

EVALUACIÓN DE PLOMO EN EL AMBIENTE OCUPACIONAL DE UNA INDUSTRIA DE BATERÍAS

Lina V. Hernández, Martha Duarte A.¹, Clara Marciales C.¹

Recibido: marzo de 2001 – Aceptado: octubre de 2001

Palabras clave: exposición al plomo, TLV, plomo en el aire, absorción atómica.

Keywords: lead exposure, TLV, air lead, battery workers, atomic absorption.

RESUMEN

Se realizó un estudio de evaluación de riesgo ocupacional por la presencia de plomo en el aire, en una mediana industria de reciclaje y fabricación de baterías eléctricas ubicada en Bogotá, Colombia.

Se tomaron muestras de aire en la zona de respiración de las personas, mediante bombas de muestreo personal con filtros de acetato de celulosa para captación de partículas, y se aplicó la metodología de muestreo parcial con muestras consecutivas. El contenido de plomo fue determinado por absorción atómica con llama.

Se encontraron concentraciones de plomo en el aire entre no detectable y 6,23 mg Pb/m³ de aire. Los resultados indican que se supera el valor límite umbral (TLV) de 0,04 mg Pb/m³ de aire, corregido para la jornada laboral de 48 horas, en actividades de fundición, formación de placas, empaste y oficios varios. La evaluación de riesgo ocupacional confirma el

riesgo en todos los puestos de trabajo y en las actividades señaladas durante la mayoría de los muestreos realizados.

ABSTRACT

Air borne lead occupational exposure in a battery recycling and manufacturing industry in Bogotá, Colombia, was evaluated.

Sampling pumps fitted with cellulose acetate particulate filters, were used for collecting air samples in personal breathing zone. Partial cycle with consecutive sampling was followed. Lead content was determined by flame atomic absorption.

Results in melting, plate forming and others activities zones showed lead concentrations between unmeasurable to 6.23 mg Pb/m³ air; many values exceeding corrected threshold limit value, TLV: 0,04 mg Pb/m³ air. Occupational exposure evaluation established risk in every working place during most of sampling time of this study.

INTRODUCCIÓN

En las áreas de salud ocupacional e higiene industrial, el estudio de las sustan-

¹ Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Bogotá, Colombia.

cias químicas empleadas en diferentes procesos industriales, tales como los hidrocarburos, los hidrocarburos halogenados, diferentes tipos de solventes, los plaguicidas, los metales, en especial los metales pesados y sus compuestos, se considera de vital importancia por el riesgo que sobre la salud y el ambiente implica su manejo y/o transformación.

El plomo y sus compuestos producen efectos nocivos en el hombre. El saturnismo o intoxicación ocupa un lugar importante dentro de las enfermedades profesionales a nivel mundial (1-4).

El plomo se obtiene por fusión primaria, a partir de la fundición de minerales de plomo, y por fusión secundaria o fundición de chatarra y materiales que contienen plomo; los mayores productores por fusión primaria son Estados Unidos, Canadá, Australia, Perú, Rusia y Méjico. En Latinoamérica, las fundiciones secundarias –reciclaje de materiales con plomo– se realizan principalmente en Brasil, Colombia y Venezuela (5). En Colombia hay un gran número de pequeñas y medianas industrias que generalmente reciclan el plomo sin tecnologías apropiadas ni medidas de control que garanticen un ambiente ocupacional seguro.

Fuentes de contaminación con plomo

Se clasifican como fuentes del ambiente general y fuentes del ambiente ocupacional. En el primer grupo se considera la emisión al aire de los productos de combustión de gasolina con plomo y emisión de vapores y partículas en las fundiciones primarias y secundarias; por esta vía se alcanza la contaminación del agua, el suelo, los alimentos y la biota. En el segundo

grupo se encuentran las actividades de minería y los procesos industriales que utilizan el plomo o sus compuestos (3).

