



MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO USADAS

en América del Norte

Directrices técnicas



Citar como:

CCA (2016), *Manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte: directrices técnicas*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 102 pp.

El presente informe fue elaborado por CM Consulting, Kelleher Environmental y Greeneye Partners, con la colaboración de José Castro Díaz y Gracestone Inc., para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. La información que contiene es responsabilidad de los autores y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción de este material sin previa autorización, siempre y cuando se haga con absoluta precisión, su uso no tenga fines comerciales y se cite debidamente la fuente, con el correspondiente crédito a la Comisión para la Cooperación Ambiental. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo “Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada”, de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2015.

ISBN: 978-2-89700-105-6 (versión electrónica)

Available in English – ISBN: 978-2-89700-104-9 (electronic version)

Disponible en français – ISBN: 978-2-89700-106-3 (version électronique)

Depósito legal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2016

Depósito legal: Library and Archives Canada, 2016

Detalles de la publicación

Categoría del documento: informe de proyecto

Fecha de publicación: enero de 2016

Idioma original: inglés

Procedimientos de revisión y aseguramiento de la calidad:

Revisión final de las Partes: septiembre de 2015

QA217

Proyecto: Plan Operativo 2013-2014: *Manejo ambientalmente adecuado de acumuladores al final de su vida útil, incluidas baterías de plomo-ácido usadas, en América del Norte*

Si desea más información sobre esta y otras publicaciones de la CCA, dirijase a:



Comisión para la Cooperación Ambiental

393 rue St-Jacques Ouest, bureau 200
Montréal (Québec), Canada, H2Y 1N9
Tel.: 514.350.4300 fax: 514.350.4314
info@cec.org / www.cec.org

MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO USADAS

en América del Norte

Directrices técnicas

Índice

Sinopsis	vii
Resumen ejecutivo	viii
Prefacio	x
Agradecimientos	xi
1. Antecedentes y objetivos del proyecto	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación para la elaboración de las directrices técnicas	2
1.3 Objetivos y alcance del proyecto	3
2. Reciclaje de baterías de plomo-ácido en América del Norte	6
2.1 Componentes, contenido de plomo y vida útil típica de las baterías de plomo-ácido	6
2.2 Manejo de baterías de plomo-ácido usadas al final de su vida útil	8
3. Pasos previos al reciclaje: acopio, transporte y almacenamiento de baterías de plomo-ácido usadas	11
3.1 Acopio, almacenamiento y manejo de baterías de plomo-ácido usadas en centros de acopio	11
3.2 Directrices generales y de embalaje para el transporte de BPAU	15
3.3 Almacenamiento de BPAU en la planta de reciclaje	21
4. Pasos del reciclaje de las baterías de plomo-ácido usadas: fragmentación de baterías y fundición secundaria de plomo (reducción)	24
4.1 Proceso de reciclaje de BPAU	24
4.2 Ruptura o fragmentación de baterías: descripción del proceso y riesgos asociados para el medio ambiente y la seguridad	24
4.3 Fundición secundaria de plomo	27
5. Control de la contaminación en plantas de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: aire, aguas residuales y desechos sólidos	32
5.1 Normas para el control de la contaminación atmosférica en plantas que reciclan baterías de plomo-ácido usadas	32
5.2 Control de emisiones por chimenea en plantas de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: tecnologías y prácticas de manejo ambientalmente adecuado	34
5.3 Control de emisiones fugitivas en instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: tecnologías y prácticas de manejo ambientalmente adecuado	44
5.4 Manejo del electrolito ácido usado y tratamiento de aguas residuales	48
5.5 Manejo de desechos sólidos (escoria, polipropileno y otros) en instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas	49
5.6 Desmantelamiento y cierre de instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas	50
6. Monitoreo y protección ambiental en establecimientos dedicados a reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas	56
6.1 Normas de salud laboral	56
6.2 Medidas de control para minimizar la exposición: controles administrativos y técnicos	56
6.3 Prácticas de trabajo adecuadas	59
6.4 Monitoreo ambiental y de la salud en instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas	64
6.5 Planes de emergencia	68
7. Auditorías y elaboración de informes	72
7.1 Auditorías	72
7.2 Elaboración de informes	72
Apéndice: Capacidad en pie para reciclar baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte	74
Glosario	76
Bibliografía	80

Lista de cuadros

Cuadro 1.	Cantidad promedio de plomo en diferentes tipos de batería de plomo-ácido	8
Cuadro 2.	Vida útil promedio de las baterías de plomo-ácido en Estados Unidos (1962-2010)	8
Cuadro 3.	Lista de verificación de aplicación previa al reciclaje de BPAU	22
Cuadro 4.	Lista de verificación de aplicación para el reciclaje de BPAU	25
Cuadro 5.	Resumen de las normas más estrictas sobre emisiones atmosféricas para fundidoras secundarias de plomo en ciertas jurisdicciones en Canadá (Ontario y Quebec) y en Estados Unidos	33
Cuadro 6.	Normas en materia de emisiones atmosféricas para fundidoras secundarias de plomo en México	33
Cuadro 7.	Indicadores para la selección de mangas o medios filtrantes	39
Cuadro 8.	Filtros de aire invertido: diseño y funcionamiento, ventajas y desventajas	40
Cuadro 9.	Filtros de agitación mecánica: diseño y funcionamiento, ventajas y desventajas	40
Cuadro 10.	Filtros de propulsión a chorro: diseño y operación, ventajas y desventajas	41
Cuadro 11.	Definición de las distintas categorías de espacios cerrados	45
Cuadro 12.	Directrices canadienses sobre calidad del suelo respecto del plomo	51
Cuadro 13.	Concentraciones de referencia totales (CRT) de plomo por tipo de uso del suelo	52
Cuadro 14.	Identificación de peligros de contaminación por plomo en suelos desprovistos de vegetación en Estados Unidos	52
Cuadro 15.	Lista de verificación para la instrumentación de controles de contaminación en instalaciones de reciclaje de BPAU	53
Cuadro 16.	Normas selectas en materia de plomo en Canadá (Ontario y Quebec), Estados Unidos y México	57
Cuadro 17.	Prácticas de trabajo adecuadas a adoptar en instalaciones dedicadas al reciclaje de BPAU	60
Cuadro 18.	Lista de verificación de la aplicación para monitoreo y protección ambientales en plantas de reciclaje de BPAU	70



Lista de gráficas

Gráfica 1.	Una batería de plomo-ácido típica	7
Gráfica 2.	Placas y separadores en una batería de plomo-ácido	7
Gráfica 3.	Diagrama de flujo del manejo de BPAU al final de su vida útil	9
Gráfica 4.	Ejemplo de rótulo de advertencia en baterías que no son de plomo-ácido	14
Gráfica 5.	Jaulas de almacenamiento de BPAU en Filipinas y el Reino Unido	14
Gráfica 6.	Colocación inadecuada de BPAU sobre una tarima	15
Gráfica 7.	Tarima de madera utilizada en el transporte de BPAU	15
Gráfica 8.	Colocación adecuada del cartón entre cada capa de BPAU hasta cubrir todas las capas de la tarima	16
Gráfica 9.	BPAU almacenadas en posición vertical	16
Gráfica 10.	Colocación incorrecta y correcta de baterías con terminales a un costado	16
Gráfica 11.	Colocación correcta de baterías con terminales en la parte superior	16
Gráfica 12.	Baterías con terminales de perno colocadas en la capa superior	17
Gráfica 13.	Tarimas con BPAU afianzadas con cintas y listas para su transporte	17
Gráfica 14.	Ejemplo de almacenamiento inadecuado de BPAU al aire libre	21
Gráfica 15.	Proceso de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas	25
Gráfica 16.	Proceso de fragmentación de baterías de plomo-ácido usadas	26
Gráfica 17.	Flujo de procesos de una fundición secundaria de plomo típica: tratamiento previo	28
Gráfica 18.	Flujo de procesos de una fundición secundaria de plomo típica: fundición	29
Gráfica 19.	Flujo de procesos de una fundición secundaria de plomo típica: refinación	29
Gráfica 20.	Comparación de la concentración de plomo emitido obtenida mediante distintas tecnologías para el control de la contaminación atmosférica	36
Gráfica 21.	Comparación de emisiones de plomo en distintos tipos de filtro de tela	37
Gráfica 22.	Comparación de emisiones de plomo de filtros de tela utilizando distintos medios filtrantes	37
Gráfica 23.	Diagrama de operación del filtro de tela o manga	38
Gráfica 24.	Diagrama de filtro de aire invertido	40
Gráfica 25.	Diagrama de filtro por agitación mecánica	40
Gráfica 26.	Diagrama del sistema de propulsión a chorro	41
Gráfica 27.	Distribución y componentes principales de un precipitador electrostático típico	42
Gráfica 28.	Precipitador electrostático húmedo	43
Gráfica 29.	Comparación de concentraciones anuales de plomo en el medio ambiente por cada categoría de espacio cerrado	45
Gráfica 30.	Ejemplos de medidas de control aplicables a fundidoras secundarias de plomo	58
Gráfica 31.	Vestidores	61
Gráfica 32.	Casilleros y regaderas	61
Gráfica 33.	Comedor para empleados	61
Gráfica 34.	Estación de lavado de manos	61
Gráfica 35.	Componentes de una cabina de ducha de aire para limpieza de ropa	61
Gráfica 36.	Aspirado de ropa de protección para retirar partículas de plomo	62
Gráfica 37.	Diagrama de estación de lavado de botas para retirar partículas de plomo	62
Gráfica 38.	Diagrama de máquina de limpieza de calzado para retirar partículas de plomo	62
Gráfica 39.	Componentes de una instalación para la higiene personal en dos etapas	63
Gráfica 40.	Ejemplo de equipo de protección personal	64
Gráfica 41.	Bomba personal o de área para toma de muestras de aire	65
Gráfica 42.	Sistema personal completo para monitoreo de aire	65
Gráfica 43.	Kit de muestreo para la detección de plomo en el aire	67
Gráfica 44.	Ejemplo de paño para toma de muestra en superficies	67
Gráfica 45.	Kit de recolección de muestras con paños para detección de plomo en piel y superficies	67
Gráfica 46.	Dosímetro acústico para medir el nivel de ruido	68
Gráfica 47.	Dosímetro acústico para medir el nivel de ruido	68

Siglas, acrónimos, abreviaturas y símbolos

µm	micrómetro (millonésima parte de un metro; milésima parte del milímetro)
BCI	Consejo Internacional sobre Baterías (del inglés: <i>Battery Council International</i>)
BPA	baterías de plomo-ácido
BPAU	baterías de plomo-ácido usadas
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
CCME	Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (<i>Canadian Council of Ministers of the Environment</i>)
CRT	concentraciones de referencia totales
DOT	Departamento de Transporte (<i>Department of Transport</i>), Estados Unidos
EPA	Agencia de Protección Ambiental (<i>Environmental Protection Agency</i>), Estados Unidos
HEPA	[filtrado de] alta eficiencia para partículas en el aire (del inglés: <i>high-efficiency particulate air filter</i>)
ISO	Organización Internacional de Normalización (del inglés: <i>International Standards Organization</i>)
Li-ion	iones de litio
MAA	manejo ambientalmente adecuado
Mg(OH)₂	hidróxido de magnesio
NiCd	níquel-cadmio
NIOSH	Instituto Nacional de Seguridad y Salud Laborales (<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>), Estados Unidos
NOM	Norma Oficial Mexicana
NOx	óxidos de nitrógeno
OSHA	Administración para la Seguridad y la Salud Laborales (<i>Occupational Safety and Health Administration</i>), Estados Unidos
PbO	óxido de plomo
PbO₂	dióxido de plomo
POI	punto de impacto de un contaminante (del inglés: <i>point of impingement</i>)
Profepa	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PVC	cloruro de polivinilo (del inglés: <i>polyvinyl chloride</i>)
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SO₂	dióxido de azufre
SQG	Directrices sobre calidad del suelo (<i>Soil Quality Guidelines</i>), Canadá
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte



Sinopsis

Gracias al sostenido interés que comparten Canadá, Estados Unidos y México por impulsar la adopción de un sistema de manejo ambientalmente adecuado (MAA) para el reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas (BPAU), la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte encargó en 2014 la elaboración de una serie de directrices técnicas para incorporar un manejo ambientalmente adecuado (MAA) en plantas de fundición secundaria de plomo y otros establecimientos que procesan baterías de plomo-ácido usadas.

Como parte del proceso de elaboración de estas directrices, el Secretariado de la CCA recabó comentarios y sugerencias de recicladores y otros posibles grupos de interés, así como de expertos técnicos de los tres países que pudieran hacer aportaciones útiles en numerosos aspectos prácticos y tecnológicos del MAA a fin de incorporar en el reciclaje de BPAU. Con este propósito se llevó a cabo un taller de consulta en octubre de 2014 en la Ciudad de México, al cual asistieron más de 100 participantes, entre los que se contaron líderes industriales, representantes gubernamentales y expertos de organizaciones sin vinculación gubernamental provenientes de Canadá, Estados Unidos y México. A efecto de reunir comentarios en torno a las diferentes versiones preliminares de las directrices, se realizaron dos evaluaciones públicas. Los comentarios y sugerencias recibidos se estudiaron y tomaron en cuenta para la revisión y ajuste de las directrices.

Las presentes directrices permiten determinar y consolidar las mejores prácticas y tecnologías para el reciclaje de BPAU de manera que se protejan el medio ambiente, la salud y la seguridad de los trabajadores y la ciudadanía. En este documento se plantean, además, recomendaciones sobre cómo aplicar estas mejores prácticas y tecnologías dentro de instalaciones, nuevas y existentes, dedicadas al acopio, almacenamiento y reciclaje de BPAU que operan en América del Norte.

Resumen ejecutivo

Si se lleva a cabo correctamente, el reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas (BPAU) podría convertirse en un ejemplo de cuidado exitoso del medio ambiente. Además de evitar el desecho de baterías y de reducir la necesidad de extraer metal nuevo, el reciclaje de BPAU constituye un suministro esencial y estable de plomo secundario para la industria de baterías. En cambio, las prácticas inadecuadas de reciclaje de baterías de plomo-ácido pueden dar lugar a trastornos graves y duraderos en la salud tanto de los trabajadores como de la comunidad y el medio ambiente.

Gracias al sostenido interés que comparten Canadá, Estados Unidos y México por impulsar la adopción de un sistema de manejo ambientalmente adecuado (MAA) para el reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas, la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte encargó en 2014 la elaboración una serie de directrices técnicas para incorporar un MAA en plantas de fundición secundaria de plomo y otros establecimientos que procesan BPAU. Estas directrices permiten identificar y consolidar mejores prácticas y tecnologías para el acopio y reciclaje de BPAU de tal manera que se protejan el medio ambiente, la salud y la seguridad de los trabajadores y la ciudadanía; se plantean, además, recomendaciones sobre cómo implementar estas mejores prácticas y tecnologías dentro de instalaciones, nuevas y existentes, dedicadas al acopio, almacenamiento y reciclaje de BPAU que operan en América del Norte.

Como parte del proceso de elaboración de estas directrices, el Secretariado de la CCA buscó recabar comentarios y sugerencias de recicladores y otros posibles grupos de interés, así como de expertos técnicos de los tres países que pudieran hacer aportaciones útiles en numerosos aspectos prácticos y tecnológicos, a fin de incorporarlas en las directrices técnicas. Para lograrlo se llevó a cabo un taller de consulta en octubre de 2014 en la Ciudad de México y entre los temas tratados se incluyen el acopio, almacenamiento, transporte y reciclaje de BPAU, junto con consideraciones sobre el MAA asociado. Se contó con una asistencia al taller de más de 100 participantes, entre los que se contaron líderes industriales, representantes gubernamentales y expertos de organizaciones sin vinculación gubernamental provenientes de Canadá, Estados Unidos y México. Los comentarios y sugerencias recibidos se estudiaron y tomaron en cuenta para la revisión y ajuste de las directrices con base en la investigación de la validez de los cambios sugeridos.

Las directrices técnicas se dividen en siete apartados clave:

En el **apartado 1** se explican los antecedentes y el contexto del proyecto, junto con su justificación, objetivos y alcance, así como la manera en que se organiza el informe.

El **apartado 2** comienza por presentar una descripción general de alto nivel sobre los aspectos económicos del reciclaje de BPAU, así como sobre la consolidación de la industria en América del Norte. Presenta, asimismo, los distintos componentes de una batería de plomo-ácido, entre los que se incluyen el contenido normal de plomo y el ciclo de vida útil, y contiene una breve introducción al proceso de reciclaje de BPAU.

En el **apartado 3** se abordan temas relativos al acopio, transporte y almacenamiento de BPAU, etapas éstas que, en conjunto, integran el proceso previo al reciclaje. En este apartado se exploran las diferencias en la infraestructura de acopio de Canadá, Estados Unidos y México, y se identifica a los principales actores dentro de la cadena de abasto de BPAU. Asimismo, se distinguen los riesgos en términos ambientales y de seguridad que suelen presentarse durante el acopio, almacenamiento y transporte de BPAU, y se recomiendan prácticas de MAA para abordar tales riesgos. Estas recomendaciones comprenden, por ejemplo, empacar adecuadamente las baterías de plomo-ácido usadas para su transporte y asegurarse de que aquellas que no sean de plomo (las baterías de iones de litio, por ejemplo) no ingresen al flujo del proceso de reciclaje de BPAU. Este apartado concluye con una descripción general de las prácticas de MAA para el almacenamiento temporal de BPAU en centros de acopio; el manejo de fugas de electrolito ácido usado de baterías dañadas, y los requisitos que deben cumplir los establecimientos para el almacenamiento de baterías de plomo-ácido usadas.

Luego de la presentación de las prácticas de manejo ambientalmente adecuado para el acopio, transporte y almacenamiento de BPAU, se hace un análisis de los diferentes pasos que comporta el proceso de reciclaje, junto con consideraciones relativas al MAA que deberán tomarse en cuenta en cada etapa. Después de describir en detalle cada uno de los pasos que integran el proceso de reciclaje de BPAU —fragmentación de baterías, y reducción y refinación de plomo—, en el **apartado 4** se identifican los mayores riesgos ambientales y de seguridad asociados con cada actividad y se ofrecen recomendaciones sobre las prácticas de MAA cuya implementación debería considerarse.

El **apartado 5** aborda algunos métodos para un manejo ambientalmente adecuado en el control de la contaminación en instalaciones de reciclaje de BPAU. Entre estas modalidades se incluyen las que forman parte del proceso de fragmentación de baterías y las aplicadas en las plantas de fundición secundaria de plomo. En este apartado se señalan, asimismo, las emisiones por chimenea y fugitivas como las principales fuentes de contaminación atmosférica, y se presenta un resumen de las diferentes tecnologías utilizadas para tratar emisiones al aire en fundidoras secundarias de plomo, en particular los sistemas de filtro de tela o manga. Se abordan también las prácticas de trabajo más recomendables, como la de limpiar dos veces al día las superficies pavimentadas de una planta y cerrar las áreas de almacenamiento para minimizar la contaminación. A fin de crear un contexto para el análisis, este apartado también presenta un resumen de los estándares de emisiones atmosféricas para fundidoras secundarias de plomo en Canadá, Estados Unidos y México.

Además de las prácticas de manejo ambientalmente adecuado para el control de la contaminación atmosférica, en el **apartado 5** se describen opciones de MAA de electrolito ácido usado y aguas residuales. Esto incluye, por ejemplo, neutralizar el agua residual mediante el ajuste del pH y someter a prueba de lixiviados la torta de filtrado resultante. Se abordan, además, temas referentes al reciclaje del plástico de polipropileno y otros desechos sólidos (otros plásticos, separadores de elementos y cartón). El apartado concluye con una descripción breve de planes de desmantelamiento y cierre de instalaciones, lo que comprende las acciones que dichos planes deben comprender para garantizar que las plantas de reciclaje de BPAU no representen en el futuro una amenaza para la salud humana o el medio ambiente.

En el **apartado 6** se identifican y examinan cuatro aspectos fundamentales del desempeño de un MAA en plantas de reciclaje de BPAU. Éstos abarcan normas de salud laboral; el uso de equipo de protección personal; medidas de control encaminadas a minimizar riesgos para el medio ambiente, la salud y la seguridad, y sistemas de monitoreo para rastrear el desempeño ambiental. Se abordan también los requisitos mínimos que deben cubrir los planes de emergencia, los cuales esbozan los procedimientos a seguir en plantas de reciclaje de BPAU en caso de emergencias, como incendios, derrames químicos, explosiones o descargas imprevistas de productos peligrosos.

El **apartado 7** y último de las directrices técnicas contiene las prácticas más recomendables para la realización de auditorías y la elaboración de informes; por ejemplo, que sea un profesional certificado quien efectúe todas las auditorías en establecimientos de reciclaje de BPAU y que se adhiera a las directrices ISO 19011 e ISO 17021 establecidas por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), o a una norma equivalente. Para fines de la elaboración de informes, se recomienda también que las instalaciones instrumenten y mantengan un sistema de rastreo para controlar, pesar o contabilizar, y documentar el total de materiales que entran y salen, al igual que los desechos, equipo y componentes enviados a reciclaje.

Prefacio

Los acumuladores o baterías de plomo-ácido usadas (BPAU) de automóviles y camiones, así como los que se utilizan en aplicaciones industriales, comerciales e institucionales, representan uno de los productos que más se reciclan en el mundo. En Canadá, Estados Unidos y México, las tasas de reciclaje son cercanas al 100 por ciento. Si se lleva a cabo correctamente, el reciclaje de BPAU podría convertirse en un ejemplo de cuidado exitoso del ambiente. En cambio, las prácticas inadecuadas de reciclaje de BPA pueden dar lugar a trastornos graves y duraderos en la salud tanto de los trabajadores como de la comunidad y el medio ambiente.

Las presentes directrices tienen como objetivo principal identificar y consolidar mejores prácticas y tecnologías para el reciclaje de BPAU de tal manera que se proteja el medio ambiente, la salud y la seguridad de los trabajadores y la ciudadanía, y presentar recomendaciones sobre cómo instrumentar prácticas y tecnologías de manejo ambientalmente adecuado (MAA) dentro de instalaciones, nuevas y existentes, dedicadas al acopio, almacenamiento y reciclaje de BPAU que operan en América del Norte.

El presente proyecto se emprendió en respuesta directa a las conclusiones emanadas del informe independiente del Secretariado de la CCA titulado *¿Comercio peligroso? Estudio sobre las exportaciones de baterías de plomo-ácido usadas generadas en Estados Unidos y el reciclaje de plomo secundario en Canadá, Estados Unidos y México*, preparado en 2013. Una de las principales conclusiones del estudio apunta a que los marcos normativos que regulan a las fundidoras secundarias de plomo en Canadá, Estados Unidos y México no brindaban niveles iguales de protección ambiental y de la salud.* Además de las conclusiones emanadas, el informe de 2013 presenta numerosas recomendaciones dirigidas al Consejo de la CCA sobre cómo garantizar que las BPAU se manejen de tal forma que se proteja a los trabajadores del sector y al público en general de la exposición al plomo emitido durante el reciclaje de estas baterías en México. Otra recomendación clave va en el sentido de que los gobiernos de los tres países trabajen conjuntamente con la industria fundidora de plomo y organizaciones no gubernamentales de América del Norte con miras a formular estrategias que apunten la adopción de prácticas y tecnologías de MAA en toda la región.

La preparación de estas directrices técnicas representa una oportunidad para difundir ampliamente información con bases científicas relativa al MAA de BPAU en América del Norte. Sin embargo, este documento, en sí, no modifica ni sustituye instrumento jurídico o disposición reglamentaria alguna que pueda aplicarse a una instalación o situación en particular. Corresponde a cada establecimiento individual la responsabilidad de asegurar la observancia de todas las disposiciones reglamentarias correspondientes, las cuales pueden variar de una jurisdicción a otra.



* CCA (2014a), "Riesgos ambientales del movimiento transfronterizo y reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas", Comisión para la Cooperación Ambiental, en: <www.cca.org/es/our-work/informes-independientes/comercio-peligroso> (consulta realizada el 24 de abril de 2014).



Agradecimientos

Las presentes directrices técnicas se prepararon bajo la dirección de Paula Urra, Erick Jiménez y Gabriela Sánchez de la CCA. Además de reconocer su valiosa colaboración, el Secretariado de la Comisión desea extender su agradecimiento a las numerosas personas y organizaciones que contribuyeron a que la realización de este trabajo fuera posible. Especial mención merecen los esfuerzos de Clarissa Morawski (CM Consulting) y Maria Kelleher (Kelleher Environmental), consultoras principales del proyecto. Asimismo, agradecemos la participación de Samantha Millette (CM Consulting), José Castro Díaz, Anne Peters (Gracestone Inc.), y Kelley Keogh y Gretchen Krum (Greeneye Partners) en la elaboración de este documento.

Los funcionarios de gobierno que se mencionan a continuación contribuyeron enormemente brindándonos información y datos. Del ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*), deseamos agradecer a Michael Vanderpol; de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) de Estados Unidos, a Rick Picardi y Karen Swetland, y de México, nuestro agradecimiento para Arturo Gavilán y Frineé Cano del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Karla Acosta y Felipe Olmedo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) y Luis Felipe Acevedo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

Agradecemos de manera particular la colaboración de las siguientes personas y organizaciones que compartieron valiosa información y sus reflexiones y puntos de vista sobre los procesos, tecnologías de control y protocolos empleados en sus establecimientos: el Centro de Investigación Laboral y Asesoría Sindical (Cilas), Tonolli Canada, RSR Corporation, Teck, M3 Resource México y La Batería Verde. Asimismo, deseamos expresar nuestra gratitud al Consejo Internacional sobre Baterías (*Battery Council International*, BCI) y la Asociación de Recicladores de Baterías (*Association of Battery Recyclers*, ABR) por sus aportaciones y sugerencias para la elaboración de las presentes directrices.

Vaya nuestro agradecimiento a los miembros del personal de la CCA, y los editores y traductores por facilitar la lectura de este informe y ponerlo a disposición de la ciudadanía en tres idiomas.



1

Antecedentes y
objetivos del proyecto



1. Antecedentes y objetivos del proyecto

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte es una organización intergubernamental creada por los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México al amparo del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN)¹ con el propósito de atender asuntos ambientales de preocupación subcontinental, prevenir posibles controversias comerciales y ambientales y fomentar la aplicación efectiva de la legislación ambiental. El Acuerdo complementa las disposiciones ambientales establecidas en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

Como parte del Plan Operativo 2013-2014, el Consejo de la CCA, órgano rector de la institución, aprobó un proyecto que busca abordar el manejo ambientalmente adecuado (MAA) de acumuladores al final de su vida útil, incluidas baterías de plomo-ácido usadas (BPAU), en América del Norte.

El MAA es un enfoque que garantiza que los desechos peligrosos y reciclables, incluidos aquellos que atraviesan fronteras internacionales, se manejen de tal forma que se proteja la salud humana y el medio ambiente.² La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) define el MAA como un esquema para asegurar que tanto desechos como material chatarra usado se manejen de tal forma que se preserven recursos naturales y se proteja la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos que pudieran generar esos desechos y materiales.³ Son numerosos los beneficios reconocidos que se derivan de la adopción e instrumentación de prácticas de MAA, a saber:

- Se amplían las oportunidades comerciales para las empresas: son cada vez más los clientes que exigen que las instalaciones que procesan componentes

relacionados con sus productos, al final de su vida útil, practiquen un MAA, lo que se traduce en una ventaja competitiva para todas las empresas a lo largo de la cadena de abasto.

- Aumenta la recuperación de materiales de elevado valor económico, como el plomo.
- Se logra una mayor eficiencia operativa mediante la implementación de sistemas y procedimientos innovadores que se centran en la reducción, reutilización y reciclaje de desechos.
- Mejoran la salud y seguridad de los trabajadores, al igual que se protege a las comunidades vecinas y el medio ambiente.
- Se asegura el cumplimiento de disposiciones reglamentarias y legales.

Con miras a impulsar la adopción de un sistema de MAA en las actividades de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas, fortalecer la competitividad del sector lo mismo a escala subcontinental que en la esfera mundial, así como a fomentar entornos de trabajo más seguros e incentivar la generación de empleos, en 2014 la CCA encargó la elaboración de directrices técnicas para un MAA en plantas de fundición secundaria de plomo y otros establecimientos que procesan BPAU, con la intención de mejorar la capacidad de tales instalaciones para aplicar un sistema de manejo ambientalmente adecuado.

La CCA ha realizado desde hace ya algunos años trabajos en apoyo de la aplicación de prácticas de MAA de BPAU, mismos que han dado como resultado la elaboración de dos informes:

- *Prácticas y opciones para el manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte* (diciembre de 2007).

1. CCA (2014b), *Manejo ambientalmente adecuado de acumuladores al final de su vida útil, incluidas baterías de plomo-ácido usadas, en América del Norte; directrices técnicas sobre mejores prácticas y tecnologías para el manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas: convocatoria para la presentación de propuestas*, Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www.cec.org/sites/default/files/documents/op_2013_2014_rfp_slab_best_practices-es.pdf> (consulta realizada el 9 de abril de 2014).

2. CCA (2007), *Prácticas y opciones para el manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www3.cec.org/islandora/en/item/2323-practices-and-options-environmentally-sound-management-spent-lead-acid-batteries-es.pdf> (consulta realizada el 9 de abril de 2014).

3. OCDE (2007), *Guidance manual on environmentally sound management of waste*, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos; disponible en: <www.oecd.org/env/waste/39559085.pdf> (consulta realizada el 7 de abril de 2014).

- *¿Comercio peligroso? Estudio sobre las exportaciones de baterías de plomo-ácido usadas generadas en Estados Unidos y el reciclaje de plomo secundario en Canadá, Estados Unidos y México* (abril de 2013).

Estas directrices técnicas tienen la intención de aprovechar los informes señalados, al igual que otras guías y documentos pertinentes de alcance nacional e internacional —entre los que se incluyen, por ejemplo, las pautas derivadas de los trabajos del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación—, y complementarlos.

1.1 Antecedentes

Los acumuladores o baterías de plomo-ácido de automóviles y camiones, así como los que se utilizan en aplicaciones industriales, comerciales e institucionales, representan uno de los productos que más se reciclan en el mundo. En Canadá, Estados Unidos y México, las tasas de reciclaje son de casi 100 por ciento. Existe ya una larga historia del valor económico que representan las BPAU: el acopio y reciclaje de este tipo de baterías supone una actividad económicamente sólida y sustentable, lo que apuntala un mercado activo de acopio y devolución.

Si se lleva a cabo correctamente —tal como evidencian las prácticas óptimas de numerosas instalaciones en América del Norte y Europa—, el reciclaje de BPAU podría convertirse en un ejemplo de cuidado exitoso del medio ambiente. El reciclaje de BPAU constituye un suministro esencial y estable de plomo para la industria de baterías, reduce la necesidad de extraer metal nuevo y desvía baterías de sitios de eliminación. Además de las elevadas tasas de reciclaje, las tecnologías altamente sofisticadas para el control de la contaminación y las prácticas de manejo instrumentadas hacen posible que las instalaciones de reciclaje de baterías, denominadas fundidoras secundarias de plomo, minimicen las emisiones de este metal y se proteja la salud y seguridad de sus trabajadores. Sin embargo, la aplicación de prácticas inadecuadas en el reciclaje de baterías de plomo-ácido, aun a pequeña escala, puede ocasionar trastornos graves y duraderos en la salud tanto de los trabajadores como de la comunidad y el medio ambiente.

El plomo es una sustancia tóxica, persistente y bioacumulable, y el manejo al que se sometan las BPAU

—desde su acopio hasta el reciclaje— constituye un tema de enorme relevancia en términos ambientales, económicos y de salud pública.⁴ En la actualidad prevalece entre la comunidad científica el consenso de que no existe un umbral “seguro” en cuanto a niveles de plomo en la sangre.⁵ El cuerpo absorbe el plomo y éste provoca toxicidad en el sistema nervioso, corazón, riñones, huesos y órganos reproductivos. Cuando no se maneja adecuadamente, el plomo representa un grave riesgo para los trabajadores, pero puede resultar particularmente nocivo para bebés y niños y miembros de comunidades que viven cerca de fundidoras.⁵

En Canadá y Estados Unidos, las cada vez más estrictas normas y requisitos de desempeño en materia ambiental se han traducido en mejoras continuas de las tecnologías y prácticas adoptadas. Estos cambios, no obstante, no han ocurrido en la misma medida en México.

Gracias al interés continuo y compartido de las Partes de la CCA (Canadá, Estados Unidos y México) por impulsar la adopción de un MAA para el reciclaje de BPAU y fomentar tales prácticas con el respaldo de la ciencia actual, las presentes directrices técnicas se han elaborado en un momento oportuno tanto para gobiernos como para la industria. La adopción generalizada de prácticas de MAA redundará en mejoras en la salud de las comunidades y los trabajadores, así como en la calidad del medio ambiente.

1.2 Justificación para la elaboración de las directrices técnicas

El presente proyecto se emprendió en respuesta directa a las conclusiones emanadas del informe independiente del Secretariado de la CCA *¿Comercio peligroso? Estudio sobre las exportaciones de baterías de plomo-ácido usadas generadas en Estados Unidos y el reciclaje de plomo secundario en Canadá, Estados Unidos y México*, publicado en 2013. Una de las principales conclusiones del estudio apunta a que, entre 2004 y 2011, las exportaciones netas de BPAU de Estados Unidos a México crecieron significativamente. El estudio reveló también que los marcos normativos que regulan a las fundidoras secundarias de plomo en Canadá, Estados Unidos y México no brindaban niveles iguales de protección ambiental y de la salud.⁷ En ese momento, Estados Unidos contaba con el marco más estricto, mientras que México —con

4. CCA (2014a), *op. cit.* Véase referencia completa en nota *, *supra*.

5. CCA (2013c), *Plan Operativo 2013-2014 de la Comisión para la Cooperación Ambiental*, Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www.cec.org/sites/default/files/documents/planes_operativos/18293_cec_op_plan_and_budget_22jan14_sp.pdf> (consulta realizada el 9 de abril de 2014).

6. CCA (2013a), “Publica el Secretariado de la CCA la versión final de un informe independiente en el que se abordan los riesgos ambientales y para la salud atribuibles al comercio de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte”, Comisión para la Cooperación Ambiental, en: <www.cec.org/es/novedades-y-difusion/comunicados-de-prensa/publica-el-secretariado-de-la-cca-la-versión-final-de-un-informe-independiente-en-el-que-se-abordan-los-riesgos-ambientales-y-para-la-salud-atribuibles-al> (consulta realizada el 9 de abril de 2014).

7. CCA (2014a), *op. cit.* Véase referencia completa en nota *, *supra*.



vacíos y omisiones importantes en su marco normativo vigente— era el más alejado de los estándares estadounidenses en términos de controles y requisitos de emisiones específicas.⁸ El 9 de enero de 2015, México promulgó nuevas disposiciones para regular las plantas de fundición secundaria de plomo.

Además de las conclusiones emanadas, el informe de 2013 presenta numerosas recomendaciones dirigidas al Consejo de la CCA sobre cómo garantizar que las BPAU se manejen de tal forma que se proteja a los trabajadores del sector y al público en general de la exposición al plomo emitido durante el reciclaje de estas baterías en México. Una de las principales recomendaciones es que las entidades gubernamentales correspondientes tanto de Canadá como de México se comprometan a alcanzar niveles de protección ambiental y de la salud dentro de la industria de fundición secundaria de plomo que funcionalmente sean equivalentes a los aplicados en Estados Unidos.⁹ Otra recomendación clave va en el sentido de que los gobiernos de los tres países trabajen conjuntamente con la industria fundidora de plomo y organizaciones no gubernamentales de América del Norte con miras a formular estrategias que apunten la adopción de prácticas y tecnologías de MAA en toda la región.

La preparación de estas directrices técnicas representa una oportunidad para difundir ampliamente información con bases científicas relativa al manejo ambientalmente adecuado de BPAU en América del Norte. La homologación de prácticas en materia de salud y seguridad entre las plantas recolectoras y procesadoras de BPAU en aras de brindar mayor protección a la salud humana y el medio ambiente contribuirá a la consecución de los objetivos comunes en materia de medio ambiente en la región y ayudará a evitar la creación de refugios de contaminación.

8. *Idem.*

9. *Idem.*

10. CCA (2013c), op. cit. Véase referencia completa en nota 5, *supra*.

1.3 Objetivos y alcance del proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo principal formular directrices técnicas que permitan:

- identificar y consolidar mejores prácticas y tecnologías para el acopio y reciclaje de BPAU de tal manera que se proteja el medio ambiente, la salud y la seguridad de los trabajadores y la ciudadanía, y
- presentar recomendaciones sobre cómo poner en marcha estas mejores prácticas y tecnologías dentro de instalaciones, nuevas y existentes, dedicadas al acopio, almacenamiento y reciclaje de BPAU que operan en América del Norte.

Entre los principales públicos objetivo de estas directrices se cuenta el personal, tanto administrativo como operativo, de empresas dedicadas al acopio, manejo, transporte y procesamiento de BPAU. Se reconocen los beneficios que el contenido puede aportar a otras entidades, como organizaciones ambientalistas tanto gubernamentales como no gubernamentales.

Las directrices técnicas no abordan la exportación e importación de BPAU, tema cubierto en el ya citado informe de 2013 de la CCA (*¿Comercio peligroso?*). Tampoco se tratan en ellas los procedimientos de importación y exportación de desechos peligrosos, cuestión abordada en el informe *El cruce de la frontera* de la CCA. Asimismo, a diferencia del informe de la CCA publicado en diciembre de 2007, en el que se ofrece una guía detallada pero que no está orientado específicamente a abordar las operaciones de fundición y otras instalaciones para el procesamiento de BPAU, las directrices preparadas en el marco de este proyecto identifican, en un plano operativo, las prácticas y tecnologías de manejo más recomendables relativas al manejo ambientalmente adecuado de BPAU y la recuperación de materiales.¹⁰

Las presentes directrices técnicas están organizadas de la siguiente forma:

- En el **apartado 1** se explican los antecedentes y el contexto, junto con la justificación, objetivos y alcance del proyecto, así como la organización del informe.
- En el **apartado 2** se describen los componentes, usos y vida útil esperada de las baterías de plomo-ácido (BPA) y los pasos para el reciclaje de las baterías de plomo-ácido usadas (BPAU).
- En el **apartado 3** se resumen los pasos previos al reciclaje (acopio, transporte y almacenamiento) y se presentan consideraciones en materia de manejo ambientalmente adecuado (MAA) asociadas con cada uno de estos pasos.
- En el **apartado 4** se abordan los pasos que implica el reciclaje (fragmentación de la batería, y reducción y refinación del plomo), así como consideraciones específicas respecto de un MAA en cada paso.
- El **apartado 5** trata sobre el control de la contaminación en instalaciones de reciclaje de BPAU, respecto del aire, aguas residuales y desechos.

- El **apartado 6** aborda el monitoreo del medio ambiente y la salud.
- El **apartado 7** describe cómo llevar a cabo auditorías y elaborar informes.
- El **apéndice** presenta una lista de las instalaciones de reciclaje de BPAU en operación en Canadá, Estados Unidos y México, junto con su ubicación y una breve descripción de sus operaciones.

Al término de cada apartado del presente informe se incluyen listas de verificación para la instrumentación, las cuales proporcionan una herramienta concreta a los lectores para aplicar las prácticas de manejo ambientalmente adecuado que se recomiendan en estas directrices.

El presente análisis tiene por objeto únicamente servir de orientación. Este documento, en sí, no constituye una ley o reglamentación, como tampoco modifica ni sustituye instrumento jurídico o disposición reglamentaria alguna que pueda aplicarse a una situación en particular. En ese sentido, el presente documento no impone requisitos jurídicamente vinculantes a ninguna entidad gubernamental o ciudadano particular.





2

Reciclaje de baterías de plomo-ácido
en América del Norte



2. Reciclaje de baterías de plomo-ácido en América del Norte

En América del Norte se recupera y recicla prácticamente la totalidad del plomo contenido en las baterías de plomo-ácido. En un estudio reciente (2009-2013), hecho por encargo del Consejo Internacional sobre Baterías (*Battery Council International*, BCI), se calcula que la tasa de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas (BPAU) en Estados Unidos es de 99 por ciento, valor que se espera que sea similar en Canadá y México. Esta elevada tasa de reciclaje responde básicamente al elevado valor del plomo, lo que genera un incentivo económico para reciclarlo.

La recuperación de plomo reciclado procedente de baterías gastadas es en términos económicos mejor que extraerlo y procesarlo a partir del mineral. Para procesar el plomo reciclado se requiere alrededor de 25 por ciento menos energía que lo que requiere la extracción de la mena.¹¹ Ello ha dado como resultado una infraestructura bien establecida y las economías de escala necesarias para reciclar BPAU en América del Norte y el resto del mundo.

En América del Norte, el restringido abasto genera una reñida competencia por BPAU entre los recicladores de plomo. A medida que aumenta el número de fundidoras secundarias de plomo y fabricantes de baterías que operan bajo la modalidad de “reciclaje por contrato de suministro fijo”, se dispone de una menor cantidad de BPAU de venta general. Conforme a estos contratos, los establecimientos de fundición entregan a los fabricantes de baterías el plomo recuperado a cambio de BPAU, con base en un valor comercial negociado. Tanto los compradores de baterías especializados como los grandes minoristas exhortan a los consumidores a devolver sus acumuladores gastados para reciclarlos cuando adquieren uno nuevo. Algunos minoristas dan un pago a los consumidores o les ofrecen un descuento en la compra de una nueva batería cuando devuelven la usada.¹² Dependiendo de las prácticas locales y leyes

aplicables, algunos minoristas llegan a cobrar un depósito reembolsable o una tarifa por concepto de disposición. A su vez, se anima a los distribuidores a devolver directamente al fabricante las baterías usadas. A esta práctica se le conoce como “distribución inversa”.¹³

Otro factor que contribuye a esta competencia reñida es el aumento en la capacidad de reciclaje en América del Norte que se ha registrado en los últimos cinco años conforme la nueva producción entra al mercado.

En Canadá y Estados Unidos la industria de reciclaje de plomo está sumamente consolidada. Canadá cuenta con tres plantas de fundición secundaria de plomo y dos instalaciones que combinan las fundiciones primaria y secundaria, mientras que Estados Unidos tiene 15 fundidoras secundarias nacionales de plomo, operadas por ocho empresas. La mayor parte cuando no la totalidad de estas instalaciones cuenta con operaciones de refinación en sitio. Con una industria mucho menos consolidada, México sólo cuenta con 25 fundidoras secundarias autorizadas. El apéndice de estas directrices comprende una lista de instalaciones que reciclan BPAU en los tres países, con su ubicación y una breve descripción del tipo de operación que llevan a cabo.

