros y de metales pesados representativos (Pb, Hg y Cd);

b) **Gases:** Debe realizarse una vigilancia permanente de gases tales como el dióxido de azufre (SO₂) y el polvo de plomo. Es conveniente efectuar esta vigilancia en diferentes lugares dentro y fuera de la planta de reciclado;

c) **Suelo y planta:** Deben realizarse análisis periódicos de suelos y plantas dentro de la planta de reciclado y en el entorno inmediato, a fin de detectar la contaminación de polvo;

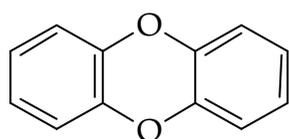
d) **Calidad del aire:** La calidad del aire deberá ser objeto de vigilancia permanente dentro de los edificios cerrados, como la planta de apertura de acumuladores, etc;

e) **Examen médico:** Todos los trabajadores deben someterse a examen médico y ese historial debe conservarse. La población de las zonas circundantes también deberá someterse periódicamente a exámenes médicos gratuitos.

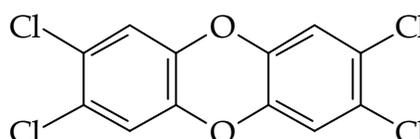
106. Aunque estas actividades de vigilancia son costosas y algunas de ellas requieren personal especializado, lo que puede ser un gran problema cuando las limitaciones presupuestarias son un factor importante, hay que comprender que los datos que aportan tienen suma importancia para determinar si la planta de reciclado no constituye un problema para el medio ambiente. De ahí que deban realizarse siempre que sea posible.

5.3.3 Dioxinas

107. Las dioxinas son compuestos orgánicos aromáticos que pueden formarse por reacciones térmicas, denominadas procesos *de novo*, en que fragmentos precursores, generalmente moléculas sumamente reactivas, reaccionan entre sí, y crean estructuras moleculares de dioxinas (figura 7).



Dibenzo-*p*-dioxina



2,3,7,8-Tetracloro-dibenzo-*p*-dioxina

Figura 7: Estructura de la dioxina y 2,3,7,8-TDD.

108. La presencia de átomos de cloro en los precursores parece incrementar el ritmo de formación de dioxinas y crea muchas más moléculas peligrosas, como el 2,3,7,8-TDD, compuesto que es un potente carcinógeno.

109. Pese a la dificultad que supone prevenir y detectar la formación de dioxinas, esta cuestión incide en el proceso de reciclado del plomo, ya que las materias primas de segunda fusión pueden contener precursores de dioxinas y el entorno del horno puede crear condiciones propicias para su formación. Además, el uso de agentes reductores del carbono y de combustibles orgánicos puede producir un carboncillo que, en condiciones específicas, puede reaccionar con derivados de cloro y producir compuestos tóxicos. Para colmo, la presencia de cobre y de hierro, elementos que

comúnmente se encuentran en los procesos de reciclado del plomo, parece catalizar, hasta cierto punto, la formación de dioxinas, lo que incrementa aún más la generación de esas moléculas.

110. Dado que es improbable, aunque no imposible, que en una planta de reciclado del plomo se preseleccionen las materias primas a fin de eliminar las materias orgánicas cloradas y metales como el hierro y el cobre, salvo en el caso de las materias orgánicas livianas y pesadas, la destrucción de las dioxinas debe ser la forma más sencilla de tratar el problema:

a) Como ya se señaló, puede usarse aire enriquecido con oxígeno (O_2) u oxígeno puro para garantizar la combustión completa de los compuestos orgánicos, con lo cual, en principio, podría reducirse considerablemente la formación de dioxinas;

b) Puede inyectarse carbono activado en la corriente de gases para absorber y luego filtrar las moléculas orgánicas. El polvo filtrado debe ser tratado como desecho peligroso, y no debe ser llevado a los hornos; es preciso incinerarlo en instalaciones especiales o tratarlo con sumo cuidado;

e) En ciertos informes se afirma que la oxidación catalítica constituye un método eficaz de destrucción de las dioxinas.

111. Todas estas y otras técnicas de que se dispone, sobre todo la de mantener la total combustión de todos los materiales en el horno a altas temperaturas, deben considerarse en función de las restricciones y necesidades específicas de cada planta de reciclado. Algunas de ellas no requieren instalaciones especiales y pueden incorporarse fácilmente en el proceso sin otras mejoras. El sistema más rentable dependerá también de los aspectos de seguridad, jurídicos y operacionales, así como de factores económicos. Pueden lograrse niveles de emisión inferiores a 0,5 ng por metro cúbico utilizando cualquiera de las técnicas mencionadas y, mediante una combinación de técnicas, no es difícil lograr niveles inferiores a 0,1 ng por metro cúbico, lo que bastaría para proteger la salud y el medio ambiente.

6. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA SALUD

6.1. Consideraciones generales

112. El plomo está y siempre ha estado presente en estado natural y en gran abundancia no sólo en el medio ambiente, sino también en el organismo humano. Su movilización natural se produce por la acción de factores meteorológicos en los yacimientos de minerales y por emisiones de gases, y se estima que, en conjunto, estos dos mecanismos liberan alrededor de 210.000 toneladas de plomo en el medio ambiente cada año. Hasta la aparición de las actividades humanas, ésta fue la única fuente de plomo en el medio ambiente. La concentración media de plomo en la litosfera es de alrededor de 16 mg/kg, pero este valor cambia según la composición específica de los minerales locales.

113. Comparadas con las cantidades movilizadas en forma natural, las actividades humanas liberan plomo de sus fuentes naturales con mucha más intensidad: más de cuatro millones de toneladas anuales. Sin embargo, apenas una pequeña fracción regresa al medio ambiente como fuente de contaminación; la mayor parte de ella ingresa directamente en los procesos industriales.

114. Dado que el cuerpo humano no distingue la procedencia del plomo, vale decir que el plomo antropogénico y el plomo natural se absorben del mismo modo, todas las actividades humanas que inadvertidamente liberan plomo en una forma u otra en el medio ambiente pueden considerarse como amplificadoras de la fuente natural, pero las principales fuentes no varían y pueden representarse como en la figura 8.

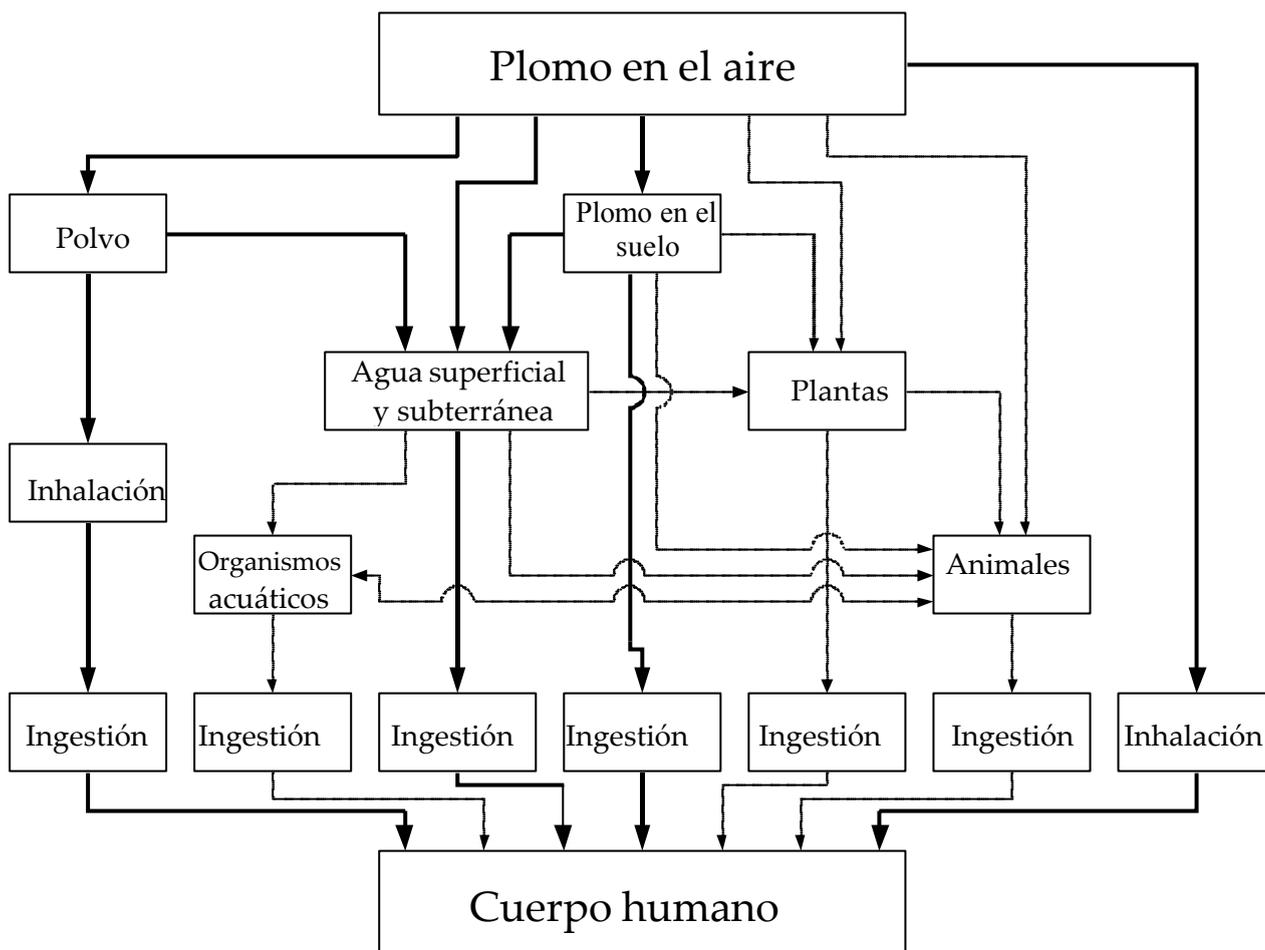


Figura 8: Principales vías de ingreso del plomo en el organismo humano.
115.