La exposición humana al plomo proviene del aire, agua, suelos y alimentos. Los niveles de plomo presentes en estas fuentes varían en el mundo y dependen del grado de desarrollo industrial y de urbanización y de factores relacionados con el modo de vida. Se han encontrado niveles de plomo superiores a $10 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ de aire en zonas urbanas cercanas a fundiciones. En las ciudades donde ha dejado de utilizarse gasolina con plomo se han detectado niveles inferiores a $0,2 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ de aire (6,7).

A nivel ambiental, la organización mundial de la salud, OMS, recomendó como valores límites en el aire entre 0,5 y $1,0 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ de aire (8); valor límite en agua: 0,01 mg Pb/L (9); en suelo 25 mg Pb/Kg. Para alimentos, la OMS y la FAO recomendaron el valor límite de 3 mg de plomo por persona adulta cada semana (4).

Valores de referencia para la evaluación de plomo en ambientes ocupacionales

El valor límite umbral para el plomo a nivel ocupacional, dado por la Conferencia Gubernamental Americana de Higienistas Industriales (ACGIH), en 1998, fue de $0,05 \text{ mg Pb}/\text{m}^3$ de aire (10). En Colombia, mediante la resolución 02400 de 1979, el Ministerio de Trabajo estableció las concentraciones máximas permisibles para plomo y otros agentes químicos en el aire de ambientes laborales, tomando como valores de referencia los establecidos por la ACGIH.

Proceso de fabricación de baterías ácidas de plomo y riesgos asociados

Las baterías ácidas de plomo o acumuladores eléctricos están constituidas por dos o más celdas conectadas en serie, donde cada celda está formada por dos electrodos, el electrolito y los separadores. Su fabricación se lleva a cabo en diferentes etapas que involucran riesgo por exposición al plomo y sus compuestos (11):

a) Fundición: las barras de plomo y los materiales reutilizables se funden a altas temperaturas. Se producen polvos y humos de plomo.

b) Obtención de óxido de plomo: los perdigones, bolas y barras de plomo se pulverizan en molinos de bolas; el polvo de plomo es oxidado por la acción del oxígeno del aire, produciéndose PbO. La producción de polvo de plomo y de óxido de plomo constituyen un factor de riesgo en esta etapa.

c) Elaboración de la pasta: el óxido de plomo, los aditivos, el ácido sulfúrico y el agua se mezclan para formar la pasta.



d) Formación de rejillas: las rejillas se obtienen por fundición de lingotes de plomo, se moldean y se cortan. En esta etapa se producen humos y polvos de plomo.

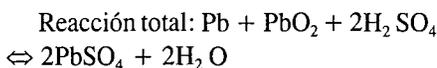
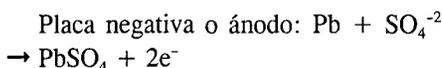
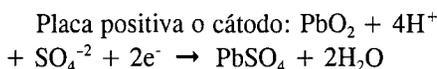
e) Empastado de rejillas: la pasta se coloca en las rejillas para formar las placas.

f) Formación de placas: durante esta etapa la pasta de las placas se convierte en los materiales activos de los electrodos de la batería: PbO₂ en la placa positiva y Pb en la negativa. La placas se sumergen en

tanques con ácido sulfúrico diluido y se suministra energía eléctrica para transformarlas por acción electroquímica.

g) Ensamble: se colocan grupos de placas dentro de las cajas, se sellan y se queman las salientes.

Las reacciones que se llevan a cabo en el funcionamiento de una batería de plomo son:



METODOLOGÍA

La industria estudiada, clasificada como mediana industria, consta de dos sedes: una localizada en las afueras de Soacha y otra en Bosa, Bogotá.

Muestreo y frecuencia del muestreo

La metodología de muestreo se seleccionó teniendo en cuenta los ciclos de trabajo en la empresa. Se siguió el método conocido como período parcial con muestras consecutivas, utilizando la técnica de muestreo personal (12). Se tomaron las muestras de aire cerca de la zona de respiración de los trabajadores, buscando que tuviese una composición similar al aire por ellos inhalado.

