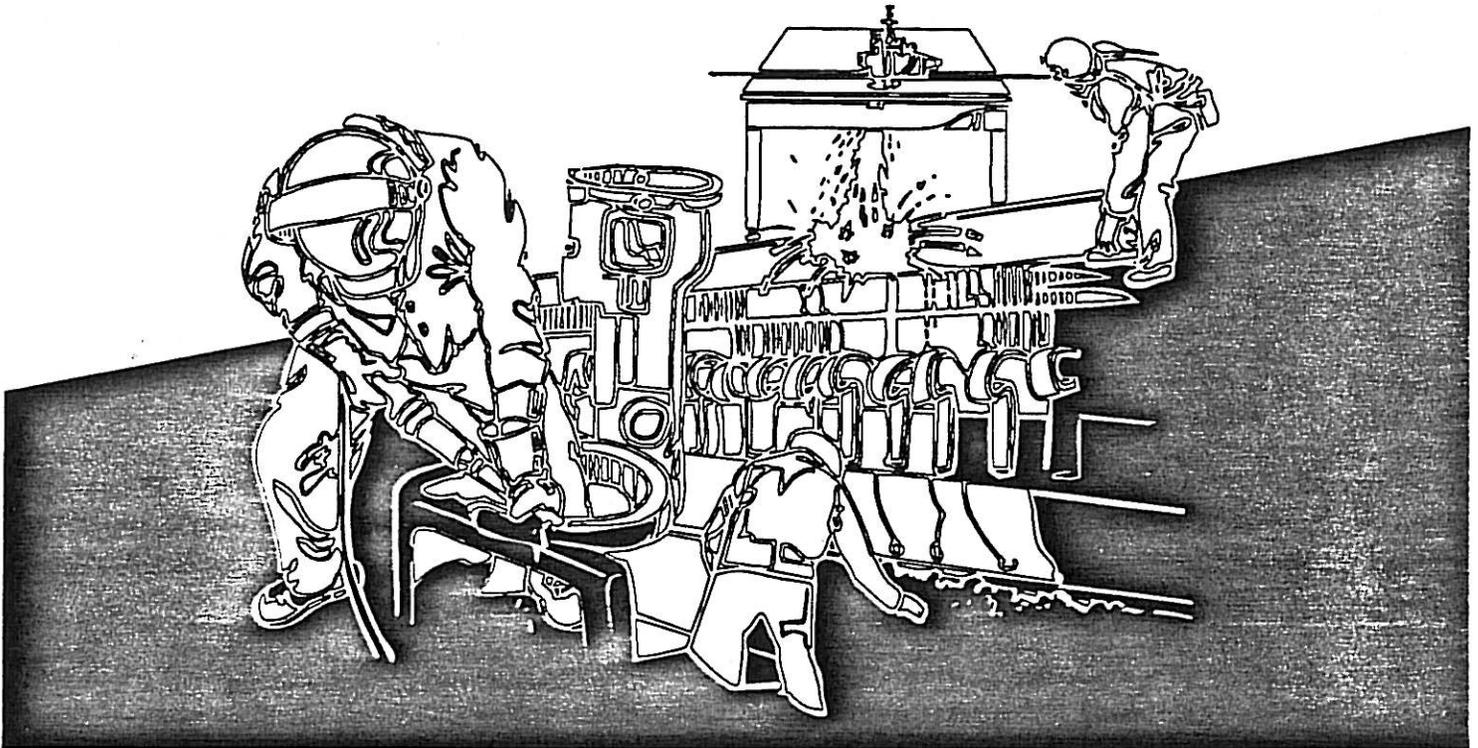


Este informe de Evaluación de Riesgo para la Salud (HHE por sus siglas en inglés) y cualquier recomendación hecha dentro de él se refieren únicamente a la instalación evaluada y no debe ser aplicado en forma universal. Ninguna recomendación debe ser considerada como una afirmación final de la política de NIOSH ni de la agencia o individuo participante.