Hechas estas observaciones, los procesos de reciclado de acumuladores de plomo pueden considerarse como un posible y poderoso multiplicador de las fuentes naturales de plomo si no se adoptan las medidas de control adecuadas, y su influencia puede hacerse sentir en la salud humana como indican las líneas gruesas de la figura 8, que representan las principales vías de ingreso del plomo en el organismo humano.

6.2. Toxicocinética

6.2.1. Absorción, distribución y eliminación

116.

Los seres humanos absorben plomo por inhalación e ingestión y a través de la piel, aunque esta última sólo explica casos poco comunes de contaminación con plomo orgánico (como son los aditivos de los combustibles), por lo cual no las consideraremos aquí, ya que no se encuentran o reciclan en plantas de plomo secundario. El tipo de ruta de ingreso, el tamaño de la partícula y el tipo de compuesto de plomo (orgánico o inorgánico) determinan, en conjunto, la concentración y posible difusión del metal en todo el organismo. Además de estas consideraciones, la absorción de plomo depende de otras características particulares, como el estado fisiológico y la integridad de los tejidos, que tienen que ver con la edad, y de otros factores, como el estado nutricional, el metabolismo y la anatomía. En la figura 9 figura un esquema general de la toxicocinética del plomo.

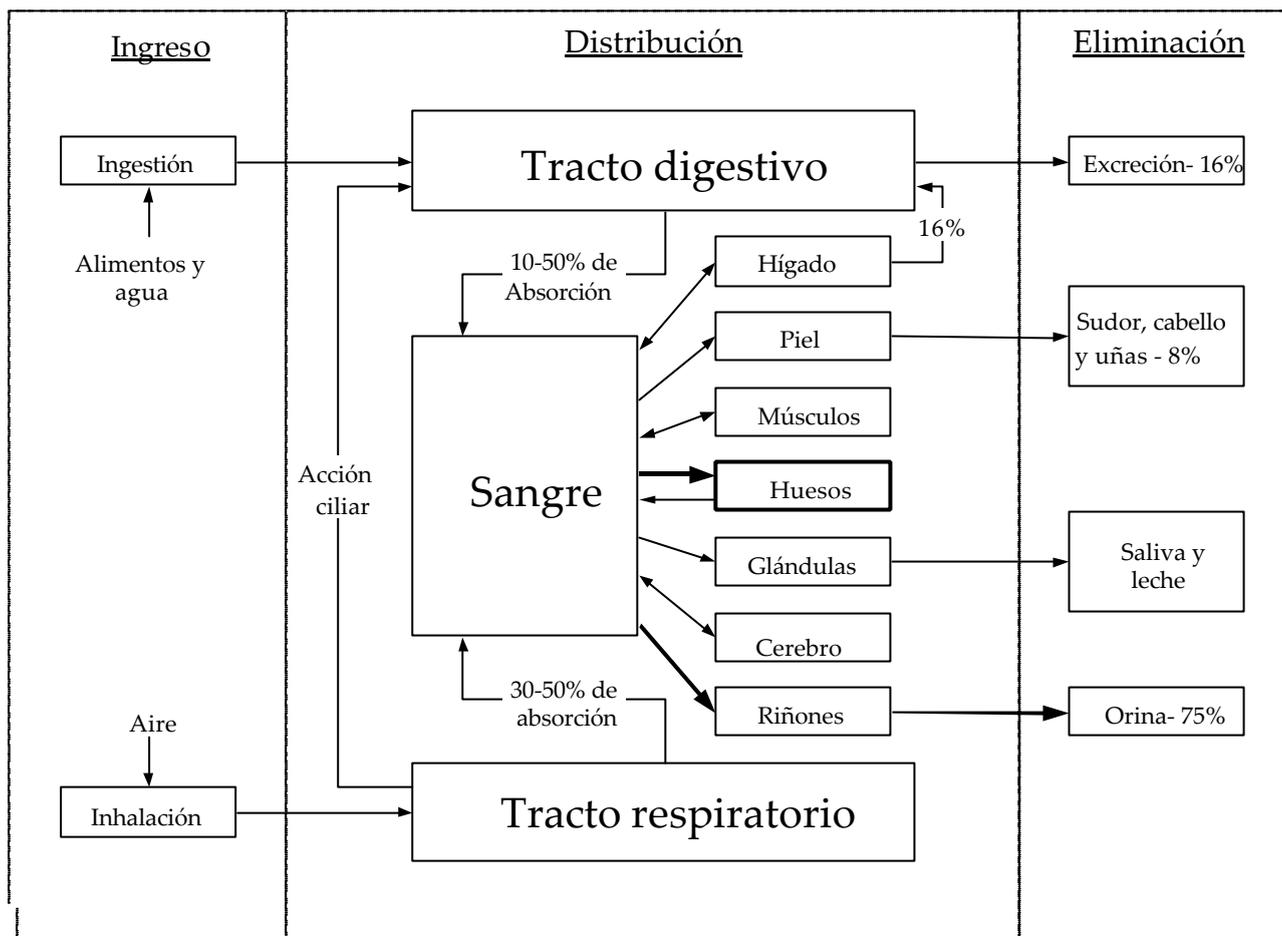


Figura 9: Toxicocinética del plomo en el organismo humano

117. La inhalación es la principal fuente de absorción del plomo en el entorno industrial, que es el responsable del riesgo ocupacional que se observa en las plantas de refinación del plomo cuando no se cumplen los protocolos de control. Aunque el mecanismo de absorción no se conoce en su totalidad, del 20% al 40% del plomo que ingresa en el tracto respiratorio permanece en el organismo, y en su mayor parte mediante el movimiento ciliar, pasa del tracto respiratorio al gastrointestinal. La cantidad que permanece en los pulmones es rápidamente absorbida mediante un proceso que es independiente de la especie química del plomo de que se trate. Se estima que una concentración de $1\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de plomo en el aire produce una concentración de $1\mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ a $2\mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ en el torrente sanguíneo.

118. La absorción gastrointestinal, que es la principal ruta de ingreso no industrial, representa menos del 10% del total del plomo ingerido y no guarda relación con el compuesto de plomo de que se trate. En realidad, las formas inorgánicas, que se absorben menos que otros compuestos metálicos, son las de más amplia absorción en el caso de los compuestos de plomo.

119. No obstante, sea cual fuere la ruta de ingreso, los niños son mucho más sensibles que los adultos a los compuestos de plomo, y algunos datos muestran que en ellos la ingestión puede llegar al 50%, es decir cinco veces más que la absorción de los adultos.

120. El plomo absorbido, sea por inhalación o por ingestión, pasa al torrente sanguíneo, en que se establece un rápido equilibrio entre el plasma y los glóbulos rojos, en proporción de 1:16. A partir del torrente sanguíneo el plomo se distribuye por todos los órganos, especialmente los huesos, que

pueden retener hasta el 90% del plomo presente en el organismo. Por lo tanto, mientras que la concentración de plomo en la sangre refleja la exposición reciente, la concentración de plomo en los huesos refleja la exposición acumulada.

121. El plomo ingerido se elimina principalmente por medio de las heces, lo que indica que el porcentaje de absorción gastrointestinal es mínimo. Por otra parte, el plomo absorbido por el organismo e incorporado al torrente sanguíneo se elimina por la orina (75%), las secreciones gastrointestinales a través del hígado (16%) y el cabello, las uñas y el sudor (8%). Las mujeres que amamantan pueden también eliminar plomo en la leche en una concentración muy similar a la del plasma.

122. La vida media de los compuestos de plomo en el organismo humano es, por regla general, larga, pero varía según el tejido de que se trate. Además es casi imposible determinar el ritmo de eliminación, ya que los huesos pueden contener una gran cantidad lista para pasar al torrente sanguíneo. No obstante, se conoce la vida media en el caso de la sangre (tres a cuatro semanas) y de los huesos (20 a 27 años).

6.2.2. Toxicidad y efectos en la salud

123. El mecanismo tóxico del envenenamiento por plomo funciona de tres maneras: a) mediante competencia con otros metales metabólicos esenciales, como el calcio y el zinc; b) por la gran afinidad del plomo con los grupos sulfhidrilos (-SH) de las proteínas, lo que equivale a que varias proteínas puedan sufrir modificaciones químicas y volverse más o menos disfuncionales, y afectar seriamente varias rutas metabólicas y c) y alterando el transporte de iones esenciales en todo el organismo.