2.1 Componentes, contenido de plomo y vida útil típica de las baterías de plomo-ácido

Como se muestra en la gráfica 1, una batería de plomo-ácido (BPA) típica se compone de varios materiales:¹⁴

- plomo en forma de metal o pasta de óxido de plomo (PbO);
- plástico, como polipropileno o copolímeros, cloruro de polivinilo (PVC) o polietileno;
- ácido sulfúrico;

11. Waste Diversion Ontario (2009), *Management of vehicle lead acid batteries in Ontario*; disponible en: <www.wdo.ca/files/5113/6085/4729/Management_of_Vehicle_Lead_Acid_2009.pdf> (consulta realizada el 9 de abril de 2014).

12. *Idem*.

13. *Idem*.

14. BCI (2012b), “Lead acid batteries”, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], en: <http://batteryCouncil.org/?page=lead_acid_batteries> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

- componentes menores como antimonio, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, calcio, plata, estaño, sulfato de bario, negro de humo y lignina.

Aunque los fabricantes emplean diversas técnicas y tecnologías para su fabricación, todas las BPA comparten cinco componentes básicos:¹⁵

- una carcasa de plástico resistente;
- placas internas, negativas y positivas, de plomo;
- placas de separación hechas de material sintético poroso;
- electrolito (solución diluida de ácido sulfúrico y agua, mejor conocido como ácido para baterías);
- terminales de plomo (puntos de conexión entre la batería y la carga que consumirá la electricidad).

Los materiales se incorporan en las siguientes partes:¹⁶

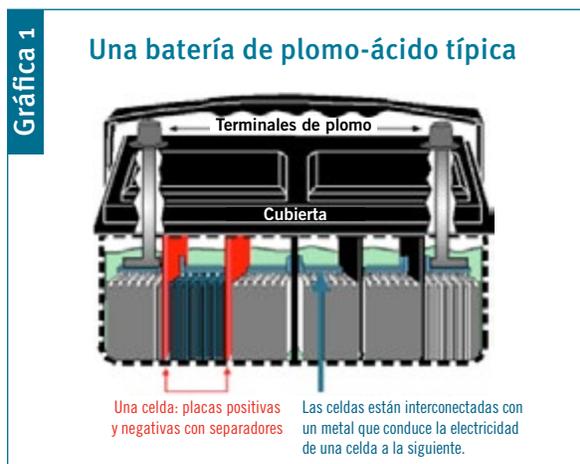
- **Terminales positiva y negativa:** Barras hechas de plomo (aunque en algunas aplicaciones también se utiliza latón o cobre) en las que se conectan los aparatos externos (por ejemplo, automóviles) que consumirán la electricidad.
- **Tapones:** Puntos de entrada, uno para cada elemento de la batería en modelos viejos (las nuevas suelen venir selladas), por donde se vierte el agua destilada o desionizada cuando es necesario y que también sirven de vías de escape para los gases que suelen formarse dentro de las celdas.
- **Conectores:** Hechos de plomo, permiten el contacto eléctrico entre las placas de una misma polaridad y también entre elementos separados.
- **Tapa y carcasa:** Fabricadas en polipropileno o copolímero, sirven para contener el elemento de la batería.
- **Solución de ácido sulfúrico:** Electrolito de la batería.

- **Separadores de elementos:** Suelen formar parte del monobloque o carcasa y están hechos del mismo material para proporcionar aislamiento químico y eléctrico entre los elementos eléctricos.
- **Placas de separación:** Divisiones hechas de PVC u otros materiales porosos que evitan el contacto físico entre dos placas contiguas al tiempo que permiten la circulación de iones de la solución electrolítica.
- **Placas negativas:** Rejillas de plomo metálico cubiertas por una pasta de dióxido de plomo (PbO_2).
- **Placas positivas:** Placas metálicas de plomo cubiertas por una pasta de dióxido de plomo (PbO_2).
- **Elemento de la batería:** Serie de placas negativas y positivas colocadas consecutivamente y aisladas entre sí con placas de separación.

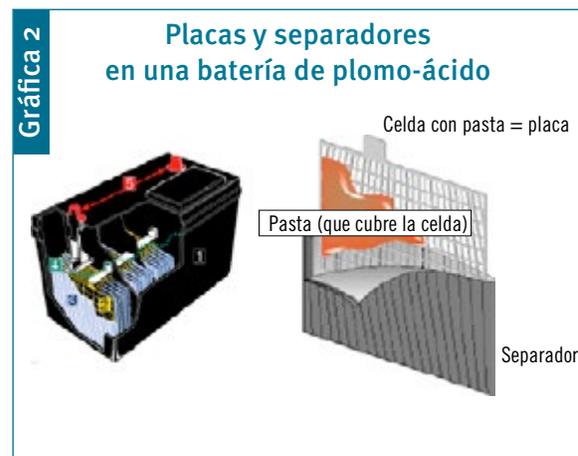
En la gráfica 2 puede observarse la distribución típica de las placas y los separadores.

El contenido de plomo en una BPA —factor económico clave que impulsa la industria del reciclaje de BPAU— depende de la aplicación a que se destine. En el cuadro 1 se presenta el contenido promedio de plomo en diferentes tipos de batería de plomo-ácido.

El estudio más reciente del Consejo Internacional sobre Baterías (*Battery Council International*, BCI) respecto de la vida útil de las BPA, realizado en 2010, muestra que las mejoras aplicadas al diseño de baterías se han traducido en una vida útil promedio de 55 meses (en comparación con los 41 meses promedio registrados en el estudio del año 2000). En el cuadro 2 pueden observarse las mejoras en términos de vida útil promedio de las baterías de plomo-ácido en Estados Unidos desde 1962.



Fuente: BCI (2012b), "Lead acid batteries", Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], en: <http://batteryCouncil.org/?page=lead_acid_batteries> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).



Fuente: BCI (2012b), "Lead acid batteries", Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], en: <http://batteryCouncil.org/?page=lead_acid_batteries> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

15. *Idem.*

16. *Idem.*

Cuadro 1: Cantidad promedio de plomo en diferentes tipos de batería de plomo-ácido

Tipo de batería automotriz	Contenido promedio de plomo (kg)
Automóviles	9.9
Camiones y vehículos de carga pesada	12.8
Motocicletas	2.2

Fuente: SmithBucklin Statistics Group (2014), *National recycling rate study*, preparado para el Consejo Internacional sobre Baterías; disponible en: <http://c.ybcdn.com/sites/batterycouncil.org/resource/resmgr/BCI_Recycling_Rate_Study_200.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

Cuadro 2: Vida útil promedio de las baterías de plomo-ácido en Estados Unidos (1962-2010)

Año	Vida útil promedio de la batería (en meses)
1962	34
1995	44
2000	41
2005	50
2010	55

Fuente: BCI (2010), "Failure modes of batteries removed from service: A report of the BCI technical subcommittee on battery failure modes", Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], citado en BCI y Batteries International (2014), *BCI Yearbook and Special Pre-2014 Convention Report*; disponible en: <http://issuu.com/rizzo48/docs/bci2014fullsupplement.2_copy> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

2.2 Manejo de baterías de plomo-ácido usadas al final de su vida útil

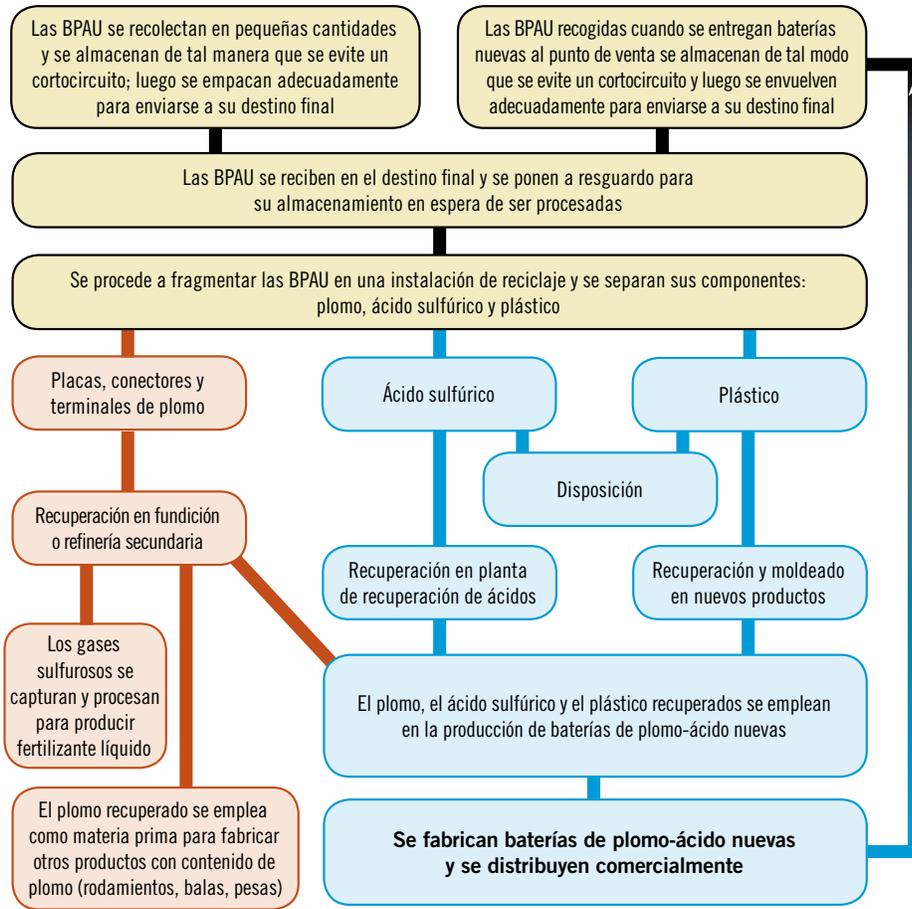
El reciclaje de BPAU se realiza en distintas etapas, cada una de las cuales requiere la aplicación de prácticas de manejo ambientalmente adecuado (MAA). Aunque las actividades específicas a veces difieren de una instalación a otra, lo más probable es que la mayor parte de los recicladores de BPAU sigan de una forma u otra los siguientes pasos:

1. **Recepción:** Las baterías y demás materias primas reciclables se descargan, pesan y envían al centro de procesamiento de materias primas correspondiente.
2. **Separación:** Las baterías se fragmentan en la trituradora de molino y se separan en tres componentes principales —plomo, plástico y ácido— mediante tamizado y separación por gravedad. Cada uno de los componentes ingresa a una cadena de procesamiento independiente.
3. **Contención:** Después del procesamiento inicial, el plomo y otros desechos con plomo recuperados se almacenan en una estructura diseñada especialmente para su contención, a fin de evitar derrames. Esta estructura contará con recubrimiento doble en el piso y un sistema para la detección de fugas.
4. **Purificación:** El sistema de purificación y tratamiento de aguas residuales neutraliza y purifica el ácido sulfúrico y lo convierte en un líquido con pH neutro, que puede descargarse por el sistema de alcantarillado conforme a las leyes y disposiciones reglamentarias locales. En algunos casos, el ácido puede purificarse y reutilizarse, generalmente en forma de electrolito para emplearse en baterías nuevas.
5. **Fundición y refinación:** Una vez fundido en altos hornos, el plomo recuperado se mezcla con otros materiales para producir aleaciones de plomo.
6. **Vaciado:** El plomo refinado se vacía en moldes y se enfría. Los moldes para lingotes vienen en tres tamaños: bloques grandes, barras rectangulares o panes, y varillas.
7. **Embarque:** El plomo refinado y el plástico recuperado se envían a clientes de todo el país, para utilizarse en la fabricación de baterías nuevas y otros productos.

En consonancia con las *Directrices técnicas para el manejo ambientalmente adecuado de las baterías de plomo-ácido usadas* [Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Waste Lead-Acid Batteries] del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA),¹⁷ estos pasos se dividen en dos categorías: pasos previos al reciclaje (que consisten en el acopio, el transporte y el almacenamiento) y el reciclaje (que comprende la fragmentación de la batería, y la reducción y refinación del plomo). En los apartados 3 y 4, respectivamente, se describe con mayor detalle cada paso. En la gráfica 3 puede apreciarse un diagrama del proceso de reciclaje de BPAU.

17. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *Technical guidelines for the environmentally sound management of waste lead-acid batteries* [Directrices técnicas para el manejo ambientalmente adecuado de las baterías de plomo-ácido usadas]; disponible en: <<http://archive.basel.int/pub/techguid/tech-wasteacid.pdf>> (consulta realizada el 9 de abril de 2014).

Diagrama de flujo del manejo de BPAU al final de su vida útil



Fuente: Adaptación de CCA (2007), *Prácticas y opciones para el manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental, disponible en: <www3.cec.org/islandora/es/item/2323-practices-and-options-environmentally-sound-management-spent-lead-acid-batteries-es.pdf>.



**Pasos previos al reciclaje:
acopio, transporte y almacenamiento
de baterías de plomo-ácido usadas**



3. Pasos previos al reciclaje: acopio, transporte y almacenamiento de baterías de plomo-ácido usadas

Tal como se describe en el apartado 2, el reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas (BPAU) incluye tres pasos previos. Antes de entrar a la planta de reciclaje, las BPAU deben recogerse, transportarse y almacenarse de tal manera que se proteja el medio ambiente y la salud humana. En el presente apartado se abunda sobre los aspectos técnicos de estos pasos previos al reciclaje. En el cuadro 3 se muestra una lista de verificación que podrá servir de guía a propietarios u operadores de establecimientos para la aplicación de numerosas prácticas de MAA a lo largo del proceso previo al reciclaje.

3.1 Acopio, almacenamiento y manejo de baterías de plomo-ácido usadas en centros de acopio

En este apartado se analiza la forma en que se recolectan las BPAU en Canadá, Estados Unidos y México.

El sistema más común que se utiliza para recolectar y transportar BPAU hacia las plantas de fundición en América del Norte consiste en la distribución inversa.¹⁸ Este tipo de sistema supone un contrato de venta entre fabricantes de baterías y estaciones de servicio automotor, establecimientos comerciales al por menor y mayoristas, al igual que otros comercios al por menor que venden o distribuyen baterías de plomo-ácido nuevas, con el propósito de recolectar las baterías usadas en el punto de venta.¹⁹ Salvo en el caso de las personas que por cuenta propia reemplazan sus baterías, normalmente esta operación corre por cuenta de un concesionario o se lleva a cabo en una estación de servicio, donde las BPAU se van apilando en tanto pasan a recogerlas los agentes encargados de su recolección.²⁰

A la entrega de baterías nuevas, el fabricante recoge las unidades gastadas y las envía a una fundidora secundaria de plomo para procesarlas al final de su vida útil y extraer el plomo refinado, por una tarifa específica de procesamiento o “tarifa del reciclaje por contrato de suministro fijo”. El plomo refinado se utiliza en la producción de baterías nuevas. Este tipo de sistema de acopio se utiliza predominantemente en Canadá y Estados Unidos, y en menor grado en México.

Otro método utilizado en el acopio de BPAU es a través de intermediarios o empresas agrupadoras. En los casos en que los establecimientos al por menor, las estaciones de servicio y los tiraderos de chatarra no cuenten con contratos con fabricantes de baterías, las BPAU pueden venderse a compradores de chatarra, quienes luego las venden a los productores o recicladores.

En México, el volumen del negocio de reciclaje por contrato de suministro fijo —cuando los distribuidores de baterías devuelven las BPAU a fabricantes— es considerablemente menor que en Canadá o Estados Unidos. Mientras que en estos dos países un consumidor puede recibir entre 10 y 20 dólares estadounidenses (\$EU) por devolver una batería usada a un comercializador de baterías al por menor, en México los recolectores de baterías a menudo cobran una tarifa a los consumidores por recolectar las baterías usadas, sobre todo si la planta de fundición secundaria le cobra por aceptar estas baterías.²¹ Ello explica que la cadena de abasto en México esté más fracturada, puesto que numerosos actores menores desempeñan un papel más importante en el acopio de BPAU. Por ello, los establecimientos que venden y distribuyen baterías de plomo-ácido nuevas dan cuenta de un porcentaje considerablemente menor

18. CCA (2013b), *¿Comercio peligroso? Estudio sobre las exportaciones de baterías de plomo-ácido usadas generadas en Estados Unidos y el reciclaje de plomo secundario en Canadá, Estados Unidos y México*, informe elaborado por el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www3.cec.org/islandora/es/item/11220-hazardous-trade-examination-us-generated-spent-lead-acid-battery-exports-and-es.pdf>.

19. *Idem*.

20. CCA (2007), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 2, *supra*.

21. CCA (2013b), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 18, *supra*.

del total de baterías usadas que se recogen. Una gran cantidad de baterías se recolectan por medio de canales más especializados en zonas rurales, o a través de pequeños negocios familiares e intermediarios que adquieren baterías gastadas y luego las revenden a las fundidoras. Son pocos los casos en que las estaciones de servicio automotor independientes venden las baterías directamente a fundidoras cercanas.²²

Parte de la diferencia en cuanto a la infraestructura del acopio de BPAU entre los tres países obedece a discrepancias en la reglamentación. En Estados Unidos, casi todos los estados han aprobado leyes que prohíben la eliminación de BPAU en rellenos sanitarios y han establecido sistemas de depósito para la venta de baterías nuevas, con lo cual obligan tanto a comercializadores al por menor y mayoristas como a fabricantes a aceptar baterías gastadas.²³ Canadá y México carecen de leyes específicas en materia de acopio de BPAU en el ámbito federal, pero sí cuentan con programas de devolución, actualmente en marcha, como los programas de gestión de baterías de plomo-ácido de Columbia Británica, Manitoba e Isla del Príncipe Eduardo, y el sistema de distribución inversa de Johnson Controls Inc. en México.²⁴

Pese a las enormes diferencias en la forma en que funciona la infraestructura para el acopio de BPAU en Canadá, Estados Unidos y México, son varios los participantes que intervienen, a saber:

- consumidores de baterías de plomo-ácido
- comercializadores de baterías al por menor
- talleres de reparación de automóviles
- pequeños negocios familiares locales en zonas rurales que recogen y agrupan cantidades reducidas de BPAU para vender a distintos intermediarios
- compradores de chatarra
- intermediarios y empresas agrupadoras
- fabricantes que aceptan baterías usadas al momento de entregar unidades nuevas a diferentes comercializadores
- un abanico de actores diferentes

En conjunto, estos distintos actores facilitan el flujo continuo de BPAU hacia la industria de reciclaje de plomo secundario. Es preciso educar a los participantes en la cadena de abasto de BPAU sobre la importancia de enviarlas a empresas que cuentan con las licencias correspondientes y que reciclan baterías usadas y, al mismo tiempo, se adhieren a estrictas normas ambientales y cumplen con la reglamentación aplicable. Las operaciones de reciclaje no reguladas y la aplicación de métodos informales para la extracción de plomo —comúnmente

22. *Idem.*

23. *Idem.*

24. *Idem.*

25. CCA (2007), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 2, *supra*.

conocidos como fundición “en traspatio”— no constituyen un manejo ambientalmente adecuado (MAA) y son responsables de elevados niveles de contaminación ambiental por plomo.²⁵

3.1.1 Almacenamiento temporal de BPAU en centros de acopio

El almacenamiento de BPAU se considera un paso temporal antes de transportarlas a la planta de reciclaje. Es necesario almacenar adecuadamente las BPAU para evitar descargas accidentales en el medio ambiente. Las siguientes son medidas que se consideran prácticas de MAA que deberán seguirse en toda instalación de almacenamiento temporal de BPAU:

- **Inspección:** Todas las BPAU que ingresen a la planta se someterán a inspección para cerciorarse de que no estén dañadas ni presenten fugas (en el apartado 3.1.2 se analiza cómo manejar piezas dañadas o con fugas).
- **Área de almacenamiento cubierta:** Las BPAU deberán almacenarse en un sitio al resguardo de cualquier tipo de precipitación (por ejemplo, lluvia, rocío o neblina) y otras fuentes de humedad.
- **Lejos de fuentes de calor:** Las BPAU deberán almacenarse lejos de cualquier fuente de calor, como calderas, hornos o conductos de gases de escape.
- **Base impermeable y resistente a ácidos:** Cuando el almacenamiento implique periodos prolongados (de más de 60 o 90 días), las BPAU deberán almacenarse sobre una plataforma impermeable de concreto u otro material de base resistente a ácidos que tenga bordillo u otro tipo de medida de contención en caso de derrame, como canaletas y fosa de retención. Para hacerlo resistente a ácidos basta con tratar el concreto nuevo con un sellador para concreto y luego aplicarle un recubrimiento que contenga dos partes de resina epóxica. En caso de que el concreto pertenezca a un piso preexistente, esa capa deberá retirarse o someterse a un chorro de arena para dejar el concreto limpio y al descuberto. Cualquier posible grieta o agujero deberá rellenarse y luego aplanarse, para posteriormente aplicar un sellador y recubrimiento epóxico. El perímetro del área de acopio deberá corresponder a un bordillo que evitará fugas fuera de este punto.
- **Sistema eficaz de recolección de escorrentías:** El sitio de almacenamiento deberá diseñarse de tal modo que las escorrentías se capten en un recolector (sumidero de recolección hacia donde drenen agua y otros líquidos y luego se recolecten) para evitar descargas imprevistas.
- **Buena ventilación:** Si se trata de un área cerrada, el lugar de almacenamiento de BPAU deberá contar

con un sistema de extracción de humo o permitir la circulación frecuente de aire a fin de controlar las emisiones y evitar la exposición y los riesgos químicos en el lugar de trabajo. Existen diferentes tipos de sistema de ventilación; aquel que convenga más dependerá de numerosos factores, entre los que se incluyen fuentes de emisión, conducta de los trabajadores y movimiento del aire en el área. En el sitio web de la Administración para la Seguridad y la Salud Laborales (*Occupational Safety and Health Administration*, OSHA) de Estados Unidos puede consultarse un diagrama de varios sistemas de ventilación.²⁶

- **Acceso restringido:** Habrá que asegurarse de que el sitio destinado al almacenamiento de BPAU sea seguro. El acceso deberá restringirse por medio de una cerca o puerta con candado, o vallas perimetrales, y con letreros alusivos a su peligrosidad, a fin de controlar el acceso al área de personas no autorizadas.
- **Preparación y respuesta a emergencias:** Las áreas destinadas a almacenar BPAU deberán estar equipadas con una regadera de emergencia para uso del personal y material de limpieza en casos de derrame. Es necesario, además, contar con extinguidores de incendio para controlar eventuales incendios pequeños si llegan a presentarse.
- **Volúmenes de almacenamiento:** Los sitios de acopio de BPAU deberán diseñarse para almacenar un número razonable de unidades a lo largo de un ciclo de actividad típico del negocio. El tamaño adecuado del lugar de almacenamiento variará en función de cada lugar. Cabe subrayar que las BPAU no deberán acumularse en forma especulativa, pues ello provoca una situación indeseable debido a la falta de instalaciones de almacenamiento adecuadas y a la posibilidad de que las baterías se deterioren con el tiempo.
- **Periodo de almacenamiento:** Los puntos de acopio de BPAU no deberán almacenar éstas por periodos prolongados: entre más tiempo se almacene una batería usada en un sitio, mayor será el riesgo de que se presenten daños, sobre todo por fuga de electrolito ácido. El tiempo de almacenamiento conveniente se determinará en cada sitio, pero deberán tomarse todas las medidas necesarias para enviar las BPAU a su destino final lo más pronto posible. Por lo general, el almacenamiento de unidades gastadas durante un periodo de más de

60 a 90 días obliga a considerar con todavía mayor cuidado el diseño de la instalación.

- **Identificación y separación de baterías en función de su contenido químico:** Los operadores de fundidoras secundarias de plomo encuentran, en los embarques de BPAU que llegan a sus plantas, una cantidad cada vez mayor de baterías desechadas que no son de plomo-ácido ni se usan con el mismo propósito que las BPAU. Además de ser difíciles de identificar mediante inspección visual, es frecuente encontrar sobre todo baterías de iones de litio (Li-ion) desechadas sin las etiquetas correspondientes. Estas baterías representan un importante riesgo para la seguridad cuando se entremezclan con BPAU en el proceso de recuperación de plomo, ya que son altamente reactivas y corren el peligro de explotar en forma violenta. Dado el alto riesgo que suponen para los trabajadores, las baterías de iones de litio desechadas nunca deberán entrar al flujo de reciclaje de BPAU. Para evitar que esto suceda, los operadores —tanto trabajadores como propietarios— de sitios de almacenamiento pequeños deberán inspeccionar todas las baterías que ingresan a la planta y retirar cualquier batería que no sea de plomo y etiquetarla como corresponde para su manejo y almacenamiento por separado. Asimismo, los empleados de los sitios de acopio deberán recibir capacitación sobre los riesgos que representan estos acumuladores y la mejor forma de inspeccionarlos visualmente. Aunque todos los actores comparten la responsabilidad de clasificar las baterías en función de su contenido químico, los recolectores iniciales, que manejan cada unidad individualmente, ocupan una posición de suma importancia, pues pueden asegurarse de que las baterías que no son de plomo se mantengan fuera de la cadena de reciclaje. Las baterías de níquel-cadmio (NiCd) se utilizan en aplicaciones menores (por ejemplo, en carros de golf) y tienen un aspecto similar a las de plomo-ácido usadas. Las baterías de NiCd también afectan las operaciones de fundición y refinación, además de la composición química de los productos, y deberán identificarse y separarse de la cadena de procesamiento. La gráfica 4 muestra un rótulo de advertencia que puede utilizarse para alertar a empleados sobre los peligros que representan las baterías que no son de plomo.

26. US DOL (s/f), "Lead Battery Manufacturing: Engineering Controls – Local Exhaust Ventilation Diagrams", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/engineering/index_diagram.html>.

En la gráfica 5 se presentan ejemplos de métodos económicos para almacenar BPAU, idóneos para sitios de almacenamiento reducidos, que pueden aplicarse en México, donde numerosos negocios pequeños de carácter local, rural y familiar participan en el acopio y agrupamiento de BPAU.

En algunas instalaciones de Filipinas y el Reino Unido se emplean jaulas de malla para el almacenamiento temporal de BPAU.²⁷ Las jaulas, hechas de acero inoxidable o de calibre grueso, tienen una puerta de malla y ruedas con rodamientos de nailon.²⁸ Con el objeto de evitar que personal no autorizado tenga acceso a los acumuladores, estas jaulas se cierran con candado y se encadenan en la parte exterior del establecimiento comercial o estación de servicio.

A diferencia de los contenedores cerrados, las jaulas abiertas evitan la acumulación de gases explosivos, mantienen los productos alejados del suelo y, al mismo tiempo, permiten detectar cualquier derrame y tomar las medidas necesarias para contenerlo y limpiarlo.²⁹

Además de servir para almacenar BPAU, las jaulas también pueden utilizarse para transportarlas a los centros de acopio, siempre y cuando vayan aseguradas al interior de los vehículos utilizados para su transporte.³⁰ Asimismo, estas jaulas reducen la necesidad de manejar BPAU individualmente, con lo que disminuyen en forma considerable los riesgos de accidentes y lesiones corporales. Donde se instalen, las jaulas deberán permanecer cubiertas para evitar que las baterías se mojen si llueve.

3.1.2 Manejo de BPAU con fugas en centros de acopio

Cuando una batería de plomo-ácido usada se daña (por ejemplo, cuando la carcasa está rota) o si le faltan tapas, cabe la posibilidad de que se presente una fuga de ácido de batería. Debido a que un manejo inadecuado de este ácido puede ocasionar graves daños a los ojos y la piel, para manipular una batería dañada o con fugas es necesario utilizar el equipo de protección personal adecuado.

Las baterías dañadas que no presenten fugas a simple vista deberán colocarse en bolsas de polietileno resistentes (con un grosor de cuando menos 6 milésimas de pulgada), que deberán sellarse firmemente con una cinta de plástico ajustable y colocarse encima y al centro³¹ de las baterías apiladas. Es importante que el ácido que drene de

27. B. Wilson (2009), "Recycling used lead acid batteries: A model life cycle approach", ponencia presentada en el marco de la XIII Conferencia Asiática sobre Baterías-Conferencia Internacional sobre Plomo Reciclado, 31 de agosto al 1 de septiembre de 2009; disponible en: <www.ilmc.org/Presentations/ABC/Recycling%20Used%20Lead%20Acid%20Batteries;%20A%20Model%20Life%20Cycle%20Approach.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

28. *Idem.*

29. *Idem.*

30. *Idem.*

31. BCI (2010c), *Stacking and wrapping used batteries on pallets*, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías]; disponible en: <https://c.yimcdn.com/sites/batteryouncil.site-ym.com/resource/collection/B6EAE52B-6F68-49A4-92A5-8F66419819BE/Packaging_guidelines_with_hi_res_BCI_logo.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

Gráfica 4

Ejemplo de rótulo de advertencia en baterías que no son de plomo-ácido

ADVERTENCIA
"NO TODAS LAS BATERÍAS SON IGUALES"
SEGURIDAD EN EL RECICLAJE DE BATERÍAS DE PLOMO
NO MEZCLE BATERÍAS SIN PLOMO CON BATERÍAS DE PLOMO PARA RECICLAJE.

Las baterías que no son de plomo plantean un riesgo de incendio o explosión en las instalaciones de reciclaje de baterías de plomo. Las baterías de plomo y aquellas que no lo contienen se reciclan en diferentes establecimientos.

BATERÍAS DE PLOMO

Las baterías de plomo se utilizan en la marcha de automóviles, camiones, motocicletas, botes y cortadoras de césped, y en muchas aplicaciones industriales, entre las que se incluyen montacargas y sistemas de energía de reserva de emergencia y telecomunicaciones. Todas las baterías de plomo se identifican con la palabra "LEAD" (plomo) o el símbolo "Pb".



BATERÍAS SIN PLOMO

Las baterías sin plomo se utilizan en cámaras, linternas, computadoras portátiles, teléfonos celulares, herramientas eléctricas, agendas electrónicas de bolsillo, videocámaras y muchas otras aplicaciones. Estas baterías incluyen las alcalinas, de níquel-cadmio (NiCd), hidruro metálico de níquel (Ni-MH), níquel-zinc y de Li-ion.

NO ENVÍE LAS PILAS QUE NO SON DE PLOMO A FUNDIDORAS SECUNDARIAS DE PLOMO.

Fuente: BCI (2010), "Failure modes of batteries removed from service: A report of the BCI technical subcommittee on battery failure modes", Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], citado en BCI y Batteries International (2014), *BCI Yearbook and Special Pre-2014 Convention Report*; disponible en: <http://issuu.com/rizzo48/docs/bci2014fullsupplement.2_copy> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015); utilizada con permiso.

Gráfica 5

Jaulas de almacenamiento de BPAU en Filipinas (izquierda) y el Reino Unido (derecha)



Fuente: B. Wilson (2009), "Recycling used lead acid batteries: A model life cycle approach", ponencia presentada en el marco de la XIII Conferencia Asiática sobre Baterías-Conferencia Internacional sobre Plomo Reciclado, 31 de agosto al 1 de septiembre de 2009; disponible en: <www.ilmc.org/Presentations/ABC/Recycling%20Used%20Lead%20Acid%20Batteries;%20A%20Model%20Life%20Cycle%20Approach.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

baterías dañadas se limpie siguiendo los procedimientos adecuados y usando el equipo apropiado (descritos en el siguiente apartado), y en conformidad con la legislación local, estatal o provincial, y federal.

3.2 Directrices generales y de embalaje para el transporte de BPAU

3.2.1 Embalaje adecuado de las baterías de plomo-ácido usadas en preparación para su transporte

Asegurar que las BPAU se empaquen adecuadamente antes de ser enviadas a una planta de reciclaje constituye una medida básica para proteger la salud y seguridad de los trabajadores y el medio ambiente. Las baterías apiladas y almacenadas en forma inadecuada, como se ilustra en la gráfica 6, no sólo representan un peligro en caso de romperse y presentarse una fuga, sino que también pueden afectar negativamente la salud humana y el medio ambiente.

Si bien es cierto que es imposible eliminar todos los riesgos, sí deberán tomarse las siguientes precauciones a fin de minimizar los riesgos asociados con el transporte de BPAU:³²

- **Antes de empacar, lleve a cabo una inspección de las baterías para asegurarse de que no estén dañadas** (el apartado 3.1.2 aborda el manejo de BPAU dañadas o con fugas). Esta acción deberá efectuarse con equipo de protección personal adecuado (sobre el que se abunda en el apartado 6.3.1).
- **Selle todos los orificios de las baterías o asegúrese de que los taponos de ventilación estén puestos.** Cuando falten taponos, deberán sustituirse; si el reemplazo no es posible, los orificios deberán sellarse con espuma. Las fugas de ácido que ocurren a través

de los orificios de ventilación también pueden prevenirse si se apilan las baterías en posición vertical, aunque no deberán apilarse más de tres baterías, a fin de minimizar el riesgo de inestabilidad.³³

- **Las baterías dañadas que no presenten fugas visibles de la solución electrolítica deberán colocarse en bolsas de polietileno resistentes** (con un grosor de cuando menos 6 milésimas de pulgada), sellarse adecuadamente con cinta de plástico y depositarse al centro de la capa superior.
- **Los pesos de plomo (o contrapesos) para rueda deberán colocarse en un cubo de plástico y taparse.** Este cubo deberá colocarse en la parte hacia el centro de la capa superior y las asas deberán asegurarse para evitar que entren en contacto con las terminales de las baterías.
- **Si es posible, apile las BPAU devueltas utilizando la tarima incluida en el nuevo embarque.** Las tarimas utilizadas para el transporte de baterías deberán satisfacer los siguientes requisitos mínimos:
 - El tamaño máximo de la tarima debe ser de 48" x 44" (122 cm x 112 cm) o 48" x 40" (122 cm x 102 cm).
 - Las tarimas deberán ser lo suficientemente firmes y durables como para soportar el peso de la carga de baterías.
 - Las tarimas no deberán tener tabloncillos rotos y éstos deberán estar completos. No deberán presentar clavos, ningún tipo de restos de material ni astillas que puedan perforar las carcasas de las baterías.
 - Se recomienda que los tabloncillos de las tarimas tengan un grosor de cuando menos 5/8 de pulgada (12.7 cm).
 - Las tarimas deberán armarse con al menos tres travesaños en la parte inferior (véase la gráfica 7).
- **Coloque una hoja de cartón sobre la tarima** para evitar que las baterías se deslicen y se salgan de la tarima (además de que sirve para absorber las

Gráfica 6

Colocación inadecuada de BPAU sobre una tarima



Fuente: Gretchen Krum, "Improper Storage 2", comunicación por correo electrónico con la autora el 22 de julio de 2014.

32. *Idem.*

33. *Idem.*

Gráfica 7

Tarima de madera utilizada en el transporte de BPAU



Fuente: Palletxpert (s/f), "Two entry wooden pallet" [Tarima de madera de dos entradas], en: <www.palletxpert.com/two-entry-wooden-pallet/> (consulta realizada el 24 de abril de 2015).

pequeñas cantidades de electrolito que pudieran derramarse); luego coloque la primera capa de baterías en la parte superior. En esta primera capa, las baterías deberán tener la misma altura y se colocarán tan cerca una de otra como sea posible. Las baterías más cortas deberán colocarse al centro de las capas, mientras que las de mayor altura irán en la capa de hasta arriba. (Obsérvese que no deberán apilarse dos celdas o baterías entre una capa de cartón y otra.)

- **Se recomienda colocar cartón grueso corrugado o una cantidad suficiente de cartón (varias hojas, si es necesario) entre una capa y otra**, incluida la de hasta arriba, con el propósito de evitar posibles perforaciones y cortocircuitos de las baterías en la capa superior (véase la gráfica 8). Coloque una hoja de cartón encima de la tarima.
- **A excepción de las celdas estacionarias no derramables, mantenga las baterías en posición vertical todo el tiempo** (véase la gráfica 9). No incline las baterías hacia un lado ni las ponga de cabeza o las deje caer, y colóquelas cuidadosamente sobre las tarimas en el área designada para su almacenamiento.

- **Para evitar cortocircuitos, las terminales deberán protegerse con tapones o cintas no conductoras, u otro tipo de material aislante.**
- **Las baterías con terminales a un costado deberán apilarse de tal forma que los postes queden apartados uno de otro** (véase la gráfica 10). Para evitar cortocircuitos, nunca deberán tocarse entre sí las terminales.
- **Las terminales de la parte superior deben colocarse hacia afuera de la tarima**, de tal manera que la capa superior se incline hacia el centro. Asegúrese de que en ninguna batería sobresalga el cartón corrugado o las hojas de cartón (véase la gráfica 11).
- **Las baterías con terminales de perno deberán colocarse en la capa superior** (véase la gráfica 12). Si esto no es posible, entre una capa y otra de baterías deberán colocarse láminas de cartón adicionales para así evitar perforaciones. Esta medida también es importante cuando se forman pilas de tres niveles.
- **Cubra con cartón la última capa de BPAU** de tal forma que las unidades de carga puedan apilarse una encima de otra.

Gráfica 8

Colocación adecuada del cartón entre cada capa de BPAU hasta cubrir todas las capas de la tarima



Fuente: BCI (2010); utilizada con permiso.

Gráfica 9

BPAU almacenadas en posición vertical



Fuente: Gretchen Krum, "Battery stacking" [Apilamiento de baterías], comunicación por correo electrónico con la autora el 22 de julio de 2014.

Gráfica 10

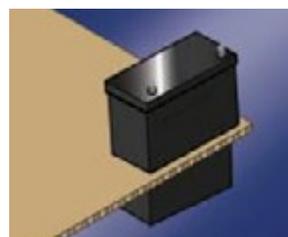
Colocación incorrecta (izquierda) y correcta (derecha) de baterías con terminales a un costado



Fuente: BCI (2010); utilizada con permiso.

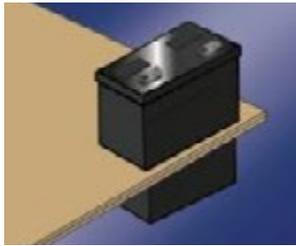
Gráfica 11

Colocación correcta de baterías con terminales en la parte superior



Fuente: BCI (2010); utilizada con permiso.

Baterías con terminales de perno colocadas en la capa superior



Fuente: BCI (2010); utilizada con permiso.

- **Verifique que la altura total del embalaje no sea mayor que 1.5 veces el ancho de la carga de baterías.**
- **Ya montada sobre la tarima, la carga deberá envolverse con película retráctil de plástico lo más ajustadamente posible** para evitar cualquier tipo de movimiento —horizontal o vertical— durante el proceso de carga, transporte y descarga (véase la gráfica 13). La película retráctil funciona mejor si se estira con fuerza antes de envolver con ella las esquinas de la carga de BPAU de la tarima. Empiece por girar la película hacia los lados a fin de crear el efecto de cuerda. Con este mismo efecto, envuelva otra vez la capa superior dos veces (o tantas veces como sea necesario para estabilizar la carga) y atravesese la parte de encima cada vez de tal manera que se forme un patrón en X. Esto permitirá afianzar las baterías hacia el centro para evitar que se caigan de la tarima, lo cual constituye un requisito del Departamento de Transporte de Estados Unidos. Mantenga la película retráctil estirada y envuelva

Tarimas con BPAU afianzadas con cintas y listas para su transporte



Fuente: BCI (2010); utilizada con permiso.

la capa inferior por lo menos con dos vueltas, asegurándose de cubrir las esquinas de la tarima. Por último, después de colocar cartón encima de la última capa de baterías, envuelva la capa de hasta arriba por lo menos dos veces, con la película estirada, y corte en la última esquina. En el sitio web del Consejo Internacional sobre Baterías (*Battery Council International*, BCI) puede ver un video en el que se muestran y describen las prácticas más recomendables para el embalaje de BPAU antes de su transporte.³⁴

- **Una vez envueltas con película retráctil, deberán colocarse una o más cintas de plástico alrededor de las baterías** para afianzar la carga. Ésta es una medida opcional que se recomienda dependiendo de la modalidad de transporte a utilizar y la duración de la transportación ulterior.

3.2.2 Directrices generales para el transporte de BPAU

Una vez que las BPAU se han apilado y empackado en forma segura sobre tarimas, deben seguirse las siguientes prácticas de MAA con el propósito de lograr un transporte seguro hacia una instalación de reciclaje:

- **Las tarimas de BPAU deberán afianzarse.** A efecto de garantizar que las tarimas en que se transportan BPAU no se desplacen durante el transporte, el transportista deberá aplicar los métodos de “aseguramiento y amortiguación” con el propósito de afianzar la carga y evitar que se mueva de un lado a otro o de arriba hacia abajo. El término “aseguramiento y amortiguación” se refiere a distintos métodos prescritos en la Ley para el Transporte de Bienes Peligrosos (*Transportation of Dangerous Goods Act*) y otras legislaciones en materia de transporte, que buscan asegurar que el producto vaya bien afianzado con tirantes y fijo en su lugar dentro del vehículo de transporte para mantenerlo estable y que no se desplace o se caiga.
- **Todo vehículo que transporte BPAU deberá ir acompañado de la documentación correspondiente y presentar las etiquetas y símbolos adecuados.** En Canadá y México, para fines de embarque, las BPAU se consideran bienes peligrosos y, como tales, los vehículos que se utilicen para transportarlas deberán mostrar las etiquetas o símbolos correspondientes que indiquen claramente que son bienes peligrosos los que se están transportando.³⁵⁻³⁶ En la documentación

34. BCI (2012a), “Industrial battery training video: Preparing used industrial lead batteries for transportation by highway or rail”, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], en: <<http://batteryCouncil.org/?Transportation>> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

35. Transport Canada (2010), “Transporting batteries”, boletín del ministerio de Transporte de Canadá; disponible en: <www.call2recycle.ca/wp-content/uploads/Transport%20Canada%20Bulletin%20on%20Batteries.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

36. SCT (s/f), Reglamento del transporte por carretera de materiales y residuos peligrosos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes; disponible en: <www.phmsa.dot.gov/staticfiles/PHMSA/DownloadableFiles/Files/mexican_regulation_sct.pdf> (consulta realizada el 27 de abril de 2014).



de embarque —por ejemplo, manifiestos o conocimientos de embarque— también deberá incluirse información sobre el material que se transporta, así como sobre la cantidad y el peso. En Estados Unidos, con arreglo al título 49, sección 173 del Código de Reglamentos Federales (*Code of Federal Regulations*, CFR), los vehículos que transportan BPAU quedan exentos del cumplimiento de los requisitos del Departamento de Transporte (*Department of Transport*, DOT). En otras palabras, si un transportista cumple con ciertas prácticas específicas, como el correcto uso de las tarimas y la correcta carga de las BPAU, y no está transportando al mismo tiempo algún otro material peligroso, puede evitar muchos de los requisitos previstos en la normativa en materia de transporte de desechos peligrosos.³⁷ Al final de este apartado, en recuadros independientes, se proporciona información sobre los requisitos específicos de cada país.