# NIOSH HEALTH HAZARD EVALUATION REPORT

HETA 94-0109-2494  
ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD  
EMPRESA NACIONAL DE FUNDICIONES  
ORURO, BOLIVIA



U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES  
Public Health Service  
Centers for Disease Control and Prevention  
National Institute for Occupational Safety and Health



## PREFACE

El Departamento de Evaluaciones de Peligros y Asistencia Técnica de NIOSH conduce investigaciones en el campo de posibles riesgos a la salud en el trabajo. Se conducen estas investigaciones bajo la autoridad del Acto de Seguridad Ocupacional y de la Salud de 1970, 29 U.S.C. 669(a)(6), Sección 20(a)(6) que autoriza al secretario de Salud y Servicios Humanos, después de una solicitud escrita por cualquier empleado o patrón, para determinar si alguna substancia normalmente hallada en el lugar de empleo tiene la posibilidad de producir efectos tóxicos en concentraciones tales como las que se usan o se encuentran en el área de trabajo.

El Departamento de Evaluaciones de Peligros y Asistencia Técnica también provee, bajo solicitud, asistencia y consultoría médica y de higiene industrial a agencias federales, de los estados y a agencias locales; labor; industria; y otros grupos o individuos para controlar riesgos a la salud ocupacional y prevenir trauma y enfermedades relacionadas.

El mencionar los nombres de compañías o productos no constituyen el auspicio del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH). Este informe se escribió originalmente en inglés. NIOSH organizó la traducción de este informe en español para el beneficio de la administración y los trabajadores de la Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia. Traducción por Leo Kanner and Associates, Redwood City, California.

HETA 94-0109-2494  
MARZO DE 1995  
ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD  
EMPRESA NACIONAL DE FUNDICIONES  
ORURO, BOLIVIA

INVESTIGADORES DE NIOSH:  
Aaron Sussell, MPH, CIH  
Mitchell Singal, MD, MPH

## RESUMEN DEL INFORME

A solicitud de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y en colaboración con el National Center for Environmental Health (NCEH) (Centro Nacional para la Salud Ambiental), NIOSH condujo una evaluación de la exposición ocupacional a metales pesados y a dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) en la Empresa Metalúrgica Vinto, una gran fundición de estaño ubicada cerca de Oruro, Bolivia, operada por Empresa Nacional de Fundiciones. Como parte de un estudio epidemiológico de la comunidad, diseñado por los investigadores de NCEH para evaluar la exposición de la comunidad a metales pesados en Oruro, el personal de NIOSH efectuó los estudios ambientales y de exposición ocupacional en marzo de 1994. Este informe presenta el componente de exposición ocupacional del estudio.

Los trabajadores se preseleccionaron para ser incluidos en el estudio basándose en varios criterios, incluyendo la exposición presumida al plomo, arsénico y otros metales. Durante el estudio, 15 trabajadores, representando 12 posiciones o clasificaciones de trabajo, fueron estudiados para evaluar la exposición ocupacional de dichos trabajadores al antimonio (Sb), arsénico (As), bismuto (Bi), cadmio (Cd), plomo (Pb), hierro (Fe), estaño (Sn), cinc (Zn) y  $\text{SO}_2$ . Las medias geométricas y gamas de las exposiciones a los metales fueron: As, 14 microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (gama: no detectable (ND) a  $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); Cd,  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gama: ND a  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); Pb,  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gama: 7,4 a  $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y Sb,  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gama: ND a  $4500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La media geométrica para la exposición a  $\text{SO}_2$  fue 4,3 partes por millón (ppm), (gama: <1 a 31 ppm). Los resultados de las muestras del polvo indican que las superficies en toda la fundición, incluyendo los cuartos de cambio, estaban altamente contaminadas con metales pesados. Quince trabajadores, con un promedio de 17 años de empleo, participaron en las observaciones biológicas. El valor medio de arsénico en la orina (UAs son las siglas en inglés) fue de 78 microgramos por gramo de creatinina ( $\mu\text{g}/\text{g Cr}$ ), (gama: <1,3 a  $206 \mu\text{g}/\text{g Cr}$ ). Nueve de los 15 trabajadores tenían niveles de UAs que excedían el Índice de Exposición Biológica (BEI son las siglas en inglés) de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH son las siglas en inglés) de  $50 \mu\text{g}/\text{g Cr}$ . El nivel de plomo en la sangre (BLL son las siglas en inglés) medio fue de 19 microgramos por decilitro ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ), (gama: 13 a  $54 \mu\text{g}/\text{dL}$ ). Cinco de los 15 trabajadores tenían BLLs más altos que el BEI de la ACGIH de  $20 \mu\text{g}/\text{dL}$ ; cuatro excedieron el objetivo del Servicio de Salud Pública de los EE.UU. de  $25 \mu\text{g}/\text{dL}$ ; dos excedieron el límite recomendado por un grupo de estudio de la Organización Mundial de la Salud de  $40 \mu\text{g}/\text{dL}$ ; y uno excedió el nivel de remoción médica de la OSHA de  $50 \mu\text{g}/\text{dL}$ .