Se realizó un muestreo semanal en cada sede: durante dos meses en Bosa y durante un mes en Soacha; se tomaron

muestras de aire en la mañana y en la tarde, con un tiempo de recolección entre 4½ y 5½ horas en cada puesto de trabajo y para las diferentes actividades realizadas por el personal en esta empresa.

Antes de cada muestreo se calibraron las bombas de succión de alto flujo mediante el método de burbuja, con un calibrador marca Gilian Gilibrator-2 en $1,200 \pm 0,050$ L/min, y se revisó que el flujo permaneciera constante durante y después del muestreo. Los volúmenes de aire de las muestras tomadas variaron entre 100 y 400 litros.

Se utilizaron filtros de acetato de celulosa como elementos de captación de partículas, de acuerdo con las recomendaciones dadas por NIOSH (13). Se obtuvieron filtros blanco exponiendo, en cada muestreo y en diferentes sitios de trabajo, varios filtros al aire por no más de dos minutos y cerrando herméticamente los portafiltros.

Métodos y procedimientos de análisis

Para la preparación y análisis de las muestras se siguió la metodología dada por NIOSH (13) y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene Industrial de España (14). Los extractos ácidos de las muestras, de los filtros blanco y de los patrones de plomo fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno, previa optimización de los parámetros de análisis, a una longitud de onda de 217,0 nm en un instrumento Unicam 929 con corrector de fondo. A todos los extractos se les adicionó solución de óxido de lantano para obtener concentraciones de 0,1% P/V, con el fin de controlar la interferencia por iones sul-

fato. Se prepararon cinco curvas de calibración en un intervalo de concentración entre 0 y 20,00 mg Pb/L.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Calidad del método de análisis

La ecuación de la curva de calibración promedio, para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, fue:

$$A_{Pb} = 0,0361 \pm (0,0016) C_{Pb} + 0,020 (0,018)$$

y coeficiente de correlación $r = 0,9979$. El método presentó linealidad entre 0 y 20,00 mg Pb/L. Según el criterio dado por Analyst (15), el límite de detección calculado fue de 0,17 mg Pb/L y la sensibilidad de $0,036$ (mg Pb/L)⁻¹. La repetibilidad del método presentó un coeficiente de variación de 2,0% y el porcentaje de recuperación de plomo osciló entre 85,3 y 99,5%, para los niveles de plomo de 3,00 y 15,00 mg/L respectivamente.

Concentración de plomo en las muestras de aire por actividad y muestreo

Se calculó la concentración media ponderada en el tiempo para cada puesto de trabajo (12) y para cada muestreo. Los volúmenes de aire fueron corregidos para condiciones normales. Los resultados obtenidos, expresados como mg Pb/m³ de aire en condiciones normales (c.n), se presentan en la tabla 1 para la sede de Bogotá (barrio Bosa) y en la tabla 2 para la sede de Soacha.

Para la sede de Bogotá, los resultados indican que los trabajadores expuestos a las mayores concentraciones de plomo son los que realizan las actividades de empaste y formación de placas, seguidos por los de fundición y oficios varios, aunque siempre se supera el valor límite umbral corregido para Colombia de 0,04 mg Pb/m³ de aire (16).

En la sede de Soacha, donde principalmente se realiza el proceso de fundición de plomo, siempre se supera, con excepción de un dato, el valor de referencia de 0,04 mg Pb/m³ de aire. La limpieza de los hornos de fundición es una actividad que también origina altas concentraciones de plomo en el aire.

Tabla 1. Concentración media ponderada de plomo por actividad y muestreo en la sede de Bogotá, expresada en mg Pb/m³ de aire (c.n.)