- **El vehículo de transporte deberá ir equipado con material de limpieza en caso de derrame y demás equipo necesario para asegurar condiciones sanas y seguras.**

Todos los vehículos que transportan BPAU deberán ir equipados con un kit especial para derrames y el equipo necesario para atender a un trabajador lesionado en un accidente de este tipo. Un kit básico incluiría:

- barriles de polietileno resistentes a sustancias químicas con tapas y anillos (con capacidad de 57, 113 o 208 litros [15, 30 o 55 galones]);
- ceniza de sosa, utilizada para neutralizar los ácidos derramados;

- vermiculita, para absorber los efluentes o líquidos neutralizados que se hayan derramado;
 - guantes resistentes a sustancias químicas;
 - anteojos o gafas protectoras, y
 - las etiquetas reglamentarias para marcar material derramado.
- **Los conductores y personal auxiliar deberán contar con la capacitación adecuada.** Todo el personal de transporte deberá tener conocimiento de la peligrosidad de las BPAU y necesitará recibir capacitación sobre procedimientos de emergencia en caso de incendio, derrame u otros accidentes, y saber comunicarse con los servicios de emergencia.
 - **Equipo de protección personal.** Deberá suministrarse equipo de protección personal a cada uno de los miembros del personal que transporta BPAU. El equipo de protección personal al que deberá tenerse acceso en todo momento durante el transporte se compone de guantes resistentes a sustancias químicas y protectores de ojos (anteojos de seguridad o caretas de protección), entre otros artículos. Se recomienda que el conductor utilice calzado con casquillo de acero y suelas resistentes a sustancias químicas. El conductor requeriría de equipo de protección personal si por algún motivo las baterías transportadas se movieran y desprendieran del embalaje, ya que esto podría dar lugar a carcasas dañadas, con el consiguiente derrame de electrolito sobre el piso del tráiler, que el conductor tendría que atender antes de continuar con el trayecto.

37. BCI (2012a), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 34, *supra*.

Reglamentación en materia de transporte de baterías en Canadá

Todo embarque de BPAU objeto de exportación, importación o tránsito con Canadá o de movimiento interprovincial en este país se considera como desecho peligroso o material reciclable peligroso y debe llevarse a cabo en apego al Reglamento sobre Exportación e Importación de Desechos Peligrosos y Material Reciclable Peligroso (*Export and Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations*, EIHWHRRM) de Canadá.³⁸ Con el propósito de brindar orientación en torno a estas disposiciones, el ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*) elaboró una serie de herramientas, entre las que se incluye una guía para usuarios y de clasificación.³⁹

Por otro lado, el transporte de BPAU también está sujeto a controles emanados de los compromisos adquiridos por Canadá como signatario de una serie de acuerdos internacionales, a saber: el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); la Decisión del Consejo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos destinados a operaciones de recuperación, y el Acuerdo Bilateral Canadá-EU sobre Residuos Peligrosos (*Canada-USA Agreement on the Transboundary Movement of Hazardous Waste*).⁴⁰ Entre los controles a aplicarse se incluyen un proceso de notificación previa, el consentimiento fundamentado previo por parte del país importador y documentos relativos a permisos y manifiestos.

Asimismo, el transporte de BPAU también está regulado por la Ley para el Transporte de Bienes Peligrosos (*Transportation of Dangerous Goods Act*) y su Reglamento, de carácter federal, que estipulan los requisitos detallados para el transporte de bienes peligrosos en territorio y por carreteras federales. Uno de esos requisitos obliga a los transportistas a rotular los vehículos y transporte de carga utilizados para transportar BPAU en todo Canadá.⁴¹ Si una compañía decide llevar a cabo una actividad relacionada con el transporte de bienes peligrosos en alguna forma que no se adhiera al Reglamento para el Transporte de Bienes Peligrosos, debe presentar una solicitud para obtener un certificado de equivalencia (*Equivalency Certificate*) y demostrar la forma en que la actividad en cuestión que se llevará a cabo ofrece un nivel de seguridad equivalente a lo especificado en el Reglamento.⁴²

Los embarques en Ontario quedan exentos del requisito de la presentación de manifiestos siempre y cuando se lleven a una fundidora para su “consumo total”.

Reglamentos para el transporte de baterías en Estados Unidos

Las plantas que envían por tierra baterías de plomo-ácido en Estados Unidos deben cumplir con determinadas disposiciones del Código de Reglamentos Federales (*Code of Federal Regulations*, CFR), título 49, sección 173, subsección 159, que estipula que las baterías deben prepararse y empaquetarse para su transporte de manera que se evite la generación de calor, posibles cortocircuitos y daños a las terminales de las baterías.⁴³ Ello significa, por ejemplo, afianzar las baterías y envolverlas con película retráctil sobre una tarima de tal manera que las terminales de baterías adyacentes no entren en contacto entre sí ni con otros metales.

(...)

38. *Export and Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations (EIHWHRRM) (SOR/2005-149)*, propuesta en apego a la división 8 de la Ley Canadiense de Protección Ambiental (*Canadian Environmental Protection Act*, CEPA), en *Canada Gazette I*, del 20 de marzo de 1999; disponible en: <<http://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2005-149.pdf>> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

39. Éstas y otras herramientas están disponibles en: Environment Canada (2014b), “Tools for export and import of hazardous waste and hazardous recyclable material regulations regulatees”, ministerio de Medio Ambiente de Canadá, en: <www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=En&n=8BBB8B31-1> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

40. *Idem*.

41. Transport Canada (2010), *op. cit.*; véase referencia completa en nota 35, *supra*. Algunos ejemplos de este tipo de certificados se encuentran en el sitio web del ministerio de Transporte de Canadá, en: <www.wapps.tc.gc.ca/saf-sec-sur/3/tdgcert-tmdcert/certificatesmenu.aspx>.

42. *Idem*.

43. *United States Federal Register, 49 CFR Part 173 – Shippers – General Requirements for Shipments and Packagings. Hazardous Materials Regulations*, en: Electronic Code of Federal Regulations, <www.ecfr.gov/cgi-bin/text-id.x?SID=7dd0001f043e1c2532b6a246e323ce1d&mc=true&node=pt49.2.173&rgn=div5> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

44. *Idem*.

Reglamentos para el transporte de baterías en Estados Unidos (...cont.)

Si las BPAU se transportan por vía terrestre o por ferrocarril y se empaacan conforme a las disposiciones previstas en el CFR, título 49, sección 173, subsección 159, y satisfacen las condiciones enumeradas a continuación, quedan exentas de cumplir con cualquier otro requisito del Departamento de Transporte (*Department of Transportation*, DOT):⁴⁴

- ✓ No se transporta ningún otro tipo de material peligroso en el mismo vehículo.
- ✓ Las BPAU se cargan o sujetan de tal manera que se eviten daños y cortocircuitos.
- ✓ Cualquier otro material transportado en el vehículo va asegurado de tal modo que se evite que entre en contacto con las baterías o las dañe.
- ✓ El vehículo transporta únicamente material suministrado por el transportista de baterías.

Disposiciones reglamentarias en materia de transporte de baterías en México

En México, en términos de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, las baterías de plomo-ácido se consideran desechos peligrosos. Con arreglo a esta ley, se requiere la autorización del gobierno federal para transportar —lo que incluye operaciones de importación y exportación— cualquier tipo de desecho peligroso en México. Esta ley estipula también que las BPAU sólo podrán importarse a México para fines de reciclaje y recuperación y no para su disposición final en rellenos sanitarios.⁴⁵

Asimismo, el transporte de desechos peligrosos en México está regulado por el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).⁴⁶ Además de exigir a los transportistas que cumplan con una serie de requisitos en cuanto a embalaje y rotulación de carga, en este reglamento se explica una lista de requisitos de documentación que los transportistas de BPAU deben observar. El artículo 50 estipula, por ejemplo, que con objeto de transportar materiales o desechos peligrosos, el transportista debe contar con las autorizaciones correspondientes emitidas por la SCT y otras dependencias del gobierno federal.⁴⁷

Para complementar estas leyes y reglamentos, se han emitido numerosas Normas Oficiales Mexicanas. Las baterías de plomo-ácido y las de plomo-ácido usadas, específicamente, se incluyen en la Norma Oficial Mexicana, NOM-002-SCT/2011: “Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados”. Entre las normas complementarias relacionadas con el transporte de materiales peligrosos, incluidas las BPAU, figuran:⁴⁸

- ✓ NOM-003-SCT/2008, “Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos”.
- ✓ NOM-004-SCT/2008, “Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos”.
- ✓ NOM-010-SCT2/2009, “Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos”.

44. *Idem*.

45. Semarnat, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, artículo 5, fracciones XXXII y XXIX, y artículo 31, fracción IV; disponible en: <www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_051214.pdf> (consulta realizada el 24 de abril de 2014).

46. SCT, op. cit.

47. *Idem*.

48. S. C. Hunt (2015), “Transport of dangerous goods into and within Mexico; Spray Technology & Marketing”, en: <www.spraytm.com/transport-of-dangerous-goods-into-and-within-mexico.html> (consulta realizada el 25 de abril de 2015).

3.3 Almacenamiento de BPAU en la planta de reciclaje

Debido a la gran cantidad de BPAU que llegan a las plantas de reciclaje, con frecuencia es necesario almacenarlas antes de su reciclaje. Aunque las directrices que aquí se presentan son muy similares a las descritas para el almacenamiento de baterías en los puntos de acopio (véase el apartado 3.1), la cantidad de unidades almacenadas en las plantas de reciclaje es considerablemente mayor, por lo que deberán adoptarse medidas adicionales a fin de garantizar un almacenamiento adecuado. Estas medidas se describen a continuación.

3.3.1 Identificación y separación de elementos químicos en baterías

Como se menciona en el apartado 3.1, el número de baterías con otras composiciones químicas, sobre todo las de Li-ion, que ingresa en la cadena de reciclaje y llega a las fundidoras secundarias de plomo es cada vez mayor.

El problema de las baterías que no son de plomo constituye un asunto importante en términos de seguridad para las fundidoras secundarias de plomo, ya que mezclar baterías con distintas composiciones químicas supone un enorme riesgo por los peligros que comporta. Las baterías de iones de litio son altamente reactivas y explotan con violencia cuando se entremezclan con BPAU en el proceso de recuperación de plomo. De igual forma, las baterías de níquel-cadmio (NiCd) ocasionan problemas en términos de control de la calidad durante la fundición y refinación.

Aunque idealmente las baterías que no son de plomo deben identificarse y separarse de las BPAU en la etapa inicial de acopio, se requiere también una inspección en el lugar en que vayan a almacenarse a fin de garantizar que no ingresen a la fundidora las baterías que no son de plomo. Con gran frecuencia, las baterías de iones de litio desechadas carecen de las etiquetas que las identifican, lo que las vuelve difíciles de distinguir mediante una inspección visual. De ahí la relevancia de que los empleados de las fundidoras secundarias conozcan los medios adecuados para realizar inspecciones visuales de las baterías y que tengan conocimiento de los riesgos y los problemas en términos de control de calidad que presentan las baterías que no contienen plomo.

A pesar de las acciones en curso de la industria de baterías para atender esta problemática, al momento de redactar el presente informe no se disponía aún de una solución.

3.3.2 Áreas de almacenamiento de baterías de plomo-ácido usadas al aire libre

Las áreas de almacenamiento al aire libre deberán estar cubiertas para evitar que se acumule agua de lluvia y reducir la posibilidad de escorrentías contaminadas. Asimismo, las BPAU deberán descansar sobre superficies impermeables como losas de concreto o asfalto que tengan algún tipo de contención secundaria de derrames (un segundo nivel de protección en caso de fallar el primer nivel de contención). La gráfica 14 muestra un ejemplo de almacenamiento inadecuado de BPAU al aire libre.

3.3.3 Requisitos para almacenar BPAU en un edificio

En la mayoría de las plantas de reciclaje, el almacenamiento en contenedores ya no resulta práctico, puesto que se requiere más espacio para identificar y etiquetar las BPAU por separado. En algunos casos, estas baterías se almacenan en exteriores (como se señaló anteriormente), mientras que otras instalaciones las almacenan en interiores. Los edificios donde se almacenen BPAU deben tener las siguientes características por cuanto a diseño:

- Un lugar resguardado de los agentes atmosféricos.
- Piso impermeable y resistente a ácidos, que tenga bordillo (faja o cinta de piedra o concreto que forma un borde) o algún tipo de contención de derrames.



Fuente: Gretchen Krum, "Battery stacking" [Apilamiento de baterías], comunicación por correo electrónico con la autora el 22 de julio de 2014.

- Un sistema eficiente de recolección de efluentes que encauce las soluciones derramadas hacia la planta de tratamiento de efluentes o hacia un depósito de ácido electrolítico.
- Una entrada y una salida, con puertas diseñadas para permanecer cerradas cuando no se usen.
- Equipo para el manejo del aire (descrito en el apartado 5 del presente documento) que permita suficientes cambios de aire por hora.
- Un sistema para limpiar el aire con filtros que eliminen el polvo de plomo y otras partículas, necesario sólo en caso de que el área de almacenamiento y la de procesamiento no estén separadas.
- Equipo adecuado contra incendios.
- Controles de seguridad, como llaves o contraseñas para que sólo personal autorizado pueda entrar al edificio.

Cuadro 3.: Lista de verificación de aplicación previa al reciclaje de BPAU

Área de aplicación	Actividad clave de MAA	Acciones y consideraciones	Para detalles, consulte el apartado...
Acopio y almacenamiento de BPAU antes de su transporte a la planta de reciclaje	Inspección de baterías entrantes	<input type="checkbox"/> Asegurar que no haya fugas mediante una inspección minuciosa de las baterías, tras su recepción. <input type="checkbox"/> Identificar y separar materiales que no tengan plomo y representen un riesgo en una planta de fundición secundaria de plomo.	3.1.2
	Características del área de almacenamiento	Asegurarse de que el área de almacenamiento: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> esté cubierta; <input type="checkbox"/> se encuentre alejada de fuentes de calor; <input type="checkbox"/> tenga una superficie resistente a ácidos y esté bien sellada; <input type="checkbox"/> cuente con un sistema para la recolección de escurrimientos; <input type="checkbox"/> tenga una ventilación adecuada; <input type="checkbox"/> disponga de accesos restringidos; <input type="checkbox"/> cuente con un plan de acción en caso de emergencia. 	3.1.1
	Funciones de almacenamiento	<input type="checkbox"/> Conocer la cantidad máxima de BPAU que pueden almacenarse y respetar el límite. <input type="checkbox"/> Limitar el tiempo de almacenamiento a un periodo de 60-90 días, cuando resulte práctico (opcional). <input type="checkbox"/> Separar las baterías en función de su contenido químico.	3.1.1
Transporte	Embalaje de BPAU antes de su embarque	<input type="checkbox"/> Inspeccionar que las unidades no presenten daños ni fugas antes de empacarlas. <input type="checkbox"/> Sellar los orificios y colocar las tapas de ventilación. <input type="checkbox"/> En caso de estar dañadas, colocar las BPAU en bolsas de polietileno resistentes (con un grosor de cuando menos 6 milésimas de pulgada). <input type="checkbox"/> Observar directrices respecto del tamaño de tarimas y de carga: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> material adecuado entre capas y en la parte superior; <input type="checkbox"/> baterías en posición vertical; <input type="checkbox"/> posición más segura de las terminales en la tarima; <input type="checkbox"/> altura de no más de 1.5 veces el ancho de la carga; <input type="checkbox"/> envoltura de toda la tarima con película retráctil; <input type="checkbox"/> afianzado de la carga con bandas plásticas reforzadas (opcional). 	3.2.1 Gráficas 7-14
	Transporte hacia la planta de reciclaje	<input type="checkbox"/> Inmovilizar y afianzar contenedores al interior del vehículo. <input type="checkbox"/> Cumplir con las disposiciones reglamentarias de las jurisdicciones de origen, tránsito y destino en cuanto a documentación, etiquetas y señalizaciones. <input type="checkbox"/> Asegurar que el vehículo de transporte cuente con el equipo adecuado para atender derrames y emergencias relacionadas con derrames. <input type="checkbox"/> Asegurar que los conductores y personal relacionado estén capacitados para realizar operaciones de carga y responder a emergencias. <input type="checkbox"/> Suministrar el equipo de protección personal adecuado a conductores y personal de transporte. <input type="checkbox"/> Elegir la ruta que permita minimizar el impacto de un posible derrame.	3.2.2
Almacenamiento en la planta de reciclaje	Requisitos de almacenamiento	<input type="checkbox"/> Identificar y separar las baterías en función de su contenido químico.	3.3.1
		<input type="checkbox"/> Separar las BPAU especializadas que, de no hacerlo, puedan ocasionar problemas operativos.	3.3.2
		<input type="checkbox"/> Asegurar que las áreas de almacenamiento al aire libre estén cubiertas y tengan una superficie impermeable.	3.3.3 Gráfica 15
		<input type="checkbox"/> Cumplir con los requisitos respecto de los edificios de almacenamiento.	3.3.4



4

**Pasos del reciclaje de las
baterías de plomo-ácido usadas:
fragmentación de baterías y fundición
secundaria de plomo (reducción)**



4. Pasos del reciclaje de las baterías de plomo-ácido usadas: fragmentación de baterías y fundición secundaria de plomo (reducción)

Después de recibir y almacenar las baterías de plomo-ácido usadas (BPAU) en la planta de reciclaje, se inicia el proceso de reciclaje. Muchos de los materiales recuperados de estas baterías se emplean en la fabricación de baterías de plomo-ácido nuevas.⁴⁹ Por ejemplo, así como el plomo recuperado se utiliza con frecuencia en el componente de plomo de unidades nuevas, el plástico recuperado puede emplearse para fabricar carcasas de batería,⁵⁰ mientras que el que no puede separarse de los componentes de plomo de las BPAU se utiliza a veces como complemento del combustible en las operaciones de reducción y refinación de plomo.⁵¹

En este apartado se describe a detalle el proceso de reciclaje y se abordan consideraciones relativas al manejo ambientalmente adecuado (MAA) que deberán tomarse en cuenta en cada uno de los pasos del proceso de fragmentación de baterías y de fundición y refinación del plomo. Ambos procesos comparten muchas de las consideraciones respecto de un MAA, por lo cual el apartado 5 de estas directrices se dedica a estas consideraciones comunes. En el cuadro 4 se muestra una lista de verificación de aplicación que facilita a propietarios u operadores de plantas de reciclaje de BPAU supervisar los avances hacia la adopción de distintas prácticas de MAA a lo largo del proceso de reciclaje de este tipo de acumuladores.

4.1 Proceso de reciclaje de BPAU

El reciclaje de BPAU implica tres pasos principales, a saber:⁵²

- fragmentación de la batería;
- reducción del plomo, y
- refinación del plomo.

En algunos casos, el proceso de reciclaje de BPAU (que se muestra en la gráfica 15) se lleva a cabo en la planta misma. Aunque con menor frecuencia, en otros casos es posible que el proceso de fragmentación de las baterías tenga lugar en una planta (como se describe en el apartado 4.2), mientras que el plomo se transporta a una planta distinta para su reciclaje.

4.2 Ruptura o fragmentación de baterías: descripción del proceso y riesgos asociados para el medio ambiente y la seguridad

El primer paso en el proceso de reciclaje de BPAU se conoce como “ruptura o fragmentación de baterías”. En este proceso se separan todos los componentes, como pasta, placas metálicas y conectores de plomo, carcasas de polipropileno y otros plásticos y electrolito ácido en flujos que se manejan por separado en los pasos de reciclaje posteriores. Aunque caben excepciones en determinadas circunstancias (véase el apartado 4.2.2), la fragmentación completa de BPAU debe efectuarse en máquinas especializadas.

4.2.1 Fragmentación mecánica de BPAU

Un proceso típico de fragmentación mecánica de BPAU incluye varias etapas (véase la gráfica 16), cada una de las cuales se detalla a continuación. En el apartado 4.2.3 pueden consultarse cuestiones de MAA a considerar respecto de las actividades de fragmentación.

49. Blacksmith Institute (2012), *Top ten toxic pollution problems – Source #1: Battery recycling*, en: <www.worstpolluted.org/projects_reports/display/96> (consulta realizada el 24 de abril de 2014).

50. *Idem.*

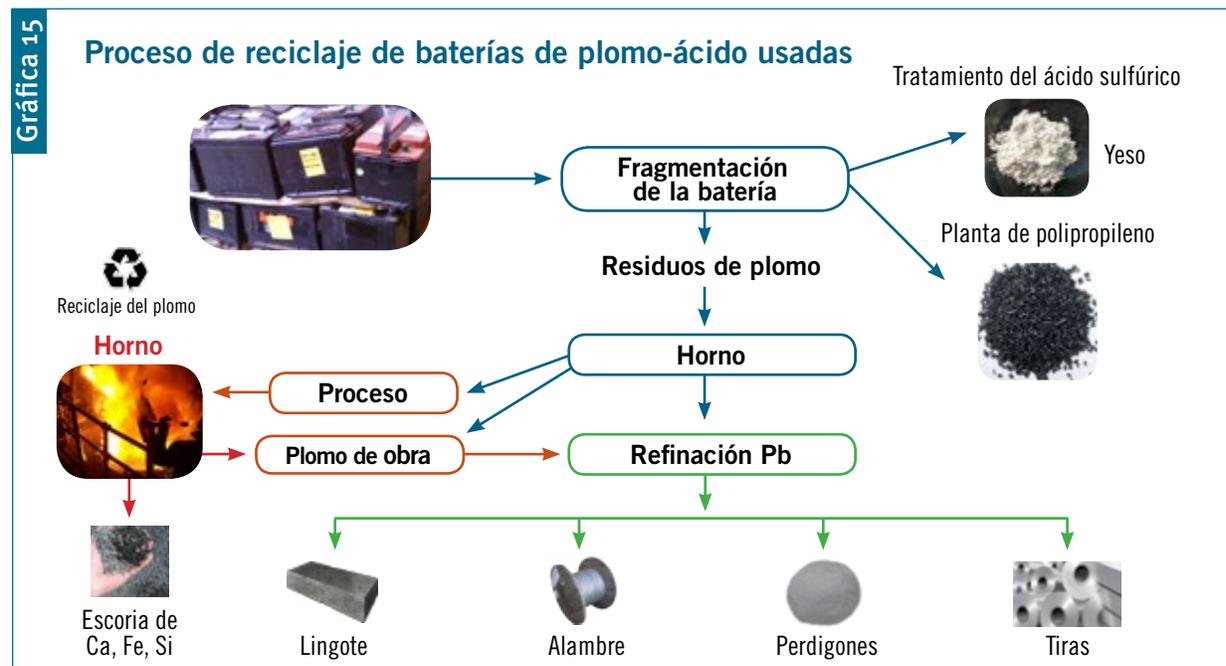
51. CCA (2007), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 2, *supra*.

52. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

Cuadro 4: Lista de verificación de aplicación para el reciclaje de BPAU

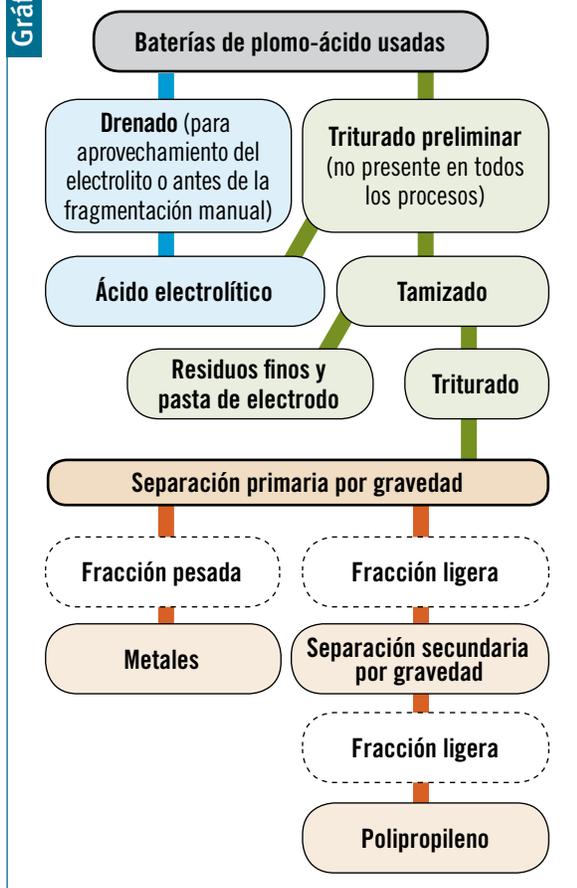
Para detalles, consulte el apartado...

Área de aplicación	Actividad clave de MAA	Acciones y consideraciones	
Fragmentación de baterías	Drenado de BPAU especializadas	<input type="checkbox"/> Drenar BPAU especializadas de gran capacidad antes de su trituración.	4.2.2
	Derrames de electrolito ácido	<input type="checkbox"/> Capacitar al personal para atender derrames. <input type="checkbox"/> Utilizar el equipo de protección personal adecuado.	4.2.3
	Maquinaria para fragmentar BPAU	<input type="checkbox"/> Controlar las partículas de plomo y los vapores de ácido sulfúrico que puedan generarse en el proceso de trituración mecánica. <input type="checkbox"/> Controlar los vapores de ácido sulfúrico que pueda producir la trituración mecánica, por medio de campanas de ventilación conectadas a un lavador húmedo. <input type="checkbox"/> La descarga líquida del lavador húmedo puede ser ácida (si no se controla el pH), por lo que requiere un manejo adecuado. <input type="checkbox"/> Lavar los residuos plásticos generados durante la fragmentación siguiendo el procedimiento apropiado.	4.2.3
	Cuando la instalación de fragmentación y la fundidora están separadas	<input type="checkbox"/> Si el agua del proceso de fragmentación no está dentro de la misma instalación que la fundidora, deberán tomarse todas las precauciones debidas al transportar el agua lodosa, a fin de evitar escurrimientos y derrames que puedan generar contaminación por polvo con plomo.	4.2.3



Fuente: Adaptación de Eco-Bat Technologies Ltd., "The ECOBAT recycling cycle", en: <<http://ecobatgroup.com/ecobat/rp/>> (consulta realizada el 23 de abril de 2015).

Proceso de fragmentación de baterías de plomo-ácido usadas



Fuente: Adaptado de Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *Technical guidelines for the environmentally sound management of waste lead-acid batteries* [Directrices técnicas para el manejo ambientalmente adecuado de las baterías de plomo-ácido usadas]; disponible en: <<http://archive.basel.int/pub/techguid/tech-wasteacid.pdf>>.

Trituración de la batería

El proceso de desarmado comienza cuando las BPAU llegan a la “máquina de fragmentación”.⁵³ En esta etapa, las BPAU se trituran en fragmentos pequeños en molinos de martileo u otros mecanismos de triturado. Dependiendo del lugar y las circunstancias, este proceso de trituración puede llevarse a cabo en una planta independiente del sitio en el que se recupera el plomo, como una fundidora o refinera, o bien en una instalación adyacente a la fundidora (que se ha vuelto la práctica más común).⁵⁴ En otros casos, las instalaciones de reciclaje reciben de una empresa local las baterías fragmentadas previamente procesadas.

Tamizado

Una vez que se trituran las BPAU, tiene lugar el proceso de tamizado, en el que se separan los distintos materiales de plomo y plástico en flujos independientes. Un

nivel de tamizado separa las partículas finas (pequeños fragmentos y restos que quedan del proceso de trituration) de la pasta de electrodo (de plomo). Un proceso de trituration adicional consiste en la separación por gravedad y una ulterior separación del material triturado de BPAU en flujos independientes de material.

Separación por gravedad de materiales metálicos pesados (plomo) y ligeros (plástico)

Después de la fragmentación y un tamizado inicial, los óxidos y sulfatos de plomo se separan de los demás materiales por gravedad en agua, mediante una serie de baldes o tinas y tanques de flotación que separan los materiales en función de su densidad relativa.⁵⁵ Los materiales pesados, como la pasta de plomo, se sedimentan, mientras que los materiales ligeros, como el plástico, flotan hacia la parte superior. Los materiales pesados se retiran constantemente con una cadena de arrastre y los plásticos flotantes con un tamiz o hélice. El líquido contiene ácido sulfúrico del electrolito ácido usado.

Son numerosos los diseños de procesos para la separación ulterior de componentes de las baterías, pero todos aplican el mismo principio general de separación por gravedad de materiales. En el primer paso del proceso de separación por gravedad, la fracción pesada se integra al flujo de metales; en un segundo paso, la fracción ligera (el plástico de polipropileno utilizado en las carcasas) se separa de la fracción más pesada, y en un tercero se divide la fracción plástica en residuos de polipropileno de la carcasa exterior de las BPAU y el material separador de plástico delgado utilizado entre las placas al interior de la batería.

Neutralización y reciclaje del electrolito ácido

Generalmente, el electrolito ácido usado se neutraliza (es decir, se ajusta el pH), muchas veces con hidróxido de magnesio ($Mg(OH)_2$) para eliminar las sustancias contaminantes por precipitación en forma de torta de filtrado. La reacción de ajuste del pH es exotérmica (produce calor) y, por lo tanto, la mejor práctica en este proceso es la utilización de tanques de fibra de vidrio, más que de polietileno. Este proceso de neutralización genera una torta de filtrado de sulfatos que, dependiendo de los resultados de la prueba de lixiviados efectuada en un laboratorio certificado, puede depositarse en rellenos sanitarios como desechos no peligrosos o enviarse a tratamiento ulterior como desecho peligroso. El líquido neutralizado puede descargarse en el alcantarillado local para desembocar en una planta de tratamiento de aguas residuales local o en cursos de agua abiertos.

En algunos establecimientos, el electrolito ácido se reutiliza: se retiran las impurezas de la solución usada y se añade ácido sulfúrico concentrado para espesarlo lo suficiente y poder reutilizarlo como electrolito en baterías nuevas.

53. *Idem.*

54. CCA (2007), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 2, *supra*.

55. *Idem.*

4.2.2 Fragmentación manual de baterías únicamente en el caso de BPAU especializadas

Aunque en general no se considera una práctica aceptable, en algunos casos muy concretos la fragmentación de las baterías se lleva a cabo en forma manual, principalmente en el caso de baterías industriales grandes cuyas dimensiones o peso son excesivos para que una máquina las fragmente mecánicamente (por ejemplo, BPAU industriales obsoletas utilizadas en plantas de generación de electricidad, así como baterías de tamaño considerable con carcasas de vidrio o acero) y cuyas carcasas de vidrio o acero no pueden procesarse en las trituradoras.

En todos los casos de fragmentación manual de las baterías, deberán adoptarse las siguientes medidas:⁵⁶

- En la medida de lo posible, perforar las BPAU industriales de gran tamaño y drenar el electrolito ácido usado (este procedimiento no es posible en el caso de algunas baterías de grandes dimensiones).
- Neutralizar la solución electrolítica usada antes de la descarga, o enviarla a plantas de tratamiento de aguas residuales, de tratamiento de electrolito o de reciclaje (véase el apartado 5.4).
- Retirar la cubierta de las BPAU grandes, incluidas las placas y separadores, utilizando una sierra circular u otro equipo apropiado, asegurándose de emplear el equipo y ropa de protección personal adecuados (consúltese el apartado 6).
- Enviar las placas y celdas con la cubierta de las BPAU a una fundidora de plomo.
- Enviar la carcasa de las BPAU (de plástico, vidrio o acero) a instalaciones de reciclaje.
- Eliminar adecuadamente como desechos los materiales restantes.⁵⁷

4.2.3 Fragmentación de baterías de plomo-ácido: riesgos ambientales y para la seguridad

Cuando se lleva a cabo inadecuadamente, la fragmentación de baterías representa una seria amenaza para el medio ambiente y la seguridad (tema que se analiza con mayor detalle más adelante). En el apartado 6 pueden consultarse las prácticas de MAA que es necesario tener en cuenta para minimizar los riesgos asociados con estas actividades de fragmentación.

Derrames de electrolito ácido usado de las BPAU

El electrolito ácido es una potente solución corrosiva que contiene, además, plomo y partículas del metal. En caso de que ocurriera un derrame de la solución electrolítica ácida de BPAU, el suelo podría contaminarse y los trabajadores resultar lesionados, por lo que el electrolito ácido usado deberá manejarlo personal capacitado y que cuente con equipo de protección personal.

Máquinas para la fragmentación de baterías de plomo-ácido

Otra posible fuente de emisiones de partículas de plomo es la ruptura mecánica de la batería de plomo-ácido mediante mecanismos de triturado o molinos de martillo. En el proceso también se emitirán vapores de ácido sulfúrico, por lo que deberán instrumentarse medidas de control. Entre los métodos mecánicos para controlar estos vapores se incluyen captadores de polvo en el punto de generación, los cuales deberán conectarse a un lavador húmedo. La descarga líquida resultante del lavador húmedo es ácida (salvo que se controle el pH) y podrá utilizarse como agua reciclada en el proceso o enviarse a una planta de tratamiento de aguas residuales (según lo descrito en el apartado 5) y descargarse. Cualquier fuga o derrame de este sistema producirá un líquido corrosivo con contenido de plomo.

Residuos plásticos contaminados

Los residuos plásticos (de polipropileno) procedentes de la operación de ruptura de la batería de plomo-ácido pueden resultar contaminados por plomo hasta en 5 por ciento. Es por ello que los residuos plásticos deberán someterse a un segundo lavado en una solución alcalina, seguido de un segundo ciclo de enjuague.⁵⁸ Aunque algunas empresas podrían seguir este procedimiento, existen otros igualmente adecuados que no requieren dichos pasos. Por ejemplo, con las lavadoras centrífugas y otros medios mecánicos se logran resultados similares sin mayor consumo de agua.

Contaminación por polvo con plomo

Debido a que los principales procesos de separación consisten en técnicas basadas en agua, los materiales separados y finos derivados del proceso de fragmentación de la batería están, por lo general, húmedos.⁵⁹ Si estos materiales no se incorporan en un proceso totalmente automatizado, tendrán que transportarse de la planta de fragmentación a la fundidora. Durante el transporte, existe la posibilidad de que se derrame parte de este material lodoso o acuoso del camión, sobre todo si la instalación de fragmentación y la fundidora

56. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

57. *Idem.*

58. *Idem.*

59. *Idem.*

no se encuentran en el mismo lugar. Cuando se seca este material húmedo, el polvo resultante puede contener partículas de plomo que, si no se tratan adecuadamente, pueden contaminar la instalación y cualquier comunidad aledaña. Uno de los numerosos beneficios de integrar las operaciones de fragmentación y fundición de baterías de plomo-ácido es que las emisiones fugitivas asociadas con el transporte quedan prácticamente eliminadas al concentrar todas las actividades en un mismo sitio. Los métodos para el control de polvos finos de plomo se abordan en el apartado 5.3.

4.3 Fundición secundaria de plomo

La fundición secundaria de plomo consta de tres operaciones principales: tratamiento previo, fundición y refinación, las cuales se presentan en forma de diagrama en las gráficas 17, 18 y 19.

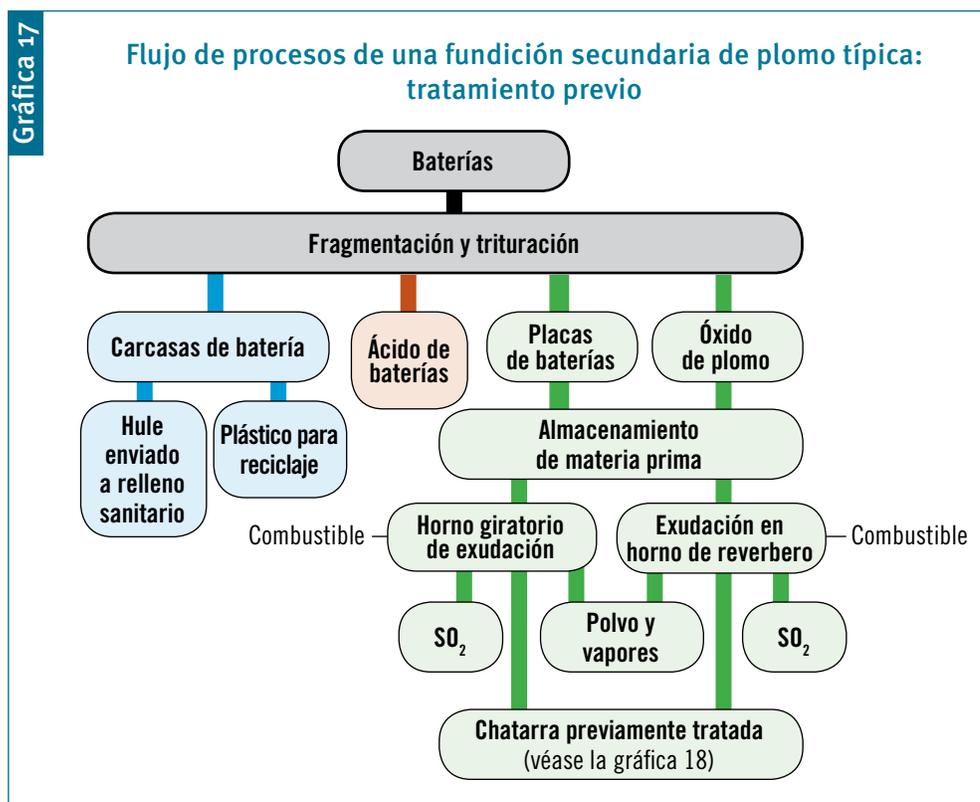
Al conjunto de todas estas operaciones que integran el proceso de fundición secundaria de plomo se le conoce como reducción de plomo. Las plantas de fundición secundaria de plomo convierten el plomo derivado del proceso de fragmentación de baterías en plomo que a la

postre se envía a las refinadoras. La chatarra de BPAU que resulta del proceso de fragmentación es una mezcla de varias sustancias:⁶⁰

- plomo metálico;
- óxido de plomo (PbO);
- sulfato de plomo (PbSO₄);
- otros metales como calcio (Ca), cobre (Cu), antimonio (Sb), arsénico (As), estaño (Sn) y, en ocasiones, plata (Ag).

El plomo secundario (reciclado) se produce, por lo general, a partir de métodos pirometalúrgicos. La refinación pirometalúrgica se realiza en un horno donde distintas fuentes de plomo secundario se combinan con suficientes agentes fundentes y reductores para producir plomo de obra (o tochos) que sea de la calidad y pureza requeridas para comercializarse en distintos mercados. Los siguientes insumos se introducen al horno de fundición secundaria de plomo:⁶¹

- partículas finas y pasta de electrodo (adicionadas directamente);
- óxido de plomo (PbO) producido de la desulfurización de partículas finas y pasta de electrodo;



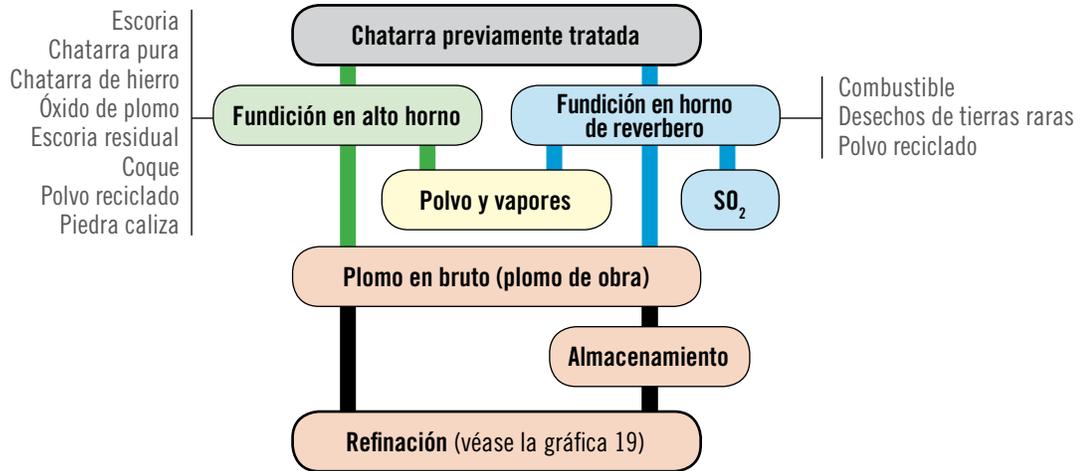
Fuente: Adaptación de US EPA (1995), *Compilation of air pollutant emission factors, Volume 1: Stationary point and area sources; Chapter 12: Metallurgical Industry*, 5a. ed., Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s11_2010.pdf> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

60. *Idem.*

61. *Idem.*

Gráfica 18

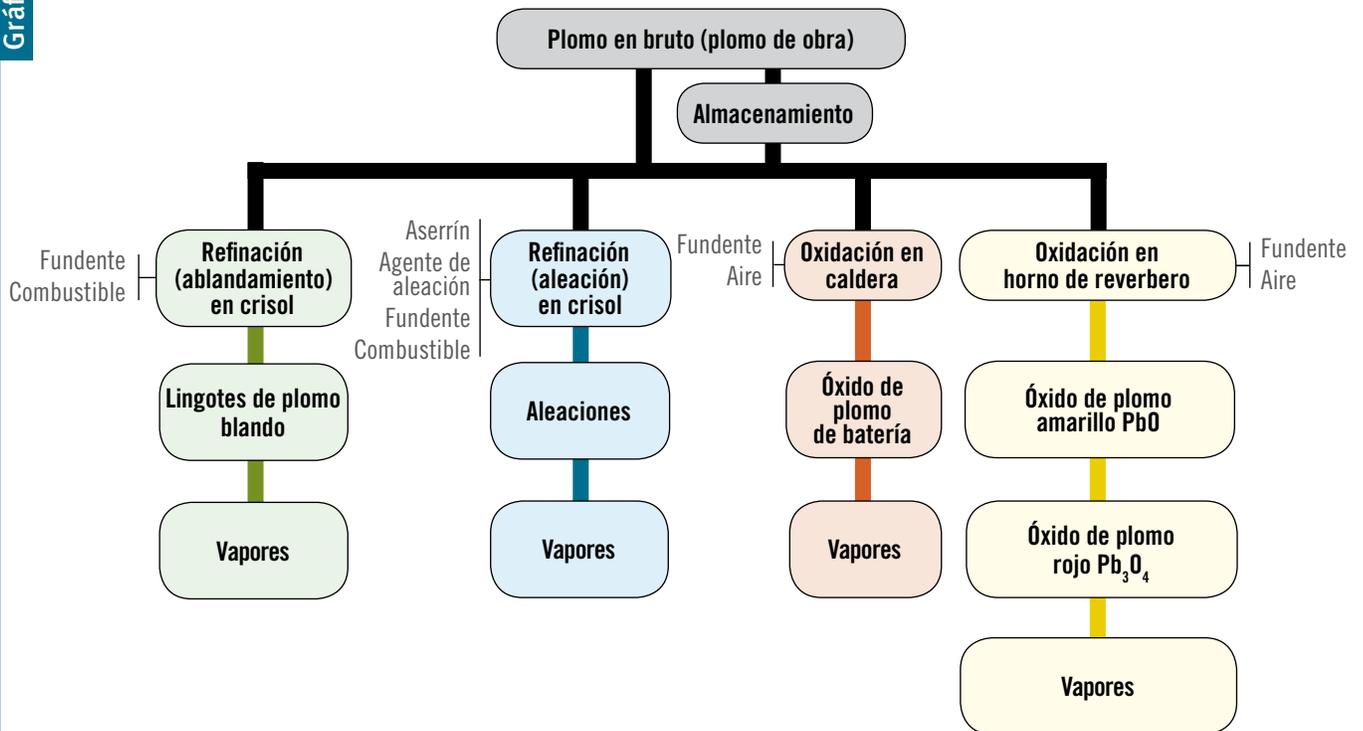
Flujo de procesos de una fundición secundaria de plomo típica: fundición



Fuente: Idem.