124. Se han descrito muy diversos efectos heterogéneos y síntomas generales no específicos que se han relacionado con la contaminación por plomo y que se reproducen en el anexo 2. Los sistemas del cuerpo humano más afectados por la exposición al plomo son los siguientes:

a) Sistema hematopoyético: Uno de los primeros y más importantes efectos de la contaminación por plomo en el organismo humano es la alteración de la síntesis del grupo hemo, que debido a la modificación de los glóbulos rojos, conduce a la anemia;

b) Sistema nervioso central (SNC): Los efectos del plomo en el SNC son mucho más importantes en los niños pequeños y pueden producirse efectos neuropsicológicos incluso en niveles considerados subtóxicos, como $10 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$. Una exposición prolongada al plomo puede producir importantes efectos en el SNC y causar lo que se conoce como encefalopatía saturnina, cuyos síntomas van desde sutiles cambios psicológicos y de comportamiento hasta graves alteraciones neurológicas. Además los efectos son diferentes según que cambie la fuente de contaminación de plomo inorgánico a plomo orgánico;

c) Sistema nervioso periférico (SNP): El plomo inorgánico produce efectos nocivos en el SNP; no sólo en la estructura, sino también en el comportamiento bioquímico de los nervios. El efecto más característico es la parálisis saturnina, cuya principal manifestación es la falta de fuerza en las manos.

125. Además de los efectos descritos, los siguientes sistemas también se ven afectados por la contaminación por plomo: sistema urinario, sistema gastrointestinal, sistema cardiovascular, sistema reproductivo, sistema endocrino y articulaciones.

6.3. Límites de exposición

6.3.1. *Límites ocupacionales*

126. El establecimiento de valores límites mínimos de plomo en el aire para los lugares de trabajo no garantiza que en concentraciones menores dejen de producirse efectos nocivos en las personas expuestas. Debe tenerse en cuenta, además que:

a) los actuales valores umbral fueron determinados en países desarrollados, donde las condiciones de trabajo, así como el estado físico y de salud de los trabajadores, suelen ser muy diferentes de los correspondientes en los países en desarrollo;

b) muy a menudo los trabajadores se ven expuestos a diversas sustancias que, en conjunto, pueden surtir efectos sinérgicos o adictivos entre sí (por ejemplo, al fumar);

c) se basaron en trabajadores adultos con jornadas de ocho horas diarias, cinco días por semana, mientras que en los países en desarrollo es más bien común que las jornadas de trabajo sean mucho más prolongadas y que los niños y adolescentes trabajen (en particular en los pequeños negocios familiares).

127. Por otra parte, también es importante considerar que la tendencia general de los límites de exposición, especialmente en el caso de la contaminación por plomo, se irá reduciendo, es decir haciéndose más restrictiva, a medida que las técnicas experimentales y clínicas sean más precisas y permitan detectar importantes síntomas en concentraciones menores de plomo en la sangre.

128. Por lo tanto, los límites umbral que aquí se presentan deben utilizarse exclusivamente como una guía para proteger a las personas directamente expuestas, además es preciso tener presente que la utilización de una vigilancia biológica sistemática indicará con más precisión de los límites umbral que deben utilizarse para determinado sector de población.

Cuadro 1
Límites de exposición ocupacional al plomo

	Concentración/Fuente
VLU*	0,2 mg.m ⁻³ (OSHA, EE.UU., 1981)
LECD**	0,45 mg.m ⁻³ para 15 minutos de exposición a los gases y al polvo del plomo inorgánico (ACGIH, EE.UU., 1983)
VLU – MPT*** para el plomo inorgánico	0,15 mg.m ⁻³ , valor medio de los gases y el polvo del plomo inorgánico (ACGIH, EE.UU., 1984)
VLU – MPT	Variable, de 30 µg.m ⁻³ a 60 µg.m ⁻³ ; 60 µg.m ⁻³ para hombres en edad fecunda; 40 µg.m ⁻³ para mujeres en edad fecunda (OMS, 1980)

* Valor límite umbral; ** Límite de exposición de corta duración; *** Valor límite umbral – Media ponderada en el tiempo

129. También existen márgenes de riesgo para concentraciones de plomo en la sangre (cuadro 2).

Cuadro 2
Niveles de riesgo de la exposición al plomo según concentración de plomo en la sangre

	Nivel de riesgo			
	Normal	Aceptable	Excesivo	Peligroso
Concentración de Pb en la sangre ($\mu\text{g.dl}^{-1}$)	< 10	30 a 40	40 a 60	> 60

6.3.2. Límites ambientales

130. El establecimiento de límites ambientales está en concordancia con las concentraciones que se encuentran en todas partes del mundo en que no se detectaron efectos nocivos para la salud de la población. Por otra parte, difieren de los límites de exposición ocupacional, que fueron objeto de amplios estudios. Hay que seguir estudiando los límites ambientales, razón por la cual, en el futuro tal vez haya que modificarlos tan pronto se conozca mejor la relación entre el plomo y el medio ambiente y se amplíe el inventario de las fuentes de exposición al plomo.

131. Los límites no ocupacionales de exposición al plomo son los siguientes:

Cuadro 3
Límites de exposición ambiental al plomo

Fuente	Límite
Agua potable	0,005 mg.l^{-1} (OMS, 1984)
Suelo	Hasta 25 mg.kg^{-1}
Alimentos	3 mg/persona/semana (FAO/OMS, 1972 y 1978)
Aire	2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ - concentración media anual (CE, 1987)
Aire	0,7 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (URSS, 1978)
Aire	2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (EPA, EE.UU.)

6.4. Prevención y control

6.4.1. Medidas de prevención y control propuestas

132. Desde el punto de vista de la salud, las medidas de prevención propuestas son actividades que deben observarse en el entorno ocupacional para impedir que los trabajadores expuestos al

plomo experimenten los efectos nocivos de la contaminación por plomo. Las medidas propuestas más importantes son las siguientes:

- a) Considerar que todo material que contenga plomo es una posible fuente de contaminación del medio ambiente y del ser humano;
- b) Mantener un entorno de trabajo que cumpla el reglamento nacional de seguridad en el trabajo;
- d) Prohibir que se coma y se fume dentro de las áreas de trabajo;
- e) Prohibir a los niños y a las embarazadas el trabajo en plantas de reciclado de plomo;
- e) Elaborar programas educativos e informativos;
- f) Asegurarse de que en los lugares de trabajo se utilice equipo de protección personal que conste, por lo menos de: a) ropas que brinden una protección eficaz; b) limpieza diaria de la ropa usada; c) máscaras de protección, que pueden variar según la concentración media de plomo en el aire;
- g) Controlar las concentraciones de plomo en el entorno de trabajo;
- h) Exigir periódicamente a los trabajadores expuestos al plomo que se sometan a examen médico.

6.4.2. *Control médico propuesto*

133. Los elementos y los datos históricos más importantes con que el médico debe contar al examinar a los trabajadores expuestos al plomo son los siguientes:

- a) Historia clínica general del paciente;
- b) Historia ocupacional, a fin de detectar otras exposiciones;
- c) Historia personal de enfermedades de la sangre y la nutrición;
- d) Historia neurológica;
- e) Informe del examen médico anterior a la admisión del empleado;
- f) Recuento sanguíneo completo;
- g) Determinación de los niveles de plomo en la sangre, de ácido d-aminolevulínico en la orina (ALA-U) y de protoporfirina zinc (PPZn);

- h) Examen de los riñones y análisis de orina;
- i) Electrocardiograma, para evaluar las funciones cardíacas;
- j) Prestar especial atención a los trabajadores que fuman y beben o están expuestos a otros agentes peligrosos o tóxicos.

134. Hay que insistir en la necesidad de observar los procedimientos que anteceden, no sólo las medidas propuestas con fines de prevención y control, sino también los controles médicos propuestos, para tener una idea lo más clara posible de la situación en materia de contaminación. Cabe recordar que la exposición al plomo y la contaminación resultante a veces pueden malinterpretarse, por lo que el diagnóstico será tanto más acertado cuanto mayor sea el volumen de datos disponibles.

135. Por lo tanto, con los datos arriba descritos es posible establecer la incapacidad temporal del trabajador que presente signos de intoxicación, siempre que se disponga de un programa adecuado de asesoramiento para que el trabajador conozca los mejores métodos de reducir sus niveles de exposición al plomo.

6.4.3 Periodicidad del control

136. Para establecer la periodicidad de los niveles de diferentes sustancias en el organismo humano hay que tener presentes las características locales de por lo menos los siguientes aspectos:

- a) Condiciones generales de trabajo;
- b) Toxicidad de la(s) sustancia(s) considerada(s);
- c) Concentración de la(s) sustancia(s) en el medio ambiente;
- d) Intensidad de la exposición;
- d) Frecuencia de la exposición;
- f) Grado de protección personal (es decir, utilización de equipo de protección personal);
- g) Tipo de indicador de la contaminación, dado que se dispone de algunos y cada uno está destinado a detectar y proporcionar un tipo diferente de diagnóstico.

137. Cuanto peores sean las condiciones de trabajo mayor deberá ser la frecuencia de los controles. La experiencia demuestra que, aparte de los exámenes previos a la contratación del trabajador, el requisito mínimo son los exámenes médicos anuales. Cuando se detectan situaciones peores o extremas, la frecuencia puede llegar a un examen médico mensual.

7. VIABILIZACIÓN: MEDIDAS FUNDAMENTALES PARA LA EJECUCIÓN DE PROGRAMAS DE RECICLADO DE PLOMO

7.1 Determinación y definición de las prioridades nacionales

138. La determinación de las prioridades de un país debe ser la primera medida encaminada al manejo ambientalmente racional de los acumuladores de plomo de desecho. Según sea la situación del país en relación con el manejo de los desechos y la existencia de materias primas, cabría clasificar las mejores soluciones con arreglo a las siguientes opciones:

a) reciclado externo: los acumuladores de plomo de desecho se recogerán y almacenarán temporalmente en el país para su posterior exportación a otro país;

b) reciclado interno: los acumuladores de plomo de desecho se recogerán, transportarán y reciclarán en el propio país;

c) soluciones regionales: se adoptará un acuerdo regional o subregional para tratar de resolver el destino de los acumuladores de plomo de desecho aprovechando al máximo los recursos y los conocimientos técnicos locales o regionales.