Puesto de trabajo según actividad	Muestreo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Empaste 1	0,17	0,31	0,13	0,23	0,31	0,16	0,62	0,23
Empaste 2	0,31	0,48		0,22	0,18	0,23	0,18	0,23
Empaste 3	0,47	0,63		0,89	0,03	0,66	0,54	0,43
Empaste 4			0,11					
Form. Placas 1	0,90	0,74					0,65	
Form. Placas 2				0,64	0,51	N. D*		0,12
Fundición 1	0,13	0,05	0,04	0,07	0,03	0,08	0,05	0,05
Fundición 2				0,04	0,12			0,04
Oficios varios 1	0,58	0,08						
Oficios varios 2	0,03		0,48					
Oficios varios 3	0,62	0,06	0,11	0,26		0,26	0,16	
Oficios varios 4		0,03	0,01		0,36	0,09		
Oficios varios 5				0,24	0,29	0,20	1,69	0,23
Corte placas	0,09	0,12		0,04	0,10	0,15	0,05	0,19
Casa							0,01	0,02

* N.D.: no detectable.

Evaluación de Riesgo Ocupacional

La ACGIH considera como valor límite umbral, TLV, para plomo 0,05 mg Pb/m³ de aire en condiciones de 760 mm de Hg y 25°C, para jornadas de 8 horas diarias y 40 horas semanales. En Colombia, para jornadas laborales de 48 horas, el TLV corregido (16) es de 0,04 mg Pb/m³ de aire, valor de referencia tomado para realizar la evaluación de riesgo. Se calcularon los intervalos de confianza

para el valor medio de la concentración hallada experimentalmente, para cada actividad en cada muestreo, y se contrastó con el valor TLV corregido mediante una prueba de hipótesis unilateral (12,16).

Los resultados de la situación de riesgo para los diferentes puestos de trabajo, según las actividades realizadas en la industria de baterías durante los muestreos, se presentan en la tabla 3.

Tabla 2. Concentración media ponderada de plomo por actividad y muestreo en la sede de Soacha, expresada en mg Pb/m³ de aire (c.n.)

Puesto de trabajo según actividad	N° de muestreo			
	1	2	3	4
Fundición Pb 1	0,20	6,23	0,16	2,61
Fundición Pb 2	0,50	18,60		
Fundición Pb 3	0,02	0,13		
Fundición Pb 4	0,09			
Fundición Pb 5	1,65	0,34	0,11	
Fundición Pb 6	0,45			
Fundición Pb 7	0,43			
Fundición Pb 8	0,19	0,20		
Fundición Cu			0,08	ND*
Extracción Pb			0,04	
Oficios varios 1			0,31	
Oficios varios 2			0,16	
Limpieza horno 1				3,42
Limpieza horno 2				0,52
Limpieza horno 3				1,34
Limpieza horno 4				21,30
Casa		0,03	ND	

* N.D.: no detectable

Tabla 3. Existencia de riesgo ocupacional por exposición a plomo en aire por actividad durante los muestreos realizados

Puesto de trabajo según actividad	Sede Bogotá Riesgo ocupacional %			Puesto de trabajo según actividad	Sede Soacha Riesgo ocupacional %		
	Sí	No	Duda		Sí	No	Duda
Empaste 1	100			Fundición Pb 1	100		
Empaste 2	100			Fundición Pb 2	100		
Empaste 3	85,7		14,3	Fundición Pb 3	66,7	33,3	
Empaste 4	100			Fundición Pb 4	100		
Form. Placas 1	100			Fundición Pb 5	100		
Form. Placas 2	100			Fundición Pb 6	100		
Fundición 1	50	12,5	37,5	Fundición Pb 7	100		
Fundición 2	66,7		33,5	Fundición Pb 8	100		
Oficios varios 1	100			Fundición Cu	50	50	
Oficios varios 2	50	50		Extracción Pb			100
Oficios varios 3	100			Casa		100	
Oficios varios 4	50	50					
Oficios varios 5	100						
Corte placas	71,4						
Casa		100					

Los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos en la evaluación de riesgo por exposición a plomo en muestras de sangre de trabajadores de esta misma empresa (17) durante el mismo período de estudio. En las personas, que laboran en las actividades citadas, se encontraron los niveles más altos de plomo en la sangre.