Gráfica 19

Flujo de procesos de una fundición secundaria de plomo típica: refinación



Fuente: Idem.



- agentes fundentes y reductores que aportan sustancias químicas suficientes para producir un plomo de obra puro;
- hidróxido de plomo ($Pb(OH)_2$), que se produce al neutralizarse el ácido electrolítico, y
- otras fuentes de plomo.

En el proceso de fundición secundaria de plomo se emplean distintos tipos de horno. La elección de hornos o la combinación de los mismos dependerá del tipo de insumos, así como de variables económicas. Entre los tipos de horno más comunes en América del Norte destacan:⁶²

- hornos giratorios;
- hornos de reverbero;
- altos hornos;
- hornos de arco eléctrico, y
- cámaras giratorias u otros hornos.

Algunas consideraciones importantes sobre MAA para minimizar y controlar las emisiones al medio ambiente de operaciones de fundición secundaria de plomo (reducción de plomo) incluyen:

- desulfurización de partículas finas y pasta de electrodo;
- control de la contaminación atmosférica;
- control de emisiones fugitivas;
- neutralización de la solución electrolítica para la recuperación de hidróxido de plomo;
- tratamiento de aguas residuales;

- agente fundente y producción de escoria, y
- manejo de desechos sólidos.

En América del Norte, la mayoría de las fundidoras secundarias de plomo son plantas integradas que llevan a cabo en un mismo sitio la fundición y refinación del metal, así como la fragmentación de las BPAU. Sólo en algunos casos, los procesadores de BPAU llevan a cabo de manera exclusiva la fundición secundaria de plomo para luego vender el plomo de obra a refinadoras que ejecutan el paso final en la producción de plomo. Cabe subrayar que son numerosas las ventajas que ofrece integrar operaciones en un mismo lugar. Además de las economías de escala que se derivan de la integración de procesos de monitoreo y control de la contaminación, concentrar operaciones de fundición y refinación de plomo reduce la necesidad de transporte, lo que, a su vez, contribuye a la mitigación de emisiones generadas por polvo de plomo y otros contaminantes.

La refinación pirometalúrgica de plomo se realiza a partir del metal derretido, a temperaturas que oscilan entre el punto de fusión del plomo, a 327 °C, y su punto de ebullición, a 650 °C. El plomo se calienta hasta fundirse y alcanzar un estado líquido, para, posteriormente, agregar distintos reactivos químicos a diferentes temperaturas y retirar selectivamente los metales no deseados del plomo en bruto. Estos metales se extraen en el siguiente orden: cobre, estaño, arsénico y antimonio.

62. *Idem.*



Control de la contaminación en plantas de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: aire, aguas residuales y desechos sólidos



5. Control de la contaminación en plantas de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: aire, aguas residuales y desechos sólidos

Si se manejan adecuadamente, los mecanismos de control de la contaminación constituyen uno de los mejores medios de protección para asegurar un manejo ambientalmente adecuado (MAA), en general, en la industria de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas (BPAU). En este apartado se abordan estrategias para instrumentar un MAA para el control de la contaminación en instalaciones de reciclaje de BPAU, entre las que se incluyen plantas de fragmentación de baterías y fundidoras secundarias de plomo. En el cuadro 15 puede consultarse una lista de verificación para la instrumentación que brinda una herramienta para ayudar a las instalaciones de reciclaje de BPAU a vigilar sus avances hacia la adopción de un manejo ambientalmente adecuado.

5.1 Normas para el control de la contaminación atmosférica en plantas que reciclan baterías de plomo-ácido usadas

Todas las etapas del proceso de reciclaje secundario de plomo pueden generar emisiones de gases o partículas suspendidas, como fuentes fijas o emisiones fugitivas.

- **Emisiones por chimenea:** gases de escape procedentes de un dispositivo de control de la contaminación atmosférica que se liberan a la atmósfera.
- **Emisiones fugitivas:** aquellas que no se someten a ningún tratamiento y son el resultado del manejo de materiales, tránsito vehicular, erosión eólica de cúmulos de desechos y otras fuentes no controladas.

El plomo es el principal contaminante de preocupación presente en las emisiones tanto por chimenea como fugitivas provenientes de plantas de reciclaje de BPAU, aunque

otros contaminantes como el SO_2 , NO_x y cantidades traza de arsénico o compuestos orgánicos volátiles (COV) se monitorean en puntos específicos, dependiendo de los requisitos locales en materia de calidad del aire.

En el cuadro 5 se presentan algunas de las normas más estrictas que, en materia de emisiones atmosféricas, deben cumplir las plantas de fundición secundaria de plomo en Ontario y Quebec (donde se ubica la mayoría de las recicladoras de BPAU de Canadá), y en Estados Unidos. Cabe destacar que las normas sobre emisiones atmosféricas en Ontario se basan en el punto de impacto (*point of impingement*, POI), que se define como cualquier punto en el suelo o sitio receptor, como edificios aledaños, fuera de los límites de la propiedad de la empresa, en donde se espera que se registre la mayor concentración de un contaminante como resultado de la emisión acumulada del mismo. Aunque no están sujetas a una regulación, las emisiones al aire ambiente en Ontario forman parte de los Criterios sobre la Calidad del Aire Ambiente (*Ambient Air Quality*, AAQ) de esta provincia.

Los establecimientos deben cumplir, cuando menos, los requisitos legales aplicables en la jurisdicción en que se ubican. Aunque los requisitos presentados en los cuadros 5 y 6 se aplican ampliamente en los órdenes nacional, provincial o estatal, en la esfera local pueden establecerse límites concretos.

En ese sentido, México emitió, en enero de 2015, la Norma Oficial Mexicana (NOM-166-SEMARNAT-2014) relativa al control de emisiones atmosféricas procedentes de fundidoras secundarias de plomo.⁶³ Esta norma tiene por objetivo fijar límites máximos permisibles de emisiones atmosféricas de plomo, hidrocarburos totales, óxidos de nitrógeno, y dioxinas y furanos generadas

63. Norma Oficial Mexicana NOM-166-SEMARNAT-2014, Control de emisiones atmosféricas en la fundición secundaria de plomo, en: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5378252&fecha=09/01/2015> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

por los procesos de plantas de fundición secundaria de plomo o de reciclaje de BPAU, entre los que se incluyen los métodos de prueba correspondientes, así como los criterios y especificaciones de operación. Estos límites

máximos permisibles para plomo, según lo especificado en la norma, se describen en el cuadro 6.

Los límites de exposición al plomo en el trabajo en los tres países se presentan en el apartado 6.

Cuadro 5: Resumen de las normas más estrictas sobre emisiones atmosféricas para fundidoras secundarias de plomo en ciertas jurisdicciones en Canadá (Ontario y Quebec) y en Estados Unidos

Emissiones al aire	Canadá (Ontario ^a y Quebec ^b)	Estados Unidos ^{c,d}
Final de chimenea	Quebec: Horno, 30 mg/Rm ³ ; otras unidades de producción de plomo, 15 mg/m ³	1.0 mg/m ³ * máx/chimenea 0.2 mg/m ³ * en toda la planta
Punto de impacto (POI)	Ontario: Normas sobre punto de impacto (POI): 0.5 µg/m ³ para un promedio de 24 horas y 0.2 µg/m ³ para un promedio de 30 días	n-c
Fugitivas	Ontario y Quebec: Sellado, presión negativa	Sellado, presión negativa
Al aire ambiente	Ontario: 0.5 µg/m ³ para un promedio de 24 horas y 0.2 µg/m ³ para un promedio de 30 días Quebec: 0.1 µg/m ³ para un promedio de un año	0.15 µg/m ³ en un periodo de tres meses continuos

Nota: Todos los valores se basan en condiciones estándares a 1 atmósfera de presión, base seca y corregidos en función de un contenido de oxígeno de 7 por ciento.

* Las normas estadounidenses para emisiones al final de chimenea se expresan en mg/m³ base seca (miligramos por metro cúbico base seca); las correspondientes a Quebec, en mg/Rm³ (miligramos por referencia por metro cúbico). Las instalaciones deben cumplir, cuando menos, con los requisitos legales correspondientes a la jurisdicción en que se encuentran ubicadas.

mg/Rm³ = miligramos por referencia por metro cúbico; µg = microgramos; n-c = no corresponde.

Fuentes:

- Ontario Ministry of the Environment (2012), *Ontario's ambient air quality criteria*, Ministerio de Medio Ambiente de Ontario; disponible en: <www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).
- Gobierno de Quebec, *Clean Air Regulation, Environment Quality Act, chapter Q-2, O.C. 501-2011, s. 164, schedule G, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC)* [Ministerio de Desarrollo Sostenible, Medio Ambiente y Lucha contra el Cambio Climático], en: <www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FQ_2%2FQ2R4_1_A.htm> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).
- US EPA, *National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants From Secondary Lead Smelting* [Normas nacionales sobre emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos de la fundición secundaria de plomo], Código de Reglamentos Federales (*Code of Federal Regulations*, CFR), título 40, sección 63.543 (a) (2012), U.S. Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2012-01-05/html/2011-32933.htm>.
- US EPA (s/f), "National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)", Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/criteria.html> (consulta realizada el 27 de abril de 2015).

Cuadro 6: Normas en materia de emisiones atmosféricas para fundidoras secundarias de plomo en México

Contaminante	Fundidoras en operación tras la promulgación de la nueva norma*	Fundidoras en operación después de cuatro años	Fundidoras en operación después de ocho años y nuevas fundidoras tras la promulgación de la nueva norma*	Frecuencia de medición
	LMP			
Plomo	14 mg/m ³	2 mg/m ³	0.2 mg/m ³	4 veces al año
Óxidos de nitrógeno (NO_x)	300 mg/m ³	300 mg/m ³	150 mg/m ³	3 veces al año
Hidrocarburos totales	140 mg/m ³	140 mg/m ³	70 mg/m ³	3 veces al año
Dioxinas y furanos	0.5 ng/m ³	0.5 ng/m ³	0.2 ng/m ³	Una vez al año

Nota: Todos los valores se basan en condiciones estándar a 1 atmósfera de presión, base seca y corregidos en función de un contenido de oxígeno de 7 por ciento.

mg = miligramos; m³ = metros cúbicos; ng = nanogramos; LMP = límites máximos permisibles.

*Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-166-SEMARNAT-2014, *Control de emisiones atmosféricas en la fundición secundaria de plomo*, en: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5378252&fecha=09/01/2015>.

5.2 Control de emisiones por chimenea en plantas de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: tecnologías y prácticas de manejo ambientalmente adecuado

5.2.1 Revisión de tecnologías para el control de emisiones por chimenea

Se dispone de numerosas tecnologías para tratar emisiones atmosféricas generadas por instalaciones de fundición secundaria de plomo. Se han llevado a cabo extensas investigaciones con el propósito de identificar cuáles son los mejores métodos para tratar este tipo de emisiones, entre los que se incluyen prácticas y controles para proteger la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Además de las tecnologías y prácticas de MAA que se presentan en estas directrices, se recomienda al lector recurrir también a la herramienta en línea que ofrece la Administración para la Seguridad y la Salud Laborales (*Occupational Safety and Health Administration*, OSHA) del Departamento de Trabajo de Estados Unidos en materia de fabricación de baterías de plomo.⁶⁴ Ambos recursos constituyen excelentes fuentes de orientación en torno a los temas planteados en el presente documento.

El método para tratar emisiones atmosféricas depende del tamaño de las partículas de que se trate. Por lo general, las partículas recolectadas por cada uno de estos métodos se devuelven a la operación de fundición donde el plomo se recicla. Entre los procesos técnicos que más comúnmente se emplean para controlar la contaminación atmosférica en plantas de reciclaje de BPAU se incluyen los siguientes:⁶⁵

- sistemas de filtros de tela o manga;
- precipitadores electrostáticos;
- precipitadores electrostáticos húmedos;
- ciclones;
- filtros de cerámica, y
- lavadores húmedos.

Los **sistemas de filtros de tela o manga** constituyen el método que más se emplea para el control de la contaminación atmosférica en la industria de fundición y refinación de plomo, por el alto desempeño que ofrecen a

un costo razonable. Los gases o el aire cargados de polvo se pasan a través de mangas de tela, en cuya superficie quedan atrapadas las partículas secas.⁶⁶ Una vez que se ha acumulado suficiente polvo en la superficie de los filtros (lo cual se mide mediante la presión a través de la tela), el filtro se limpia soplando aire a través de la tela. Para ello se utiliza un sistema de chorro de aire, o bien se sacude la tela.⁶⁷ La torta de polvo extraída del filtro de tela se deposita por gravedad en una tolva de recolección donde se elimina. Conforme se va acumulando en la tela, el polvo mismo actúa como coadyuvante de filtración, con lo que aumenta la eficacia del filtro de tela.⁶⁸ Este procedimiento se realiza de manera periódica.

Además de considerarse una buena opción, en términos generales, para el control de la contaminación atmosférica en plantas de reciclaje de BPAU, es más económico instalar y operar filtros de tela o manga que un precipitador electrostático.⁶⁹ En el apartado 5.2.3 se abunda sobre el tema.

Los **filtros de membrana** usan una estructura microporosa que actúa como medio filtrante.⁷⁰ Todas las partículas de materia fina filtrables se recolectan en la superficie de la membrana, y no hay necesidad de torta de filtrado para atrapar partículas (como sucede con los productos filtrantes convencionales). En este caso, no hay penetración de polvo hacia el filtro de membrana ni más allá de éste (como sucede con los medios convencionales) porque el proceso de filtración completo tiene lugar en la superficie de la membrana, que actúa como torta de polvo primaria, sin que se requiera una precapa.⁷¹ La tecnología de filtración con superficie de membrana permite una mayor limpieza de la tela del filtro, lo que se traduce en un lapso más amplio entre una limpieza y otra, así como una mayor superficie de tela de filtro “bruta” en línea, menor consumo de aire comprimido (lo que supone un ahorro) y un menor deterioro de los filtros ocasionado por los agentes de limpieza (una vida útil más prolongada).

Los **precipitadores electrostáticos** aplican fuerzas electrostáticas para extraer partículas de las emisiones atmosféricas. La Asociación de Manejo de Aire y Desechos (*Air & Waste Management Association*) los define como “aparatos recolectores de plomo relativamente grandes, de baja velocidad, que extraen partículas de la misma manera que la electricidad estática en prendas

64. US DOL (s/f), “OSHA Regulations (Standards – 29 CFR) – Table of Contents”, United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=10106&p_table=STANDARDS> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

65. *Idem*.

66. *Idem*.

67. *Idem*.

68. *Idem*.

69. US EPA (1977), *Controlling emissions of particulates*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], informe núm. EPA 600/8-77-016; PB-276672; EPA-68-02-2611, en: <<http://goo.gl/nbHDLw>> (consulta realizada el 16 de abril de 2014).

70. Donaldson Filtration Solutions (s/f), *Membrane vs. conventional filter media for filter fabric / baghouses*; disponible en: <www.mcilvaine.com/Decision_Tree/2015%20WEBINARS/Eddie%20Ricketts,%20Donaldson%20Membranes%20-%201-8-15.pdf> (consulta realizada el 27 de abril de 2014).

71. *Idem*.

de vestir atrae la pelusa.⁷² Se emplean transformadores para producir caídas de alto voltaje entre los electrodos de carga y las placas de recolección.⁷³ El campo eléctrico producido mediante el flujo de gas al pasar por la descarga de alto voltaje introduce una carga en las partículas que son atraídas hacia las placas de recolección.⁷⁴ Periódicamente se sacuden estas placas para retirar el polvo que contienen y éste se deposita en tolvas.

Además de trabajar en forma similar a su equivalente en seco, los **precipitadores electrostáticos húmedos** tienen un diseño parecido, pero difieren en cuanto a que utilizan agua para retirar las partículas. El proceso de limpieza en húmedo afecta de forma significativa la naturaleza de las partículas que pueden capturarse en los precipitadores electrostáticos húmedos, por lo cual puede manejarse una mayor variedad de contaminantes y condiciones de gases que los aparatos en seco.⁷⁵ Estos precipitadores por lo general se utilizan para “refinar” o lograr mayores reducciones de las emisiones en circunstancias particulares, o en lugares con límites sumamente estrictos en términos de control de la contaminación atmosférica. Los precipitadores electrostáticos húmedos resultan especialmente eficaces para la remoción de partículas diminutas y pueden utilizarse como filtro de pulido a la salida de un filtro de tela para aumentar la eficacia de la recolección de partículas muy pequeñas. Sin embargo, la operación de esta tecnología es sumamente costosa y no se emplea mucho en la industria de fundición secundaria de plomo.⁷⁶

Los **ciclones** generalmente se utilizan como filtro en la primera etapa para separar partículas de tamaño mediano y grande de las emisiones atmosféricas.⁷⁷ Estos elementos no logran eliminar adecuadamente las partículas pequeñas y, por ello, se utilizan junto con otras tecnologías para el control de la contaminación del aire.

Los **filtros de cerámica** se emplean para situaciones especiales que requieren la remoción de partículas pequeñas de flujos de gas a altas temperaturas. Además de ser bastante resistentes a la corrosión, los filtros de cerámica resultan eficaces para utilizarse en entornos no idóneos para filtros de tela por las altas temperaturas. Este tipo de filtro se emplea con eficacia para extraer toda una

gama de tamaños de partículas, pero se utilizan con mayor frecuencia en los casos en que hay una distribución importante (fracción elevada) de PM_{2.5} y de partículas submicrónicas.⁷⁸

Los **lavadores húmedos** se emplean en plantas de fundición secundaria de plomo sobre todo para eliminar el dióxido de azufre (SO₂) de las emisiones por chimenea antes de su descarga en la atmósfera.⁷⁹ En este caso, se emplea un mecanismo similar a una ducha para rociar las emisiones gaseosas con un líquido que contiene sustancias químicas que neutralizan los gases ácidos. En operaciones de fundición secundaria de plomo, las emisiones contienen SO₂, las cuales se neutralizan mediante la adición de un agente alcalino.

5.2.2 Consideraciones de desempeño y diseño para sistemas de control de emisiones por chimenea

La mayor parte del texto en este apartado se tomó de la publicación titulada *Summary of the Technology Review for the Hazardous Air Pollutant Control Technologies in Secondary Lead Smelting: A memorandum on EPA's analysis to identify developments in practices, processes, and control technologies for emissions sources of hazardous air pollutants from the Secondary Lead Smelting source category* [Resumen del examen tecnológico sobre las tecnologías para el control de emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos en operaciones de fundición secundaria de plomo: Memorando sobre el análisis de la EPA para identificar avances en prácticas, procesos y tecnologías de control para fuentes de emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos procedentes de la categoría de fuentes a la que corresponden las fundidoras secundarias de plomo].⁸⁰ La investigación presentada en el memorando se realizó por encargo de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) de Estados Unidos en 2011, y contiene un examen de mejores prácticas respecto de tecnologías para el control de emisiones atmosféricas generadas por fundidoras secundarias de plomo. En los casos en que se tomaron fragmentos específicos del material de la EPA,

72. Air & Waste Management Association (2007), *Fact sheet: Air pollution emission control devices for stationary sources*; disponible en: <http://events.awma.org/files_original/ControlDevicesFactSheet07.pdf?> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

73. *Idem*.

74. *Idem*.

75. B. G. Miller (2011), *Clean coal engineering technology*, Elsevier Inc., Kidlington, Oxford, en: <http://books.google.ca/books?id=b2W5S3Lb4fwC&dq=%22Wet+electrostatic+precipitators+operate+in+a+wet+environment+in+order+to+wash%22&source=gsb_navlinks_s> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

76. Eastern Research Group Inc. (2011), *Comprehensive evaluation of air quality control technologies used for lead-acid battery recycling: Final report*; disponible en: <www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/air/sip/lead/Battery_Recycling_Report_rev5-17-11.pdf> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

77. *Idem*.

78. A. M. Genaidy, R. Sequeira, T. Tolaymat, J. Kohler y M. Rinder (2009), *Evidence-based integrated environmental solutions from secondary lead smelters: Pollution prevention and waste minimization technologies and practices*, Documentos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, documento 101; disponible en: <<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=usepapapers>> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

79. B. Wilson (2002), *Environmentally sound management of used lead acid batteries in Central America and the Caribbean*; disponible en: <www.ilmc.org/Presentations/ABC/Recycling%20Used%20Lead%20Acid%20Batteries%3B%20A%20Model%20Life%20Cycle%20Approach.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

80. M. Burr, D. Lazzari y D. Greene (2011), “Draft Summary of the Technology Review for the Secondary Lead Smelting Source Category”, memorando dirigido a Chuck French, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; disponible en: <www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OAR-2011-0344-0055> (consulta realizada el 22 de mayo de 2014).

se hace la debida referencia al final del párrafo y no en cada oración.

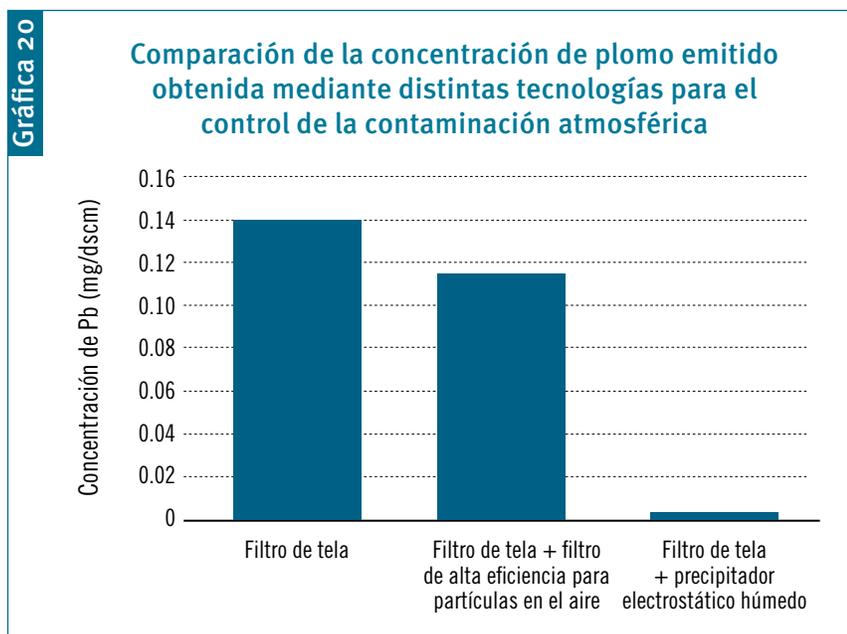
La gráfica 20 (tomada del memorando de 2011 de la EPA) muestra que la concentración promedio de plomo en la salida de la chimenea de la combinación del filtro de tela con el precipitador electrostático húmedo resultó considerablemente menor que la concentración obtenida en la salida utilizando sólo filtros de tela. En promedio, las unidades que emplearon filtros de alta eficiencia para partículas en el aire después de un filtro de tela obtuvieron concentraciones de plomo a la salida 20 por ciento más bajas que cuando se utilizaron únicamente filtros de tela. Muchos de los filtros de tela que registraron el mejor desempeño no tenían filtros de alta eficiencia para partículas en el aire.⁸¹

La investigación demostró que los factores que guardan la mejor correlación con bajas concentraciones de plomo en la salida son el tipo de filtro de tela, el material del filtro y la antigüedad de la unidad. Gracias a avances recientes en tecnología de filtros de tela, las unidades instaladas después de 1997 han registrado un desempeño considerablemente mejor que los filtros anteriores. Dependiendo de la carga de polvo y las características de los gases, los filtros con sistema de propulsión a chorro de aire y chorro invertido pueden

o no presentar un mejor desempeño que los sistemas por agitación. El material de filtración utilizado en los filtros de tela sólo afecta ligeramente la concentración de plomo en las emisiones por chimenea. La instalación correcta de las telas y el sellado adecuado de los ductos y dispositivos de transporte de polvo constituyen los factores que más inciden en el desempeño de los filtros de tela. Asimismo, sustituir las telas rasgadas, en vez de repararlas, puede mejorar considerablemente el desempeño del filtro de tela.⁸²

En la gráfica 21 se muestran emisiones de tres tipos de filtro de tela: con sistema de agitación, de chorro invertido y de propulsión a chorro de aire (los términos se refieren a la manera en que se limpian los filtros y cómo se extraen del medio filtrante las partículas contaminadas por plomo). Los resultados muestran que los filtros de tela del tipo de propulsión a chorro de aire registran las concentraciones de plomo más bajas, seguidos por los de chorro de aire invertido y aquellos con sistemas de agitación.

En la gráfica 22 se presenta una comparación de las emisiones de plomo provenientes de filtros con distintos medios filtrantes. Se observa, además, que el medio de poliéster registró las concentraciones de emisiones más bajas, mientras que el Teflón presentó los niveles más altos.⁸³



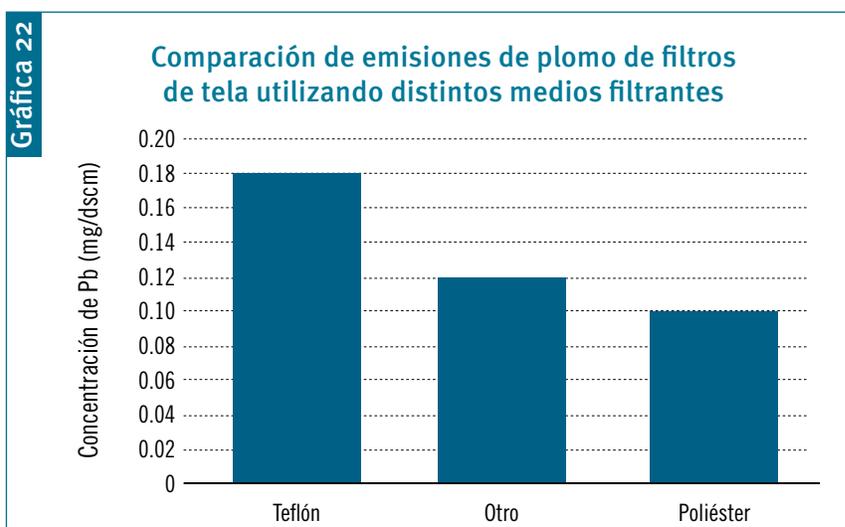
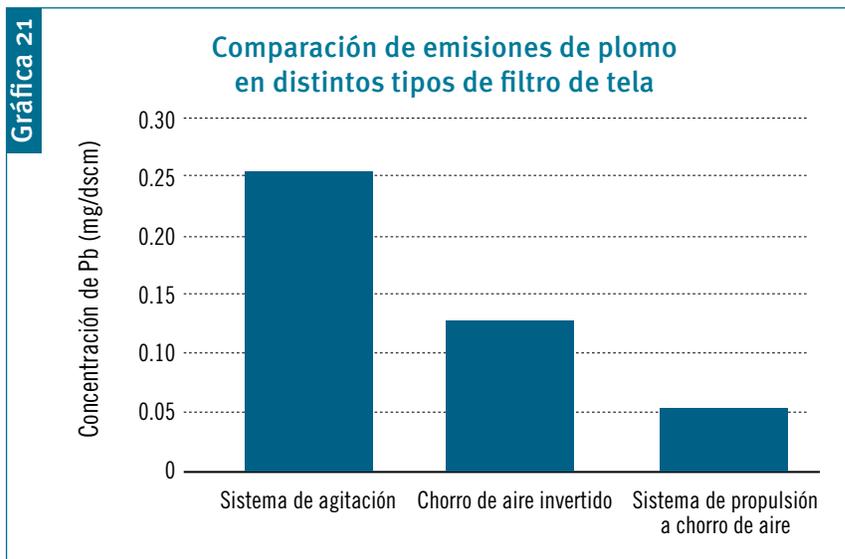
Nota: Pb = plomo; mg = miligramos; dscm = metro cúbico estándar seco.

Fuente: M. Burr, D. Lazzari y D. Greene (2011), "Draft Summary of the Technology Review for the Secondary Lead Smelting Source Category", memorando dirigido a Chuck French, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; disponible en: <www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OAR-2011-0344-0055>.

81. *Idem.*

82. *Idem.*

83. *Idem.*



Nota: Los datos empleados para este análisis emanan de un estudio sobre operaciones de fundición secundaria de plomo en Estados Unidos. Por esa razón, no es claro si los resultados corresponden a telas de Teflón o a telas recubiertas con Teflón.

Pb = plomo; mg = miligramos; dscm = metro cúbico estándar seco.

Fuente: M. Burr, D. Lazzari y D. Greene (2011), "Draft Summary of the Technology Review for the Secondary Lead Smelting Source Category", memorando dirigido a Chuck French, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; disponible en: <www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OAR-2011-0344-0055>.

5.2.3 Diseño y funcionamiento de los filtros de tela⁸⁴

Los filtros de tela o manga están diseñados en torno al uso de tubos, envolturas o cartuchos de filtros de tela de ingeniería en los procesos de captación, separación y filtración de polvo (véase la gráfica 23). El diseño de estos filtros puede ajustarse a prácticamente toda aplicación en la que se produce polvo y en casi cualquier circunstancia. Normalmente se emplean para controlar distintos puntos de emisión en operaciones de fundición y refinación de plomo,

entre los que se incluyen hornos de fundición, calderas, y puntos de recarga y válvulas de hornos de fundición.

La eficacia de los filtros se ve afectada por numerosos factores de diseño y parámetros operativos, entre los que se incluyen el material de la manga, la caída de presión, la relación aire-tela, el tipo de limpieza aplicada y la temperatura de operación. Se utilizan diferentes tipos de medios filtrantes, a saber: papel, algodón, poliéster, fibra de vidrio, Teflón, Gore-Tex y, en algunas aplicaciones, acero inoxidable centrifugado.

84. IHS Engineering360 (s/f), "Baghouses and baghouse filters information", en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

Los sistemas de detección de fugas de mangas se utilizan para localizar fugas en las mangas de los filtros o en otras áreas dentro del sistema filtrante. Cuando se perciben cambios en la presión del aire o un aumento o disminución en el flujo de aire, es posible identificar rápidamente cuándo un filtro de manga no está desempeñándose eficazmente. En algunos lugares donde se aplican rigurosas normas de calidad del aire, la detección de partículas también se utiliza con el mismo fin.

Los filtros de manga consisten en un medio filtrante (bolsa) suspendido al interior de un compartimento o cámara. Los ventiladores en la parte exterior de la cámara o compartimento del medio filtrante extraen el aire contaminado a través de los filtros —para lo que utilizan presión negativa—, capturando las partículas suspendidas y sólidos en las mangas o medio filtrante y luego descargan aire limpio por la salida. En el proceso de filtración se forma una capa de partículas suspendidas, llamada “torta de polvo”, cuyo grosor continúa creciendo hasta que la presión diferencial provoca que la recolección en el captador o punto de ventilación disminuya; es en este punto cuando se limpian las mangas. Dependiendo de la configuración del filtro, la limpieza de las mangas puede hacerse durante la operación o cuando no está en funcionamiento.⁸⁵

El polvo recogido en los filtros de manga contiene cantidades suficientes de plomo para reciclar en el proceso de fundición de plomo. En la mayoría de las telas utilizadas en los filtros (aquellas sin recubrimiento de membrana) es precisamente la torta de polvo la que realiza la mayor parte del filtrado de las partículas suspendidas en el flujo de aire. Entre más gruesa sea esta torta, mayor será su eficacia de recolección y la caída de presión debido a que los canales de paso de la tela se hacen más finos y, por lo tanto, más restringidos. Un factor de fundamental importancia consiste en encontrar un equilibrio adecuado entre la eficacia de recolección y la eficiencia energética. Una limpieza muy a fondo o demasiado frecuente puede producir una eficacia de recolección menor y la posibilidad de que se reduzca la vida útil de las mangas.⁸⁶ Una limpieza insuficiente, sin embargo, supondrá una mayor demanda de energía para los ventiladores (esto es, como consecuencia de elevadas caídas de presión) o una recolección de emisiones deficiente.

Aunque el diseño de los filtros de manga es normalmente responsabilidad del fabricante, tener un entendimiento básico de los criterios más importantes en el diseño es de gran utilidad para los operadores de establecimientos

85. *Idem.*

86. *Idem.*

87. Neundorfer, Inc. (s/f), “Knowledge base: Baghouse / fabric filter”, en: <www.neundorfer.com/knowledge_base/baghouse_fabric_filters.aspx> (consulta realizada el 27 de abril de 2015).

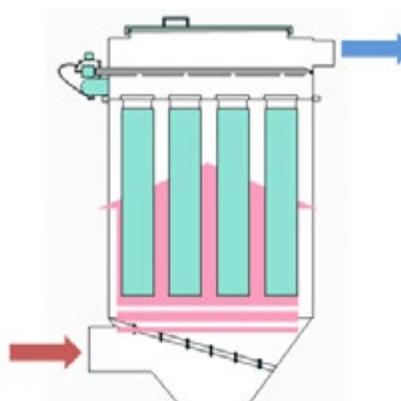
88. *Idem.*

89. *Idem.*

90. *Idem.*

Gráfica 23

Diagrama de operación del filtro de tela o manga



Nota: La flecha roja (abajo) indica el aire sucio y la flecha azul (arriba) indica el aire limpio (filtrado).

Fuente: Neundorfer, Inc. (s/f), “Knowledge base: Baghouse / fabric filter”; disponible en: <www.neundorfer.com/knowledge_base/baghouse_fabric_filters.aspx>.

al momento de tomar una decisión informada sobre qué tipo de filtro de manga utilizar.⁸⁷

La relación **aire-tela** —también denominada velocidad de filtración superficial— es el criterio más importante a tener en cuenta en el diseño de los filtros de manga. Este valor corresponde al flujo volumétrico de aire en metros cúbicos por minuto (m^3/min), que entra por el recolector de polvo, dividido entre la superficie total de la tela (m^2) en los filtros. El resultado se expresa en unidades de velocidad (m/min). Esta relación determina la capacidad de circulación de aire en el filtro y debe optimizarse para ajustar el tamaño del equipo (costo de capital) respecto de la caída de presión (costos de operación).⁸⁸

La **presión diferencial**, o caída de presión, es una medida de la resistencia al flujo gaseoso en el sistema. Entre mayor sea la caída de presión en un filtro, más alto será el consumo de energía para mover el aire a través del sistema, lo que resulta en un incremento en los costos de energía. La presión diferencial total se calcula como la suma de las caídas de presión individuales dependiendo de la tela, la capa de partículas (torta de polvo) y la estructura del filtro. Una caída de presión extraordinariamente elevada en el filtro puede deberse a numerosos factores relacionados con un diseño o configuración deficiente, a saber:

- una relación aire-tela excesiva;

- adhesión de partículas causada por demasiada humedad en el sistema;
- bolsas filtrantes totalmente cerradas debido a una limpieza sin el suficiente vigor.⁸⁹

Medio filtrante de tela (material de la manga)⁹⁰

Otro aspecto importante del diseño del filtro es el tipo de material de que están hechas las mangas o el medio filtrante, ya que determina la vida y eficacia de la manga del filtro. Las mangas o medios filtrantes se componen de uno o varios materiales distintos. En el cuadro 7 se resumen las propiedades de los materiales utilizados en la elaboración de mangas o medios filtrantes.

El medio filtrante de tela debe ser compatible física y químicamente con la corriente del gas y las condiciones del sistema. Al seleccionar entre los distintos tipos de material filtrante o de manga, los operadores de planta deberán tomar en cuenta los factores siguientes:

- tamaño de partícula;
- temperatura de operación del filtro;
- compatibilidad con la química de la corriente de gas, a saber:
 - niveles de humedad, y
 - acidez o alcalinidad;
- naturaleza electrostática de las partículas;
- grado de abrasión de las partículas;
- relación aire-tela;
- resistencia de la tela a la aplicación de una limpieza vigorosa;
- permeabilidad de la tela para permitir el paso de aire;

- flexibilidad de la tela para permitir ondulación o estiramiento;
- costo de la tela.

Además del tipo de material, si la tela o material es tejido afectará la idoneidad de los sistemas de filtros en distintas aplicaciones. La gráfica 22 (en el apartado 5.2.2, *supra*) muestra el desempeño relativamente superior de las mangas de poliéster en operaciones de fundición de plomo. Los materiales tejidos contienen telas entrelazadas en patrones uniformes que se repiten. Este tipo de configuración se usa en métodos de limpieza poco vigorosos, como los sistemas de aire invertido y agitadores de menor intensidad. El espacio entre el tejido afecta la resistencia de la tela y su permeabilidad o la eficacia de captación del filtro. Los materiales no tejidos consisten en telas dispuestas al azar adheridas a un soporte tejido. Este tipo de configuración resistente se requiere para técnicas de limpieza vigorosa, como en los sistemas de propulsión a chorro o agitadores enérgicos. Debe reconocerse que los resultados dependerán de las características del polvo y que, en algunos casos, tal vez sea preferible utilizar un material tipo fieltro con membrana.

Mecanismo de limpieza de los filtros⁹¹

Los filtros se clasifican en función de los métodos que se utilizan para limpiar las mangas. Existen tres diferentes tipos de mecanismos de limpieza:

- aire invertido;
- agitador mecánico, y
- propulsión a chorro.

Cuadro 7: Indicadores para la selección de mangas o medios filtrantes

Tipo de tela	Límite de temperatura (calor seco únicamente) °F / °C	Resistencia a ácidos	Resistencia a la sosa cáustica	Resistencia a hidrólisis	Resistencia a oxidación
Algodón	180°/85°	deficiente	buena	buena	buena
PVC	150°/65°	excelente	excelente	excelente	excelente
Polipropileno	190°/90°	excelente	excelente	excelente	deficiente
Nailon	230°/110°	deficiente	excelente	buena	buena
Homopolímero acrílico	257°/125°	buena	buena	buena	regular
Poliéster	300°/150°	buena	deficiente	deficiente	buena
Sulfuro de polifenileno (PPS)	375°/190°	excelente	excelente	excelente	regular
Poliamida aromática	400°/205°	deficiente	excelente	deficiente	regular
Poliimida	450°/235°	regular	regular	buena	buena
Politetrafluoro-etileno (PTFE)	500°/260°	excelente	excelente	excelente	excelente
Fibra de vidrio	550°/285°	buena	regular	excelente	excelente

Fuente: IHS Engineering360 (s/f), "Baghouses and baghouse filters information", en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.

89. *Idem.*

90. *Idem.*

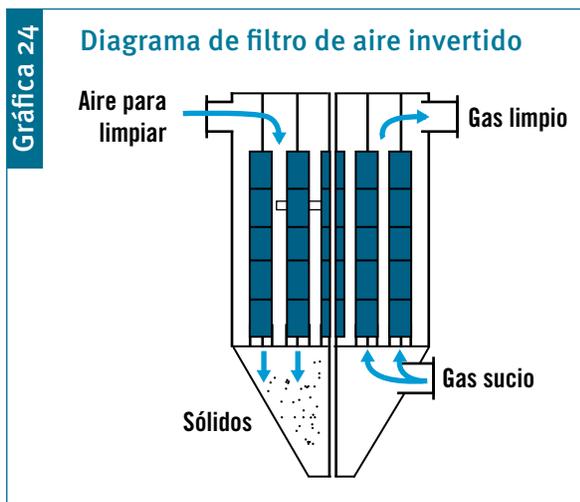
90. *Idem.*

91. IHS Engineering360 (s/f), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 84, *supra*.

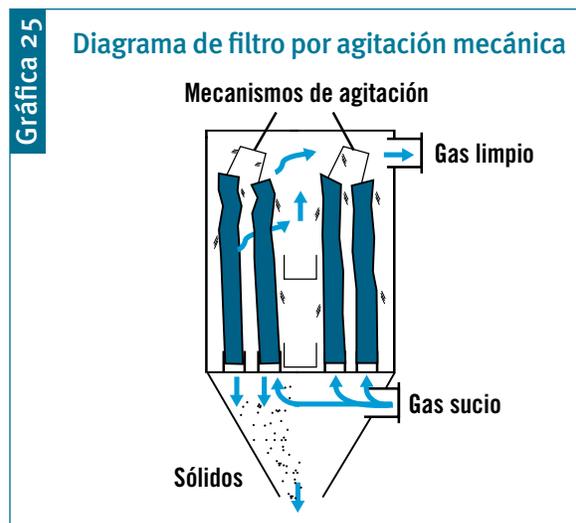
Cada método ofrece ventajas según las aplicaciones. Es importante señalar que, cuando se selecciona un sistema de filtros, algunos incorporan una combinación de los métodos antes descritos (por ejemplo, el sistema de agitación con ayuda de aire invertido); otros utilizan tecnología de bocina sónica, la cual recurre a ondas de sonido de alta intensidad que proporcionan energía vibratoria adicional para desalojar las partículas.