139. No obstante, una vez que el país haya reconocido sus prioridades, la solución que mejor se adapte a sus necesidades podría ser una o dos de las opciones mencionadas. Por ejemplo, un país densamente poblado con algunas zonas de difícil acceso podría disponer que los acumuladores se transportaran de esas zonas apartadas hacia plantas de reciclado situadas en zonas urbanas más pobladas. De esta manera se podrían aprovechar las ventajas de las estrategias de reciclado interno y externo. Con todo, habría que adaptar la decisión con arreglo a un análisis muy preciso de la situación del país en cuanto al manejo de sus materiales de desecho, sobre todo desde el punto de vista de los costos de las actividades de reciclado del plomo, dada la importancia capital de que el proceso de reciclado presente ventajas económicas ciertas.

7.1.1. Reciclado externo

140. Esta opción es conveniente cuando el país no cuenta con plantas de reciclado ambientalmente racional o cuando su dispersión geográfica, por ejemplo si se trata de un archipiélago, es tal que resulta inconveniente desde el punto de vista económico establecer pequeñas plantas de reciclado. En este caso, debe adoptarse una estrategia encaminada a establecer una red de recogida y transporte hacia uno o varios centros de almacenamiento. Estos centros estarán ubicados de manera que se facilite la carga de los vehículos encargados del movimiento transfronterizo de los acumuladores de plomo usados, tomando en consideración las directrices técnicas sobre almacenamiento y transporte descritas en párrafos anteriores.

7.1.2 Reciclado interno

141. Los países que hayan instalado plantas de reciclado ambientalmente racional que estén funcionando en su territorio tendrán que adoptar estrategias y políticas encaminadas a crear el marco jurídico necesario para la recogida, el transporte y el reciclado de los acumuladores de plomo usados. Los marcos jurídicos y los incentivos económicos pueden variar en función de los objetivos, las prioridades y las metas de manejo de los acumuladores de plomo desechados que se haya propuesto el país.

7.1.3 Soluciones regionales

142. Cuando dos o más países de una región no cuenten con instalaciones de reciclado suficientes o ambientalmente racionales o cuando un país cuente con ellas pero el otro o la mayoría de los demás no, cabe la posibilidad de establecer un acuerdo regional. Un ejemplo de este tipo de medida es el programa que en estos momentos se estudia en el Caribe y Centroamérica, donde varios países de la región expresaron preocupación por las consecuencias para el medio ambiente del manejo racional de los acumuladores de plomo usados a niveles nacional y subregional.

143. La región está integrada por un número relativamente grande de pequeños países con pequeños mercados internos para los acumuladores de plomo que utilizan los vehículos y las industrias. Prácticamente todos los acumuladores que se consumen se importan como productos manufacturados, pero al terminar su vida útil se les desecha y se convierten en desechos peligrosos sujetos a normas restrictivas en materia de comercio y medio ambiente. Pese a que en el Convenio de Basilea se alienta al manejo de los desechos peligrosos en los propios países y a la reducción al mínimo de los movimientos transfronterizos, el pequeño tamaño de los mercados internos no soportaría el establecimiento y funcionamiento de plantas nacionales de reciclado que sean viables en cada uno de esos países. De ahí que la solución regional a este problema sea la variante más sostenible y, con mucho, la mejor, ya que se utilizarían recursos comunes y se aprovecharían al máximo las economías de escala.

144. Los resultados que se logren con esos programas serán los siguientes:

a) la formulación de estrategias nacionales de manejo ambientalmente racional de los acumuladores de plomo incorporadas a una estrategia regional que prevea el establecimiento de mecanismos normativos e instrumentos económicos;

b) la definición de los requisitos y las normas de un programa o protocolo perfeccionado de cooperación regional para el manejo ambientalmente racional de estos desechos;

c) la creación de condiciones para que los miembros de la región puedan intercambiar información, tecnologías y experiencias;

d) la formulación de medidas normativas y económicas con el objeto de prevenir que cualquier reciclador no reglamentado realice actividades en el sector “no estructurado” de la recuperación de plomo secundario.

7.2. Establecimiento de sistemas de recogida: marcos normativos

145. Los aspectos técnicos de las fases previas al reciclado que se explicaron antes en el capítulo 3 de las presentes Directrices y que abarcan la recogida, el transporte y el almacenamiento, deben contemplarse en un marco normativo en que se pueda indicar quiénes son los agentes y cuáles las responsabilidades y los incentivos económicos para propiciar la viabilidad a largo plazo. Hace falta ese marco normativo para:

a) reducir la generación de desechos;

b) proporcionar medios para:

i) investigar la prolongación de la vida útil de los acumuladores;

ii) investigar el uso de otras tecnologías en relación con los acumuladores;

iii) adoptar tecnologías de reciclado menos contaminantes;

c) optimizar la recuperación del plomo en forma económica e inocua para el medio ambiente mediante:

i) la realización de actividades de reciclado ambientalmente racionales, eficaces en función de los costos y aceptables por la sociedad;

ii) la inclusión de medidas a corto y mediano plazos para aumentar la eficacia de las pequeñas fundiciones;

iii) la inserción gradual del sector no estructurado en la estrategia nacional de reciclado del plomo;

iv) el aumento del volumen de recogida y la reducción de sus costos;

v) la facilitación del acceso a las fuentes internas de plomo;

d) considerar la posibilidad de aplicar la estrategia como proceso de consulta entre las numerosas partes interesadas.

146. Algunos de los procedimientos importantes para la instauración de sistemas de recogida son los siguientes:

a) como premisa básica, la participación de los consumidores es la piedra angular de la ejecución de todos los programas. Por tal motivo, los consumidores deberán recibir información sobre la posibilidad de reciclado de los acumuladores de plomo, los procedimientos existentes para la devolución de los acumuladores usados a los comerciantes minoristas, la manera en que se almacenan los acumuladores usados mientras se prepara su envío al centro encargado de recogerlas, y dónde están situados esos centros;

b) deberá prohibirse todo destino que no presente condiciones ambientalmente racionales;

c) los comerciantes minoristas estarán provistos de licencias para recoger y almacenar temporalmente los acumuladores de plomo usados, siempre y cuando cuenten con espacios de almacenamiento adecuados, según lo establecido en las directrices técnicas. Mediante la legislación y otras medidas encaminadas a alentar y hacer cumplir (en caso necesario) las normas de protección del medio ambiente pertinentes, por ejemplo inspecciones periódicas de los locales de almacenamiento, se podría definir un conjunto mínimo de las características que se aplican a cada país. El proceso de concesión de licencias debe considerarse un recurso y la información deberá utilizarse para publicar un mapa de la red de recogida;

d) las funderías deberían contar con licencias y adoptar las mejores tecnologías cuando se vayan a instalar o cuando vayan a modificar sus procesos y/o prácticas de trabajo a fin de lograr los más altos niveles de protección del medio ambiente. Se recomienda asimismo el control permanente de las emisiones;

e) cabría considerar la utilización de recursos compartidos en un consorcio como solución a las limitaciones presupuestarias, ya que estos arreglos disminuyen los costos de operación. Si procede, se podría aplicar un conjunto de normas por las que se rijan esas asociaciones.

147. En todo el mundo se han elaborado varios modelos para el establecimiento de los sistemas de recogida con el objeto de abordar las necesidades concretas de cada país, tomando en consideración el tamaño, la disponibilidad de una red de transporte, los impuestos locales, etc., y todo parece indicar que existe una tendencia general a basar la legislación en el principio de la responsabilidad del productor. A continuación se exponen algunos de esos modelos empezando por los más simples hasta los más complejos.

7.2.1. Sistema simplificado de distribución inversa

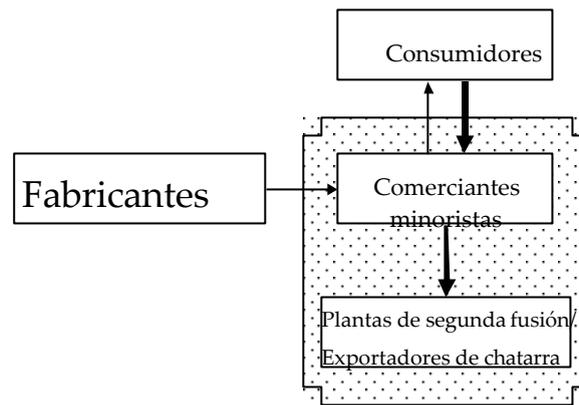


Figura 10. Sistema simplificado de distribución inversa

148. Éste es el modelo más simple posible según el plan del “sistema de distribución inversa” elaborado por algunos países y es el que mejor se adapta a las necesidades de los países pequeños o insulares, donde la planta de segunda fusión suele estar situada casi siempre cerca de los centros de recogida. La idea principal de este sistema es que los comerciantes minoristas hagan las veces de centros de recogida de los acumuladores usados y que, en el proceso de canje de los acumuladores viejos usados, el consumidor lo entregue al comerciante minorista, quien la almacenará debidamente hasta que pueda transportarse a la planta de fundición. En este modelo, la función de la planta de fundición puede ser asumida por el exportador de chatarra, en caso de que el país opte por exportar sus acumuladores usados en lugar de conceder licencias a una planta de reciclado.