Los resultados de este estudio indican que existe un peligro significativo de salud para algunos de los empleados de ENAF debido a la exposición a arsénico, cadmio, plomo, antimonio y anhídrido sulfuroso. Este informe incluye las recomendaciones para un control mejor de los peligros identificados de salud, incluyendo un estudio más profundo de las exposiciones, implementación de controles de ingeniería, instalaciones mejores de higiene, implementación de un programa de observación médica y mejoras en el programa de protección respiratoria.

**PALABRAS CLAVES:** SIC 3339 (fundición primaria y refinación de metales no ferrosos, excepto cobre y aluminio) arsénico, plomo, estaño, antimonio, cadmio, fundición, anhídrido sulfuroso, salud internacional.



## RESUMEN DEL INFORME PARA LOS TRABAJADORES

A solicitud de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), NIOSH condujo un estudio de la exposición ocupacional a metales pesados y anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) en la Empresa Metalúrgica Vinto (ENAF), Oruro, Bolivia. Se seleccionaron quince trabajadores para el estudio que parecían haber tenido una alta exposición a los metales. Los resultados de las muestras de aire y análisis de sangre y de orina demuestran que la exposición al arsénico, cadmio, plomo, antimonio y anhídrido sulfuroso son un peligro para la salud de algunos de los empleados de ENAF. La mayoría de los 15 trabajadores fueron expuestos a niveles peligrosos de arsénico, cadmio y anhídrido sulfuroso. Nueve de los 15 trabajadores tenían un alto nivel de arsénico en la orina, lo que indica que se deben mejorar los controles a la exposición. Cinco de los 15 trabajadores tenían altos niveles de plomo en la sangre. Se han hecho recomendaciones a ENAF para un control mejor de los peligros de salud identificados, incluyendo un estudio más profundo de las exposiciones, implementación de controles de ingeniería, instalaciones mejores de higiene, implementación de un programa de observación médica y mejoras en el programa de protección respiratoria.

### **Recomendaciones primarias para la compañía:**

Efectuar estudios adicionales de exposición para ayudar a diseñar controles mejores para la protección de los trabajadores.

Instalar controles de ingeniería para reducir la exposición a metales tóxicos y al anhídrido sulfuroso.

Mejorar el programa de protección respiratoria y proporcionar respiradores más efectivos.

Mejorar los cuartos de cambio y las duchas.

### **Tome los siguientes pasos para proteger a usted y a su familia contra los metales pesados y el anhídrido sulfuroso:**

1. Siga todos los procedimientos de seguridad en el trabajo proporcionados por la compañía para reducir las exposiciones a los metales pesados y al anhídrido sulfuroso.
2. Use el equipo de protección personal suministrado para su trabajo: cascos y zapatos de seguridad, protección para los ojos, protección para la cara, ropas protectoras, protección para el oído, respiradores, etc.
3. Póngase las ropas de trabajo en su lugar de trabajo.
4. No coma, beba o use productos de tabaco o coca en el área de trabajo ni en los cuartos de cambio.
5. Dése una ducha y póngase ropas limpias antes de salir del trabajo para evitar la contaminación de su casa.
6. Participe en cualquier programa de análisis de sangre, orina y monitoreo del aire ofrecido por la compañía.
7. Siempre lave sus manos y cara antes de comer, beber, masticar coca o fumar fuera del área de trabajo.