Se realizó una evaluación de las concentraciones ambientales de plomo con relación al tiempo, siguiendo el modelo dado por Moreno y Mañas (12), para establecer si existía situación de riesgo en los días no muestreados durante el período

de estudio. Se encontró que la probabilidad de superación del valor de referencia corregido oscila entre 41% y 92% para las diferentes actividades.

CONCLUSIONES

La evaluación de riesgo ocupacional por la exposición al plomo en el aire, en la industria estudiada, indica que existe riesgo en las actividades de empastado, formación de rejillas, fundición, corte de placas y en oficios varios, con valores de plomo en el aire que superan el valor límite umbral de 0,04 mg Pb/m³ de aire.

Tabla 4. Probabilidad de superación de TLV corregido de 0,04 mg Pb/m³ de aire durante los días no muestreados

Actividad Sede Bogotá	Concentración media de plomo para el periodo estudiado mg Pb/m ³ de aire (c.n.)	Probabilidad de superación %
Empaste 1	0,24	50
Empaste 2	0,30	50
Empaste 3	0,38	52
Formación placas 1	0,73	41
Formación placas 2	0,34	51
Fundición 1	0,05	73
Fundición 2	0,06	78
Oficios varios 3	0,19	53
Oficios varios 4	0,06	92
Oficios varios 5	0,35	51
Corte de placas	0,09	56
Actividad Sede Soacha	Concentración media de plomo para el periodo estudiado mg Pb/m ³ de aire	Probabilidad de superación %
Fundición Pb 1	1,18	48
Fundición Pb 2	1,43	45
Fundición Pb 3	0,11	77
Fundición Pb 5	0,73	41

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, M.; Guardiola, C. (1987). *El plomo y nuestra salud*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: Madrid.
- Corey, G.; Galvao, L. (1989). *Plomo, Serie Vigilancia 8*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud: México.
- Marqués, F. (1993). *Plomo. Criterios toxicológicos actuales para la vigilancia médica de trabajadores expuestos*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: Madrid.
- World Health Organization. (1995). *Environmental Health Criteria 165: Inorganic Lead*. WHO. Geneva.
- Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. (1996). *El proble-*

- ma de exposición al plomo en América Latina y el Caribe. OPS, OMS: México.
6. Vega, S. (1985). *Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales: aspectos específicos de la toxicología de algunos contaminantes*. OMS. pp. 89-99.
 7. Conroy, L.; et al. (1996). Lead, Chromium and Cadmium exposure during abrasive blasting. *Arch. Environ. Health*. **51**(2) 95-99.
 8. World Health Organization. (1997). *Air quality guidelines for Europe*. WHO: Copenhagen, pp. 200-209.
 9. World Health Organization. (1993). *Guidelines for drinking water quality: recommendations*. WHO: Geneva, p. 188.
 10. American Conference Governmental Industrial Hygienists. (1998). *Threshold limit values for chemical substances and physical agents biological exposure index*.
 11. Fulla, J. (1994). *Acumuladores electroquímicos*. McGraw-Hill: Madrid, pp. 1-89.
 12. Moreno, R.; Mañas, J. (1989). *Métodos y estrategias para el muestreo de contaminantes químicos*. Consejo Colombiano de Seguridad: Bogotá.
 13. U.S. Department of Health, Education and Welfare publ. (1994). *Manual of Analytical Methods*. NIOSH. Fourth edition.
 14. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1993). *Métodos de toma de muestras y análisis*. Madrid. MTA/MA-011/A87.
 15. *Analytical Methods Committee*. (1987). *Analyst*. **112** 199-204.
 16. Fundación MAPFRE. (1996). *Manual de Higiene Industrial*. Cuarta edición, Madrid, p. 127.
 17. Valbuena, J. (1998). *Evaluación de plomo en sangre en trabajadores de industrias de baterías en Santafé de Bogotá*. Trabajo de grado, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.