149. Dado que este sistema parte del supuesto de que el comerciante minorista está en contacto directo con la planta de fundición/el exportador de chatarra, el ámbito geográfico que abarca esta hipótesis es relativamente pequeño. Una consecuencia general de la utilización de este sistema es que no se prevé infraestructura de transporte, que sí está presente en el modelo siguiente, lo que ciertamente plantearía un problema grave en caso de que la zona geográfica fuera muy grande⁴.

150. Algunos aspectos importantes de las normas son los siguientes:

- a) es indispensable aplicar normas de transporte para que la red “no estructurada” de transporte que probablemente se utilice no tenga efectos nocivos para el medio ambiente;
- b) En caso de que no se cuente con una planta de fundición con licencia y el exportador de chatarra sea el medio que dé curso al reciclado, el exportador no sólo tendrá que contar con una licencia y lograr altos niveles de protección del medio ambiente en cualquier lugar de almacenamiento (en que el material puede permanecer por largo tiempo según la demanda de acumuladores que haya), sino que deberá presentar también una descripción detallada de las actividades que realiza y de las de sus contrapartes en los demás países a fin de facilitar las gestiones de los gobiernos en un contexto subregional.

7.2.2 Sistema de colectores

⁴ Desde luego que “grande” es más bien subjetivo en este caso, por lo que habrá que hacer un análisis a fin de determinar si los vendedores pueden llevar a cabo sus actividades sin verse abrumados por distancias, impuestos u otras limitaciones. Cabe la posibilidad de encontrar una solución subregional.

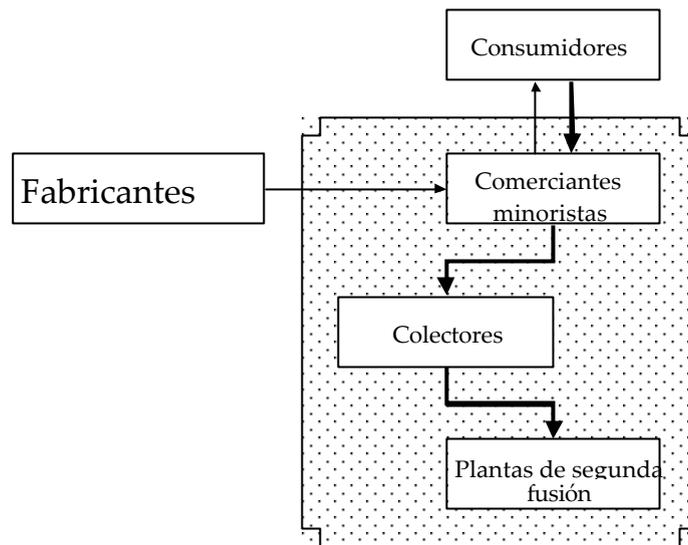


Figura 11. Sistema de colectores

151. Basado en los modelos que se aplican en Inglaterra y Alemania, este sistema parte de que, después de recoger los acumuladores de plomo usados, los comerciantes minoristas aprovecharán una red especializada de colectores que transportarán los acumuladores a las fundeñas. A diferencia del sistema antes descrito, en éste la función que realizan los colectores garantiza que los comerciantes minoristas no tengan que asumir totalmente los costos de transporte. Además, debido a la especialización cada vez mayor de estas actividades, se pueden aplicar al proceso de transporte normas de protección del medio ambiente más rigurosas. Con este sistema, la principal medida legislativa será el control de la red de recogida y transporte y de quienes trabajan en ella.

152. Debido al gran número de personas que intervienen en este sistema, se puede atender una zona geográfica mucho más amplia, lo que sugiere que los países de mediano tamaño podrían beneficiarse de este sistema. De todos modos, el ingenio que han solido mostrar los comerciantes minoristas permite afirmar que este sistema también podría utilizarse en los países pequeños e insulares sin tener que cambiar demasiado su estructura.

7.2.3. Sistema de devolución auspiciado por el fabricante

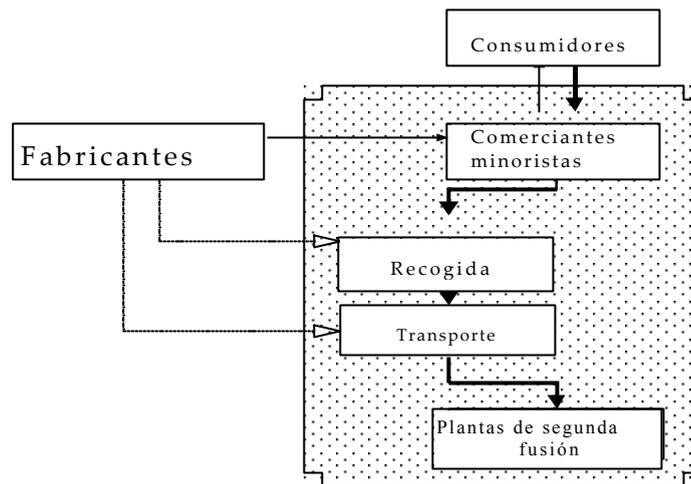


Figura 12. Sistema de devolución auspiciado por el fabricante

153. Parecido a los sistemas que utilizan el Japón y el Brasil, este sistema prevé que los fabricantes de acumuladores tengan responsabilidad indirecta en la recogida y el transporte de los acumuladores de plomo usados. Este sistema difiere del anterior en tres aspectos:

- a) los fabricantes tienen la responsabilidad de planificar y aplicar la logística de la devolución de los acumuladores usados para que puedan ser remitidos a las plantas de segunda fusión;
- b) dos entidades distintas se ocupan de la recogida y el transporte de los acumuladores de plomo usados;
- c) los colectores y los encargados del transporte tienen relación directa con los fabricantes.

154. De esta forma, pese a que los fabricantes no participan directamente en la recogida y el transporte de los acumuladores de plomo usados, siguen siendo responsables de proporcionar los medios necesarios para que estas actividades se realicen aplicando normas rigurosas de protección del medio ambiente.

155. Lo ideal es que este sistema de devolución auspiciado por los fabricantes se utilice en países donde ya exista una red de recogida reconocida pero indisciplinada o poco regulada. Esta medida lógica redundaría en beneficios para todos al oficializar una infraestructura relativamente desorganizada proporcionándole el marco jurídico correspondiente de manera que se pueda determinar quienes participan en ella y cuáles son sus responsabilidades.

7.2.4. Sistema de distribución inversa

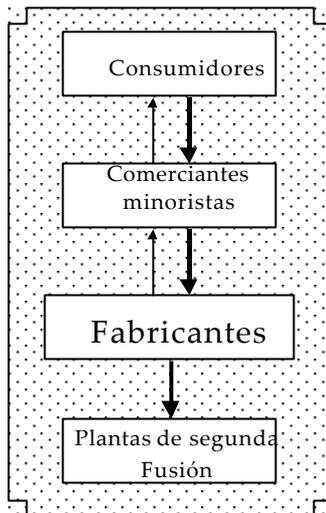


Figura 13. Sistema de distribución inversa

156. Este modelo, que se utiliza en Francia y los Estados Unidos, es el sistema de distribución inversa completo, en el cual los fabricantes tienen relación directa con las fases de recogida y transporte.

157. Este sistema de recogida se puede considerar el más controlado. Cabe prever un marco jurídico sumamente restrictivo a fin de abarcar completamente todas las fases de la cadena de reciclado. También haría falta poner en práctica un programa sobre educación y medio ambiente para que sea eficaz.

7.3. Mejor comunicación

158. A pesar de la importancia de los procesos de reciclado del plomo, por regla general, se les considera una posible fuente de contaminación del medio ambiente y de exposición de la población al plomo. Por tal motivo, las plantas de segunda fusión suelen despertar sospechas entre la comunidad que vive cerca de ellas. Este fenómeno puede ocurrir incluso cuando una empresa aplica normas de protección del medio ambiente con el máximo rigor posible, si no comunica a la comunidad y a sus trabajadores que está aplicando las normas más estrictas de protección del medio ambiente. Los programas de información a la comunidad deberán utilizarse para eliminar toda desconfianza que pueda existir entre un reciclador responsable y la comunidad local.

159. El diálogo y la comunicación que se establezcan por medio de los programas de información a la comunidad deberán ser francos y abiertos, sobre toda a la hora de valorar y resolver cualquier problema. Este principio debe aplicarse por muy insatisfactoria que pueda parecer una situación a fin de mantener la credibilidad, ganar el respeto y recuperar la confianza.

160. Toda persona que trabaje en una planta de recuperación de plomo secundario o viva cerca de ella, así como el medio ambiente, tienen posibilidades de quedar expuestos al plomo. Por ello es evidente que en los objetivos de cualquier proyecto de información pública deba incluirse un programa de atención a la comunidad y una vigilancia ambiental y biológica sistemática para poder conocer a tiempo las consecuencias de cualquier resultado adverso y adoptar las medidas pertinentes. Es fundamental asimismo que la educación figure en un lugar prominente en el programa de información pública.

161. Como primera medida para hacer participar a la comunidad, es importante determinar las inquietudes y los intereses comunes para facilitar y consolidar las relaciones de trabajo. Es muy probable que esas cuestiones de interés común sean:

- a) salud y protección de la población, dentro y fuera del lugar de trabajo, incluso la exposición de los niños al plomo;
- b) protección del medio ambiente, en particular manejo de los desechos, incluido el tratamiento de los efluentes y la extracción de cualquier residuo sólido;
- c) medidas que promuevan una actividad empresarial viable y un empleo sostenible.