## **INTRODUCCION**

En diciembre de 1993, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) solicitó asistencia de los Centros de Control y Prevención de Enfermedades para efectuar un estudio piloto de las exposiciones de la comunidad a metales pesados, especialmente plomo (Pb) y arsénico (As), en Oruro, Bolivia. La solicitud fue causada por preocupaciones de salud de la comunidad relacionadas con las operaciones de la Empresa Nacional de Fundiciones (ENAF) (National Smelting Company). Específicamente, el público estaba preocupado con el procesamiento por la fundición de materiales de desechos intermedios importados de otros países y que se sabía contenían altas concentraciones de Pb, As y otros metales pesados. En respuesta a esta solicitud, el National Center for Environmental Health (NCEH) (Centro Nacional de Salud Ambiental) diseñó un estudio piloto epidemiológico para evaluar la exposición de la comunidad a los metales pesados en Oruro, y colaboró con NIOSH para medir las exposiciones ocupacionales y de la comunidad a los metales pesados. Los investigadores de NIOSH y NECH se unieron al personal de la OPS y de salud pública de Bolivia para efectuar un estudio de campo en Bolivia desde el 14 hasta el 26 de marzo de 1994. Las muestras ambientales para la evaluación de la exposición ocupacional se recolectaron el 17 de marzo de 1994. Se entregó un informe interino resumiendo las determinaciones del estudio a la OPS el 31 de agosto de 1994. Este informe presenta el componente de exposición ocupacional del estudio.

La ENAF comenzó a fundir estaño (Sn) en 1971 en las instalaciones de la Empresa Metalúrgica Vinto (El Vinto), ubicada 7 kilómetros fuera de la ciudad de Oruro, que está a una elevación de 3,686 metros. En la época de este estudio, la fundición de ENAF en El Vinto era la fundición más grande de Bolivia y una de las fundiciones más importantes en la América Latina, empleando más de 300 trabajadores en la fundición de estaño de alto grado (Sn), antimonio (Sb), plomo (Pb) y otros metales. La planta tiene tres áreas principales: la fundición de estaño de alta ley, la fundición de estaño de baja ley y la fundición de antimonio.

Los minerales con sulfuros, tales como la tanita ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_2$ ) y la tealita ( $\text{PbZnSnS}_2$ ) son fuentes comerciales importantes de estaño en Bolivia. Los minerales bolivianos contienen relativamente grandes cantidades de arsénico (As) además de azufre. La planta también importa y procesa minerales de Perú y materiales de desecho conteniendo cantidades comerciales de Sn, Pb, cinc (Zn) y As de Perú, Inglaterra y de otros países.

Los minerales bolivianos se envían primero a un horno de tostación para oxidar y volatilizar el exceso de As y de azufre. Los minerales se tuestan en hornos cilíndricos a  $750^\circ\text{C}$ . Las emisiones potencialmente tóxicas de este proceso incluyen anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) y arsina ( $\text{AsH}_3$ ). El material básico todavía contiene 1% de azufre después de la tostación. Se recuperan cantidades comerciales de As del proceso, se empacan y se exportan de la planta. Después de la tostación,

los materiales básicos se transportan a la fundición de estaño de alta ley en otro edificio. El proceso de fundición de alta ley utiliza una tecnología que permite que una sola etapa de reducción pueda obtener estaño de alto grado, con una capacidad de 20.000 toneladas por año. Las etapas básicas del proceso son: calcinación en horno de piso, reducción en hornos reverberatorios, volatilización de las escorias en un horno humeante y termo y electrorefinación. Las emisiones de los hornos de alta ley pasan a una serie de limpiadores húmedos (para el tratamiento del CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) y de ahí al área de filtraje o a los precipitadores electrostáticos (para el tratamiento de las partículas de metales pesados). La fundición de baja ley, ubicada en un edificio separado, tiene un horno ciclónico para procesar los minerales de bajo grado, con una capacidad de 10.000 toneladas por año. Las escorias del horno ciclónico se procesan en un horno de volatilización, y el polvo volátil se reduce más tarde en un horno eléctrico. Otro edificio contiene la fundición de antimonio, con un horno de volatilización de tipo ciclónico con una capacidad de 4.270 toneladas de antimonio metálico (Sb) y 1.000 toneladas de trióxido de antimonio por año. Los óxidos impuros de antimonio producidos en el proceso se reducen en hornos de tipo rotatorio y el metal crudo se pasa a hornos reverberatorios para refinarlo y obtener concentraciones de 99,5 a 99,6% de antimonio.