La gráfica 24 presenta un diagrama de filtro de aire invertido, y en el cuadro 8 se resume información sobre su funcionamiento, así como algunas de las ventajas y desventajas de su diseño.

La gráfica 25 presenta el diagrama de un filtro por agitación mecánica y en el cuadro 9 se resume cómo trabaja, al igual que las ventajas y desventajas de su diseño.



Fuente: IHS Engineering360 (s/f), "Baghouses and baghouse filters information", en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.



Fuente: IHS Engineering360 (s/f), "Baghouses and baghouse filters information", en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.

Cuadro 8: Filtros de aire invertido: diseño y funcionamiento, ventajas y desventajas

Características de diseño	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Utilizan flujos continuos de aire a baja presión para remover los sólidos retenidos. Las bolsas se limpian mediante retrolavado (invirtiendo el flujo de aire) dentro de una cámara después de cerrar el flujo de gas sucio y aislando el compartimento. Relación aire-tela recomendada: 1.75:1 a 2.5:1. 	<ul style="list-style-type: none"> Normalmente se separan por compartimentos, lo que permite limpiar por secciones sin tener que apagar todo el sistema. La acción de limpieza es muy suave, lo que alarga la vida de la manga. Se prefiere para altas temperaturas debido a la acción de limpieza suave. 	<ul style="list-style-type: none"> El aire de limpieza debe estar limpio y seco. No proporciona medios efectivos para remover la acumulación de polvo residual. Requiere más mantenimiento que otros tipos debido a la redispersión del polvo en las mangas.

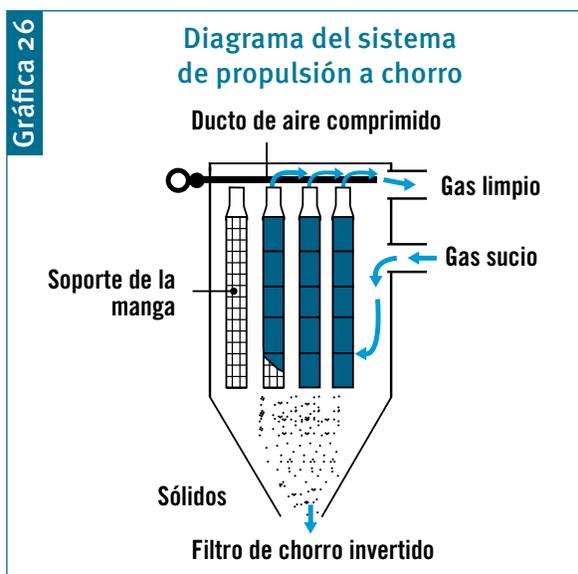
Fuente: IHS Engineering360 (s/f), "Baghouses and baghouse filters information", en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.

Cuadro 9: Filtros de agitación mecánica: diseño y funcionamiento, ventajas y desventajas

Características de diseño	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Utilizan la agitación mecánica o acciones vibratorias para desprender la torta de filtrado. El fondo de las bolsas se fija a una placa y la parte superior se sujeta a barras horizontales. Accionadas manualmente o por motor, estas barras vibran para producir ondas en las bolsas, que se agitan y desprenden la materia filtrada. Relación aire-tela recomendada: 2.0:1 a 2.5:1. 	<ul style="list-style-type: none"> Su diseño y operación son simples. Pueden construirse con compartimentos de manera que se puedan limpiar por secciones sin interrumpir el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> No pueden operar a temperaturas superiores a los 500 °F (260 °C). Suponen mayor consumo de energía y requieren más tiempo en comparación con otros métodos de limpieza. Basta una mínima presión positiva en las bolsas para reducir considerablemente la eficacia de la recolección. Son de gran tamaño y se requieren grandes espacios. Requieren una gran cantidad de bolsas.

Fuente: IHS Engineering360 (s/f), "Baghouses and baghouse filters information", en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.

La gráfica 26 presenta un diagrama de filtro con sistema de propulsión a chorro o de chorro invertido. En el cuadro 10 se describe el funcionamiento del sistema y se mencionan ventajas y desventajas de su diseño.



Fuente: IHS Engineering360 (s/f), “Baghouses and baghouse filters information”, en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.

Parámetros de rendimiento de los sistemas⁹²

Las especificaciones de rendimiento que es más importante tener en cuenta cuando se ha de seleccionar un filtro de manga son el flujo de aire nominal y el tamaño mínimo de partícula.

El **flujo de aire o tasa de flujo volumétrico** es el rango aceptable de flujo de gas a través del filtro, y se mide en metros cúbicos por minuto (m^3/min) en Canadá y México, y en pies cúbicos por minuto (cfm) en Estados Unidos. Un incremento en las tasas de flujo del gas causa un incremento en la presión de operación y un aumento en la relación aire a tela. Estos incrementos

se traducen en limpiezas más frecuentes y una mayor velocidad de las partículas, factores ambos que reducen la vida de la bolsa.

El **tamaño mínimo de partícula** señala el diámetro mínimo de partículas o materia particulada que el filtro es capaz de retener y se mide en micrómetros (μm). Esta medida define la capacidad de filtrado del filtro de manga.

Otros parámetros de operación importantes a considerar comprenden lo siguiente:

- **Temperatura del gas.** Las telas están diseñadas para operar dentro de cierto rango de temperatura y las fluctuaciones fuera de estos rangos (aunque sea por breves periodos de tiempo) debilitan, dañan o destruyen las bolsas.
- **Caídas de presión.** Los filtros funcionan mejor dentro de cierto rango de caídas de presión. Este rango se basa en un caudal volumétrico específico del gas.

La opacidad mide la cantidad de dispersión de la luz que causan las partículas en una corriente de gas. Aunque no es una medición directa de la concentración de partículas, es un buen indicador visual subjetivo de la cantidad de polvo que sale del filtro.

5.2.4 Precipitadores electrostáticos y precipitadores electrostáticos húmedos: diseño y funcionamiento

Los precipitadores electrostáticos gozan de una amplia aceptación como sistema eficaz para el control de emisiones de partículas. Para funcionar, estos sistemas crean un campo eléctrico de alto voltaje (corona) alrededor de los electrodos de descarga, lo que ocasiona que los gases y las partículas de polvo que transportan se ionicen. Una vez cargadas, estas partículas de polvo migran y se depositan en placas de recolección neutras desde donde se desprenden por medio de golpeteos periódicos y se envían a tolvas para su eliminación.⁹³ La gráfica 27 muestra la distribución de un precipitador electrostático típico.

Cuadro 10: Filtros de propulsión a chorro: diseño y operación, ventajas y desventajas

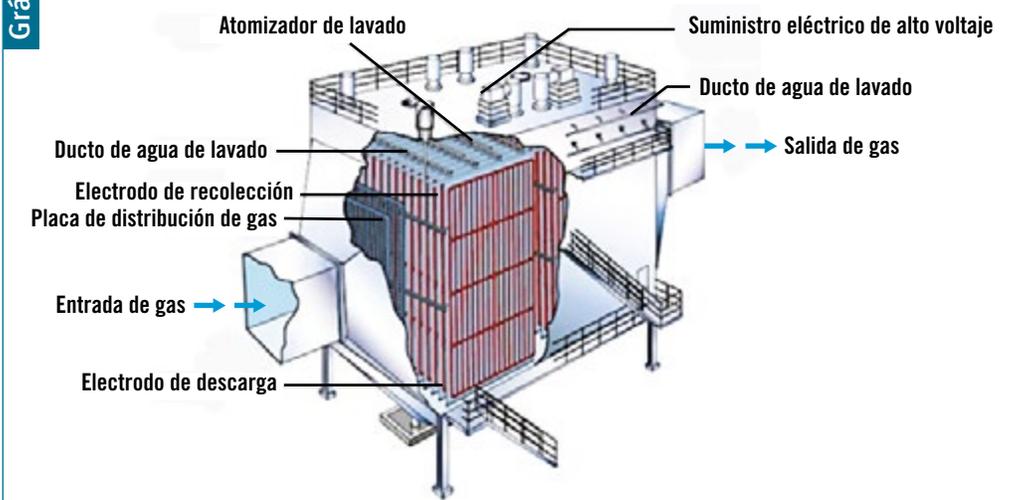
Características de diseño	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza corrientes comprimidas de aire a alta presión para remover las partículas • Durante la limpieza, pulsos breves de aire se lanzan a través de la bolsa desprendiendo los sólidos que se recolectan en una tolva en la parte de abajo • Relación aire-tela recomendada: 3.25:1 a 4.0:1. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede limpiarse mientras el sistema está en operación • El proceso de limpieza es más completo que el de los filtros con sistema de agitación o de aire invertido, lo cual permite una mayor vida útil de las bolsas • Opera con menores caídas de presión y requiere menos espacio 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita aire seco comprimido • Requiere telas especiales para temperaturas más altas • No permite niveles de humedad elevados ni humedad en los gases de salida

Fuente: IHS Engineering360 (s/f), “Baghouses and baghouse filters information”, en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.

92. *Idem.*

93. Henan Kefan Mining Machinery Co., Ltd. (2013), “Electrostatic Precipitator”, en: <www.kfroastingmachine.com/Auxiliary_Equipment/Electrostatic-precipitator.html> (consulta realizada el 1 de septiembre de 2014).

Distribución y componentes principales de un precipitador electrostático típico



Fuente: Henan Kefan Mining Machinery Co., Ltd. (2013), "Electrostatic Precipitator", en: <www.kfroastingmachine.com/Auxiliary_Equipment/Electrostatic-precipitator.html>.

La precipitación electrostática consta de tres pasos:⁹⁴

- Carga de partículas a recolectar por medio de descargas eléctricas de alto voltaje.
- Recolección de partículas de una superficie de electrodos de recolección con carga opuesta.
- Limpieza de la superficie del electrodo de recolección.

Precipitadores electrostáticos secos⁹⁵

Los precipitadores electrostáticos secos comprenden una serie de placas verticales paralelas que actúan como electrodos de recolección, con una serie de electrodos de descarga entre las placas que conservan un espacio entre sí. Al pasar el gas de combustión contaminado a través del precipitador electrostático, se forman iones cargados negativamente cerca de los bordes afilados del electrodo de ionización (descarga de la corona).

Estos iones con carga negativa avanzan hacia la superficie de electrodos de recolección cargados positivamente y cargan las partículas contaminadas que pasan a través del precipitador electrostático. La placa de recolección cargada positivamente atrae estas partículas cargadas y las acumula en la superficie. Las partículas recolectadas se acumulan en la superficie de recolección seca y forman una capa de partículas o "torta" que tiene propiedades aislantes.

La resistividad se convierte en un factor limitante para la potencia eléctrica que puede alcanzarse dentro de un precipitador electrostático seco. Este sistema tiene un

mejor desempeño cuando los depósitos de partículas en las placas de recolección presentan una resistividad por arriba de los 107 ohm-centímetro (ohm-cm), pero de menos de 2×10^{10} ohm-cm. Cuando la resistividad es menor que 107 ohm-cm, la fuerza electrostática que mantiene las partículas de polvo sujetas a la capa de polvo también es demasiado baja y la reincorporación de partículas al gas residual puede convertirse en un serio problema y mermar la eficacia. Si la resistividad es de más de 2×10^{10} ohm-cm, la caída de voltaje a través de la capa de partículas hacia el electrodo a tierra se vuelve significativa, lo cual reduce la potencia del campo en el espacio entre el electrodo ionizante y la parte superior de la capa de polvo. Esto puede ocasionar una falla en el campo eléctrico y formar una "corona invertida", lo que reduce la eficacia.

Para desprender el polvo de la superficie de electrodos de recolección y encauzarlo a la tolva en la parte inferior, se emplean sacudidores mecánicos o bocinas sónicas. Sin embargo, una parte de las partículas queda suspendida en el aire y se reincorpora a la corriente de gas. Esta reincorporación secundaria requiere el uso de otro campo de precipitador electrostático seco para recolectar las partículas reincorporadas junto con aquellas que no se recolectaron en el primer campo.

Los precipitadores electrostáticos secos se sirven de métodos mecánicos de recolección para limpiar las placas, lo que implica servicio de mantenimiento e interrupción periódica de las operaciones.

94. R. Altman y W. Buckley (2003), *Application of wet electrostatic precipitation technology in the utility industry for multiple pollutant control including mercury*, ponencia presentada en el marco de la conferencia Coal GEN, Columbus, Ohio, disponible en: <http://c.ygcdn.com/sites/www.icac.com/resource/resmgr/MercuryControl_PDF/s/CoalGen03_Croll_Hg.pdf> (consulta realizada el 19 de abril de 2014).

95. *Idem*.

Precipitadores electrostáticos húmedos⁹⁶

Los precipitadores electrostáticos húmedos recurren al mismo proceso de tres pasos que los equipos secos: carga, recolección y limpieza de las partículas. No obstante, la limpieza del electrodo de recolección se lleva a cabo lavando la superficie de recolección con líquido, en vez de sacudir mecánicamente las placas de recolección.

El mecanismo de limpieza afecta la naturaleza de las partículas que es posible recoger, la eficacia en el des-empañamiento que puede alcanzarse y los parámetros de diseño y mantenimiento operativo del equipo.

Puesto que los precipitadores electrostáticos húmedos funcionan en un ambiente húmedo para lavar las superficies de recolección, tienen capacidad para manejar una mayor diversidad de contaminantes y condiciones de gases que los precipitadores electrostáticos secos. Asimismo, dado que los precipitadores electrostáticos húmedos continuamente humedecen el área de superficie de recolección y crean lodos que resbalan por la pared de recolección hacia el tanque de reciclaje, en la pared de recolección pocas veces se forma una capa de torta de partículas. Ello reduce la necesidad de contar con múltiples campos, como en un precipitador electrostático seco, donde deben añadirse campos para recoger las partículas reincorporadas del campo anterior.

Es por ello que no se presenta un deterioro del campo eléctrico debido a la resistividad, y los niveles de potencia dentro de un precipitador húmedo pueden ser radicalmente superiores a los de uno seco. La capacidad de inyectar una potencia eléctrica considerablemente mayor dentro del precipitador electrostático húmedo y la eliminación de la reincorporación secundaria son las razones más importantes por las cuales un precipitador electrostático húmedo puede retener con mayor eficacia partículas submicrónicas (de tamaño inferior a un micrómetro [μm]).

En los precipitadores electrostáticos húmedos, el mecanismo de distribución del líquido de irrigación es fundamental para mantener una humidificación completa de la superficie de electrodos de recolección y evitar problemas de corrosión sin degradar el sistema eléctrico.

Estos sistemas tienen la capacidad de remover partículas, gotas y vapores de hasta $0.01 \mu\text{m}$ de tamaño con una eficacia de más de 99.9 por ciento.⁹⁷

La gráfica 28 presenta una fotografía de un precipitador electrostático húmedo típico.

96. *Idem.*

97. *Idem.*

98. B. Wilson (2002), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 79, *supra*.

99. *Idem.*

100. *Idem.*

5.2.5 Manejo del dióxido de azufre

Las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) se forman cuando cantidades traza de ácido electrolítico usado que permanecen en el plomo se introducen al horno. Desde principios de la década de 1990, las emisiones de dióxido de azufre —por su contribución a la lluvia ácida— han sido objeto de estrictas medidas de control por un número cada vez mayor de países. Existen en el mercado numerosas tecnologías, lo mismo secas que húmedas, que permiten ajustar el contenido húmedo de plomo introducido en el proceso.

Una opción es utilizar lavadores húmedos donde el carbonato de calcio reacciona con el dióxido de azufre para producir yeso. Los sistemas de lavado en húmedo se utilizan con frecuencia en la industria de fundición secundaria de plomo para eliminar el SO_2 en bajas concentraciones, pero también se emplean para extraer partículas y controlar la temperatura (mediante enfriamiento adiabático) de los gases que ingresan al sistema de filtración de manga.⁹⁸ Aunque la tecnología básica utilizada en estas aplicaciones es similar, los criterios de diseño para la remoción de partículas y componentes gaseosos varían mucho.⁹⁹ Por ello los sistemas de lavado en húmedo muchas veces suponen un punto intermedio entre objetivos contrapuestos.¹⁰⁰ Dependiendo de la aplicación prioritaria de que se trate, pueden producirse efectos muy marcados entre los distintos medios, como la generación de aguas residuales adicionales.

Gráfica 28

Precipitador electrostático húmedo



Fuente: Envitech Inc. (s/f), “Wet electrostatic precipitator (WESP)”, en: <www.envitechinc.com/wet-electrostatic-precipitator/>.

5.2.6 Prácticas de mantenimiento para controlar emisiones por chimenea

En las plantas de procesamiento secundario de plomo es posible manejar emisiones por chimenea mediante un programa adecuado de inspección y mantenimiento. Las inspecciones y el mantenimiento rutinario deberán comprender, por lo menos, las siguientes tareas:¹⁰¹

- Monitoreo diario de caídas de presión en cada una de las celdas del filtro.
- Confirmación semanal —por medio de inspecciones visuales o medios equivalentes— de la remoción del polvo de las tolvas, con el fin de asegurar el funcionamiento adecuado de los mecanismos de remoción.
- Verificación diaria de la fuente de aire comprimido para los equipos de chorro pulsante.
- Adopción del método adecuado para monitorear los ciclos de limpieza que aseguren una operación eficiente.
- Verificación mensual, por medio visual u otro equivalente, de los mecanismos de limpieza de las mangas para un adecuado funcionamiento.
- Verificación mensual de la tensión de las mangas en equipos de aire inverso o agitadores que no usen dispositivos con resortes para autoajuste.
- Confirmación trimestral de la integridad física del filtro, por medio de inspecciones visuales de su interior, para descartar fugas de aire.
- Inspección trimestral, por medios visuales o con detectores de vibración, de los ventiladores para determinar posible desgaste, acumulación de material y corrosión.

Los procedimientos de mantenimiento de los filtros deberán comprender, como mínimo, un programa de mantenimiento preventivo que concuerde con las instrucciones del fabricante tanto para mantenimiento rutinario como de largo plazo y que incluya los pasos siguientes:¹⁰²

- Inspección del filtro para detectar posibles fugas de aire, elementos del filtro rasgados o rotos, o cualquier otro mal funcionamiento que pueda ocasionar mayores emisiones.
- Sellado de bolsas defectuosas o material filtrante rasgado.
- Reemplazo de mangas defectuosas o material filtrante rasgado, o reparación del dispositivo de control.
- Sellado de un compartimento defectuoso del filtro.

101. US EPA, 40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants from Secondary Lead Smelting: Final Rule, United States Federal Register, en: <www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a28114ea97ef4a673beae8e765e6c698&nnode=pt40.10.63&rgn=div5#sp40.10.63.x> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

102. *Idem.*

103. *Idem.*

104. *Idem.*

- Suspensión del proceso que produzca emisiones de partículas.

Se deberán verificar equipos que cuenten con filtros de alta eficiencia para partículas en el aire (filtros HEPA, del inglés: *high-efficiency particulate air*) como filtro secundario para el control de emisiones y deberá registrarse diariamente la caída de presión en cada sistema de filtros HEPA. Si la caída de presión se sale de los límites fijados por el fabricante, deberán tomarse las medidas correctivas mencionadas anteriormente.

Si se emplea un lavador húmedo para controlar las emisiones de contaminantes metálicos atmosféricos peligrosos de un respiradero del proceso, deberán monitorearse, por lo menos cada hora, la caída de presión y el flujo de agua. Ni la caída de presión ni el flujo de agua deberán caer por debajo del 70 por ciento de las respectivas mediciones en las pruebas de desempeño iniciales.

5.3 Control de emisiones fugitivas en instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: tecnologías y prácticas de manejo ambientalmente adecuado

Las emisiones fugitivas son, como su nombre lo indica, aquellas que no se someten a ningún tratamiento antes de descargarse o escapar a la atmósfera. Este tipo de emisiones representa una importante fuente de contaminación de las plantas de fundición secundaria de plomo. La fuente de emisiones fugitivas de polvo se refiere a un punto de origen estacionario de emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos en una planta de fundición secundaria de plomo que no está asociado con un respiradero o chimenea específico de un proceso.¹⁰³ Las fuentes de polvo fugitivo comprenden, entre otras: vialidades, pilas de almacenamiento, puntos de transferencia de manejo de materiales con plomo, así como áreas de transporte, de almacenamiento y otras de procesos, y edificios.¹⁰⁴ Ello puede ocurrir en instalaciones cerradas donde, al abrirse las puertas de acceso, el aire del edificio escapa al medio ambiente sin ningún mecanismo de remoción de partículas de plomo que se aplique mediante un sistema de tratamiento del aire.

Los sistemas de control para mitigar en todo lo posible emisiones fugitivas son fundamentales para un MAA en fundidoras secundarias de plomo.

5.3.1 Control de emisiones fugitivas

Si bien existen numerosas formas de controlar las emisiones fugitivas, una práctica óptima sería cerrando aquellas áreas donde se puedan originar. Las categorías de espacios cerrados enumeradas en el cuadro 11 representan

Cuadro 11: Definición de las distintas categorías de espacios cerrados

Categoría de espacio cerrado	Descripción
Espacio cerrado de nivel 1	Las instalaciones se valen principalmente de: <ul style="list-style-type: none"> • captadores cerrados para retener emisiones fugitivas de procesos • espacios parcialmente cerrados con eliminación húmeda para unidades de proceso y áreas de almacenamiento
Espacio cerrado de nivel 2	Además de los captadores cerrados para el control de fuentes de emisiones fugitivas de procesos, las instalaciones emplean, generalmente: <ul style="list-style-type: none"> • una combinación de espacios totalmente cerrados con presión negativa • espacios parcialmente cerrados con eliminación húmeda para unidades de procesos y áreas de almacenamiento
Espacio cerrado de nivel 3	Además de los captadores cerrados para el control de fuentes de emisiones fugitivas de procesos, las instalaciones emplean, generalmente: <ul style="list-style-type: none"> • espacios totalmente cerrados con presión negativa para todas las unidades de procesos y áreas de almacenamiento

Fuente: M. Burr, D. Lazzari y D. Greene (2011), "Draft Summary of the Technology Review for the Secondary Lead Smelting Source Category", memorando dirigido a Chuck French, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; disponible en: <www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OAR-2011-0344-0055>.

los niveles de control generales que se encuentran en las plantas de fundición secundaria en Estados Unidos.

El requerimiento mínimo para el control de emisiones fugitivas corresponde al nivel 1, en el que:

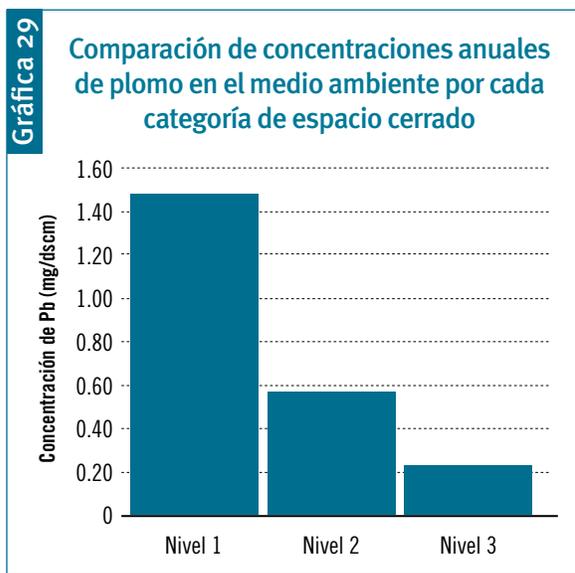
- Los caminos de las plantas se limpian dos veces por día.
- En el área de fragmentación de las baterías, las pilas de almacenamiento se encierran parcialmente y las superficies pavimentadas se limpian dos veces al día con medios húmedos.
- Las áreas de hornos, refinación y fundición se aíslan parcialmente y las superficies pavimentadas se lavan.
- Las áreas de almacenamiento y manejo de material se encierran parcialmente y se humedecen para eliminar polvos, además de que cuentan con estaciones de lavado de vehículos en las salidas.¹⁰⁵

En apego a la legislación estadounidense, entre las áreas de procesos que deben estar totalmente cerradas figuran las siguientes:¹⁰⁶

- hornos de fundición;
- áreas de recarga de hornos;
- válvulas para plomo;
- válvulas para escoria;
- moldes durante el vaciado;
- fragmentadores de baterías;
- calderas de refinación;
- áreas de fundido;
- secadores;
- áreas de manejo de materiales, y

- áreas donde se procesa el polvo de los filtros de tela, los residuos barridos o los filtros de tela usados.

La gráfica 29 muestra las concentraciones promedio anuales de plomo en ubicaciones de monitoreo ambiental cercanas a plantas en Estados Unidos, con base en la categoría de espacio cerrado asignado a cada instalación.¹⁰⁷ El análisis muestra que las plantas con espacios cerrados de nivel 3 que instrumentan las prácticas de trabajo antes descritas alcanzan por lo general niveles considerablemente menores en términos de concentración de plomo procedente de emisiones fugitivas en los alrededores de sus instalaciones.



Nota: Pb = plomo; mg = miligramos; dscm = metro cúbico estándar seco.

Fuente: M. Burr, D. Lazzari y D. Greene (2011), "Draft Summary of the Technology Review for the Secondary Lead Smelting Source Category", memorando dirigido a Chuck French, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; disponible en: <www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OAR-2011-0344-0055>.

105. Burr *et al.* (2011), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 80, *supra*.

106. US EPA, *40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards...* Véase referencia completa en nota 101, *supra*.

107. La gráfica muestra los datos de concentración para 13 plantas estadounidenses, tomados de la EPA, en: <www.epa.gov/airdata>.



5.3.2 Estrategias de manejo ambientalmente adecuado para el control de emisiones fugitivas

A continuación se describen los puntos que es necesario atender en la práctica de un MAA para mitigar las emisiones fugitivas en instalaciones de procesamiento secundario de plomo.

Áreas de almacenamiento¹⁰⁸

- Estas áreas deberán confinarse a lugares cerrados para minimizar la contaminación de zonas aledañas con polvo que contenga partículas de plomo.
- Cuando no se disponga de un espacio cerrado, será preciso instrumentar medidas para controlar las emisiones fugitivas y minimizar así el esparcimiento de partículas de polvo transportadas por el viento.
 - Mantener un bajo nivel de humedad en toda la materia prima o en las pastas de plomo expuestas evitará la generación excesiva de polvo cuando se mueva el material dentro de las instalaciones.
 - Inspeccionar una vez a la semana las baterías almacenadas que no estén cubiertas y mover hacia un lugar encerrado aquellas que presenten alguna rotura.
- Deberán limpiarse los residuos de las baterías rotas lo más pronto posible.
- Cuando el área de almacenamiento se encuentra dentro de un edificio cerrado, deberá regularse el intercambio de aire al interior de las áreas cerradas en donde se almacenan baterías y materia prima con plomo.
- Por lo general se utilizan filtros de tela o de manga (según lo descrito en el apartado 5.2, *supra*) para el control de la contaminación atmosférica en áreas de almacenamiento cerradas.

Mejores prácticas de limpieza en todas las operaciones de una planta¹⁰⁹

- Es preciso limpiar mediante un lavado húmedo o utilizando un sistema central de aspiración equipado con un filtro de alta eficiencia para partículas en el

aire y control de descarga; debe limpiarse de manera que no se genere polvo fugitivo de plomo.

- En caso de detectarse una liberación accidental de polvo de plomo, deberán limpiarse inmediatamente todas las áreas afectadas dentro de la primera hora de ocurrido el percance.
- Todas las actividades de mantenimiento de equipo y otros elementos que generan polvo de plomo deberán llevarse a cabo de manera que se minimicen las emisiones de polvo fugitivo. Como mínimo, deberán observarse los siguientes puntos:
 - Las tareas de mantenimiento deberán realizarse en un espacio cerrado que mantenga presión negativa.
 - Los filtros de tela usados deberán colocarse en bolsas o contenedores de plástico sellados antes de retirarse del filtro.
 - Nunca deberá barrerse en seco un área de procesos ya que esta acción genera polvo.
- Todo el material con plomo deberá contenerse y cubrirse para transportarse fuera de un espacio totalmente cerrado de forma que se prevengan derrames o formación de polvo.
- Es necesario realizar inspecciones mensuales de los edificios y reparar cualquier abertura en el plazo de una semana luego de haberse detectado.

Superficies pavimentadas circundantes

El polvo generado por las operaciones de la planta se asentará en superficies pavimentadas circundantes. Entre las estrategias de control se incluyen las siguientes:

- Las superficies pavimentadas y otras duras de bajo nivel deberán limpiarse con regularidad (se recomienda dos veces al día) utilizando aspiradoras manuales, o bien unidades barredoras hombre a bordo con la función de aspirado, a fin de recoger las partículas de polvo presentes y minimizar la contaminación por polvo transportado por el viento.¹¹⁰
- La aplicación de los métodos de higiene industrial adecuados (cubiertos en el apartado 6) también ayudará a reducir la contaminación cruzada en áreas que no son de procesamiento.

108. US EPA, 40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards... Véase referencia completa en nota 101, *supra*.

109. *Idem*.

110. *Idem*.

Superficies no pavimentadas¹¹¹

- Las áreas no pavimentadas deberán sembrarse con cubierta vegetal, que captará el polvo y minimizará la generación de polvo transportado por el viento; no deberá haber suelos expuestos.
- Utilizar supresores de polvo en áreas no pavimentadas que no resistirán una cubierta vegetal (por ejemplo, arcenes, pendientes pronunciadas, accesos limitados y vías de uso limitado).
- Las vías sin pavimentar no deberán utilizarse más que en el recorrido de ida y vuelta de un vehículo al día.

Operaciones de procesamiento y modificaciones de procesos¹¹²

- *Para todos los procesos que podrían generar emisiones fugitivas:*¹¹³
 - Los espacios totalmente cerrados deberán mantener valores de presión negativa de cuando menos 0.013 mm de mercurio (0.007 pulgadas de columna de agua) en todo momento y descargar hacia un dispositivo de control diseñado para retener partículas de plomo.
 - Los espacios totalmente cerrados deberán cumplir con los siguientes requisitos:
 - no presentar grietas o huecos a través de los cuales pudiera filtrarse material con contenido de plomo.
 - mantener un flujo de aire hacia el interior a través de todas las aberturas de corriente natural.
 - Por lo menos una vez al mes deberán inspeccionarse los espacios cerrados y las estructuras de la planta que contengan materiales con plomo.
 - Los huecos, rupturas, separaciones, puntos de fuga u otras posibles rutas de emisiones de plomo hacia la atmósfera deberán repararse a la brevedad.
- *Antes de las operaciones en que se utilicen hornos:*
 - Disponer el movimiento de los materiales de manera que se minimice su manejo.
 - Mezclar los lodos húmedos con materiales secos reduce los niveles de polvo.
- *En áreas de hornos y de otros trabajos en caliente:*
 - Realizar todas las operaciones en las que se empleen hornos en un entorno completamente cerrado para mejorar la eficiencia de los sistemas de ventilación.
 - Vaciar los metales procesados en hornos en moldes o cacerolas debajo de una campana ventilada o sumergirse directamente en un baño cubierto y ventilado de plomo fundido.

- Minimizar las emisiones de plomo durante la colada de lingotes, manteniendo la temperatura por debajo de 500 °C y controlando el caudal de manera tal que se reduzca la formación de granzas.
- Puesto que pueden generarse emisiones fugitivas cuando materiales de diferentes temperaturas elevadas se vierten de un recipiente a otro, siempre que sea posible, deberá procurarse reducir este diferencial.

Sistemas de ventilación y de control de emisiones

- Preparar e instrumentar procedimientos detallados para la inspección, mantenimiento y detección de fugas de mangas, junto con planes con medidas correctivas para todos los filtros (de tela o de cartucho) que se empleen para controlar las descargas de procesos, y emisiones fugitivas de procesos o de polvo, provenientes de cualquier fuente, entre los que se incluyen aquellos utilizados para controlar emisiones procedentes de la ventilación del edificio.
- Captar polvo y humo mediante la instalación de sistemas extractores locales que aislen las fuentes de emisión y filtren el aire con un filtro de manga.
- Es preciso cerciorarse de que la velocidad de captación de una campana de extracción sea suficiente para evitar que los humos o el polvo se escapen del flujo de aire y se introduzcan en la campana. Aunque la velocidad de entrada que se requiere para lograrlo variará de una aplicación a otra, en general un metro por segundo es el mínimo requerido.
- Disponer de extractores de humo locales y estaciones de aire puro —filtrado con presión positiva— donde puedan estar los empleados cuando trabajen en el área de procesos, a fin de reducir los riesgos de exposición.
- Adoptar prácticas idóneas para prevenir las emisiones fugitivas de sistemas de control de emisiones, entre las que se incluyen:
 - monitoreo diario de la caída de presión;
 - inspección diaria del aire comprimido para los filtros con sistemas pulsantes;
 - monitoreo semanal para cerciorarse de que el polvo se retire de los filtros;
 - verificación del funcionamiento adecuado de los ciclos de limpieza;
 - revisión mensual de los sistemas de tensión de las mangas para los filtros con sistemas de agitación.

111. *Idem.*

112. ILA (2013), *Working safely with lead: Guidance Note 4: Control and monitoring of atmospheric emissions*, International Lead Association; disponible en: <www.ila-lead.org/UserFiles/File/guidancenotes/ILA9149_GN_Atmospheric_V04b.pdf> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

113. US EPA, *40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards...* Véase referencia completa en nota 101, *supra*.

- Realizar inspecciones trimestrales para descartar fugas y verificar la integridad física de los dispositivos para el control de la contaminación atmosférica.
- Verificar trimestralmente el funcionamiento de todos los componentes mecánicos del sistema continuo de detección de fugas. Cuando se detecta alguna fuga, es indispensable proceder a la reparación o reemplazo de las mangas en cuestión.
- Monitorear la caída de presión y el flujo de agua para los lavadores húmedos. Deberán seguirse las recomendaciones del fabricante.

Vehículos

- Proporcionar vehículos con cabinas cerradas que tengan aire filtrado con presión positiva mediante filtros de alta eficiencia para partículas en el aire.
- Los vehículos que provengan de áreas de almacenamiento y manejo de materiales deberán lavarse en una estación de lavado antes de cruzar la puerta de salida. Este procedimiento deberá incluir el lavado de llantas, chasis y superficie exterior del vehículo, seguido de una inspección del mismo. Esta medida evitará que los vehículos arrastren contaminantes hacia el exterior.

Puntos operativos generales a considerar

- La distribución de la planta puede modificarse de tal forma que se reduzca la cantidad de materiales que deben manejarse y transportarse de un lado a otro en las diferentes etapas del proceso.
- De ser posible, contener el proceso completo en un edificio cerrado, y separar una operación de otra a fin de evitar la contaminación cruzada en caso de presentarse emisiones fugitivas.
- En la medida de lo posible, utilizar medios mecánicos para realizar aquellas tareas que suponen un alto riesgo de exposición, a fin de minimizar las posibles vías de exposición.
- Es necesario lavar con agua en forma regular todas las áreas, y mantener húmedas las superficies de trabajo.
- La capacitación de los operadores, junto con la instrumentación de prácticas de trabajo prudentes y un buen mantenimiento y limpieza de las instalaciones, son elementos de importancia crucial para minimizar las emisiones de plomo cuando se opera equipo móvil.
- Asegurarse de poner equipo de protección respiratoria a disposición de todos los empleados que participan en procesos y están sujetos a exposición. Los respiradores pueden ser

mascarillas o cascos con aire filtrado. Si en las operaciones hay presencia de azufre, será necesario tener combinaciones de filtros de carbono.

- Colocar limpiadores de banda en poleas de cola de correas transportadoras, así como faldones y cortinas, en la cabeza de cualquier sistema de transmisión por correas, y cerciorarse de que reciban un mantenimiento adecuado.

Sistema de gestión ambiental, de salud y seguridad de la planta

- Deberán evaluarse los riesgos que conlleva cada proceso y establecer los procedimientos de seguridad que siempre deben observarse en la realización de cada una de las tareas.
- Será preciso determinar regímenes de monitoreo, inspección y mantenimiento mediante los cuales se apliquen controles técnicos para minimizar o contener las emisiones fugitivas de plomo.
- Es preciso integrar una lista de prácticas de operación estándar concretas, diseñadas para minimizar emisiones fugitivas.
- Habrá que observar intervalos de servicio que se especifiquen en el sistema de gestión ambiental, de salud y seguridad de la planta, que recomiende el fabricante o en cumplimiento de la reglamentación en la materia.
- Deberá llevarse un registro actualizado de todas las inspecciones y trabajos de mantenimiento técnico efectuados en el establecimiento.¹¹⁴

5.4 Manejo del electrolito ácido usado y tratamiento de aguas residuales

El electrolito ácido usado es una solución potente que contiene cantidades de plomo considerables.

Las opciones para tratar la solución electrolítica ácida usada varían en función de la operación de reciclaje de BPAU de que se trate, e incluyen procesos para recuperar diferentes materiales para su reutilización o, cuando menos, para generar un efluente que no dañe el medio ambiente. Entre las opciones para el manejo de esta sustancia se incluyen las siguientes:

- Purificar el electrolito de manera que pueda recuperarse y reutilizarse.
- Cuando no son viables la recuperación y el reciclaje, el electrolito deberá, al menos, neutralizarse antes de someterlo a un manejo ulterior.

La mejor decisión respecto del MAA de la solución electrolítica usada dependerá de las circunstancias específicas de cada planta.

114. *Idem.*

5.4.1 Reutilización y reciclaje de electrolito usado

En algunas instalaciones se reutiliza el electrolito usado. La viabilidad económica de esta práctica dependerá del volumen de ácido que se maneje, la ubicación de la planta y la distancia de traslado del ácido purificado hasta el fabricante de baterías.

Las impurezas se eliminan del electrolito usado mediante tecnologías de extracción líquido-líquido o de otro tipo, y se añade ácido sulfúrico concentrado al electrolito purificado para espesarlo lo suficiente y poder reutilizarlo como electrolito en baterías nuevas.

Sólo será viable la reutilización del electrolito usado si su reciclaje tiene lugar cerca de una planta dedicada a la fabricación de baterías o en el mismo lugar en que pueda utilizarse el ácido sin que implique mucho transporte. En caso de que se requiera transportar el ácido, reutilizarlo será inviable en términos económicos.¹¹⁵

5.4.2 Manejo de aguas residuales

Las aguas residuales se generan como resultado de operaciones efectuadas a lo largo de los procesos de fragmentación de baterías de plomo-ácido, y de fundición y refinación de plomo. La mayor parte de las aguas residuales en plantas integradas proviene de la fragmentación de baterías; otras fuentes incluyen lavadores húmedos, operaciones de limpieza y mantenimiento, enfriadores, equipo de procesos y compresores de aire. La naturaleza y el volumen de las aguas residuales variarán en función de la planta de que se trate. Cuando no se reutilizan en las operaciones, las aguas residuales se someten a tratamiento antes de descargarse.

Las aguas residuales generadas por las operaciones de reciclaje de BPAU contienen ácido electrolítico usado, al igual que aguas de procesos, aguas reutilizadas y aguas de actividades de limpieza por mantenimiento y operaciones de la planta. En las instalaciones que procesan baterías, los efluentes procedentes de los sistemas de tratamiento del electrolito ácido usado, así como toda el agua superficial que podría haberse contaminado con partículas de plomo, y los derrames y drenaje de piso deberán enviarse al sistema de tratamiento de aguas residuales dentro de las mismas plantas antes de descargarse.

Existen numerosas estrategias ambientalmente adecuadas para el manejo de aguas residuales; el método elegido dependerá de la toxicidad de las aguas residuales, los requisitos reglamentarios y la posibilidad de obtener valor de los componentes derivados del procesamiento de estas aguas. Estas estrategias comprenden las siguientes:

- Neutralizar las aguas residuales mediante un ajuste del pH con hidróxido de magnesio ($Mg(OH)_2$) o una sustancia amortiguadora similar. Durante la neutralización también puede emplearse coprecipitado con hierro para la remoción de metales. Dependiendo de la ubicación de la planta en cuestión, el precipitado obtenido del ajuste o neutralización se filtra a través de una prensa y el líquido restante se descarga a un sistema de alcantarillado o cuerpo de agua presente, en apego a requerimientos locales. Las concentraciones aceptables de plomo en las aguas residuales descargadas varían en función de las condiciones locales y, por lo general, son las autoridades reguladoras locales quienes las estipulan.
- Someter la torta de filtrado resultante a prueba de lixiviados para determinar su contenido peligroso. Esta prueba determinará la composición y contenido de metal de la torta de filtrado y deberá efectuarse por medio de análisis de un laboratorio certificado. Dependiendo del resultado, deberá eliminarse como desecho peligroso en una instalación para desechos peligrosos debidamente autorizada, o como desecho no peligroso en un relleno sanitario.

5.5 Manejo de desechos sólidos (escoria, polipropileno y otros) en instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas

En las operaciones de procesamiento secundario de plomo se producen diferentes desechos sólidos, a saber:

- escoria;
- plástico y cartón;
- otros desechos, como equipo de protección personal contaminado, filtros de alta eficiencia para partículas en el aire, kits de control para casos de derrame usados y mangas de filtros.

5.5.1 Manejo de escoria desechada

La escoria consiste en desechos sólidos producidos en el horno. Las propiedades físicas y químicas de la escoria y la opción de su manejo óptimo dependen del fundente así como de los procesos de fundición de plomo utilizados.¹¹⁶

La escoria colada de los hornos se enfría y se separa en dos categorías.¹¹⁷ La primera se denomina “mata”, que en algunos casos puede reutilizarse en el flujo de entrada hacia los hornos, aunque se desecha cuando presenta un contenido elevado de hierro y azufre. El material de escoria restante se estabiliza y se elimina como desecho en un relleno

115. Australian Battery Recycling Initiative (s/f), *Lead acid battery recycling: The battery recycling process*; disponible en: <www.batteryrecycling.org.au/wp-content/uploads/2014/02/16859_ULAB_BROCHURES_LEAD-ACID-BATTERY-RECYCLING_-1.pdf> (consulta realizada el 19 de abril de 2014).

116. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

117. *Idem*.

sanitario de desechos peligrosos o no peligrosos, dependiendo de los resultados de la prueba de lixiviación. En algunos sitios, la pasta de sulfato de plomo se desulfuriza mediante reacciones con distintas sustancias químicas, dependiendo del proceso utilizado para producir óxido de plomo (PbO). Este procedimiento reduce la formación de escoria; en algunos casos, reduce también la cantidad de dióxido de azufre (SO₂) emitida al aire. La decisión de desulfurizar (lo que supone un costo mayor, pero se traduce en menores emisiones atmosféricas y una formación de escoria reducida) es específica de cada sitio y establecimiento. En todos los casos, la escoria debe someterse a pruebas para determinar su clasificación y poder elaborar el plan de manejo correspondiente.

Se recomienda, a manera de práctica óptima, no reutilizar escoria para construcción u otras aplicaciones a fin de evitar futuros problemas de responsabilidad por daños.

5.5.2 Reciclaje de polipropileno y otros desechos sólidos

Las BPAU se componen de numerosos elementos y materiales, la mayoría de los cuales son fácilmente reciclables, a saber:

- plásticos de polipropileno;
- otro tipo de plásticos, placas de separación y, ocasionalmente, pequeñas cantidades de ebonita;
- cartón.

El plástico de polipropileno generado a partir del reciclaje de baterías es susceptible de reciclarse, aunque pueden generarse altos niveles de contaminación por metales (plomo). Esta resina reciclada se reutiliza principalmente en la fabricación de carcasas nuevas para baterías.

Otros plásticos y las placas de separación se eliminan como desechos peligrosos porque implican altos niveles de contaminación por metales. El material se maneja mediante estabilización o microencapsulación, a través de una instalación dedicada al manejo de desechos, y luego, dependiendo de los requisitos locales, se deposita en un relleno sanitario de desechos peligrosos o no peligrosos.

Aunque algunas BPAU llegan a contener cantidades mínimas de ebonita, cuando está presente, este material se maneja de la misma forma que el utilizado en los separadores de polietileno: se quema en los hornos junto con la carga de plomo o se envía fuera del sitio para su disposición final.

El cartón contaminado (conocido en el negocio del reciclaje como cartón corrugado usado [*old corrugated cardboard*, OCC]) deberá someterse a prueba de lixiviación para determinar las opciones de disposición adecuadas.

Es necesario elaborar planes de manejo por separado para otros desechos, como equipo de protección personal contaminado y equipo ya usado (filtros de alta

eficiencia para partículas en el aire, kits de control para casos de derrame y mangas de filtros). Estos desechos, en general, se eliminan a través de la operación en los hornos. La opción de manejo más adecuada dependerá de los resultados obtenidos de las pruebas de lixiviados.

5.6 Desmantelamiento y cierre de instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas

Habrán ocasiones en que sea necesario cerrar o reubicar plantas de reciclaje de BPAU. De ser éste el caso, es preciso elaborar, adoptar y documentar en forma adecuada un plan de desmantelamiento y cierre, como parte de un MAA. Aunque la mayor parte de las instalaciones cuenta ya con un plan diseñado para ese fin, tal vez sea necesario actualizarlo cuando se aplique la fase de desmantelamiento. Deberá establecerse, asimismo, una cobertura de seguro lo suficientemente amplia como para brindar protección continua posterior al cierre.

Los proyectos de desmantelamiento y cierre normalmente comprenden las siguientes actividades:

- Descontaminación y demolición de distintos edificios (por ejemplo, edificios utilizados en la fragmentación, mantenimiento y almacenamiento de baterías, incluida infraestructura como tuberías y drenajes) y equipos (por ejemplo, equipo de procesamiento —como hornos y bandas transportadoras— y equipo para el control de la contaminación —filtros de tela o de manga, plantas de tratamiento de aguas residuales, tanques y estanques de almacenamiento de aguas pluviales—) empleados en el proceso de reciclaje de baterías.
- Análisis y disposición de material que será retirado del sitio.
- Documentación de las actividades de desmantelamiento y demolición y resultados de pruebas posteriores al cierre.

El plan de trabajo del proyecto habrá de concebirse de tal manera que se incluyan los siguientes puntos:

- **Plan de trabajo para la descontaminación y demolición** en el que se aborden los siguientes puntos:
 - preparación del sitio;
 - cronograma de actividades de trabajo;
 - designación de áreas de almacenamiento transitorio, y
 - manejo y disposición de los materiales que se generaron con las actividades de desmantelamiento y demolición.
- **Plan de salud y seguridad** en el que se aborden los siguientes puntos:¹¹⁸
 - sistema de comunicación;

- capacitación de empleados;
- riesgos de exposición química;
- tráfico en el sitio;
- evacuación en caso de emergencia;
- investigación de accidentes, y
- equipo de protección personal.
- **Plan para el control de polvos y monitoreo atmosférico** que comprenda los siguientes elementos:
 - **Plan de monitoreo atmosférico** en el que se describa la ubicación y frecuencia de las tomas de muestras y parámetros a monitorear.
 - **Plan para el control de polvos** en el que se especifiquen las prácticas para la supresión de polvos, así como los métodos y equipo que se utilizarán durante el proyecto de desmantelamiento y cierre, y la ubicación de instalaciones de equipo para la supresión de polvos para el control de emisiones durante el proyecto.
- **Informe final de proyecto** en el que se documenten los siguientes puntos:¹¹⁹
 - Información sobre monitoreo atmosférico que incluya registros de toma de muestras y análisis.
 - Información sobre el rastreo de desechos que incluya números de manifiestos, vehículos utilizados, destinos, pesos y fechas.
 - Estadísticas sobre seguridad que incluyan horas de trabajo por persona, análisis de seguridad de puestos, inspecciones e investigaciones sobre incidentes.
 - Monitoreo del viento, que incluya condiciones de referencia y resultados del monitoreo de rutina.
 - Informes de avance semanales.
 - Documentación fotográfica de los avances del proyecto.
 - Copias de notificaciones y permisos ejecutados.¹²⁰

5.6.1 Normas de recuperación de suelos

En Canadá, las directrices en materia de calidad del suelo (*soil quality guidelines*, SQG) se generan en función de los diferentes usos de suelo, en apego al proceso delineado por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (*Canadian Council of Ministers of the Environment*, CCME), con base en los distintos receptores y escenarios de exposición para cada uso de suelo. Las directrices correspondientes al uso industrial del suelo se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12: Directrices canadienses sobre calidad del suelo respecto del plomo

Directrices sobre calidad del suelo (<i>Soil Quality Guideline</i>, SQG) para uso industrial (mg/kg)	
Directriz	600*
Directriz sobre calidad del suelo para proteger la salud humana (SQG _{HH} , por sus siglas en inglés)	740
Ruta restrictiva para determinar la SQG _{HH}	Migración fuera de sitio
Directriz sobre calidad del suelo para proteger la salud ambiental (SQG _E , por sus siglas en inglés)	600
Ruta restrictiva para determinar la SQG _E	Contacto con el suelo
Criterios provisionales sobre calidad del suelo (CCME, 1991)	1,000

Notas:

SQG_{HH} = directriz sobre calidad del suelo para proteger la salud humana.

SQG_E = directriz sobre calidad del suelo para proteger la salud ambiental.

* Los datos son suficientes y adecuados para calcular tanto una SQG_{HH} como una SQG_E (de ahí que el cálculo de directrices provisionales fuera innecesario). La directriz sobre calidad del suelo recomendada corresponde al menor de los dos valores calculados y representa un nuevo lineamiento totalmente integrado para el uso de suelo industrial, obtenido en conformidad con el procedimiento descrito en el protocolo publicado en 1996 por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, 1996). Esta nueva directriz recomendada sustituye el criterio provisional sobre calidad de suelo correspondiente (CCME, 1991).

Fuente:

CCME (1996), *A protocol for the derivation of environmental and human health soil quality guidelines*, Canadian Council of Ministers of the Environment [Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente], Winnipeg.

En México los límites máximos permisibles para contaminantes en el suelo, entre los que se incluye el plomo, se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-147 para contaminación del suelo con metales pesados (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).¹²¹ En apego a esta disposición, cuando los niveles detectados de metales rebasan los límites establecidos, el sitio se considera contaminado y es necesario proceder a su recuperación.¹²² Aunque la norma presenta cuatro opciones para determinar el nivel

118. Pastor, Behling & Wheeler, LLC y Remediation Services Inc. (2012), *Decontamination and demolition work plan for the Exide Technologies Frisco Recycling Center, Frisco, Texas*; disponible en: <www.exide.fr/Media/files/Recycling/Frisco/1819%20Exide%20Demo%20Plan%201092012.pdf> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

119. *Idem*.

120. *Idem*.

121. *Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio*, en: <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PP03/DO950.pdf>> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

122. A. J. Maggio (2010), "Mexico: Environmental due diligence and the Mexican Waste Law", *EHS Journal* del 13 de noviembre de 2010, en: <<http://ehsjournal.org/http://ehsjournal.org/anthony-j-maggio/mexico-environmental-due-diligence-and-the-mexican-waste-law/2010/>> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

de limpieza, el método que más comúnmente se utiliza requiere que la recuperación del suelo se lleve a cabo a fin de alcanzar concentraciones de referencia totales (CRT) de plomo, con base en el uso de suelo, como se muestra en el cuadro 13.

En Estados Unidos, la EPA, en sus *National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants From Secondary Lead Smelting: Final Rule* [Normas nacionales sobre emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos de la fundición secundaria de plomo: reglamento definitivo], define el suelo contaminado por plomo como “aquel desprovisto de vegetación, ubicado en zonas residenciales, cuyos niveles de plomo alcanzan o rebasan aquellos que se han determinado como peligrosos para la salud humana”.¹²³ En apego a este reglamento, cuando los niveles de plomo en el suelo no rebasan las 400 partes por millón (ppm), se considera que “no se requiere ninguna acción”, pero cuando estos niveles se ubican entre 400 y 1,200 ppm alcanzan un “nivel de preocupación”. Las normas en vigor establecen que, para que se considere peligroso, el nivel corresponderá

Cuadro 13: Concentraciones de referencia totales (CRT) de plomo por tipo de uso del suelo

	Concentración de referencia total (CRT) (mg/kg)
Agrícola y residencial	400
Comercial e industrial	800

Fuente: A. J. Maggio (2010), “Mexico: Environmental due diligence and the Mexican Waste Law”, *EHS Journal* del 13 de noviembre de 2010, en: <<http://ehsjournal.org/http://ehsjournal.org/anthony-j-maggio/mexico-environmental-due-diligence-and-the-mexican-waste-law/2010/>>.

a más de 1,200 ppm. Si bien no se trata de un “nivel que exija limpieza”, sí es un indicador de que es necesario efectuar estudios ulteriores. En el cuadro 14 se muestran acciones recomendadas para los diferentes niveles de contaminación de suelos por plomo.¹²⁴

El cuadro 15 comprende una lista de verificación para la instrumentación de actividades para un MAA y las medidas correspondientes que es necesario atender, y señala, además, la ubicación en el apartado 5, en que se aborda cada punto en concreto. Además de las normas de alcance nacional o federal pertinentes, se observa que algunos órganos reguladores locales aplican criterios más rigurosos en las esferas estatal o provincial.

Cuadro 14: Identificación de peligros de contaminación por plomo en suelos desprovistos de vegetación en Estados Unidos

Nivel de plomo en el suelo (partes por millón)	Acciones provisionales recomendadas
> 1,200 (umbral de riesgo)	Eliminar el riesgo: retirar el suelo contaminado o instalar cubierta permanente.
400-1,200 (nivel de preocupación)	Aplicar controles provisionales: cubrir el suelo desprovisto de vegetación, utilizar tapetes en las entradas, lavarse las manos y lavar juguetes con mayor frecuencia.
< 400	No se requiere ninguna acción.

Fuente: US EPA (2001), *Lead-safe yards: Developing and implementing a monitoring, assessment, and outreach program for your community*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <https://books.google.ca/books/about/Lead_Safe_Yards_Developing_and_Implement.html?id=ZwZWrgEACAAJ&redir_esc=y> (consulta realizada el 17 de abril de 2015).

123. *United States Federal Register, 40 CFR Part 745. Lead; Identification of Dangerous Levels of Lead: Final Rule. Part III* [Código de Reglamentos Federales, título 40, sección 745, Plomo: Identificación de niveles peligrosos de plomo: reglamento definitivo, parte III]; disponible en: <www.epa.gov/superfund/lead/products/rule.pdf> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

124. US EPA (2001), *Lead-Safe Yards: Developing and implementing a monitoring, assessment, and outreach program for your community*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <https://books.google.ca/books/about/Lead_Safe_Yards_Developing_and_Implement.html?id=ZwZWrgEACAAJ&redir_esc=y> (consulta realizada el 17 de abril de 2015).

Cuadro 15: Lista de verificación para la instrumentación de controles de contaminación en instalaciones de reciclaje de BPAU

Área de instrumentación	Actividad clave de MAA	Acciones y puntos a considerar	Para detalles, consulte el apartado ...
Controles de contaminación del aire para reducir emisiones fugitivas	Observancia de requisitos reglamentarios en materia de emisiones atmosféricas	<input type="checkbox"/> Tenga conocimiento de los límites jurisdiccionales reglamentarios sobre emisiones al aire, que corresponden a la instalación, y emplee tecnologías adecuadas para cumplir con estos límites.	5.1
	Equipo y operaciones para el control de la contaminación atmosférica por emisiones por chimenea	<input type="checkbox"/> Identifique, instale y opere tecnología adecuada para la captación de partículas en emisiones por chimenea, con base en el perfil de las partículas y los parámetros de operación.	5.2
	Controles para emisiones fugitivas	<input type="checkbox"/> Confine a espacios cerrados aquellas áreas donde puedan originarse emisiones fugitivas, utilizando espacios cerrados óptimos de nivel 1, 2 o 3, según corresponda (véase el cuadro 11, <i>supra</i>).	5.3.1
		<input type="checkbox"/> En áreas de almacenamiento: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Mantenga humedecidas las materias primas y pastas de plomo expuestas para prevenir el movimiento de polvo contaminado por plomo. <input type="checkbox"/> Limpie los residuos de las baterías rotas. <input type="checkbox"/> En toda la instalación: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Limpie mediante lavado húmedo o con aspiradoras especiales. <input type="checkbox"/> Nunca deberá barrerse en seco. <input type="checkbox"/> Después de un accidente, limpie antes de transcurrida una hora. <input type="checkbox"/> Realice cualquier actividad que pueda generar polvo de plomo en espacios bajo presión negativa. <input type="checkbox"/> Los materiales que contengan plomo y vayan a transportarse deberán cargarse dentro de la instalación. <input type="checkbox"/> Limpie las áreas pavimentadas circundantes dos veces al día con aspiradora. <input type="checkbox"/> En áreas no pavimentadas: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Siembre con cubierta vegetal para reducir la generación de polvo transportado por el viento. <input type="checkbox"/> Utilice supresores de polvo en áreas sin cubierta vegetal. <input type="checkbox"/> Las vías sin pavimentar no deberán utilizarse más de una vez al día de ida y vuelta en vehículo. 	5.3.2
Reducir emisiones fugitivas en todas las áreas de procesamiento	Cualquier proceso que pueda generar emisiones fugitivas	<input type="checkbox"/> Mantenga presión negativa en toda la instalación y descargue hacia dispositivos de control que capten partículas de plomo. <input type="checkbox"/> Instalación totalmente cerrada: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegúrese de que no haya grietas ni aberturas por donde puede escapar material con plomo. <input type="checkbox"/> Mantenga un flujo de aire hacia el interior. 	5.3.2
	Antes de las operaciones de horno	<input type="checkbox"/> Minimice el movimiento y manipulación de materiales entre un área y otra. <input type="checkbox"/> Mezcle lodos húmedos con material seco para reducir la generación de polvo.	5.3.2
	Seguridad con hornos y trabajos en caliente	<input type="checkbox"/> Confine a espacios cerrados las áreas donde se encuentran los hornos para que la ventilación funcione con mayor eficacia. <input type="checkbox"/> Ocupese de las emisiones fugitivas procedentes de áreas donde se realiza vertido, vaciado y colado de metal mediante la instalación de protecciones, espacios cerrados, y controles operativos y de temperatura.	5.3.2
Mejores prácticas para reducir emisiones fugitivas en toda la instalación	Sistemas de ventilación y para el control de emisiones	<input type="checkbox"/> Realice inspecciones, dé mantenimiento con regularidad y repare el equipo de control de emisiones que lo requiera. <input type="checkbox"/> Capture polvos y humos en filtros de manga. <input type="checkbox"/> Asegúrese de que los captadores de polvo funcionen adecuadamente para evitar que escapen humos o polvo. <input type="checkbox"/> Ponga sistemas locales de ventilación de escape y estaciones de aire puro con aire filtrado con una presión positiva a disposición de todos los empleados que participan en procesos.	5.3.2

Cuadro 15. Lista de verificación para la instrumentación de controles... (cont.)

Área de instrumentación	Actividad clave de MAA	Acciones y puntos a considerar	Para detalles, consulte el apartado ...
Mejores prácticas para reducir emisiones fugitivas en toda la instalación	Mantenimiento regular y periódico	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Todos los días: monitoree las caídas de presión, verifique el aire comprimido en los filtros de manga y vigile los ciclos de limpieza de la instalación. <input type="checkbox"/> Cada semana: monitoree la eliminación de polvo de los filtros de manga, e inspeccione el edificio para detectar grietas o aberturas, en cuyo caso habrá que sellar de inmediato. <input type="checkbox"/> Cada mes: revise los sistemas de filtros. <input type="checkbox"/> Trimestralmente: realice inspecciones para descartar fugas en todos los sistemas de control de contaminación atmosférica; revise todos los componentes mecánicos de los sistemas continuos de detección de fugas, y repare o reemplace cuando sea necesario. <input type="checkbox"/> Lavadores: dé el mantenimiento correspondiente conforme a las recomendaciones del fabricante. 	5.3.2
	Vehículos	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Los vehículos deberán contar con cabinas cerradas que tengan aire filtrado con presión positiva mediante filtros de alta eficiencia para partículas en el aire. <input type="checkbox"/> Lave de acuerdo con protocolos de control de plomo. 	5.3.2
	Actividades de MAA en operaciones generales	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La instalación deberá estar diseñada de tal manera que se minimice el manejo de materiales. <input type="checkbox"/> Deberá controlarse el paso de aire entre áreas para evitar la generación de emisiones fugitivas. <input type="checkbox"/> De ser posible, los procesos deberán llevarse a cabo en espacios cerrados y dentro de un mismo edificio. <input type="checkbox"/> Las superficies de trabajo deberán mantenerse húmedas y las áreas de trabajo deberán lavarse con agua de manera regular. <input type="checkbox"/> Todas las actividades de capacitación y prácticas de limpieza deberán contemplar estrategias para el control de polvo fugitivo. <input type="checkbox"/> Deberán ponerse respiradores de protección a disposición de todos los trabajadores expuestos a plomo. <input type="checkbox"/> Habrán de incluirse limpiadores de banda en correas transportadoras. 	5.3.2
Operaciones generales	Instrumentación de un sistema de gestión ambiental, salud y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Elabore e instrumente un sistema de gestión ambiental, salud y seguridad que abarque toda la instalación. <input type="checkbox"/> Evalúe y documente los riesgos que pueden generar contaminación atmosférica o emisiones fugitivas. <input type="checkbox"/> Diseñe e instrumente procedimientos normalizados de operación que sean seguros para todas las actividades. <input type="checkbox"/> Observe todos los intervalos de servicio, conforme a lo especificado en el sistema de gestión ambiental, salud y seguridad, los requisitos reglamentarios y las especificaciones del fabricante. 	5.3.2
Tratamiento del electrolito ácido gastado y de aguas residuales	Manejo del electrolito ácido gastado	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Seleccione el método de tratamiento adecuado para el electrolito ácido gastado. 	5.4
	Manejo de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Elija el método de tratamiento adecuado para procesar aguas residuales, en función de su toxicidad y valor de recuperación, y en apego a requisitos reglamentarios. <input type="checkbox"/> Realice pruebas de lixiviados en la torta de filtrado remanente. 	5.4
Desechos sólidos de la instalación	Manejo de desechos sólidos y peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> El manejo de la escoria se basa en el tipo de agente fundente utilizado: se eliminará como desecho sólido o peligroso dependiendo de los resultados de las pruebas de lixiviados. 	5.5.1
		<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> El polipropileno de las carcasas de las baterías es reciclable, dependiendo de su contenido de plomo <input type="checkbox"/> Los demás plásticos y separadores de placas deberán eliminarse como desechos peligrosos por su elevado contenido de metales. 	5.5.2
Desmantelamiento y cierre de instalaciones	Si va a cerrarse la instalación de reciclaje de BPAU	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Prepare un plan de trabajo detallado para el proyecto que cubra los siguientes puntos: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Descontaminación y demolición del sitio <input type="checkbox"/> Plan de salud y seguridad <input type="checkbox"/> Plan para el control de polvos y monitoreo atmosférico <input type="checkbox"/> Recuperación del suelo 	5.6 - 5.6.1



6

Monitoreo y protección ambiental en establecimientos dedicados a reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas



6. Monitoreo y protección ambiental en establecimientos dedicados a reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas

El factor clave para el éxito de cualquier programa de manejo ambientalmente adecuado (MAA) consiste en monitorear de manera ininterrumpida el desempeño operativo. Los resultados de las tareas de monitoreo aportan la información y retroalimentación necesarias para lograr mejoras continuas. Es importante contar con un plan de acción de saneamiento en los casos en que, como resultado del monitoreo, se descubran prácticas ineficaces o instrumentadas de modo inadecuado. En este apartado se abordan cuatro factores fundamentales del desempeño de recicladores de baterías de plomo-ácido usadas (BPAU) en términos de manejo ambientalmente adecuado:

- Normas de salud laboral.
- Uso de equipo de protección personal y adopción de prácticas de trabajo seguras.
- Instrumentación de medidas de control y prácticas que minimicen accidentes y exposición.
- Aplicación de sistemas de monitoreo para rastrear el desempeño y los avances del programa de MAA.

6.1 Normas de salud laboral

Al igual que las reglas en materia de acopio, manejo y transporte de BPAU, las normas relativas a la salud laboral también varían entre los tres países de América del Norte. Dependiendo de la jurisdicción de que se trate, pueden aplicarse, con el propósito de ver por la salud de los empleados de fundidoras secundarias de plomo, tres diferentes medidas de protección laboral: niveles de exposición permisibles, niveles de acción y niveles de plomo en la sangre. Cada una de estas medidas se describe en forma sucinta a continuación.¹²⁵

- **Nivel de exposición permisible:** Concentración de plomo en el aire por encima de la cual los empleadores deben exigir a sus empleados el uso de respiradores y ropa de protección, así como asegurarse de que se tengan en marcha determinadas prácticas de limpieza e higiene.

- **Nivel de acción:** Concentración de plomo en el aire por encima de la cual los empleadores deben establecer un programa de vigilancia médica que comprenda pruebas de niveles de plomo en la sangre para todos los empleados.
- **Nivel de plomo en la sangre:** Si el nivel de plomo en la sangre de un empleado excede un umbral determinado, el empleador deberá tomar ciertas medidas.

El cuadro 16 presenta un resumen de algunas normas en materia de salud y seguridad laborales respecto de la exposición a plomo que se aplican en plantas de fundición secundaria de plomo en Canadá, Estados Unidos y México, junto con las normas de salud no laboral respecto de la exposición a plomo aplicables a niños y mujeres embarazadas y en periodo de lactancia.

Las plantas de fundición secundaria de plomo deben tener presentes las normas de salud laboral aplicables y contar con un sistema confiable para monitorear el cumplimiento de estas normas. Con ello se garantiza tanto el cumplimiento de la reglamentación como la protección de la salud humana.

6.2 Medidas de control para minimizar la exposición: controles administrativos y técnicos

Las medidas de control conforman una serie de acciones que es posible instrumentar para reducir la gravedad o frecuencia de una situación o resultado indeseable. Cuando se aplican de manera adecuada, estas medidas reducen de manera apreciable el riesgo de exposición y contaminación ambientales derivadas de operaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas.

Decidir respecto de los controles adecuados a menudo implica efectuar una evaluación de riesgos para valorar y jerarquizar las amenazas y riesgos.¹²⁶ Esta evaluación

125. CCA (2013b), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 18, *supra*.

126. CCOHS (2015a), "OSH answers fact sheets", *Hazard Control*, Canadian Centre for Occupational Health and Safety [Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional], en: <www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_control.html> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

de riesgos consiste en un proceso sistemático en el que se considera la gravedad del riesgo y sus posibles consecuencias, además de otros factores, entre los que se incluyen el nivel de exposición y el número de personas expuestas, junto con el riesgo en caso de materializarse la amenaza.¹²⁷ Existen tres pasos básicos inherentes a la conducción de una evaluación de riesgos:¹²⁸

1. **Identificar los riesgos.** Un riesgo puede definirse como todo aquello que tenga potencial de causar

daño a la salud humana o el medio ambiente. Por ejemplo, trabajar con electrolito ácido gastado o transportar BPAU supone un riesgo. Entre las preguntas que deben plantearse, destacan las siguientes:

- ¿Cuáles son los riesgos y cuál es la vía de exposición de los empleados (por ejemplo, inhalación o ingestión)?
- ¿Cuál es la fuente del riesgo?

Cuadro 16: Normas selectas en materia de plomo en Canadá (Ontario y Quebec), Estados Unidos y México

En el trabajo	Canadá ^{a,b}	México ^{c,d,e}	Estados Unidos ^f
Exposición permitida a material en el aire	Ontario: 50 µg/m ³ por ocho horas de exposición Quebec: 50 µg/m ³ por ocho horas de exposición	50 µg/m ³ en promedio, durante ocho horas al día y 40 horas a la semana	50 µg/m ³ en promedio a lo largo de un periodo de ocho horas
Niveles de plomo en la sangre	Ontario: el límite para el retiro del empleado por razones médicas es de 69.96 µg/dL Quebec: el límite para el retiro del empleado por razones médicas es de 40 µg/dL	30 µg/dL para hombres, 10 µg/dL para mujeres (véase la nota correspondiente)	El límite para el retiro del empleado por razones médicas es de 60 µg/dL o 50 µg/dL en un periodo más prolongado; la norma voluntaria para la industria para el retiro del empleado es de 40 µg/dL

No relacionados con el trabajo

Niveles de plomo en la sangre de preocupación en niños	10 g/dL	10 µg/dL	5 µg/dL (referencia basada en el percentil 97.5 de la población; ya no se aplica terminología referente a niveles de plomo en la sangre)
Niveles de plomo en la sangre de preocupación en mujeres embarazadas y en periodo de lactancia	10 g/dL	10 g/dL	10 µg/dL

Nota: Aunque en México no se ha establecido un valor límite para el nivel de plomo en la sangre que obligue al empleado a retirarse del lugar de trabajo por razones médicas, la NOM-010-STPS-2014 estipula que los empleadores están obligados a efectuar un monitoreo biológico de sus trabajadores y exhibir pruebas de que, en caso de haber descubierto una concentración de sustancias químicas en el entorno de trabajo superior a los límites permitidos, se tomaron las medidas necesarias para ver por la salud de los trabajadores. Las autoridades tanto de salud como de salud y seguridad laborales deberán coordinar programas de vigilancia epidemiológica con el objetivo de monitorear la salud de los trabajadores de plantas dedicadas al reciclaje de BPAU. Los resultados de los exámenes epidemiológicos, junto con los análisis para determinar los niveles de plomo en la sangre y las evaluaciones efectuadas, deben ponerse a disposición de la ciudadanía —en apego a la reglamentación de cada país— cuando menos en un informe anual. Asimismo, esta información deberá darse a conocer a cada trabajador por medio de informes impresos.

Nota: µg = microgramos; m³ = metros cúbicos; dL = decilitros.

Fuentes:

- a. Ontario Regulation [Reglamento de Ontario] 833, en su forma enmendada conforme a la ordenanza 149/12, 2013, en: <www.e-laws.gov.on.ca/html/regs/english/elaws_regs_900833_e.htm>.
- b. O.C. 885-2001, artículo 45, *Regulation Respecting Occupational Health and Safety* [Reglamento en materia de salud y seguridad en el trabajo], R.S.Q., c. S-2.1, artículo 223, div. VI: *Individual Protective Respiratory Equipment* [Equipo de protección respiratoria de uso personal], O.C. 885-2001, artículo 45 (2001), en: <www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R13_A.HTMw>.
- c. *Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral: Reconocimiento, evaluación y control*; disponible en: <<http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2014/bo01056/vinculos/NOM-010-STPS-2014.pdf>> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).
- d. *Norma Oficial Mexicana NOM-047-SSA1-2011, Salud ambiental: Índices biológicos de exposición para el personal ocupacionalmente expuesto a sustancias químicas*, en: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5249877&fecha=06/06/2012> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).
- e. SSA, *NOM-199-SSA1-2000, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente*, en: <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/199ssa10.html>>
- f. US EPA, *40 CFR Part 63 - Subpart X. National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants from Secondary Lead Smelting: Final Rule, United States Federal Register*, en: <www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a28114ea97ef4a673beae8765e6c698&node=pt40.10.63&rgn=div5#sp40.10.63.x> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

127. HSA (s/f-a), “Hazard and Risk”, Health and Safety Authority [Autoridad de Salud y Seguridad de Irlanda], en: <www.hsa.ie/eng/Topics/Hazards/> (consulta realizada el 30 de abril de 2015).

128. HSA (s/f-b), “Risk Assessment”, Health and Safety Authority [Autoridad de Salud y Seguridad de Irlanda], en: <www.hsa.ie/eng/Small_Business/Risk_Assessment_Made_Easy/> (consulta realizada el 30 de abril de 2015).

2. **Identificar el nivel de riesgo de cada situación de peligro.** El nivel de riesgo se determina por la probabilidad de que ocurra un daño, aunada a la gravedad del mismo. Algunos ejemplos de preguntas son los siguientes:

- ¿Quién podría resultar lesionado? ¿Los empleados, los miembros de las comunidades aledañas o las familias de los empleados? Deberá tomarse en cuenta a grupos vulnerables (por ejemplo, empleados jóvenes, adultos mayores y mujeres embarazadas que trabajen en la instalación).
- ¿En qué momento se registra la mayor o menor exposición y de qué forma varía el nivel de exposición a lo largo de una jornada?
- Con base en información recabada de la instalación, obsérvese si la exposición se registra en los niveles de acción o de exposición permisible o por encima de éstos. ¿Qué indica esta información acerca del riesgo?

3. **Identificar los controles o mejoras que es necesario instrumentar para evitar o reducir los riesgos.** Entre las preguntas que deben plantearse destaca la siguiente:

- ¿Cómo controlar la fuente de emisiones mediante aplicaciones mecánicas, instrumentación de políticas, procedimientos administrativos o adopción de medidas de control?

Las medidas de control constituyen la parte más importante de una evaluación de riesgos, ya que éstas determinan las acciones que deben seguirse para proteger la salud humana y el medio ambiente. Aunque tal vez ya se hayan instrumentado algunas medidas, podría ser necesario adoptar otras más.¹²⁹ Los empleadores y los

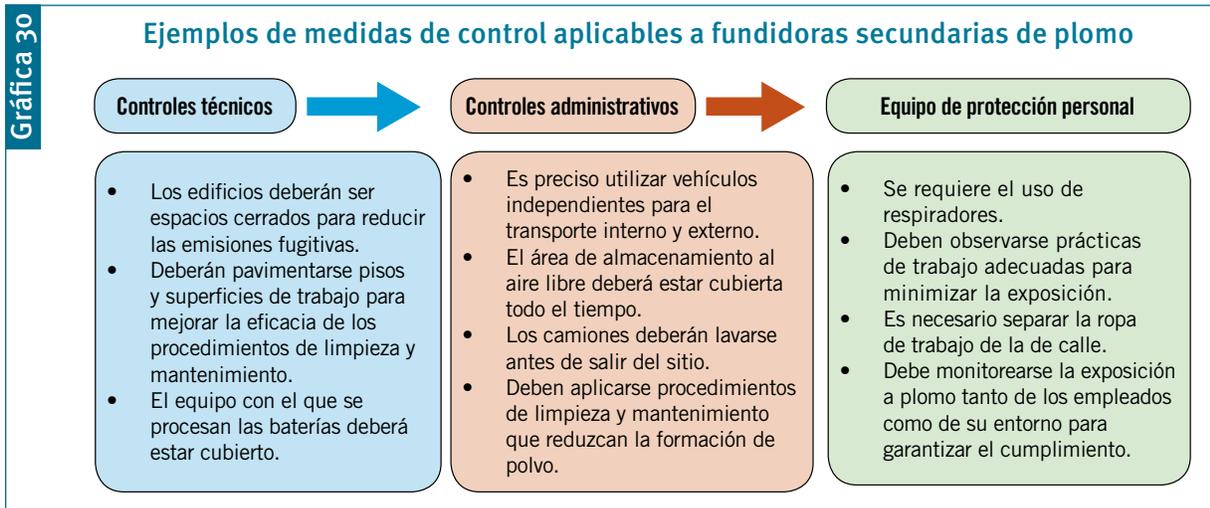
operadores de la instalación podrán utilizar la información generada de una evaluación de riesgos para tomar decisiones informadas sobre qué medidas de control seleccionar e instrumentar.

Las medidas principales para controlar una fuente de peligro en instalaciones de reciclaje de BPAU se presentan en la gráfica 30. A continuación se describen las dos primeras: controles técnicos y administrativos. El equipo de protección personal se aborda en el apartado 6.3.1.

6.2.1 Controles técnicos

Los controles técnicos implican rediseñar un proceso de manera que se eliminen o mitiguen los riesgos para las personas. Los siguientes son ejemplos de controles técnicos concretos que deben aplicarse en instalaciones de reciclaje de BPAU:

- **Realizar operaciones de fragmentación, reducción y refinación en edificios cerrados:** Llevar a cabo operaciones en edificios cerrados minimizará la posibilidad de que se generen emisiones atmosféricas no controladas procedentes de la operación de reciclaje de BPAU. Cuando se utilizan edificios cerrados, el polvo puede tratarse mediante sistemas de manga u otro tipo de filtración de aire, con lo que se protege el medio ambiente de contaminación por partículas con plomo y de otros tipos.
- **Pavimentar todas las superficies utilizadas para almacenamiento en exteriores.** Todas las demás áreas de trabajo deberán tener una superficie plana e impermeable. Ello facilitará la aplicación de prácticas de limpieza y mantenimiento adecuadas, como el aspirado de partículas de polvo, así como la contención de derrames y el lavado de



Fuente: Adaptación de CCOHS (2015a), "OSH answers fact sheets", *Hazard control*, Canadian Centre for Occupational Health and Safety [Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional], en: <www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_control.html>.

129. *Idem*.

superficies, siempre que sea necesario. Las áreas pavimentadas deberán construirse de forma tal que los escurrimientos de líquidos puedan recolectarse en un depósito central para su posterior evaluación.

- **Cubrir las bandas transportadoras y otros sistemas de procesamiento:** Los sistemas transportadores deberán estar lo más encerrados posible para minimizar la emisión no controlada de polvo y partículas de plomo.

6.2.2 Controles administrativos

Los controles administrativos se refieren a medidas como la adopción de procedimientos operativos normalizados o prácticas de trabajo seguras, la impartición de capacitación e instrucción, y la aportación de información pertinente con el propósito de reducir riesgos o efectos adversos en la salud humana o el medio ambiente.¹³⁰ Algunos ejemplos concretos de controles administrativos que deben implementarse en instalaciones dedicadas al reciclaje de BPAU incluyen:

- **Cubrir los camiones que transportan material dentro del sitio.**
- **Mantener separados los vehículos internos de los externos:** Los vehículos utilizados únicamente en sitio deberán recibir mantenimiento periódico y apegarse a un programa de limpieza para evitar que acumulen materia contaminante.
- **El material con plomo almacenado o estacionado en exteriores deberá cubrirse y quedar rodeado de una cubierta adicional.**
- **Los camiones deberán lavarse antes de salir del sitio.**
- **Las operaciones deberán mantenerse húmedas para evitar la formación de polvo:** Todas las operaciones de manejo de material, ya sea manuales o con ayuda de maquinaria, deberán realizarse con precaución para reducir la generación de polvo.
- **Deberá recolectarse el agua de lluvia y los escurrimientos de aguas superficiales.**

6.3 Prácticas de trabajo adecuadas

Los trabajadores en instalaciones de reciclaje de BPAU deberán protegerse de la exposición a partículas de plomo y otro tipo de contaminación mientras están en el lugar de trabajo. Es necesario que protejan también a sus familias y el entorno circundante, evitando llevar a casa partículas de plomo de su lugar de trabajo. Los controles de prácticas

de trabajo reducen la probabilidad de una exposición al plomo al modificar la forma en que se realiza una tarea.¹³¹ Se han identificado varias prácticas de trabajo con las que se minimiza la exposición al plomo tanto de trabajadores como de cualquier comunidad vecina. Éstas se presentan en el cuadro 17. En el apartado 6.3.1 se abunda sobre el equipo de protección personal más adecuado, como respiradores y ciertas prendas de vestir.

Entre las prácticas de trabajo que contribuyen a minimizar tanto la exposición del empleado a partículas de plomo como la necesidad de rastrearlas fuera de la instalación de reciclaje de plomo secundario en el entorno exterior, y quizá hasta la vivienda de los empleados (donde sus familias podrían verse expuestas a partículas de plomo), se incluyen las siguientes:¹³²

- Los alimentos y bebidas deberán consumirse únicamente en comedores, áreas de descanso u otros lugares designados para ese fin. Los cosméticos podrán aplicarse sólo en vestidores, comedores, áreas de descanso o regaderas. Podrán consumirse productos de tabaco solamente en áreas designadas, las cuales por lo regular se encuentran al aire libre.
- Al término de cada turno de trabajo deberá retirarse toda la ropa de protección en vestidores dispuestos para tal fin (véase la gráfica 31).¹³³
- Los vestidores deberán estar equipados con áreas de almacenamiento en que queden separadas la ropa y equipo de protección de la ropa de calle.
- Los empleados expuestos a plomo deberán ducharse al término de su turno de trabajo.
- Deberá contarse con regaderas (véase la gráfica 32).
- Los empleados no deberán salir del lugar de trabajo vestidos con la ropa o el equipo de protección que hayan usado durante el turno de trabajo.
- Es preciso que las instalaciones cuenten con comedores para los empleados (véase la gráfica 33).
- Deberá suministrarse aire filtrado con presión positiva y temperatura controlada en los comedores.
- Los empleados deberán lavarse las manos y la cara antes de consumir alimentos, bebidas o productos de tabaco, o de aplicarse cosméticos (véase la gráfica 34).
- Los empleados no deberán ingresar al comedor con ropa o equipo de trabajo de protección, a menos que se haya eliminado el polvo de plomo por aspirado u otro método de limpieza.
- Es necesario suministrar ropa de trabajo de protección limpia y seca todos los días o semanalmente, dependiendo de los niveles de exposición.¹³⁴

130. HSA (s/f-a), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 127, *supra*.

131. B. Acello (2002), *The OSHA handbook: Guidelines for compliance in health care facilities and interpretive guidelines for the bloodborne pathogen standard*, 3a. ed., Delmar Learning, Clifton Park, Nueva York, en: <http://books.google.ca/books?id=yqN7ZaNmKH8C&dq=%22work+practice+controls+reduce%22&source=gbs_navlinks_>> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

132. US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Hygiene Facilities", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/requirements/hygiene.html#clean_areas>.

133. *Idem*.

134. US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements for PPE, Housekeeping, and Hygiene Facilities: Protecting Work Clothing and Equipment", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www2.osha.gov/SLTC/etools/leadmelter/osharequirements/ppe.html?>>.

Cuadro 17. **Prácticas de trabajo adecuadas a adoptar en instalaciones dedicadas al reciclaje de BPAU**

#	Prácticas de trabajo	Fundamento
1	• No fumar	Disminuye la capacidad del cuerpo para procesar la contaminación por metales pesados.
2	• Separar áreas de trabajo y consumo de alimentos	Minimiza la ingestión de partículas de plomo.
3	• Mantener limpia el área de consumo de alimentos	Minimiza la contaminación cruzada de mesas, alimentos, bebidas y personal.
4	• Lavarse las manos antes de comer	Minimiza la contaminación cruzada de las manos a los alimentos, entre otros.
5	• Ducharse diariamente al término del turno de trabajo, antes de irse a casa	Minimiza la posibilidad de transportar partículas de plomo a la casa o el entorno circundante.
6	• Retirarse el equipo y ropa de trabajo y cambiarse la ropa de trabajo antes de irse a casa	Usar ropa de trabajo evitará que en la ropa de calle se transporten partículas de plomo al exterior de la instalación de procesamiento de BPAU.
7	• Cambiarse y lavar el equipo y la ropa de trabajo todos los días	Todo equipo y ropa de trabajo deberán quedarse en la planta de reciclaje de BPAU y deberán lavarse in situ para minimizar el transporte de cualquier tipo de partículas al exterior. El agua utilizada en las tareas de lavado deberá recolectarse y tratarse.
8	• Revisar y limpiar los respiradores diariamente	Deberá retirarse la acumulación de partículas o partículas de plomo de los respiradores y garantizar la máxima protección de los trabajadores.
9	• Utilizar respiradores	Minimiza la exposición a plomo de las operaciones de procesamiento.
10	• Usar ropa de trabajo	Reduce el riesgo de generar contaminación por plomo fuera de la planta.
11	• Instalar controles mecánicos para reducir la exposición del empleado a polvo con plomo en el aire	Reduce los niveles requeridos de equipo de protección personal para proteger a los empleados de la exposición a polvo con plomo en el aire.
12	• Mantener limpios la casa, vehículos y efectos personales	En caso de llegar a contaminarse los bienes personales, la limpieza reducirá la contaminación.

Fuente: B. Wilson (2009), "Recycling used lead acid batteries: A model life cycle approach", ponencia presentada en el marco de la XIII Conferencia Asiática sobre Baterías-Conferencia Internacional sobre Plomo Reciclado, 31 de agosto al 1 de septiembre de 2009; disponible en: <www.ilmc.org/Presentations/ABC/Recycling%20Used%20Lead%20Acid%20Batteries;%20A%20Model%20Life%20Cycle%20Approach.pdf> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

- Deberá repararse o reemplazarse el equipo de protección personal, cuando sea necesario, a fin de conservar su seguridad y eficacia.¹³⁵
- Deberá colocarse en un contenedor cerrado y etiquetado en los vestidores la ropa de protección contaminada que se va a limpiar, lavar o desechar.¹³⁶
- Es preciso prestar el servicio de limpieza, lavado o disposición final de la ropa y equipo de protección.¹³⁷ Deberá informarse por escrito al personal encargado de limpiar o lavar ropa y equipo sobre los efectos potencialmente nocivos de la exposición al plomo.¹³⁸
- Deberá evitarse soplar o sacudir la ropa o equipo de protección para eliminar el plomo, ya que estas acciones lo dispersan en el aire.¹³⁹ En las gráficas 35 a 38 se muestran algunos métodos adecuados para eliminar partículas de plomo de diferentes prendas de protección.