162. La comunidad y los representantes de la empresa deberán asumir la responsabilidad compartida en la coordinación de la presentación de informes sobre asuntos de interés común, teniendo presente que es fundamental que todas y cada una de las partes trabajen en asociación y se ayuden mutuamente. Para que los ejecutivos de la empresa y los miembros de la comunidad que no participan activamente en el programa de difusión reciban información, es importante que toda la información relativa a las decisiones y deliberaciones se distribuyan como es debido, para lo cual:

- a) se levantarán actas y se preparará una nota sucinta de todas las reuniones, decisiones y de cualesquiera medidas futuras que repercutirán en la empresa o en la comunidad,
- b) se publicarán los datos, la información y las minutas de las reuniones para dominio público;
- c) se garantizará que organizaciones de reconocido prestigio, como universidades locales u otros órganos de expertos, realicen comprobaciones independientes de la exposición ambiental y ocupacional al plomo en la empresa como en la comunidad.

163. Para aportar una contribución valiosa y perdurable a cualquier proyecto en que esté comprometida la comunidad, los que participen en esta labor deberán, primeramente,:

- a) conocer y comprender los problemas fundamentales, la tecnología y los efectos para la salud de la exposición al plomo, las necesidades y prioridades sociales de la comunidad, los programas de gobierno y los factores económicos que afectan al negocio del reciclado;
- b) evitar dar la espalda a los problemas, por muy insolubles que parezcan ser, y en cambio obtener la información, prever los posibles problemas y solicitar ayuda de otros expertos en la materia y de las partes interesadas del lugar a fin de resolverlos;
- c) intercambiar con libertad ideas y conocimientos prácticos para lograr un mayor conocimiento;
- d) y, por encima de todo, es importante que en las reuniones se apliquen las normas para que lo principal sea que se preste oídos y que todos los que participen sean receptivos a las necesidades de la comunidad y de la planta de reciclado.

164. Las monografías estudiadas han permitido determinar que los principales factores de éxito son los siguientes:

- a) Las partes interesadas están comprometidas en la consecución de los objetivos convenidos de los proyectos y pueden señalarlos;
- b) Hay honestidad, transparencia, franqueza y frecuencia en las comunicaciones;
- c) Los objetivos son realistas y se han convenido entre todas las partes interesadas, por lo que las medidas se encaminan firmemente al logro y mantenimiento de los objetivos del programa;
- d) Existe una clara definición de las responsabilidades en relación con cada uno de los aspectos del programa y se ha analizado y convenido quién responde por ellos;
- e) Las metas en materia de salud de la población y medio ambiente local se basan en un manejo racional, el diálogo constructivo y las medidas convenidas para poder lograr la sostenibilidad de cualquier resultado positivo que se logre.

8. DATOS ESTADÍSTICOS DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO Y DEL PLOMO

8.1. Plomo primario

8.1.1. *Plomo primario: Producción mundial de concentrados*

Cuadro 4
Producción minera mundial de concentrados de plomo, 1998-1999.

	Producción minera (miles de toneladas)	
	1998	1999
Australia	618	681
EE.UU.	493	520
China	580	501
Perú	260	273
Canadá	190	160
México	166	120
Suecia	114	115
Otros países	659	650
Total	3.080	3.020

8.1.2. *Plomo primario: Producción mundial de plomo metálico*

Cuadro 5
Producción mundial de plomo primario, 1998-1999

	Producción de plomo primario (miles de toneladas)	
	1998	1999
China	665	730
EE.UU.	337	350
Australia	173	240
Reino Unido	185	185
Alemania	140	174
Canadá	130	146
República de Corea	133	140
Japón	144	125
México	163	120
Otros países	820	800
Total	2.890	3.010

8.1.3. Plomo primario: Consumo mundial de plomo metálico

Cuadro 6
Consumo de plomo metálico por continentes, 1996-1999.

Totales anuales (miles de toneladas)				
	1996	1997	1998	1999
Europa	1.942	1.968	1.952	1.999
África	120	121	132	127
América	2.056	2.085	2.177	2.245
Asia	1.795	1.770	1.673	1.810
Oceanía	74	70	64	64
Total	5.987	6.014	5.998	6.245

8.1.4. Plomo primario: Usos del plomo metálico

165. No cabe dudas de que la fabricación de acumuladores es el uso final por excelencia del plomo, y representa, según cálculos, aproximadamente 70% del consumo mundial. Una racionalización de las modalidades de consumo mundial que, dadas las preocupaciones existentes en relación con el medio ambiente, suponga el uso del plomo con una dispersión mucho menor, puede elevar hasta más del 80% la parte correspondiente al sector de los acumuladores en el futuro inmediato. No obstante, este porcentaje varía mucho de una región a otra.

Cuadro 7
Usos del plomo metálico, 1999.

Uso	Porcentaje
Acumuladores de plomo	71
Pigmentos	12
Extrusiones	7
Munición	6
Recubrimiento de cables	3

166. Pese a esas grandes diferencias porcentuales entre regiones, una media del 70% del plomo que se utiliza anualmente en Europa se destina a la fabricación de acumuladores para automóviles. En los Estados Unidos más del 80% del plomo producido se destina a la producción de AII.

Cuadro 8
Consumo de plomo metálico en acumuladores, 1993.

País	Porcentaje
EE.UU.	83
Japón	69
Francia	65
Alemania	56
Italia	46
Reino Unido	34

8.2. Plomo secundario

8.2.1. *Producción de plomo secundario*

Cuadro 9
Producción mundial de plomo secundario, 1999.

Producción de plomo secundario (miles de toneladas)		
	1998	1999
EE.UU.	1.120	1.110
Alemania	194	200
Japón	158	168
Reino Unido	165	163
Francia	215	150
Italia	177	140
China	92	129
Canadá	136	117
Otros países	623	633
Total	2.880	2.810

8.2.2. *Plomo secundario: Porcentaje de plomo secundario en la producción nacional*

167. Varios países dependen exclusivamente de la producción de plomo secundario: Austria, Brasil, Colombia, Eslovenia, España, Filipinas, Irlanda, Jamaica, Malasia, Nueva Zelandia, Países Bajos, Pakistán, Portugal, República Checa, Sudáfrica, Suiza, Tailandia, Trinidad y Tobago y Ucrania.

Cuadro 10
Porcentaje de producción de plomo secundario, 1999.

	Plomo primario	Plomo secundario	Total	Porcentaje de plomo secundario
Argentina	0,4	32	32,4	98,8
Argelia	0,9	6,1	7,0	87,1
Irán	9	38	47	80,8
EE.UU.	350	1.110	1.460	76,0
Italia	75	140	215	65,1
Japón	125	168	293	57,3
Francia	119	150	269	55,7
Alemania	174	200	374	53,5
Turquía	4	4	8	50,0
Otros países	2.167	1.042	3.209	32,5
Total	3.010	2.810	5.820	48,3

8.3. Acumuladores de plomo

8.3.1. *Acumuladores de plomo: Producción anual*

Cuadro 11
Producción estimada de acumuladores de plomo para automóviles

País/Región	Producción (millones)	Porcentaje del total
EE.UU.	117	40,3
Europa	87	30,0
Japón	36,2	12,5
Otros países	49,8	17,2
Total	290	100

8.3.2. *Acumuladores de plomo: Usos*

Cuadro 12
Usos de los acumuladores de plomo (Porcentaje del mercado mundial), 1995

Tipo	Europa	EE.UU.	Japón	Otros	Total
Automovilístico	19,0	30	9,0	13,0	71
o Industrial	13,0	8	2,0	1,0	23
Genérico	1,2	2	1,5	0,3	5
Total	33,2	40	12,5	14,3	100

168. El número de acumuladores para automóviles producidos anualmente en un país guarda relación directa con varios factores:

- a) Cantidad de vehículos y sus características;
- b) Producción de vehículos y número de acumuladores por vehículo;
- c) Promedio de vida útil de los acumuladores;
- d) Comportamiento del mercado interno y posibilidades de exportación: importación y exportación de vehículos, acumuladores nuevos, acumuladores de desecho, otra chatarra de plomo, concentrado de plomo, plomo refinado y otros productos de plomo.

Cuadro 13
Usos de los acumuladores de plomo en Europa (miles de toneladas), 1995.

País	Automóvil	Motor	Estacionario	VRB*	Genérico	Total
Alemania	128	24	18	7	5	182
Francia	113	18	15	6	3	155
Reino Unido	58	29	13	15	9	124
Italia	90	11	12	4	1	118
España	66	8	3	1	-	78
Escandinavia	57	12	7	1	-	77
Otros	29	5	2	1	-	37
Total	541	107	70	35	18	771
Porcentaje	70	14	9	5	2	100

* Batería de vanadio de reacción redox.

8.3.3 Acumuladores de plomo: Vida útil

169. Aunque no se han realizado estudios sistemáticos sobre la vida útil de los acumuladores de plomo en los países en desarrollo, se ha señalado que su duración media es de 20 a 24 meses en esas regiones. Se dispone de datos más precisos para los países desarrollados.

Cuadro 14
Vida útil estimada de los acumuladores de automóviles, 1995

País/Región	Vida útil (años)
Europa occidental	5,3
Canadá	5,0
Japón	4,5
Australia	3,1
Estados Unidos	3,0
Brasil	2,4
India	1,8

8.3.4 Acumuladores de plomo: Composición

170. Los acumuladores de plomo están constituidos por una parte orgánica representada por el contenedor, la tapa y los separadores de placas, y una parte inorgánica, representada por los bornes de plomo, los conectores, las placas positivas y negativas y el electrolito. A continuación se presenta una descripción cuantitativa de esas partes.