## **OBJETIVO**

El objetivo del componente ocupacional del estudio era determinar si las exposiciones de los trabajadores a metales pesados y SO<sub>2</sub> en la fundición de estaño constituían un peligro de salud. Debido a las limitaciones de recursos y tiempo, el estudio de exposición ocupacional se limitó a analizar los trabajadores en la fundición que se esperaba tuvieran el "peor caso" de exposición a metales pesados, los hogares de otros trabajadores seleccionados en forma similar y de sus vecinos, y otras casas seleccionadas en una comunidad distante sin ninguna actividad industrial ni minera. Durante este estudio, se analizaron 15 trabajadores, representando 12 clasificaciones de trabajo, para determinar la exposición, a través del aire, al Sb, bismuto (Bi), Cd, Pb, Fe, Sn y Zn, al igual que a SO<sub>2</sub>. Se obtuvieron muestras biológicas de 15 trabajadores para medir el BLL y el UAs. Estos no fueron necesariamente los mismos trabajadores que participaron en las pruebas de exposición por el aire. Toda la participación de los trabajadores en este estudio fue voluntaria.

## **METODOS**

Se recolectaron muestras de aire en la zona de respiración personal (PBZ son las siglas en inglés) para medir las exposiciones de los trabajadores a los metales pesados y SO<sub>2</sub>. También se tomaron muestras de polvo y agua potable en los edificios de la fundición.

A continuación se resumen los protocolos usados para obtener las muestras. Los métodos analíticos de NIOSH se describen en el *NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th Edition*.<sup>1</sup> (Manual de Métodos Analíticos de NIOSH, 4ta edición). Cada método de laboratorio tiene

un límite de detección (LOD son las siglas en inglés) y un límite de cuantificación (LOQ) que se determinan por el laboratorio. La concentración mínima detectable (MDC) y la concentración mínima cuantificable (MQC) son calculadas de los LOD y LOQ, en conjunto con el volumen de la muestra. Los valores de muestra que estén entre la MDC y la MQC son aproximados y son reportados en **negritas** en los resultados, con el objeto de estimar las concentraciones medias de la población. Para este fin, los resultados no detectados se reportan como MDC/2 por convención.<sup>2</sup> Estos valores, se muestran en letra  *cursiva* en los resultados (Tablas 2 - 9).

#### Evaluación de la exposición ocupacional

ENAF seleccionó quince trabajadores antes de la visita de NIOSH al sitio para el estudio de exposición de la comunidad. La selección de los trabajadores se hizo por la compañía basándose en el siguiente criterio proporcionado por CDC/NCEH: trabajadores con el máximo riesgo estimado de exposición ocupacional a metales pesados, trabajadores con la máxima duración de empleo, trabajadores con niños de 6 a 14 años de edad en la casa, y el deseo de participar en el estudio (incluyendo el muestreo ambiental y la observación biológica de BLL y UAs). Se obtuvo el consentimiento informado para la participación en el estudio de los trabajadores que habían sido preseleccionados.

El grupo de 15 trabajadores preseleccionados para el estudio de exposición de la comunidad trabajaba en todos los tres turnos. Debido a que las restricciones de tiempo limitaban el monitoreo de exposición de NIOSH a sólo un turno, los investigadores de NIOSH pidieron a ENAF que seleccionara 15 trabajadores del primer turno que representaran las mismas clasificaciones de trabajo de los trabajadores que ya estaban participando en el estudio (más tarde NIOSH pudo confirmar una correspondencia de sólo tres de las categorías de trabajo). Dos trabajadores fueron estudiados tanto para la exposición por partículas llevadas por el aire como para la exposición biológica. Se recolectaron muestras PBZ de metales de estos 15 trabajadores siguiendo el Método 7300 de NIOSH. Las muestras se analizaron por espectroscopía de emisión plasma-atómica acoplada inductivamente (ICP-AES), de acuerdo con el Método 7300 de NIOSH, para As, Bi, Cd, Fe, Pb, Sb, Sn y Zn.