135. *Idem.*

136. NCDOT (1996), *Air Contaminants: Safety Policy and Procedure*, North Carolina Department of Transportation [Departamento de Transporte de Carolina del Norte]; disponible en: <<https://connect.ncdot.gov/resources/Documents/Safety%20Policy%20and%20Procedure%20Manual.pdf>> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

137. *Idem.*

138. *Idem.*

139. *Idem.*

Gráfica 31

Vestidores



Fuente: US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Hygiene Facilities", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/requirements/hygiene.html#clean_areas>.

Gráfica 32

Casilleros y regaderas



Fuente: M. Sim (2013), "Battery recycling done correctly", en blog sobre contaminación, en: <www.blacksmithinstitute.org/blog/wp-content/uploads/2013/09/clean-locker-room.jpg>.

Gráfica 33

Comedor para empleados



Fuente: US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Hygiene Facilities", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/requirements/hygiene.html#clean_areas>.

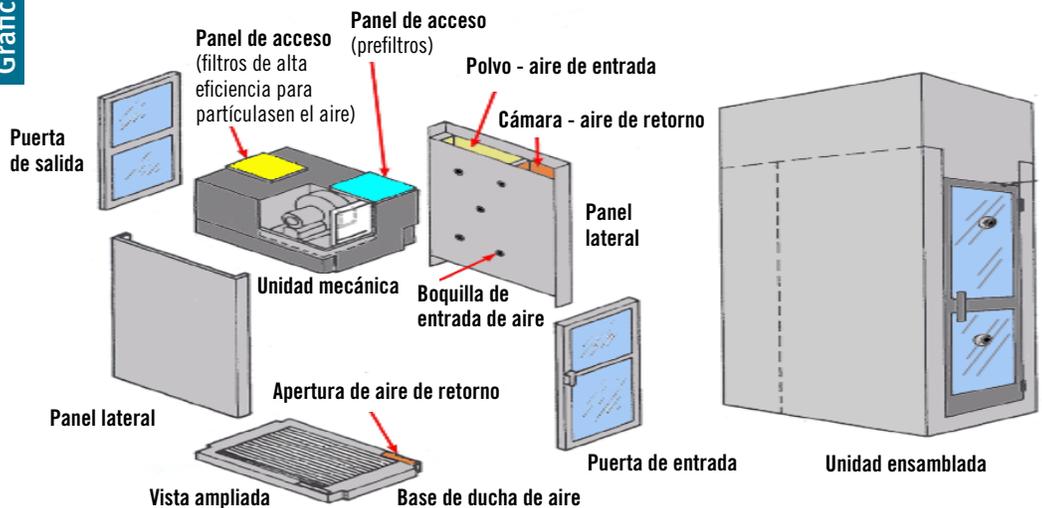
Gráfica 34

Estación de lavado de manos



Gráfica 35

Componentes de una cabina de ducha de aire para limpieza de ropa



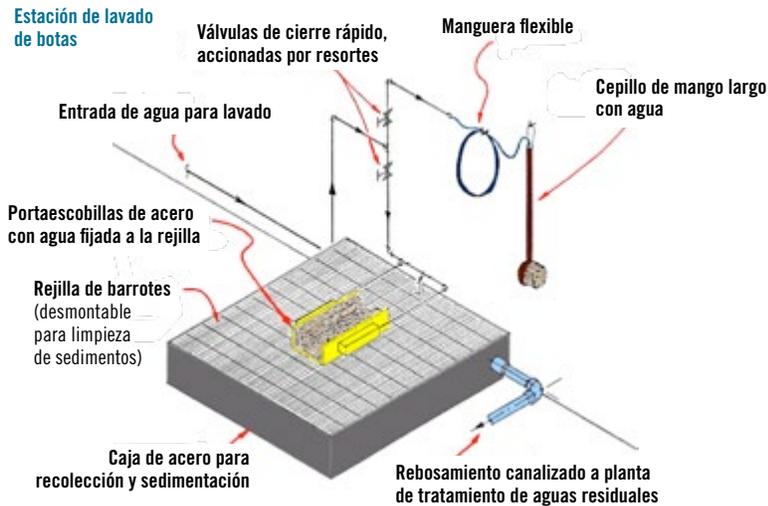
Fuente: US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Hygiene Facilities", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/diagrams/hygiene_shower.gif>.

Aspirado de ropa de protección para retirar partículas de plomo



Fuente: US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Protective Clothing and Equipment", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/requirements/ppe.html>.

Diagrama de estación de lavado de botas para retirar partículas de plomo



Fuente: US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Protective Clothing and Equipment", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/popup/general_boot-wash.html>.

Diagrama de máquina de limpieza de calzado para retirar partículas de plomo

INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

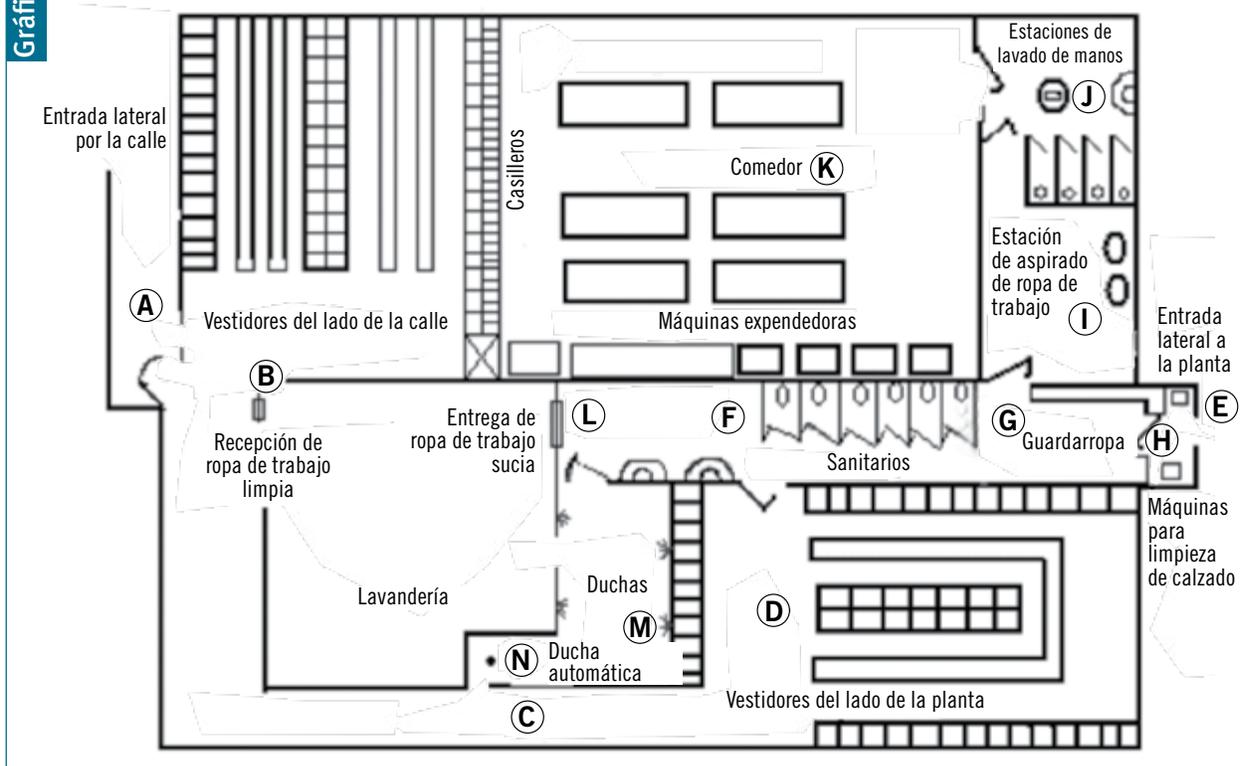
1. Párese lo más cerca posible de la máquina.
2. Sostenga el asa, oprima el interruptor y manténgalo presionado.
3. Introduzca el zapato hasta el fondo, retire y repita dos o tres veces.
4. Después de terminar con el segundo zapato, libere el interruptor.



Hacia el sistema de filtración al vacío con filtros de alta eficiencia para partículas en el aire o hacia el sistema central al vacío de la planta

Fuente: US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Hygiene Facilities", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/popup/hygiene_shoe-clean.html>.

Componentes de una instalación para la higiene personal en dos etapas



Fuente: US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Hygiene Facilities", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/leadsmelter/popups/hygiene_fac_popup.html>.

La gráfica 39 ilustra una instalación para la higiene personal en dos etapas, la cual se compone de los siguientes elementos (descritos en referencia a la gráfica):¹⁴⁰

- Sólo existe un punto por el que puede ingresarse a la instalación desde la calle (A).
 - La ropa de calle debe retirarse en los vestidores del lado de la calle, donde se recibe la ropa de trabajo, el casco y el respirador limpios a utilizar (B).
 - Tras ponerse la ropa y casco recibidos, el empleado pasa por un torniquete de un solo sentido (sólo de entrada) para tener acceso a los vestidores del lado de la planta (C).
 - El empleado se pone las botas de trabajo y demás elementos del equipo de seguridad en los vestidores del lado de la planta, donde se almacenan dichos objetos (D).
 - Sólo hay una entrada a la planta (E).
 - En horas de trabajo, el empleado puede acceder fácilmente a los sanitarios, ubicados en el área del guardarropa (F).
 - El guardarropa brinda un espacio para almacenar
- batas, cascos, guantes y respiradores en los periodos de receso (G).
 - A la hora del almuerzo, el empleado deberá limpiar, en primer lugar, sus botas en las máquinas para limpieza de calzado (H), dejar su bata y equipo en el guardarropa (G), aspirar su ropa en las estaciones de aspirado (I), proceder a la estación de lavado de manos donde se lavará a conciencia (J) y, por último, pasar al comedor (K).
 - Al término del turno de trabajo, el procedimiento es el siguiente: el empleado procede a la limpieza de calzado (H), se retira la ropa contaminada en los vestidores del lado de la planta (D), guarda las botas y demás equipo de protección personal en los casilleros del lado de la planta, entrega la ropa de trabajo sucia junto con el casco y respirador en la lavandería (L) y se dirige a las duchas (M). Enseguida pasará por una ducha automática (N) para regresar a los vestidores del lado de la calle (B), donde se vestirá con su ropa personal y saldrá de la instalación (A).

140. US DOL (s/f), "OSHA Lead Requirements: Hygiene Facilities", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/requirements/hygiene.html#clean_areas>.

Numerosas instalaciones de América del Norte han adoptado ya muchas de las prácticas de trabajo descritas en este apartado. Una empresa, por ejemplo, exige a sus trabajadores que se cambien la ropa de calle en cuanto llegan a la instalación, y el uso de equipo de protección personal es obligatorio todo el tiempo que estén en la planta. La ropa de trabajo se lava diariamente en el sitio. Para evitar que los trabajadores transporten plomo a su casa y expongan a su familia, también se les exige que tomen una ducha antes de ponerse la ropa de calle.

6.3.1 Equipo de protección personal

El uso adecuado del equipo de protección personal constituye un elemento esencial para proteger a los trabajadores en las instalaciones de reciclaje de BPAU de la exposición a plomo, ácidos y otros contaminantes ambientales o sustancias peligrosas. (En la gráfica 40 se muestra un ejemplo de equipo de protección personal.)

El tipo de equipo de protección personal requerido variará para las diferentes áreas dentro de la misma instalación de reciclaje, puesto que también varían los riesgos y tipo de exposición. En cada una de las áreas de estas instalaciones deberán colocarse avisos y letreros claros que describan el tipo de equipo de protección personal que cada trabajador debe utilizar en esa área específica, y todo el personal deberá recibir capacitación sobre cómo usar cada elemento del equipo.

Dependiendo de los requerimientos de la jurisdicción correspondiente, los componentes mínimos requeridos de un equipo de protección personal comprenden los siguientes:

- respiradores: mascarillas de media cara y de cara completa o de suministro de aire con filtros de combinación para partículas y materia orgánica (como ácido sulfúrico);
- cascos;
- guantes de nitrilo y resistentes a productos químicos;
- mandiles estándar;
- mandiles resistentes a productos químicos (con mayores especificaciones y más resistentes que los mandiles estándar);
- gafas de seguridad o anteojos con ventilación;
- protección auditiva;
- ropa de protección térmica (en operaciones de horneado);
- botas de seguridad resistentes a sustancias químicas con punteras de acero (este calzado es conveniente porque brinda mayor protección en áreas húmedas);
- trajes Tyvek con recubrimiento resistente a sustancias químicas (una alternativa al uso de overoles de tela) o ropa de trabajo similar de cuerpo completo;

- caretas (pueden sujetarse al casco), y
- cubrecalzados desechables.

6.4 Monitoreo ambiental y de la salud en instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas

La regla de oro de todo sistema de manejo es que “no puede manejarse lo que no se ha medido”. El monitoreo, la medición y la retroalimentación permanentes aportan información de gran utilidad que se traduce en mejoras continuas y un manejo ambientalmente adecuado. Entre los programas de monitoreo clave que deben instrumentarse en una instalación de reciclaje de BPAU se incluyen los siguientes:

- monitoreo de la calidad del aire
- muestreo de superficies
- monitoreo de exposición al ruido
- monitoreo médico (es decir, salud del trabajador)
- monitoreo de la calidad del agua

En este apartado se aborda cada uno de estos parámetros por separado.

Todas las pruebas deberán realizarse en laboratorios certificados y aprobados que observen estándares como los métodos de análisis establecidos por la EPA y organismos canadienses para medir y tomar muestras de plomo de fuentes fijas como chimeneas.¹⁴¹ En México, los análisis deben llevarse a cabo en laboratorios avalados por las autoridades competentes.

Deberá ponerse en operación un proceso para, de manera continua, evaluar y reevaluar aquellas actividades que podrían dar lugar a exposición a fin de reducir riesgos a la vida humana y el entorno circundante.



Fuente: M. Sim (2013), “Battery recycling done correctly”, en blog sobre contaminación, en: <www.blacksmithinstitute.org/blog/wp-content/uploads/2013/09/man-and-lead.jpg>.

141. El método 12 de la EPA se aplica para la detección de plomo inorgánico: (www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-12.pdf), y el método 29 se utiliza para la detección de partículas de plomo (entre muchos otros metales): (www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-29.pdf). Algunos ejemplos de pruebas utilizadas para detectar emisiones de plomo y otras partículas de metal se encuentran en: <www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=95F47AF7-1>.

6.4.1 Monitoreo de la calidad del aire en instalaciones de reciclaje de plomo secundario

Las instalaciones dedicadas al reciclaje de BPAU deberán llevar a cabo tareas de monitoreo de la calidad del aire para los siguientes parámetros:

- partículas de plomo
- vapores de ácido sulfúrico
- partículas de cadmio (opcional)

El método descrito a continuación es el utilizado normalmente para el monitoreo de la calidad del aire en instalaciones de reciclaje de plomo secundario. Este método se basa en una combinación de los estándares previstos en el Código de Reglamentos Federales (*Code of Federal Regulations*, CFR) de Estados Unidos, título 29, correspondiente a la Administración para la Seguridad y la Salud Laborales (*Occupational Safety and Health Administration*, OSHA), y el título 40 de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA), el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Laborales (*National Institute for Occupational Safety and Health*, NIOSH), junto con otras fuentes:

- Deberá efectuarse una toma de muestras pasiva utilizando bombas para el muestreo del aire.
- Las muestras deberán tomarse en periodos en que no haya operaciones o en los que éstas se hayan suspendido, con el propósito de establecer información de referencia.
- Deberán tomarse muestras de aire personales para detectar contaminantes atmosféricos identificados:
 - por persona durante ocho horas como promedio ponderado en el tiempo;

- por tarea durante ocho horas como promedio ponderado en el tiempo.
- Será preciso realizar tomas de muestras de aire en un área específica para la detección de plomo y cadmio:
 - en la fuente (área de trabajo en cuestión);
 - en un radio de 3 m (10') de la fuente de emisión (considérense tomas en dirección paralela y perpendicular [vertical y horizontal]);
 - en un radio de 6 m (20') de la fuente de emisión (considérense tomas en dirección paralela y perpendicular [vertical y horizontal]).
- Un laboratorio certificado¹⁴² deberá evaluar las muestras para detectar presencia de metales y partículas suspendidas.
- Para efectuar la toma de muestras, deberán observarse los siguientes estándares previstos en el CFR, título 29 de la OSHA (o su equivalente), según corresponda:
 - 1910.120 Hazardous Waste Operations and Emergency Response [Operaciones con desechos peligrosos y respuesta en caso de emergencia];
 - 1910.1200 Hazard Communications [Comunicación en caso de peligro];
 - 1910.1025 Lead Standard [Estándar para plomo];
 - 1910.1027 Cadmium Standards [Estándares para cadmio].
- Según corresponda, deberá aplicarse el estándar 1910.134 Respirator Protection [Respirador de protección] previsto en el CFR, título 29 de la OSHA.

Las gráficas 41 a 43 presentan ejemplos de diferentes bombas de monitoreo y cartuchos para muestreo atmosférico que se emplean para monitoreo de la calidad del aire en instalaciones de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas.

Gráfica 41

Bomba personal o de área para toma de muestras de aire



Fuente: SKC Inc. (2014), "Universal PCXR4 5 to 5000 ml/min", en: <www.skcinc.com/catalog/index.php?cPath=100000000_101000000_101000350> (consulta realizada el 24 de abril de 2015).

Gráfica 42

Sistema personal completo para monitoreo de aire



Fuente: Sensidyne (2015), "Gilian air sampling equipment from Sensidyne", en: <www.sensidyne.com/air-sampling-equipment/sampling-media-accessories/> (consulta realizada el 24 de abril de 2015).

142. En México, las muestras a analizar deberán enviarse a laboratorios avalados por las autoridades competentes.

6.4.2 Monitoreo de la calidad del agua en instalaciones de reciclaje secundario de plomo

Es necesario llevar a cabo de forma regular muestreos de aguas residuales con el propósito de medir las concentraciones de los siguientes parámetros en los efluentes generados por operaciones de procesamiento secundario de plomo:

- metales: plata (Ag), arsénico (As), bario (Ba), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), selenio (Se);
- niveles de pH;
- demanda bioquímica de oxígeno (DBO);
- demanda química de oxígeno (DQO);
- sólidos totales disueltos (STD), y
- sólidos suspendidos totales (SST).

La toma de muestras de agua en instalaciones de procesamiento secundario de plomo se lleva a cabo con el propósito de garantizar que el sistema de tratamiento de aguas residuales esté trabajando eficientemente para eliminar el plomo presente en las aguas residuales descargadas de manera que éstas registren niveles de plomo aceptables para las entidades reguladoras de los ámbitos local, estatal o provincial y, según el caso, nacional o federal. El método de muestreo comprende los siguientes procedimientos:

- Habrán de recolectarse muestras en fuentes de agua adentro y alrededor de las instalaciones para evaluar la posible presencia de contaminantes.
- Las muestras deberán recolectarse en periodos en que no haya operaciones o cuando éstas se hayan suspendido, para establecer información de referencia.
- Deberán realizarse análisis tanto del agua pura de entrada que abastece a las instalaciones de procesos y sanitarias como la de los puntos de descarga sanitarios.
- Se recolectarán muestras al azar a diferentes horas del día para evaluar todas las condiciones posibles.
- Las muestras se enviarán a un laboratorio certificado para su análisis a fin de determinar las concentraciones de metales, sobre todo de plomo, al igual que otros parámetros estándar de calidad del agua (pH, turbidez, demanda química de oxígeno) y aquellos establecidos por las entidades reguladoras locales u otras.¹⁴³
- Los resultados de las muestras se evaluarán con base en parámetros fijos identificados en permisos de operación otorgados por entidades locales, regionales y nacionales o federales a la instalación de operación.

143. *Idem*.

144. CDC (1994), *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*, Centers for Disease Control and Prevention [Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos], 4a. ed., "Method 9100 - Lead in Surface Wipe Samples"; disponible en: <www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/9100.pdf> (consulta realizada el 4 de septiembre de 2014).

6.4.3 Muestreo de superficies en instalaciones de reciclaje de plomo secundario

Con el objeto de establecer la presencia de contaminantes de preocupación, el muestreo de superficies en instalaciones dedicadas al reciclaje de BPAU debe medir los siguientes parámetros:

- plomo;
- cadmio (optativo: no debe estar presente, pero ayudará a determinar si los empleados, sobre todo los fumadores, están observando los procedimientos de higiene adecuados).

El método de muestreo debe seguir los procedimientos establecidos en el método 9100 del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Laborales (*National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH*)¹⁴⁴ e incluir los siguientes:

- Las superficies de donde se obtendrán muestras deben corresponder a cualquier lugar que deba limpiarse y mantenerse libre de contaminantes, como oficinas, escritorios, sanitarios, áreas de descanso, salas blancas y lugares de reunión.
- Las muestras deben recolectarse en periodos en que no haya operaciones o cuando éstas se hayan suspendido, para establecer información de referencia.
- Las muestras por relevamiento de superficies identificadas deberán recogerse a intervalos y en lugares distintos a lo largo del día para obtener la mejor evaluación posible de la contaminación en superficies.
- Un laboratorio certificado deberá evaluar las muestras para determinar las concentraciones de metales en apego al Manual de métodos de prueba SW-846 (*SW-846 Test Method Manual*) de la EPA (o equivalente).
- Puede llevarse a cabo un muestreo instantáneo o "en sitio" en cualquier momento para evaluar la presencia de un contaminante identificado, como el plomo. Con este tipo de muestreo se identifica la presencia pero no la cantidad de contaminantes en el punto donde se recogió la muestra.

En las gráficas 44 y 45 se muestran ejemplos de materiales utilizados para el muestreo de superficies.

Kit de muestreo para la detección de plomo en el aire



Fuente: SKC Inc. (2015), "Lead in Air Sample Pump Kit", en: <www.skcinc.com/catalog/product_info.php?cPath=22&products_id=123>.

Ejemplo de paño para toma de muestra en superficies



Fuente: SKC Inc. (2014), "Ghost Wipes for lead and other metals", en: <www.skcinc.com/catalog/index.php?cPath=600000000_601000000_601000100>.

Kit de recolección de muestras con paños para detección de plomo en piel y superficies



Fuente: SKC Inc. (2014), "Full Disclosure detects lead on skin & surfaces", en: <www.skcinc.com/catalog/index.php?cPath=600000000_601000000_601000050>.

6.4.4 Medición de ruido

El primer paso para medir la exposición al ruido en el lugar de trabajo consiste en determinar si existe o no un problema de ruido. Las mediciones de la exposición del personal en general (muestreo por área) deberán recolectarse en periodos en que no haya operaciones o cuando éstas se hayan suspendido, a fin de establecer un punto de referencia. Deben tomarse varias mediciones en distintos lugares dentro del mismo lugar de trabajo para calcular la exposición del empleado al ruido.¹⁴⁵ Una vez que se determina que existe un problema con el ruido, se recolectan muestras personales de entre los empleados para determinar la exposición individual en función de la tarea que se realiza. Los niveles de ruido en el trabajo y la exposición a que están sometidos los trabajadores deben medirse siguiendo

un procedimiento como el estándar 1910.95 previsto en el CFR, título 29 de la OSHA, o la norma que se aplique en la jurisdicción a la que pertenece la instalación.

Existen dos instrumentos diferentes para medir la exposición al ruido: el sonómetro y el dosímetro acústico.

Al detectar leves variaciones de presión en el aire asociadas con el sonido y cambiarlas por señales eléctricas, un sonómetro permite determinar la exposición instantánea de una persona al ruido. El circuito eléctrico del aparato se encarga de procesar estas señales y luego la lectura muestra el nivel de sonido en decibeles.¹⁴⁶

Un dosímetro acústico es similar al sonómetro salvo en que aquél almacena las mediciones de niveles de ruido en un marco temporal, con lo que genera una lectura de exposición promedio al ruido para un periodo determinado,

145. J. M. Cohen y R. D. Peterson (1995), *The complete guide to OSHA compliance*, en: <http://books.google.ca/books?id=Eo2T7j1Y9gC&dq=%22A+dosimeter+is+like+a+sound+level+meter+except+that+it+stores+sound+level+measurements+%22&source=gbs_navlinks_s> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

146. CCOHS (2015b), "OSH answers fact sheets", *Noise - Measurement of workplace noise*, Canadian Centre for Occupational Health and Safety [Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional], en: <www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_measurement.html> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

como podría ser una jornada de ocho horas. En las gráficas 46 y 47 se presentan ejemplos de dosímetros acústicos. (La reproducción de las marcas de los productos en las fotografías presentadas en este documento no implica en modo alguno la aprobación de esos productos por la CCA o alguno de los tres gobiernos.)

6.4.5. Monitoreo médico

El monitoreo médico y biológico de los empleados en instalaciones de reciclaje de plomo secundario deberá comprender los siguientes elementos:

- biometría hemática completa cada año para los siguientes parámetros (con mayor frecuencia si se detectan parámetros de preocupación):
 - hemograma;
 - química sanguínea básica (de siete elementos);
 - examen general de orina;
 - análisis de sangre para detectar la presencia de plomo, cadmio y mercurio;
 - análisis de orina para detectar la presencia de cadmio y mercurio;
- extracción de sangre en tubos de llenado parcial dos veces al año para detectar la presencia de plomo y cadmio (opcional);
- examen físico con énfasis en el sistema respiratorio;
- audiogramas, y
- radiografía de tórax.

Los resultados de las pruebas de cadmio ayudan a los evaluadores a entender la carga adicional como resultado de prácticas de consumo de tabaco, así como a documentar números de referencia para fumadores puesto que su organismo absorberá más rápidamente el plomo y lo eliminará con mayor lentitud que una persona que no fuma.

Los programas de monitoreo médico son necesarios para evaluar la salud de los empleados con el propósito de prevenir una exposición innecesaria y efectos adversos a largo plazo en la salud relacionados con el entorno laboral. Las actividades de monitoreo deberán realizarlas y gestionaras profesionales del cuidado de la salud autorizados.

Entre las pruebas a realizar se incluyen evaluaciones biológicas y físicas y éstas se efectúan con distinta frecuencia dependiendo de los factores de preocupación identificados.

6.5 Planes de emergencia

Todas las instalaciones deberán contar en sitio con un plan de preparación para hacer frente a contingencias en el que se definan procedimientos a seguir en caso de una emergencia; por ejemplo, incendios, derrames químicos, explosiones, terremotos o descargas imprevistas de productos peligrosos. Todos los empleados deberán tener presente cómo proceder en caso de una emergencia o cuando se activan alarmas específicas. Asimismo, deberán tener conocimiento y estar familiarizados con planes de evacuación y puntos de reunión por medio de simulacros periódicos sobre procedimientos en caso de contingencias. Siempre deberá haber un empleado que esté de guardia, con la responsabilidad de coordinar las acciones de respuesta si llegase a presentarse una situación de emergencia.

Para preparar el plan de emergencia, los propietarios y operadores de la instalación deberán consultar con los departamentos locales de policía y bomberos, hospitales, funcionarios federales, nacionales, estatales o provinciales, al igual que con equipos de respuesta a emergencias encargados de coordinar los recursos locales para



Fuente: 3M (2015), "3M™ Edge™ Dosimeters", en: <http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/Product_Catalogue/~/3M-Edge-Dosimeters?N=5158380+3294411297+3294857473&rt=rud>.



Fuente: Casella CEL Inc. (2014), "dBadge Micro Noise Dosimeter CEL-350", en: <www.casellausa.com/store/product.cfm?PID=7C504B4D4D197450>.



atender ese tipo de situaciones, así como con representantes de los gobiernos municipales y contratistas que montarían guardias para ayudar a hacer frente a una contingencia. En el cuadro 18 se presenta una lista de verificación para la instrumentación de actividades de monitoreo y protección ambientales en plantas de reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas.

El plan de emergencia deberá comprender, cuando menos, los siguientes elementos:

- **Describir las medidas a adoptar para minimizar riesgos** a la salud humana —en primer lugar—, pero también para proteger el medio ambiente (aire, suelo y agua) de toda descarga imprevista de desechos peligrosos o materiales que representen una amenaza para el medio ambiente.
- **Tener una lista con los nombres y teléfonos de contacto de todos los miembros del personal que estén calificados para actuar como coordinadores en caso de una emergencia.** En esta lista se identificará al coordinador principal y se incluirán los teléfonos de los empleados capacitados para actuar como coordinadores en caso de emergencia y con quienes habrá que comunicarse en caso de que el coordinador principal no esté disponible. Es fundamental mantener actualizada esta lista de contactos.
- **Describir todo el equipo de emergencia que se encuentra en sitio** (por ejemplo, sistemas extinguidores de incendio, kits de control para casos de derrame, sistemas de comunicación y alarma, y equipo de descontaminación) e identificar su ubicación dentro de la instalación.

Cuadro 18. Lista de verificación de la aplicación para monitoreo y protección ambientales en plantas de reciclaje de BPAU

Área de instrumentación	Actividad clave de MAA	Acciones y puntos a considerar	Para detalles, consulte el apartado ...
Medidas de control para proteger la salud y seguridad de los trabajadores	Observancia de las normas requeridas en materia de salud laboral	<input type="checkbox"/> Conocer y observar la legislación pertinente en materia de salud y seguridad laborales para la jurisdicción correspondiente, sobre todo en lo que se refiere a niveles aceptables tanto de exposición a plomo como de contenido en la sangre. <input type="checkbox"/> Efectuar evaluaciones de riesgos para determinar las amenazas y diseñar e instrumentar controles o mejoras para atender estos riesgos. <input type="checkbox"/> Adoptar prácticas de trabajo adecuadas.	6.1 6.2 6.3
Equipo de protección personal	Protección de los trabajadores frente a toda exposición posible, mediante el uso de los controles adecuados con base en evaluaciones de riesgos y disposiciones reglamentarias	<input type="checkbox"/> Respiradores: mascarillas de media cara y de cara completa o de suministro de aire con filtros de combinación. <input type="checkbox"/> Cascos. <input type="checkbox"/> Guantes de nitrilo y resistentes a productos químicos. <input type="checkbox"/> Mandiles o aquellos resistentes a productos químicos (con mayores especificaciones y más resistentes que los mandiles estándar). <input type="checkbox"/> Gafas de seguridad o anteojos con ventilación. <input type="checkbox"/> Protección auditiva. <input type="checkbox"/> Ropa de protección térmica (en operaciones de hornado o trabajos en caliente). <input type="checkbox"/> Botas de seguridad resistentes a sustancias químicas con punteras de acero. <input type="checkbox"/> Trajes Tyvek con recubrimiento resistente a sustancias químicas, o ropa de trabajo similar de cuerpo completo. <input type="checkbox"/> Caretas (pueden sujetarse al casco). <input type="checkbox"/> Cubrecalzados desechables.	6.3
Monitoreo	Monitoreo de exposición personal	<input type="checkbox"/> Diseñar e instrumentar un sistema amplio para el monitoreo de la calidad del aire, que comprenda los siguientes elementos: <input type="checkbox"/> toma de muestras pasiva; <input type="checkbox"/> muestras personales y del aire ambiente; <input type="checkbox"/> análisis de las muestras por un laboratorio certificado, y <input type="checkbox"/> uso de respiradores en apego a las disposiciones reglamentarias aplicables.	6.4.1
	Muestreo y pruebas de superficies	<input type="checkbox"/> Tomar muestras de superficies de trabajo y adyacentes dentro de la instalación para detectar la presencia de plomo y cadmio, siguiendo protocolos de muestreo establecidos y probados para la toma de muestras por relevamiento de superficie. <input type="checkbox"/> Someter las muestras a análisis por un laboratorio certificado.	6.4.3
	Medición del ruido	<input type="checkbox"/> Medir periódicamente el ruido adentro de la instalación y el área circundante para calcular la exposición de los empleados a éste. Las muestras se tomarán: <input type="checkbox"/> Durante la suspensión de las operaciones para establecer el ruido de referencia. <input type="checkbox"/> En distintas áreas para establecer el ruido de fondo. <input type="checkbox"/> En las áreas de trabajo de los empleados para determinar la exposición individual.	6.4.4
	Monitoreo médico	<input type="checkbox"/> Efectuar exámenes físicos regulares a los empleados para determinar la exposición a plomo y otras sustancias químicas. Estos exámenes comprenden análisis de sangre y orina, pruebas respiratorias y auditivas y radiografías de tórax.	6.4.5
	Monitoreo de la calidad del agua	<input type="checkbox"/> Diseñar e instrumentar un sistema amplio para el monitoreo de la calidad del agua, que comprenda los siguientes elementos: muestreo regular para determinar la presencia de metales, la demanda bioquímica y química de oxígeno, y el total de sólidos disueltos y suspendidos. <input type="checkbox"/> Adherirse a protocolos de muestreo establecidos y probados. <input type="checkbox"/> Someter las muestras a análisis por un laboratorio certificado.	6.4.2
Planes de emergencia	Elaboración de un plan de preparación para hacer frente a contingencias	<input type="checkbox"/> Elaborar e instrumentar un plan de preparación para hacer frente a contingencias que defina los procedimientos a adoptar en caso de una emergencia. Este plan deberá: <input type="checkbox"/> Describir las acciones a emprender para minimizar los riesgos a la salud humana y el medio ambiente que supone una descarga imprevista de desechos peligrosos y otros materiales. <input type="checkbox"/> Incluir una lista con los nombres y teléfonos de contacto de los miembros del personal que estén calificados para fungir como coordinadores en caso de una contingencia. <input type="checkbox"/> Describir todo el equipo de emergencia con que se cuente en sitio y señalar su ubicación dentro de la instalación.	6.5



7

Auditorías y elaboración de informes



7. Auditorías y elaboración de informes

7.1 Auditorías

En forma periódica deberán efectuarse auditorías que permitan confirmar que las instalaciones evalúan su desempeño de manera congruente con las presentes directrices técnicas. La Organización Internacional de Normalización (*International Standards Organization*, ISO) ha elaborado directrices con miras a contribuir a asegurar que los resultados de las auditorías sean confiables y precisos, además de permitir a los auditores trabajar independientemente unos de otros para llegar a conclusiones similares en circunstancias parecidas. Entre estas normas se incluyen la ISO 19011 y la ISO 17021. Las auditorías en las instalaciones dedicadas al reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas (BPAU) deberán correr por cuenta de profesionales certificados y en apego a los lineamientos establecidos en las normas ISO 19011 e ISO 17021, o una norma equivalente.

En la norma ISO 19011 se establecen “directrices para la auditoría de los sistemas de gestión, entre las que se incluyen principios de auditoría, la gestión de un programa de auditoría y la conducción de auditorías de los sistemas de gestión, así como pautas para evaluar la competencia de las personas que participan en el proceso de auditoría, incluidas aquellas encargadas de gestionar el programa de auditoría, los auditores mismos y los equipos de auditoría”.¹⁴⁷

Como complemento de la norma ISO 19011 está la ISO 17021, que “contiene principios y requisitos para la competencia, coherencia e imparcialidad de la auditoría y certificación de sistemas de gestión de todo tipo (por ejemplo, sistemas para la gestión de calidad o ambiental) y para los órganos que realizan estas actividades”.¹⁴⁸

7.2 Elaboración de informes

Las instalaciones que reciben y manejan BPAU deben instrumentar y mantener un sistema de rastreo para controlar, pesar o contabilizar, y documentar la totalidad de materiales, desechos y equipo y componentes enviados para reciclaje que entran y salen de una planta. En toda instalación deberán adoptarse sistemas de rastreo que abarquen materiales almacenados fuera de sitio.

Para fines de la elaboración de informes y para demostrar cumplimiento con requisitos reglamentarios, las instalaciones que reciclan BPAU deberán llevar registros mensuales de las actividades de operación. Todos los registros deberán ser de fácil acceso y estar a disposición tanto del personal interno como de terceros para su revisión a lo largo de la vida útil de la instalación. Estos registros deberán contener, entre otros puntos, los siguientes:

- identificación de generadores y transportistas de BPAU;
- información sobre indicadores de desempeño clave, como tasa de eficiencia, de recuperación y residual del reciclaje (las definiciones varían entre una jurisdicción y otra); para algunas instalaciones podría tratarse de información confidencial y, por ello, no estar disponible para su consulta;
- descripción de cómo se procesaron los materiales de desecho;
- origen y cantidad del material recibido (masa, unidad o volumen) por tipo de material o clase de artículo;
- cantidad (masa, unidad o volumen) de material almacenado, en espera de procesarse, reciclarse, reutilizarse o reacondicionarse y someterse a los pasos siguientes del proceso;

147. ISO (2011b), *ISO 19011:2011:Guidelines for auditing management systems*, Organización Internacional de Normalización, en: <www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=50675> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

148. ISO (2011a), *ISO/IEC 17021:2011: Conformity assessment: Requirements for bodies providing audit and certification of management systems*, Organización Internacional de Normalización, en: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=56676> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).



- cantidad (masa, unidad o volumen) y tipo de material residual enviado a disposición final y método de disposición;
- cantidad (masa, unidad o volumen) y tipos de material vendido o redistribuido;
- descripción de quejas recibidas, y
- revisión trimestral de documentación, así como de flujos de material entrante y residual en la instalación.

Son numerosos los beneficios reconocidos que se derivan de la adopción e instrumentación de prácticas de MAA, a saber:

- Se amplían las oportunidades comerciales para las empresas: son cada vez más los clientes que exigen que las instalaciones que procesan componentes relacionados con sus productos, al final de su vida útil, practiquen un MAA, lo que se traduce en una ventaja competitiva para todas las empresas a lo largo de la cadena de abasto.
- Aumenta la recuperación de materiales de elevado valor económico, como el plomo.
- Se logra una mayor eficiencia operativa mediante la implementación de sistemas y procedimientos innovadores que se centran en la reducción, reutilización y reciclaje de desechos.
- Mejoran la salud y seguridad de los trabajadores, al tiempo que se protege a las comunidades vecinas y el medio ambiente.
- Se asegura el cumplimiento de disposiciones reglamentarias y legales.

Apéndice: Capacidad en pie para reciclar baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte

Instalaciones que procesan BPAU en Canadá

Nombre de la instalación	Ubicación	Descripción
Metalex Products Ltd.	Richmond, Columbia Británica	Otros procesos de fabricación misceláneos
Teck Trail Operations	Trail, Columbia Británica	Fundición y refinación de metales no ferrosos (salvo aluminio)
K.C. Recycling Ltd.	Trail, Columbia Británica	Acopio y fragmentación de baterías
Tonolli	Mississauga, Ontario	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
Newalta	Ste-Catherine, Quebec	Fundición de metales no ferrosos
Glencore - Brunswick Smelter	Belledune, Nuevo Brunswick	Fundición y refinación de metales no ferrosos (salvo aluminio)

Instalaciones que procesan BPAU en México

Nombre de la instalación	Ubicación	Descripción
Proveedora de Metales y Similares, S.A. de C.V.	Aguascalientes, Aguascalientes	Recolección de desechos
Óxidos y Pigmentos Mexicanos, S.A. de C.V.	Tijuana, Baja California	Reciclaje de BPAU, fundición y refinación
Martha Alicia Boites Jiménez	León, Guanajuato	Recolección de desechos, estiraje y extrusión
Funofec, S.A.	Tizayuca, Hidalgo	Recolección de desechos
Dian Procesos Metalúrgicos, S.A. de C.V.	Tlajomulco, Jalisco	Recolección de desechos, estiraje y extrusión
Sion Acumuladores, S.A. de C.V.	El Salto, Jalisco	Recolección de desechos, estiraje y extrusión
Industrial Mondelo, S. de R.L. de C.V.	Lerma, Estado de México	Recolección de desechos, óxidos y sulfato de plomo, y reciclaje de BPAU
Industrias Deutsch, S.A. de C.V.	Cuautitlán, Estado de México	Reciclaje de plomo, óxidos de plomo
La Batería Verde, S.A. de C.V.	Tezoyuca, Estado de México	Reciclaje de BPAU
Eric Odranoel Bobadilla Quintero	Morelia, Michoacán	Recolección de desechos, reciclaje
MG Recicles, S.A. de C.V.	Ecuandureo, Michoacán	Recolección de desechos, estiraje y extrusión
Corporación Pipsa, S.A. de C.V.	García, Nuevo León	Recolección de desechos
Eléctrica Automotriz Omega, S.A. de C.V.	Doctor González, Nuevo León,	Recolección de desechos, fundición de plomo
Enertec Exports (JCI), S. de R.L. de C.V. (planta Ciénega de Flores)	Ciénega de Flores, Nuevo León	Reciclaje de BPAU
Enertec Exports (JCI), S. de R.L. de C.V. (planta García)	García, Nuevo León	Fundición y refinación de plomo
Recicladora Industrial de Acumuladores, S.A. de C.V.	Santa Catarina, Nuevo León	Recolección de desechos, fundición de plomo

Instalaciones que procesan BPAU en México

Nombre de la instalación	Ubicación	Descripción
Reciclajes y Destilados Monterrey, S.A. de C.V.	García, Nuevo León	Recolección de desechos
Recmat de México, S. de R.L. de C.V.	García, Nuevo León	Baterías de plomo
Productos Metalúrgicos Poblanos, S.A. de C.V.	Huejotzingo, Puebla	Recolección de desechos
Fundametz México, S.A. de C.V.	San Luis Potosí, SLP	Recolección de desechos
Omega Recy, S.A. de C.V. (antes Omega Solder México, S.A. de C.V.)	San Luis Potosí, SLP	Recolección de desechos, estiraje y extrusión
Versisa, S.A. de C.V.	San Luis Potosí, SLP	Recolección de desechos y BPAU
Fundidora VH, S.A. de C.V. (antes Hornos de Fundición, S.A. de C.V.)	Valle Hermoso, Tamaulipas	Recolección de desechos y BPAU
M3 Resources México, S. de R.L. de C.V.	Reynosa, Tamaulipas	Fundición de metales no ferrosos
Metalúrgica Xicohtécatl, S. de R.L. de C.V.	Tlaxco, Tlaxcala	BPAU, placas de baterías, óxidos y sulfato de plomo

Instalaciones que procesan BPAU en Estados Unidos

Nombre de la instalación	Ubicación	Descripción
The Battery Recycling Company	Arecibo, Puerto Rico	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
The Doe Run Company - Buick Resource Recycling Division	Boss, Misuri	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
East Penn Manufacturing Co., Inc.	Lyon Station, Pensilvania	Fabricación y reciclaje de baterías
Exide Technologies, Inc.	Muncie, Indiana	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
Exide Technologies, Inc.	Canon Hollow, Misuri	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
Gopher Resource Corporation	Eagan, Minnesota	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
Gopher Resource Corporation - Envirofocus Technologies	Tampa, Florida	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
Johnson Controls, Inc.	Florence, Carolina del Sur	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
RSR Corporation, Quemetco	City of Industry, California	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
RSR Corporation, Quemetco	Indianápolis, Indiana	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
RSR Corporation, Revere	Middleton, Nueva York	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos
Sanders Lead Company	Troy, Alabama	Laminación, estiraje, extrusión y aleación de metales no ferrosos

Glosario

Agente fundente	Producto químico que, usado en el proceso de limpieza, favorece el fluido o purifica el metal durante el proceso de fundición. ¹⁴⁹
Batería de plomo-ácido usada (BPAU)	Aquella que no puede recargarse adecuadamente para cumplir con un propósito útil. ¹⁵⁰
Batería de plomo-ácido	Dispositivo electroquímico recargable utilizado para almacenar y producir energía eléctrica. ¹⁵¹
Bordillo	Faja o cinta de piedra o concreto que forma un borde para un área de almacenamiento, calles o caminos.
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Sustancias químicas orgánicas que presentan una elevada presión de vapor a temperatura ambiente normal. Esta presión de vapor alta es el resultado de un punto de ebullición bajo, lo que causa que una gran cantidad de moléculas se evaporen o sublimen a partir de la forma líquida o sólida del compuesto y lleguen al aire circundante. ¹⁵²
Desmantelamiento	En el contexto de las presentes directrices, proceso formal mediante el cual se elimina la condición activa de una planta de fundición secundaria para cerrarse o pasar a estado inactivo. ¹⁵³
Dosímetro acústico	El dosímetro acústico es un aparato destinado a la medición de niveles de ruido acumulados durante determinado periodo, de manera que permite determinar la exposición al ruido de una persona. ¹⁵⁴
Electrolito	Solución ácida, básica o salina capaz de conducir corriente. En una batería de plomo-ácido, el electrolito es una solución diluida de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) y agua (H ₂ O). ¹⁵⁵
Emisiones por chimenea	Descargas a la atmósfera procedentes de materias primas o procesos industriales que se liberan después de haber pasado a través de un instrumento de filtración o mecanismo de control diseñado para reducir o eliminar las sustancias peligrosas contenidas o la cantidad en niveles de riesgo antes de su emisión al medio ambiente. ¹⁵⁶
Emisiones fugitivas	Descargas atmosféricas procedentes de materias primas u otros procesos industriales que se liberan a la atmósfera sin pasar por ningún instrumento de filtración o mecanismo de control diseñado para reducir o eliminar las sustancias peligrosas contenidas o la cantidad en niveles de riesgo antes de su emisión al medio ambiente. ¹⁵⁷
Equipo de protección personal	Ropa, cascos, gafas de seguridad u otras prendas o equipo diseñados para proteger de lesiones el cuerpo del usuario. Entre los riesgos contra los que protege el equipo de protección se incluyen los físicos, eléctricos y biológicos, o por calor, sustancias químicas y partículas suspendidas transportadas por el aire. ¹⁵⁸
Escoria	Producto derivado del proceso de fundición; normalmente se emplea para extraer desechos en la fundición de metales. ¹⁵⁹

149. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Flux", en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_%28metallurgy%29>.