Cuadro 15
Composición de los acumuladores de vehículos y fuerza motriz

Material reciclable	Cantidad (kg)	
	Acumuladores de vehículos*	Acumuladores de fuerza motriz**
Plomo	8,4	262,7
Plásticos	1,1	35,4
Electrolito	3,8	83,5
Acero	-	58,4
Cobre	-	1,7
Peso total	13,3	441,7

* Acumulador de 12 V, 44 Ah, 220 A; ** Acumulador de 24 V, 500 Ah, DIN 43 535

Cuadro 16
Composición porcentual media de los acumuladores de plomo AII

Componente	Porcentaje en peso
Sales y óxidos de plomo	50
Ácido	24
Plomo metálico	17
Plásticos	5
Ebonita y separadores	4
Total	100

Cuadro 17
Concentración de metales en el electrolito de los acumuladores de plomo

Metal	Concentración (mg.dl ⁻¹)
Plomo, partículas	60 a 240
Antimonio	20 a 175
Hierro	20 a 150
Calcio	5 a 20
Zinc	1 a 13,5
Plomo, disuelto	1 a 6
Arsénico	1 a 6
Estaño	1 a 6

9. CONSIDERACIONES FINALES

171. En los capítulos que anteceden se consideraron varios temas importantes vinculados con el reciclado de acumuladores de plomo usados: antecedentes históricos, características técnicas, constitución, descripción general del proceso de reciclado, medidas de control y vigilancia, cuestiones relacionadas con la salud y otras. No obstante, un estudio completo de los procedimientos seguidos en el reciclado del plomo requeriría una incursión mucho más profunda en los procesos industriales, los factores económicos, los aspectos sociales y otras cuestiones que van más allá del alcance de las presentes directrices técnicas.

172. No obstante, deben indicarse algunos posibles objetivos de cualquier análisis ulterior:

a) Hay indicios de que podrían seguir abriéndose posibilidades de reciclar acumuladores de plomo modificando el diseño de los acumuladores, es decir la composición de la caja de plástico, la composición de las placas de plomo, el estado físico del electrolito y demás. No obstante, estos cambios deben representar un esfuerzo conjunto entre productores, recicladores y gobiernos;

b) A los efectos de mejorar la protección del medio ambiente y la salud, deberían adoptarse y utilizarse otros indicadores de resultados, como son las evaluaciones de tecnologías (ET), los análisis del ciclo vital (ACV), las evaluaciones de los riesgos (ER), las auditorías ambientales (AA) y los sistemas de ordenación ambiental (SOA);

c) Deberían aplicarse normas internacionales, como las de la serie ISO 14000;

d) Debería estudiarse la posibilidad de formular y adoptar reglamentos y mecanismos específicos, como las ecoetiquetas, dada la importancia de esos factores;

e) No se debe perder de vista que la planificación, el diseño de la reglamentación y los métodos de control son todos factores que dependen de datos, cuya generación reviste suma importancia para orientar y ayudar a los responsables de la adopción de decisiones, por lo que es preciso establecer mecanismos de generación de datos, tales como análisis químicos, vigilancia del medio ambiente, índices históricos del plomo y otros.

173. Por último, es imprescindible que se comprenda que el proceso de reciclado del plomo tiene profundas raíces en aspectos sociales y económicos que determinan algunos problemas, y también soluciones, que no se consideran, ni sería posible considerar, en las presentes directrices. Por lo tanto, habría que crear un mapa contextual específico que abarque la política local, aspectos económicos, aspectos sociales, aspectos relacionados con el mercado local y el mercado internacional y demás, e insertar en ese contexto a la planta de reciclado del plomo. Ninguna solución u orientación del presente documento deberá admitirse sin más análisis; es preciso, en cambio, que se examine teniendo en cuenta ese mapa contextual y las posibilidades que ofrece.

ANEXO 1
EIA: ESTRUCTURA RECOMENDADA

1. DESCRIPCIÓN REGIONAL

- 1.1. Descripción general del entorno del sitio
 - 1.1.1. *Características geográficas*
 - 1.1.2. *Características climáticas*
 - 1.1.3. *Contexto socioeconómico y ocupación del suelo*
- 1.2. Descripción general de los alrededores del sitio
 - 1.2.1. *Descripción del entorno físico*
 - 1.2.2. *Descripción del entorno natural*
 - 1.2.3. *Indicación y cuantificación de los desechos y las emisiones existentes*
- 1.3. Servicios situados en las proximidades del sitio
 - 1.3.1. *Servicios públicos*
 - 1.3.2. *Urbanismo*
 - 1.3.3. *Ocupación del suelo*
- 1.4. Recursos hídricos
 - 1.4.1. *Uso regional del agua*
 - 1.4.2. *Uso del agua en la planta de reciclado*

2. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS DIFERENTES REPERCUSIONES DEL PROYECTO: MEDIDAS DE CONTROL Y VIGILANCIA

- 2.1. Aspectos generales
- 2.2. Inversiones en protección del medio ambiente
- 2.3. Efectos en el medio ambiente en la etapa de funcionamiento
 - 2.3.1. *Efluentes líquidos*
 - 2.3.2. *Emisiones de gases*
 - 2.3.3. *Ocupación del suelo*
 - 2.3.4. *Contaminación acústica*
 - 2.3.5. *Conclusiones*
- 2.4. Recursos hídricos y su utilización
 - 2.4.1. *Uso del agua*
 - 2.4.2. *Limitaciones al uso del agua*
 - 2.4.3. *Conclusiones*
- 2.5. Efluentes líquidos
 - 2.5.1. *Determinación y cuantificación de los efluentes líquidos*
 - 2.5.2. *Resumen sobre los efluentes que contiene el agua*
 - 2.5.3. *Medidas de control*
 - 2.5.4. *Conclusión*
- 2.6. Emisiones de gases
 - 2.6.1. *Introducción*
 - 2.6.2. *Emisiones continuas*
 - 2.6.3. *Emisiones periódicas*
 - 2.6.4. *Emisiones accidentales*
 - 2.6.5. *Medidas de control*
 - 2.6.6. *Conclusiones*
- 2.7. Desechos sólidos, líquidos y pastosos
 - 2.7.1. *Determinación y cuantificación de los desechos*

- 2.7.2. *Almacenamiento de desechos*
- 2.7.3. *Posibles efectos de los desechos generados*
- 2.8. Olores
- 2.9. Contaminación acústica
 - 2.9.1. *Determinación de las fuentes de ruidos*
 - 2.9.2. *Medidas de control*
 - 2.9.3. *Conclusiones*
- 2.10. Movimientos
 - 2.10.1. *Materias primas*
 - 2.10.2. *Productos*
 - 2.10.3. *Desechos*
 - 2.10.4. *Conclusión*

3. RAZONES PARA LA ELECCIÓN DEL PROYECTO

- 3.1. Justificaciones técnicas
- 3.2. Justificación de la protección del medio ambiente

4. SÍNTESIS DE LOS EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

- 4.1. Efectos mundiales
 - 4.1.1. *Efectos en el paisaje*
 - 4.1.2. *Efectos en las carreteras y el tránsito*
 - 4.1.3. *Efectos en el consumo de agua*
 - 4.1.4. *Efectos en la calidad del agua*
 - 4.1.5. *Efectos en la calidad del aire*
 - 4.1.6. *Efectos en la eliminación de desechos*
 - 4.1.7. *Efectos en relación con el ruido, las vibraciones y la luz*
 - 4.1.8. *Cuadros comparados de la situación antes y después de la ejecución del proyecto*
- 4.2. Calendario de las medidas de control para reducir los efectos en el medio ambiente
- 4.3. Recuperación del sitio al finalización el período de explotación
- 4.4. Evaluación de costos
- 4.4. Responsables de la realización de la EIA

5. ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS

- 5.1. Lista de estudios realizados
- 5.2. Problemas científicos o técnicos eventuales

ANEXO 2

EFECTOS TÓXICOS DEL PLOMO EN LAS PERSONAS

1. Hay que tener en cuenta que el plomo es un metal que se da en estado natural, por lo cual su presencia en el organismo humano es inevitable, y que la variación normal de los niveles de plomo en la sangre es de $10 \mu\text{g.dl}^{-1}$ a $40 \mu\text{g.dl}^{-1}$. En concentraciones en la sangre inferiores a $80 \mu\text{g.dl}^{-1}$ rara vez se observan efectos perniciosos en los adultos, ya que en general los casos de envenenamiento suponen niveles muy superiores. Además, los síntomas de envenenamiento por plomo en los niños son muy diferentes de los que presentan los adultos, ya que la enfermedad en general es más grave, aunque pueden aparecer indicios en concentraciones en la sangre más bajas.

2. El plomo induce diversos efectos biológicos, de los cuales los más reconocidos se refieren a perturbaciones en la síntesis del hemo, que comprenden la inhibición de la deshidratasa del ácido δ -aminolevulínico (ALA-D), enzima que participa en la síntesis de la porfirina y la inhibición de la incorporación del hierro en la porfirina, que da lugar a elevados niveles de protoporfirinas eritrocitarias libres (PEL).