150. CCA (2007), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 2, *supra*.

151. C&D Technologies, Inc. (2012), *Lead acid battery terminology glossary*, boletín técnico; disponible en: <www.cdtechno.com/pdf/ref/41_7745_0112.pdf> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

152. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Volatile organic compound", en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound>.

153. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Decommissioning", en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Decommissioning>>.

154. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Dosímetro acústico" y "Noise dosimeter", en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Dos%C3%ADmetro_ac%C3%BAstico> y <https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_dosimeter>.

155. C&D Technologies, Inc. (2012), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 151, *supra*.

156. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

157. *Idem*.

158. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Personal Protective Equipment", en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_protective_equipment>.

159. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Slag", en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Slag>>.

Filtro de manga o tela	Las partículas secas quedan atrapadas en los filtros de tela, papel o material similar. Estos filtros se sacuden o se someten a un chorro de aire para quitarles las partículas, las cuales pasan a una tolva de recolección. Los filtros se emplean para controlar contaminantes atmosféricos generados por plantas siderúrgicas, fundidoras y hornos industriales.
Fragmentación de baterías	Proceso mediante el cual se rompen, trituran o desarmen baterías de plomo-ácido para recuperar sus componentes. ¹⁶⁰
Fuente fija o puntual	Fuente identificable de contaminación del aire, el agua, térmica, lumínica o acústica. Las fuentes puntuales se pueden reducir por aproximación a puntos matemáticos a fin de simplificar el análisis en la modelización de la contaminación. ¹⁶¹
Fundición	Reducción química de compuestos de plomo a plomo elemental o aleaciones de plomo mediante un proceso en hornos a altas temperaturas (mayores a los 980 grados Celsius), entre los que se incluyen altos hornos, de reverbero, giratorios y eléctricos. ¹⁶²
Granzas	Materiales contaminados con plomo que se forman durante el proceso de fusión. ¹⁶³
Guantes de nitrilo	Clase de guante desechable hecho de hule sintético. Además de ser más resistentes a las perforaciones que muchos otros guantes de hule, los de nitrilo ofrecen una resistencia superior a muchos tipos de sustancias químicas. ¹⁶⁴
Información de referencia	Acopio inicial de información que sirve de base para efectos de comparación con información adquirida posteriormente. ¹⁶⁵
Manejo ambientalmente adecuado o MAA	Esquema para garantizar que los desechos y materiales usados y de desecho se manejen de tal forma que se preserven recursos naturales y se proteja la salud humana y el medio ambiente frente a los efectos adversos que puedan ocasionar esos desechos y materiales. ¹⁶⁶
Neutralización	Reacción química en la cual un ácido y una base reaccionan cuantitativamente entre sí. En una reacción en agua, la neutralización se da al no haber exceso de iones de hidrógeno o hidróxido presentes en la solución. El pH de la solución neutralizada dependerá del grado de acidez de los reactivos. ¹⁶⁷
Nivel de acción	Concentración de una sustancia específica, calculada como un promedio ponderado en un periodo de ocho horas, que amerita ciertas actividades como monitoreo de la exposición y vigilancia médica. ¹⁶⁸
Nivel de exposición permisible	Límites reglamentarios para la cantidad o concentración de una sustancia en el aire. Estos límites se basan en una exposición promedio ponderada en un periodo de ocho horas. ¹⁶⁹
NO_x	Término genérico que reúne dos tipos de óxidos de nitrógeno: el monóxido de nitrógeno u óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO ₂). Ambos se producen a partir de la reacción de gases de nitrógeno y oxígeno en el aire durante la combustión, sobre todo a temperaturas elevadas. Al reaccionar, los gases de NO _x generan esmog y lluvia ácida. ¹⁷⁰

160. US EPA, *40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards...* Véase referencia completa en nota 101, *supra*.

161. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Point source pollution", en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Point_source_pollution>.

162. US EPA, *40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards...* Véase referencia completa en nota 101, *supra*.

163. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

164. Xintex Group, *Gloves Nitrile*; disponible en: <http://www.xintex-group.com/xintex%20printgo/download/Datasheet/140/web/web_xintex_en_gni_PDS.pdf> (consulta realizada el 5 de enero de 2015).

165. *Business Dictionary* (s/f), "Baseline data", en: <www.businessdictionary.com/definition/baseline-data.html>.

166. OCDE (2007), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 3, *supra*.

167. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Neutralization", en: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Neutralization_\(chemistry\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Neutralization_(chemistry))>.

168. US DOL (s/f), "OSHA Permissible Exposure Limits (PELs)", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/dsg/annotated-pels/index.html> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

169. *Idem*.

170. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "NO_x", en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/NOx>>.

Película retráctil	Película plástica transparente utilizada a manera de empaque para envolver un artículo.
Polea final	Polea al final de la banda transportadora opuesta al extremo de la descarga normal. ¹⁷¹
Puntos de recarga de horno de fundición	Abertura física a través de la cual se introducen las materias primas en un alto horno. ¹⁷²
Refinación de plomo	Eliminación de casi todo el cobre, antimonio, arsénico y estaño de los lingotes de plomo en bruto. ¹⁷³
Refinación pirometalúrgica	Recuperación de metal por medio de un proceso térmico como la fundición. ¹⁷⁴
Sellador	Material empleado para sellar la tapa de la carcasa de la batería. ¹⁷⁵
Separación por gravedad	Proceso mediante el cual los óxidos y sulfatos de plomo se separan de los demás materiales contenidos en una batería en función de sus diferentes densidades. ¹⁷⁶
Sistema de detección de fugas en la manga	Instrumento con capacidad para monitorear las cargas de partículas suspendidas (polvo) en los tubos de escape de un filtro, con el propósito de detectar fallas en la manga. ¹⁷⁷
Sumidero de recolección	Desagüe en el punto más bajo del área por donde fluirán escurrientías o derrames.
Supresión húmeda	Atomización o rociado de agua para minimizar las partículas de polvo que circulan en el sitio.
Sustancia amortiguadora	Ácido o base débil que se emplea para mantener la acidez (pH) de una solución cercana a un valor elegido después de agregar otro ácido o base. Es decir, la función de una sustancia amortiguadora estriba en prevenir un cambio rápido en el pH cuando se agregan ácidos o bases a la solución.
Sustancia química reactiva	Producto químico que se añade a un sistema para provocar una reacción química. ¹⁷⁸
Tamizado	Parte del proceso de fragmentación de baterías en que partículas pequeñas o finas se separan de la pasta de electrodo, que contiene plomo. ¹⁷⁹
Tarifa de reciclaje por contrato de suministro fijo	Convenio mediante el cual una fundidora conviene en fundir el plomo devuelto por los fabricantes de baterías a cambio de una cuota específica o “tarifa por contrato de suministro fijo”. ¹⁸⁰
Tarima	Estructura plana para transporte que mantiene los productos estables cuando los levanta un montacargas. ¹⁸¹
Terminales o bornes	Botones positivos y negativos de plomo que sobresalen de la carcasa de plástico de la batería a través de los cuales el aparato eléctrico hace conexión con la batería. ¹⁸²

171. *McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms* (2003), The McGraw-Hill Companies, Inc., en: <<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/tail+pulley>>.

172. US EPA, *40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards...* Véase referencia completa en nota 101, *supra*.

173. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

174. CCA (2007), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 2, *supra*.

175. *Idem*.

176. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

177. US EPA, *40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards...* Véase referencia completa en nota 101, *supra*.

178. Colaboradores de Wikipedia (*s/f*), “Reagent”, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Reagent>>.

179. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

180. CCA (2013b), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 18, *supra*.

181. Colaboradores de Wikipedia (*s/f*), “Pallet”, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Pallet>>.

182. Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *op. cit.* Véase referencia completa en nota 17, *supra*.

Tolva de recolección	Recipiente grande en forma piramidal que se utiliza en procesos industriales para recibir partículas suspendidas que se han recogido del aire de salida. Las tolvas se instalan normalmente en grupos para permitir que se recolecte la mayor cantidad de partículas posible. Se emplean en procesos industriales que utilizan dispositivos para el control de la contaminación atmosférica, como recolectores de polvo, precipitadores electrostáticos y filtros de manga o tela. La mayoría de las tolvas están hechas de acero. ¹⁸³
Torta de filtración	Se forma por las sustancias retenidas en el filtro. Cuando la torta de filtración alcanza cierto grosor, tiene que extraerse del filtro. ¹⁸⁴
Válvula de horno de fundición	El plomo y escoria fundidos se extraen del horno de fundición a través de válvulas. Algunas de éstas vierten el plomo directamente a un crisol, que mantiene el metal fundido para refinación, mientras que otras lo hacen en moldes o cucharones. ¹⁸⁵

183. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Hopper (particulate collection container)", en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hopper_%28particulate_collection_container%29>.

184. Colaboradores de Wikipedia (s/f), "Filter Cake", en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Filter_cake>.

185. US DOL (s/f), "OSHA Secondary Lead Smelters eTool", United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/leadsmelter/index.html> (consulta realizada el 22 de mayo de 2015).

Bibliografía

- 3M (2015), “3M™ Edge™ Dosimeters”, en: <http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/Product_Catalogue/~/3M-Edge-Dosimeters?N=5158380+3294411297+3294857473&rt=rud>.
- Acello, B. (2002), *The OSHA handbook: Guidelines for compliance in health care facilities and interpretive guidelines for the bloodborne pathogen standard*, 3a. ed., Delmar Learning, Clifton Park, Nueva York; disponible en: <http://books.google.ca/books?id=yqN7ZaNmKH8C&dq=%22work+practice+controls+reduce%22&source=gbs_navlinks_s>.
- Air & Waste Management Association (2007), *Fact sheet: Air pollution emission control devices for stationary sources*; disponible en: <http://events.awma.org/files_original/ControlDevicesFactSheet07.pdf?>.
- Altman, R. y W. Buckley (2003), *Application of wet electrostatic precipitation technology in the utility industry for multiple pollutant control including mercury*, ponencia presentada en el marco de la conferencia Coal GEN, Columbus, Ohio, disponible en: <http://c.ymcdn.com/sites/www.icac.com/resource/resmgr/MercuryControl_PDFs/CoalGen03_Croll_Hg.pdf>.
- Australian Battery Recycling Initiative (s/f), *Lead acid battery recycling: The battery recycling process*; disponible en: <www.batteryrecycling.org.au/wp-content/uploads/2014/02/16859_ULAB_BROCHURES_LEAD-ACID-BATTERY-RECYCLING_-1.pdf>.
- AZO Materials (2013), “Recycling automotive materials: Lead-acid batteries and polyethylene terephthalate (PET)”, en: <www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1656#_Recycled_Materials_Replacing>.
- Basurto, D. y R. Soza (2007), *Mexico's federal waste regulations: An overview*, Air and Waste Management Association; disponible en: <<http://pubs.awma.org/gsearch/em/2007/1/basurto.pdf>>.
- BCI (1995), *Proposed model battery recycling legislation*, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], Chicago, Illinois; disponible en: <<http://c.ymcdn.com/sites/batteryCouncil.org/resource/resmgr/Docs/BCIMODEL.pdf>>.
- BCI (2010), “Failure modes of batteries removed from service: A report of the BCI technical subcommittee on battery failure modes”, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], citado en BCI y Batteries International (2014), *BCI Yearbook and Special Pre-2014 Convention Report*; disponible en: <http://issuu.com/rizzo48/docs/bci2014fullsupplement.2_copy>.
- BCI (2010a), *Packaging and securing used motive batteries/cells*, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías]; disponible en: <[https://c.ymcdn.com/sites/batteryCouncil.site-ym.com/resource/collection/B6EAE52B-6F68-49A4-92A5-8F66419819BE/1545_\(Stacking_Used_Batteries_Motive_Final.pdf](https://c.ymcdn.com/sites/batteryCouncil.site-ym.com/resource/collection/B6EAE52B-6F68-49A4-92A5-8F66419819BE/1545_(Stacking_Used_Batteries_Motive_Final.pdf)>.
- BCI (2010b), *Packaging and securing used stationary batteries/cells*, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías]; disponible en: <[https://c.ymcdn.com/sites/batteryCouncil.site-ym.com/resource/collection/B6EAE52B-6F68-49A4-92A5-8F66419819BE/1593_BCI_\(Stacking_Used_Batteries_Stationary_Final.pdf](https://c.ymcdn.com/sites/batteryCouncil.site-ym.com/resource/collection/B6EAE52B-6F68-49A4-92A5-8F66419819BE/1593_BCI_(Stacking_Used_Batteries_Stationary_Final.pdf)>.
- BCI (2010c), *Stacking and wrapping used batteries on pallets*, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías]; disponible en: <https://c.ymcdn.com/sites/batteryCouncil.site-ym.com/resource/collection/B6EAE52B-6F68-49A4-92A5-8F66419819BE/Packaging_guidelines_with_hi_res_BCI_logo.pdf>.
- BCI (2012a), “Industrial battery training video: Preparing used industrial lead batteries for transportation by highway or rail”, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], en: <<http://batteryCouncil.org/?Transportation>>.
- BCI (2012b), “Lead acid batteries”, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], en: <http://batteryCouncil.org/?page=lead_acid_batteries>.
- BCI (2012c), “State recycling laws: Summary of U.S. state lead-acid battery laws”, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías], en: <http://batteryCouncil.org/?page=State_Recycling_Laws>.
- BCI (2014), *Recommended practices battery labeling manual*, Battery Council International [Consejo Internacional sobre Baterías]; disponible en: <<https://batteryCouncil.site-ym.com/store/ViewProduct.aspx?id=1298271>>.

- Blacksmith Institute (2012), *Top ten toxic pollution problems – Source #1: Battery recycling*, en: <www.worstpolluted.org/projects_reports/display/96>.
- Bureau of International Recycling (2006), *Tools for environmentally sound management for an ISO compliant environmental management system that includes OECD core performance elements for the world's recycling industries*; disponible en: <www.epa.gov/epawaste/conservation/materials/recycling/conference/resource/guide-esm.pdf>.
- Burr, M., D. Lazzari y D. Greene (2011), “Draft Summary of the Technology Review for the Secondary Lead Smelting Source Category”, memorando dirigido a Chuck French, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; disponible en: <www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OAR-2011-0344-0055>.
- Business Dictionary* (s/f), “Baseline data”, en: <www.businessdictionary.com/definition/baseline-data.html>.
- C&D Technologies (2012), *Lead acid battery terminology glossary*, boletín técnico; disponible en: <www.cdtechno.com/pdf/ref/41_7745_0112.pdf>.
- Call2Recycle (s/f), *US and Canada battery disposal requirements*; disponible en: <www.rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2013/04/US_Canada_BatteryDisposalRequirements_083013.pdf>.
- Canada Gazette* (1988), “Chapter E-9: Lead-acid battery regulations; Pursuant to section 25 of the Environmental Protection Act”; disponible en: <www.canlii.org/en/pe/laws/regu/pei-reg-ec26-93/latest/part-1/pei-reg-ec26-93-part-1.pdf>.
- Canada Gazette* (1992), *Transportation of Dangerous Goods Act. S.C. 1992, c. 34*; disponible en: <<http://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/T-19.01.pdf>>.
- Canada Gazette* (2014), *Secondary lead smelter release regulations*; disponible en: <<http://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-91-155.pdf>>.
- Casella CEL Inc. (2014), “dBadge Micro Noise Dosimeter CEL-350”, en: <www.casellausa.com/store/product.cfm?PID=7C504B4D4D197450>.
- CCA (2007), *Prácticas y opciones para el manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www3.cec.org/islandora/es/item/2323-practices-and-options-environmentally-sound-management-spent-lead-acid-batteries-es.pdf>.
- CCA (2011), *El cruce de la frontera: oportunidades para mejorar el manejo adecuado de los embarques transfronterizos de residuos peligrosos en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <<http://www.cec.org/islandora/es/item/10158-crossing-border-opportunities-improve-sound-management-transboundary-hazardous-es.pdf>>.
- CCA (2013a), “Publica el Secretariado de la CCA la versión final de un informe independiente en el que se abordan los riesgos ambientales y para la salud atribuibles al comercio de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte”, Comisión para la Cooperación Ambiental, en: <www.cec.org/es/novedades-y-difusion/comunicados-de-prensa/publica-el-secretariado-de-la-cca-la-versión-final-de-un-informe-independiente-en-el-que-se-abordan-los-riesgos-ambientales-y-para-la-salud-atribuibles-al>.
- CCA (2013b), *¿Comercio peligroso? Estudio sobre las exportaciones de baterías de plomo-ácido usadas generadas en Estados Unidos y el reciclaje de plomo secundario en Canadá, Estados Unidos y México*, informe elaborado por el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www3.cec.org/islandora/es/item/11220-hazardous-trade-examination-us-generated-spent-lead-acid-battery-exports-and-es.pdf>.
- CCA (2013c), *Plan Operativo 2013-2014 de la Comisión para la Cooperación Ambiental*, Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www.cec.org/sites/default/files/documents/planes_operativos/18293_cec_op_plan_and_budget_22jan14_sp.pdf>.
- CCA (2014a), “Riesgos ambientales del movimiento transfronterizo y reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas”, Comisión para la Cooperación Ambiental, en: <www.cec.org/es/our-work/informes-independientes/¿comercio-peligroso>.
- CCA (2014b), *Manejo ambientalmente adecuado de acumuladores al final de su vida útil, incluidas baterías de plomo-ácido usadas, en América del Norte; directrices técnicas sobre mejores prácticas y tecnologías para el manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas: convocatoria para la presentación de propuestas*, Comisión para la Cooperación Ambiental; disponible en: <www.cec.org/sites/default/files/documents/op_2013_2014_rfp_slab_best_practices-es.pdf>.

- CCME (1991), *Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites*, Canadian Council of Ministers of the Environment [Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente], Winnipeg.
- CCME (1996), *A protocol for the derivation of environmental and human health soil quality guidelines*, Canadian Council of Ministers of the Environment [Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente], Winnipeg.
- CCME (1999), *Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Lead*, Canadian Council of Ministers of the Environment [Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente]; disponible en: <<http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/269>>.
- CCOHS (2015a), “OSH answers fact sheets”, *Hazard control*, Canadian Centre for Occupational Health and Safety [Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional], en: <www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_control.html>.
- CCOHS (2015b), “OSH answers fact sheets”, *Noise – Measurement of workplace noise*, Canadian Centre for Occupational Health and Safety [Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional], en: <www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_measurement.html>.
- CDC (1994), *NIOSH manual of analytical methods (NMAM)*, Centers for Disease Control and Prevention [Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos], 4a. ed., “Method 9100 – Lead in Surface Wipe Samples”; disponible en: <www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/9100.pdf>.
- CE (2003), *Directive of the European Parliament and of the Council on batteries and accumulators and spent batteries and accumulators: Extended impact assessment*, documento de trabajo del personal, Comisión Europea; disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/exten_impact_assessment.pdf>.
- Cohen, J. M. y R. D. Peterson (1995), *The complete guide to OSHA compliance*; disponible en: <http://books.google.ca/books?id=Eo2T7Ji1Y9gC&dq=%22A+dosimeter+is+like+a+sound+level+meter+except+that+it+stores+sound+level+measurements+%22&source=gbs_navlinks_s>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (a), “Decommissioning”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Decommissioning>>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (b), “Dosimeter”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Dosimeter>>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (c), “Filter cake”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Filter_cake>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (d), “Flux”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_%28metallurgy%29>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (e), “Hopper (particulate collection container)”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hopper_%28particulate_collection_container%29>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (f), “Neutralization”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Neutralization_\(chemistry\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Neutralization_(chemistry))>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (g), “NOx”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/NOx>>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (h), “Pallet” *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Pallet>>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (i), “Personal protective equipment”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_protective_equipment>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (j), “Point source pollution”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Point_source_pollution>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (k), “Reagent”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Reagent>>.
- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (l), “Slag”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Slag>>.

- Colaboradores de Wikipedia (s/f) (m), “Volatile organic compound”, Wikipedia, The Free Encyclopedia, en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound>.
- Concept Controls Inc. (2012), “SKC filter sampling accessories”, en: <<http://gasdetectors.conceptcontrols.com/viewitems/filter-sampling-accessories/skc-filter-sampling-accessories>>.
- Donaldson Filtration Solutions (s/f), *Membrane vs. conventional filter media for filter fabric / baghouses*; disponible en: <www.mcilvainecompany.com/Decision_Tree/2015%20WEBINARS/Eddie%20Ricketts,%20Donaldson%20Membranes%20-%201-8-15.pdf>.
- Eastern Research Group Inc. (2011), *Comprehensive evaluation of air quality control technologies used for lead-acid battery recycling: Final report*; disponible en: <www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/air/sip/lead/Battery_Recycling_Report_rev5-17-11.pdf>.
- ECAR (2005), “ECAR fact sheet for Michigan batteries”, Environmental Compliance for Automotive Recyclers, en: <www.ecarcenter.org/mi/mi-batteries.htm#regs>.
- Eco-Bat Technologies Ltd. (s/f), “The ECOBAT recycling cycle”, en: <<http://ecobatgroup.com/ecobat/rp/>>.
- Ecotec Research and Consulting (2001), *Study on the economic and environmental implications of the use of environmental taxes and charges in the European Union and its member states; Chapter 13: Batteries*; disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/enveco/taxation/pdf/ch13_batteries.pdf>.
- Embajada de Estados Unidos (2008), *US-Mexico cooperation on environmental issues; Mexico and United States of America agreement on cooperation for the protection and improvement of the environment in the border area*; disponible en: <www.utexas.edu/law/centers/humanrights/borderwall/communities/mexico-La-Paz-Environmental-Agreement.pdf>.
- Environment Canada (2013), *Canada-U.S.A. agreement: Agreement between the Government of Canada and the Government of the United States of America concerning the transboundary movement of hazardous waste (consolidated text)*, ministerio de Medio Ambiente de Canadá, en: <www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=en&n=C59BCC26-1>.
- Environment Canada (2014a), *Export and Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations (EIHWHRMR) user guide*, ministerio de Medio Ambiente de Canadá, en: <www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=En&n=5D5BE79E-1>.
- Environment Canada (2014b), “Tools for export and import of hazardous waste and hazardous recyclable material regulations regulatees”, ministerio de Medio Ambiente de Canadá, en: <www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=En&n=8BBB8B31-1>.
- Envitech Inc. (s/f), “Wet electrostatic precipitator (WESP)”, en: <www.envitechinc.com/wet-electrostatic-precipitator/>.
- Export and Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations (EIHWHRMR) (SOR/2005-149)*, propuesta en apego a la división 8 de la Ley Canadiense de Protección Ambiental (*Canadian Environmental Protection Act*, CEPA), en *Canada Gazette I*, del 20 de marzo de 1999; disponible en: <<http://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2005-149.pdf>>.
- Genaidy, A. M., R. Sequeira, T. Tolaymat, J. Kohler y M. Rinder (2009), *Evidence-based integrated environmental solutions from secondary lead smelters: Pollution prevention and waste minimization technologies and practices*, documento 101 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; disponible en: <<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=usepapapers>>.
- Gobierno de Quebec, *Clean Air Regulation, Environment Quality Act, chapter Q-2, O.C. 501-2011, s. 164., schedule G*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) [Ministerio de Desarrollo Sostenible, Medio Ambiente y Lucha contra el Cambio Climático], en: <www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FQ_2%2FQ2R4_1_A.htm>.
- Gottesfeld, P. y K. Durand (s/f), *Case study Mexico: Lead battery recycling*; disponible en: <www.chem-wep.net/fileadmin/files/doc/Case_Studies/Case_Study__Mexico_ULAB.pdf>.

Grupo de expertos sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales (2004), *Directrices sobre Mejores Técnicas Disponibles (MTD) y orientación provisional sobre Mejores Prácticas Ambientales (MPA), relativas al Artículo 5 y Anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*, borrador final; disponible en: <www.pops.int/documents/batbep_advance/Draft-BAT-BEP-Dec-2004advancefinal.pdf>.

HSA (s/f-a), “Hazard and risk”, Health and Safety Authority [Autoridad de Salud y Seguridad de Irlanda], en: <www.hsa.ie/eng/Topics/Hazards/>.

HSA (s/f-b), “Risk assessment”, Health and Safety Authority [Autoridad de Salud y Seguridad de Irlanda], en: <www.hsa.ie/eng/Small_Business/Risk_Assessment_Made_Easy/>.

Henan Kefan Mining Machinery Co., Ltd. (2013), “Electrostatic precipitator”, en: <www.kfroastingmachine.com/Auxiliary_Equipment/Electrostatic-precipitator.html>.

Hunt, S. C. (2015), “Transport of dangerous goods into and within Mexico; Spray Technology & Marketing”, en: <www.spraytm.com/transport-of-dangerous-goods-into-and-within-mexico.html>.

IHS Engineering360 (s/f), “Baghouses and baghouse filters information”, en: <www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses>.

ILA (2013), *Working safely with lead: Guidance Note 4: Control and monitoring of atmospheric emissions*, International Lead Association; disponible en: <www.ila-lead.org/UserFiles/File/guidancenotes/ILA9149_GN_Atmospheric_V04b.pdf>.

International Lead Management Center (2001a), “Basel Convention technical working group: Workshop for the environmentally sound management of used lead acid batteries in Central America and the Caribbean: What is a lead acid battery and why recycle used batteries?”, Centro Internacional para el Manejo del Plomo, en: <www.yumpu.com/en/document/view/22609116/the-lead-acid-battery-and-reyclingpdf-the-international-lead->.

International Lead Management Center (2001b), *Control and monitoring of liquid effluent*, Centro Internacional para el Manejo del Plomo; disponible en: <www.ilmc.org/toolbox/PDF/1-3%20Control%20and%20Monitoring%20of%20Liquid%20Effluent.pdf>.

ISO (2011a), “ISO/IEC 17021:2011: Conformity assessment: Requirements for bodies providing audit and certification of management systems”, resumen, Organización Internacional de Normalización, en: <www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=56676>.

ISO (2011b), “ISO 19011:2011: Guidelines for auditing management systems”, Organización Internacional de Normalización, resumen, Organización Internacional de Normalización, en: <www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=50675>.

Kelleher Environmental (2009), *Battery recycling in Canada: 2009 update*, informe presentado a los ministerios de Medio Ambiente y de Recursos Naturales de Canadá; disponible en: <www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=En&n=52DF915F-1>.

Krum, Gretchen, “Improper Storage 2”, comunicación por correo electrónico con la autora el 22 de julio de 2014.

Maggio, A. J. (2010), “Mexico: Environmental due diligence and the Mexican Waste Law”, *EHS Journal*, 13 de noviembre de 2010, en: <<http://ehsjournal.org/http://ehsjournal.org/anthony-j-maggio/mexico-environmental-due-diligence-and-the-mexican-waste-law/2010/>>.

McGraw-Hill (2003), *McGraw-Hill dictionary of scientific and technical terms*, 6a. ed., The McGraw-Hill Companies, Inc., en: <<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/tail+pulley>>.

Miller, B. G. (2011), *Clean coal engineering technology*, Elsevier Inc., Kidlington, Oxford; disponible en: <http://books.google.ca/books?id=b2W5S3Lb4fwC&dq=%22Wet+electrostatic+precipitators+operate+in+a+wet+environment+in+order+to+wash%22&source=gbs_navlinks_s>.

Neundorfer Inc. (s/f), “Knowledge base: Baghouse / fabric filter”, en: <www.neundorfer.com/knowledge_base/baghouse_fabric_filters.aspx>.

- New York Department of Environmental Conservation (1990), *Lead-acid battery law: Environmental conservation law 27-1701; Lead acid battery recycling*, Departamento de Conservación Ambiental de Nueva York; disponible en: <www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/leadbattlaw.pdf>.
- "Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral: Reconocimiento, evaluación y control", *Diario Oficial de la Federación*, 28 de abril de 2014; disponible en: <<http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2014/bol056/vinculos/NOM-010-STPS-2014.pdf>>.
- "Norma Oficial Mexicana NOM-047-SSA1-2011, Salud ambiental: Índices biológicos de exposición para el personal ocupacionalmente expuesto a sustancias químicas", *Diario Oficial de la Federación*, 6 de junio de 2012, en: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5249877&fecha=06/06/2012>.
- "Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio", *Diario Oficial de la Federación*, 2 de marzo de 2007; disponible en: <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PP03/DO950.pdf>>.
- "Norma Oficial Mexicana NOM-166-SEMARNAT-2014, Control de emisiones atmosféricas en la fundición secundaria de plomo", *Diario Oficial de la Federación*, 9 de enero de 2015, en: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5378252&fecha=09/01/2015>.
- NCDOT (1996), *Air Contaminants: Safety Policy and Procedure*, North Carolina Department of Transportation [Departamento de Transporte de Carolina del Norte]; disponible en: <<https://connect.ncdot.gov/resources/Documents/Safety%20Policy%20and%20Procedure%20Manual.pdf>>.
- Occupational Knowledge International (2011), *Exporting hazards: US shipments of used lead batteries to Mexico take advantage of lax environmental and worker health regulations*; disponible en: <www.okinternational.org/docs/Exporting_Hazards_Study_100611v5.pdf>.
- OCDE (2002), *Decision of the Council concerning the revision of decision C9(2)39/Final on the control of transboundary movements of wastes destined for recovery operations*, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos; disponible en: <www.epa.gov/osw/hazard/international/5-21-02.pdf>.
- OCDE (2007), *Guidance manual on environmentally sound management of waste*, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos; disponible en: <www.oecd.org/env/waste/39559085.pdf>.
- Ohio Environmental Protection Agency (2008), *Lead-acid batteries must be recycled*, Agencia de Protección Ambiental de Ohio; disponible en: <www.epa.ohio.gov/portals/32/pdf/LeadAcidBatteryGuidance.pdf>.
- Ontario Ministry of the Environment (2012), *Ontario's ambient air quality criteria*, Ministerio de Medio Ambiente de Ontario; disponible en: <www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf>.
- Palletxpert (s/f), "Two entry wooden pallet" [Tarima de madera de dos entradas], en: <www.palletxpert.com/two-entry-wooden-pallet/>.
- Pastor, Behling & Wheeler, LLC y Remediation Services Inc. (2012), *Decontamination and demolition work plan for the Exide Technologies Frisco Recycling Center, Frisco, Texas*; disponible en: <www.exide.fr/Media/files/Recycling/Frisco/1819%20Exide%20Demo%20Plan%2011092012_pdf.pdf?>.
- PNUMA (1989), Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación: protocolo sobre la responsabilidad y la indemnización por los daños resultantes del movimiento transfronterizo y la eliminación de los desechos peligrosos, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; disponible en: <[www.basel.int/Portals/4/Basel Convention/docs/text/BaselConventionText-e.pdf](http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-e.pdf)>.
- PNUMA (2002), *Directrices técnicas para la identificación y el manejo ambientalmente racional de los desechos plásticos y para su eliminación*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; disponible en: <www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/meetings/cop/cop6/spanish/21s.pdf>.
- PNUMA (2004), *Directrices técnicas para el reciclado/regeneración ambientalmente racional de metales y compuestos metálicos (R4)*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; disponible en: <www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/pub/techguid/r4-s.pdf>.

- PNUMA (s/f), *Training manual for the preparation of used lead acid batteries national management plans*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; disponible en: <www.minzp.sk/files/oblasti/odpady-a-obaly/medzinarodne-dohovory/publikacie-bazilejskeho-dohovoru/12-Lead-acid_Batteries_Training.pdf>.
- Product Stewardship Institute (2009), *Battery performance metrics: Recommendations for best practice*; disponible en: <www.call2recycle.ca/wp-content/uploads/BC%20ISP%20Appendix%2028.pdf>.
- RSR Corporation (s/f), *Mexico proposes new air emission standards for lead recyclers*; disponible en: <http://mms.businesswire.com/media/20140331006492/en/409564/1/RSR_AirEmission_Brochure_Final.pdf?download=1>.
- Sandee (2012), *Policy brief: Is the deposit refund system for lead-acid batteries in Delhi and the National Capital Region effective?*; disponible en: <www.sandeeonline.org/uploads/documents/publication/991_PUB_Policy_Brief_62_Yamini_Gupt.pdf>.
- SCT (s/f), *Reglamento del transporte por carretera de materiales y residuos peligrosos*, Secretaría de Comunicaciones y Transportes; disponible en: <www.phmsa.dot.gov/staticfiles/PHMSA/DownloadableFiles/Files/mexican_regulation_sct.pdf>.
- Secretaría del Convenio de Basilea (2003), *Technical guidelines for the environmentally sound management of waste lead-acid batteries* [Directrices técnicas para el manejo ambientalmente adecuado de las baterías de plomo-ácido usadas]; disponible en: <<http://archive.basel.int/pub/techguid/tech-wasteacid.pdf>>.
- Semarnat, *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, artículo 5, fracciones XXXII y XXIX, y artículo 31, fracción IV; disponible en: <www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf>.
- Sensidyne (2015), “Gilian air sampling equipment from Sensidyne”, en: <www.sensidyne.com/air-sampling-equipment/>.
- Sim, M. (2013), “Battery recycling done correctly”, blog sobre contaminación, en: <www.blacksmithinstitute.org/blog/wp-content/uploads/2013/09/clean-locker-room.jpg>.
- SKC Inc. (2014), “Full Disclosure detects lead on skin and surfaces”, en: <www.skcinc.com/catalog/index.php?cPath=600000000_601000000_601000050>.
- SKC Inc. (2014), “Ghost Wipes for lead and other metals”, en: <www.skcinc.com/catalog/index.php?cPath=600000000_601000000_601000100>.
- SKC Inc. (2014), “Universal PCXR4 5 to 5000 ml/min”, en: <www.skcinc.com/catalog/index.php?cPath=100000000_101000000_101000350>.
- SmithBucklin Statistics Group (2014), *National recycling rate study*, preparado para el Consejo Internacional sobre Baterías; disponible en: <http://c.yimcdn.com/sites/batterycouncil.org/resource/resmgr/BCI_Recycling_Rate_Study_200.pdf>.
- Total Environment Centre (2007), *An extended producer responsibility rationale for used lead acid batteries*; disponible en: <www.tec.org.au/remos_downloads/extendedproducerresponsibility_for_used_lead_acid_batteries_081107_final.pdf>.
- Transport Canada (2010), “Transporting batteries”, boletín del ministerio de Transporte de Canadá; disponible en: <www.call2recycle.ca/wp-content/uploads/Transport%20Canada%20Bulletin%20on%20Batteries.pdf>.
- Uddin, J. et al. (2013), “An approach to reduce waste in lead acid battery industries”, *Global Journal of Researches in Engineering*, núm. 13(2), pp. 17-22; disponible en: <https://globaljournals.org/GJRE_Volume13/2-An-Approach-to-Reduce-Waste-in-Lead.pdf>.
- United States Federal Register*, 40 CFR Part 745. Lead; Identification of Dangerous Levels of Lead: Final Rule. Part III; disponible en: <www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2001-01-05/pdf/01-84.pdf>.
- United States Federal Register*, 49 CFR Part 173 – Shippers – General Requirements for Shipments and Packagings. Hazardous Materials Regulations, en: Electronic Code of Federal Regulations, <www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=7dd0001f043e1c2532b6a246e323ce1d&mc=true&node=pt49.2.173&rgn=div5>.
- US DOL (s/f-a), “OSHA Lead Battery Manufacturing eTool”, United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/battery_manufacturing/index.html>.

- US DOL (s/f-b) “OSHA Permissible Exposure Limits (PELs)”, United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/dsg/annotated-pels/index.html>.
- US DOL (s/f-c) “OSHA Secondary Lead Smelters eTool”, United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/SLTC/etools/leadsmelter/index.html>.
- US DOL (s/f-d) “OSHA Regulations (Standards – 29 CFR) – Table of Contents”, United States Department of Labor [Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=10106&p_table=STANDARDS>.
- US EPA (1977), *Controlling emissions of particulates*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], informe núm. EPA 600/8-77-016; PB-276672; EPA-68-02-2611, en: <<http://goo.gl/nbHDLw>>.
- US EPA (1995), *Compilation of air pollutant emission factors, Volume 1: Stationary point and area sources; Chapter 12: Metallurgical Industry*, 5a. ed., Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s11_2010.pdf>.
- US EPA (2001), *Lead-safe yards: Developing and implementing a monitoring, assessment, and outreach program for your community*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <https://books.google.ca/books/about/Lead_Safe_Yards_Developing_and_Implement.html?id=ZwZWrgEACAAJ&redir_esc=y>.
- US EPA (s/f-a), “Air Data”, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <www.epa.gov/airdata/>.
- US EPA (s/f-b), “National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)”, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <www3.epa.gov/ttn/naaqs/criteria.html>.
- US EPA (s/f-c), *Waste shipments between the United States and Canada*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <www.cec.org/hazwaste/Storage/26/1748_P10019VS.pdf>.
- US EPA, *40 CFR Part 63 – Subpart X. National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants from Secondary Lead Smelting: Final Rule*, *United States Federal Register*, en Electronic Code of Federal Regulations: <www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a28114ea97ef4a673beae8e765e6c698&node=pt40.10.63&rgn=div5#sp40.10.63.x>.
- Vanderpol, M. (2006), *Regional strategy for the environmentally sound management of used lead acid batteries in Central America, Columbia, Venezuela and the Caribbean Island states*; disponible en: <[www.cep.unep.org/meetings-events/12th-igm/12th IGM/Regional Basel Strategy 2006.pdf](http://www.cep.unep.org/meetings-events/12th-igm/12th%20IGM/Regional%20Basel%20Strategy%202006.pdf)>.
- Waste Diversion Ontario (2009), *Management of vehicle lead acid batteries in Ontario*; disponible en: <www.wdo.ca/files/5113/6085/4729/Management_of_Vehicle_Lead_Acid_2009.pdf>.
- Wilson, B. (2002), *Environmentally sound management of used lead acid batteries in Central America and the Caribbean*; disponible en: <www.ilmc.org/Presentations/ABC/Recycling%20Used%20Lead%20Acid%20Batteries%3B%20A%20Model%20Life%20Cycle%20Approach.pdf>.
- Wilson, B. (2009), “Recycling used lead acid batteries: A model life cycle approach”, ponencia presentada en el marco de la XIII Conferencia Asiática sobre Baterías-Conferencia Internacional sobre Plomo Reciclado, 31 de agosto al 1 de septiembre de 2009; disponible en: <www.ilmc.org/Presentations/ABC/Recycling%20Used%20Lead%20Acid%20Batteries;%20A%20Model%20Life%20Cycle%20Approach.pdf>.
- Xintex Group (s/f), *Gloves nitrile*; disponible en: <www.xintex-group.com/xintex%20printgo/download/Datasheet/140/web/web_xintex_en_gni_PDS.pdf>.



Comisión para la Cooperación Ambiental

393 rue St-Jacques Ouest, bureau 200
Montréal (Québec), Canada, H2Y 1N9
Tel.: 514.350.4300 fax: 514.350.4314
info@cec.org / www.cec.org