3. El envenenamiento por plomo puede ocurrir en dos formas: envenenamiento agudo y envenenamiento crónico:

4. Envenenamiento agudo por plomo - En este caso, los síntomas se presentan poco después de la absorción de una gran cantidad de plomo, y rápidamente se agravan, lo que generalmente obedece a la ingestión accidental de plomo inorgánico, que puede considerarse inusual incluso entre personas que trabajan en plantas de reciclado del plomo. No obstante, se ofrece una breve descripción del envenenamiento agudo: sabor metálico dulce en la boca, seguido poco después por síntomas de sed, ardor abdominal y vómitos, luego diarrea o estreñimiento ocasional; la muerte, si se produce, ocurre dentro de los primeros dos días, y es precedida por colapso, con lentas pulsaciones y entrada en coma del paciente; no obstante, la mayoría de los pacientes se recuperan, pero pueden persistir durante cierto tiempo ataques de cólicos y otros signos del proceso de envenenamiento.

5. Envenenamiento crónico por plomo - Se considera el tipo más importante de exposición ocupacional a fuentes de plomo, en que el organismo está expuesto a concentraciones de plomo generalmente no tan altas como en el caso del envenenamiento agudo, pero lo suficiente como para producir efectos observables al cabo de cierto tiempo. En general, el envenenamiento crónico está precedido por un estadio subclínico y presintomático en que la concentración de plomo en el organismo aumenta lentamente. Los primeros síntomas de envenenamiento en los adultos no son específicos ni indicarán de por sí una excesiva exposición al plomo. Por lo tanto, el diagnóstico debe basarse en una historia de exposición, sensación general de malestar y pruebas bioquímicas apropiadas, ya que el examen clínico puede revelar poco: dolor de cabeza, fatiga y lasitud son los motivos de consulta más comunes, produciéndose más tarde pérdida de apetito, palidez facial y dolores musculares. Si en ese momento no se hace el diagnóstico ni comienza el tratamiento, diversos sistemas en el organismo comienzan a funcionar en forma anormal y empiezan a manifestarse las secuelas de esta situación. Al avanzar la anemia se incrementan la palidez y la dificultad para respirar. La dispepsia y los cólicos abdominales suelen ser concomitantes con el estreñimiento, aunque también pueden producirse diarreas intermitentes. Para entonces se habrá producido pérdida de apetito, y tal vez vómitos, puede aparecer una línea azul en el borde de las encías, y también pueden ocurrir cambios que afecten a los nervios periféricos, al sistema nervioso central o a ambos. La encefalopatía crónica puede ser difícil de reconocer, ya que en algunos pacientes se presenta como depresión y en otros como estado maniaco-depresivo, y en cualquiera de los dos casos se puede confundir con enfermedades mentales intrínsecas. En ocasiones, dado que el paciente puede tener convulsiones, es necesario distinguir el envenenamiento de la epilepsia. Rara vez se producen lesiones sensoriales, pero ha habido casos de debilidad en las piernas y cambios de diversa índole en la conducción neural, aunque no suelen darse casos de parálisis total. Aunque las

lesiones renales son a veces parte de esta enfermedad, por ejemplo el deterioro de los procesos de reabsorción tubular y la nefropatía crónica son los más comunes, no suelen ser el motivo por el cual los pacientes van a consulta, ya que la insuficiencia renal generalmente se produce mucho después de la exposición al plomo. En el contexto industrial, el primer efecto clínico es casi siempre una ligera disminución de la hemoglobina. La mayoría de los casos no van más allá o el paciente puede quejarse de efectos moderados no específicos, que afectan principalmente al tracto gastrointestinal.

6. Envenenamiento crónico por plomo en los niños - La exposición crónica en los niños adopta una forma un tanto diferente. Al igual que ocurre en los adultos, esta enfermedad puede tener un comienzo insidioso: el niño palidece y se vuelve apático, además se queja constantemente. En los casos graves se ve afectado el cerebro, lo que se manifiesta en somnolencia, torpeza en los movimientos o dificultad para caminar. Esto puede terminar en convulsiones graves y reiteradas, coma y hasta paro respiratorio, o tal vez hasta sea el primer indicio de la enfermedad. El porcentaje de defunciones es elevado, y buena parte de los niños que se recuperan sufren lesiones cerebrales permanentes. Hasta ahora no existen pruebas irrefutables que demuestren que una concentración mínima pero constante de ingesta de plomo afecte de algún modo al estado mental del niño.

Terminología

Límite de exposición de corta duración (LECD): Es un nivel intermedio entre la MPT y el límite máximo (nivel de concentración más alto, que nunca debe sobrepasarse), al que los trabajadores pueden estar expuestos por períodos de no más de 15 minutos por hora, cuatro veces por día, con un período mínimo de 60 minutos entre dos exposiciones consecutivas.

Valor límite umbral (VLU): Es la concentración de la sustancia en el aire de las áreas de trabajo a la que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos en forma permanente sin mostrar efecto negativo alguno.

Media ponderada en el tiempo (MPT): Es la concentración media de la exposición al compuesto, durante una jornada de trabajo de ocho horas, en la que el valor medio, considerando todas las muestras, no debe ser mayor de VLU-MPT.

SIGLAS Y FÓRMULAS

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (EE.UU.)

AI: Acumuladores de arranque, iluminación e ignición

ALA: ácido d-aminolevulínico

ALA-D: dehidratasa del ácido d-aminolevulínico

ALA-U: ácido d-aminolevulínico en la orina

Ag: plata

As: arsénico

Bi: bismuto

Ca: calcio

CaCO₃: carbonato cálcico o piedra caliza

Cd: cadmio

Cl₂: cloro

CE: Comunidad Europea

Cu: cobre

CuS: sulfuro de cobre

EIA: Evaluación del Impacto Ambiental

EPA: Environmental Protection Agency (EE.UU.)

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Fe₂O₃: óxido de hierro III u óxido férrico

HCl: cloruro de hidrógeno o ácido clorhídrico

Hg: mercurio

LECD: límite de exposición de corta duración

Mg: magnesio

MPT: media ponderada en el t tiempo

N₂: nitrógeno

NaCl: cloruro de sodio o sal común

Na₂CO₃: carbonato de sodio

NaNO₃: nitrato de sodio

NaOH: hidróxido de sodio

Na₂SO₄: sulfato de sodio

NH₄Cl: cloruro de amonio

O₂: oxígeno

OMS: Organización Mundial de la Salud

OSHA: Occupational Safety and Health Admistration (EE.UU.)

Pb: plomo

Pb²⁺: ion plomo (II) o ion plumboso

PbO: óxido de plomo

PbO₂: dióxido de plomo

Pb(OH)₂: Dihidróxido de plomo o hidróxido plumboso

PbS: sulfuro de plomo

PbSO₄: sulfato de plomo

PEL: protoporfirinas eritrocitarias libres

pH: unidad de medida del grado de acidez del agua

PPZn: protoporfirina IX zinc

S: azufre

Sb: antimonio

Sn: estaño

SnCl₂: Cloruro de estaño (II) o cloruro estañoso

SNC: Sistema nervioso central

SNP: Sistema nervioso periférico

SO₂: dióxido de azufre

VLU: Valor límite umbra

Zn: zinc

Bibliografía

Capítulo 1 – Antecedentes históricos

- Enciclopedia Británica en línea: www.britannica.com
- New Grolier Encyclopaedia Multimedia, Grolier Electronic Publishing, Inc., 1984.
- “Recyclage de batteries plomb-acide et environnement – Rapport Technique n.º 14”, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, 1998, 165 págs.

Capítulo 2 – Características técnicas de los acumuladores de plomo

- Diversas fuentes. Consúltese una exposición amplia del tema en: “Recyclage de batteries plomb-acide et environnement – Rapport Technique n.º 14”, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, 1998, 165 págs.

Capítulo 3 – Reciclado de acumuladores de plomo – Fases previas al reciclado

- “Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries”, Oficina de la Comisión Europea encargada de la prevención y el control integrados de la contaminación, mayo de 2000, 807 págs.
- “The Recycling of Non-Ferrous Metals”, M.E.Henstock, publicación del Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente (CIME), MIM, 1996, 340 págs.

Capítulo 4 – Reciclado de acumuladores de plomo

- “Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries”, Oficina de la Comisión Europea encargada de la prevención y el control intergrados de la contaminación, mayo de 2000, 807 págs.
- “Recyclage de batteries plomb-acide et environnement – Rapport Technique n.º 14”, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, 1998, 165 págs.
- “The Recycling of Non-Ferrous Metals”, M.E.Henstock, publicación del Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente (CIME), MIM, 1996, 340 págs.

Capítulo 5 – Control ambiental

- “Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries”, Oficina de la Comisión Europea encargada de la prevención y el control integrados de la contaminación, mayo de 2000, 807 págs.
- “Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment – Scope 31”, publicación dirigida por T.C. Hutchinson y K.M. Meema, Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), John Wiley & Sons, 1987, 360 págs.
- “Recyclage de batteries plomb-acide et environnement – Rapport Technique n.º 14”, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, 1998, 165 págs.
- “The Recycling of Non-Ferrous Metals”, M.E.Henstock, publicación del Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente (CIME), MIM, 1996, 340 págs.
- “A process engineering approach to remedy an environmental problem of fugitive lead emissions during lead refining”, L.Wanga / A.E. Morris, Journal of Materials Research, Vol.10, Nº3, pág. 538.
- ILMC Tool Box Series 1.2 – Control and Monitoring of Atmospheric Emissions, enero de 2002, Section 2, Emission Control Principles.

Capítulo 6 – Aspectos relacionados con la salud