Las bombas portátiles para tomar muestras de aire (Gilian High Flow Sample<sup>R</sup> HFS513A, fabricadas por Gilian Instrument Co., Caldwell, NJ) cada día se calibraron con un rotámetro antes y después de tomar las muestras. Debido a que esta fundición está a una elevación de más de 3.686 metros, el rotámetro utilizado para medir el flujo de aire de la bomba se calibró en el sitio a la presión de aire del ambiente, usando un estándar primario como el flujómetro de burbuja (Gilian Primary Flow Calibrator<sup>R</sup>, fabricado por Gilian Instrument Co., Caldwell, NJ). La presión media barométrica en Oruro era de 440 mm de mercurio (Hg).

## **Página 7 - Informe No. 94-0109 de Evaluación de Peligros y Asistencia Técnica**

La exposición del personal de jornada completa al anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) se midió con tubos de difusión colorimétrica (Dräger<sup>R</sup> Sulfur Dioxide 5/a-D), con una gama de 0,7 a 19 ppm para un tiempo de medición de 8 horas. Los valores de  $\text{SO}_2$  (en ppm-horas) se leyeron directamente de los tubos calibrados al final de la jornada de trabajo. Como la respuesta a los tubos de difusión está influenciada por la presión de aire del ambiente, los resultados se corrigieron para la presión barométrica local de 440 mm Hg y se reportaron en ppm.

En los días de la visita al sitio, los investigadores de NIOSH se reunieron con los funcionarios de la compañía y observaron las prácticas de trabajo, facilidades de higiene y controles de ingeniería de la planta.

Se tomaron muestras de polvos (proceso y materiales de desecho) y del suelo o tierra (del cercano patio de recreo de ENAF) con láminas limpias de madera del tipo usado para deprimir la lengua en los consultorios médicos. Las muestras de polvo y suelo se recolectaron de áreas pequeñas (aproximadamente 10 cm x 10 cm) con una de las láminas a una profundidad de aproximadamente 1 cm y se colocó en frascos de vidrio de 20 mL o en bolsas plásticas de sello hermético. Las muestras se analizaron por ICP-AES de acuerdo con el Método 7300 de NIOSH para Sb, As, Bi, Cd, Pb, Fe, Sn y Zn, y los resultados se expresaron en ppm por peso (microgramos por gramo [ $\mu\text{g/g}$ ]).

Se tomaron dos muestras de agua en la cocina y salón de almuerzo de ENAF, de las fuentes de agua usadas por la fundición para tomar y preparar los alimentos. Las muestras, que se recogieron en botellas de polietileno de alta densidad de 250 mL, se acidificaron en el sitio hasta un pH menor de 2, utilizando ácido nítrico concentrado, para envío al laboratorio. Las muestras de agua se analizaron usando el Método 7300 de NIOSH modificado para la matriz de muestras para Sb, As, Bi, Cd, Pb, Fe, Sn y Zn, y los resultados se expresaron en microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ).

Las muestras de sangre y orina se preservaron en el sitio, refrigeradas con hielo seco, y se transportaron a CDC para análisis. Las muestras de sangre se analizaron para determinar la concentración de Pb usando espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS son las siglas en inglés), con un límite de detección de 0,6  $\mu\text{g/L}$ .<sup>3</sup> Los valores corregidos de creatinina para el arsénico en la orina se determinaron analizando muestras de orina tomadas temprano en la mañana. Las muestras de orina se analizaron para As por GFAAS, con un límite de detección de muestra de 4,0  $\mu\text{g/L}$ .<sup>4</sup>

### **CRITERIO PARA LA EVALUACION DE EXPOSICIONES OCUPACIONALES**

#### **A. Pautas generales**

Para evaluar las exposiciones ocupacionales a agentes potencialmente tóxicos, los investigadores de NIOSH utilizan los Documentos de Criterio de NIOSH y los Límites

Recomendados de Exposición (RELs),<sup>5</sup> los Valores Límites de Umbral (TLVs)<sup>6</sup> de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), y los Límites Permisibles de Exposición (PELs)<sup>7</sup> de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA). Estos criterios se diseñaron para proveer niveles de exposición a los cuales la mayoría de los trabajadores pudieran estar expuestos durante toda la vida de trabajo sin experimentar efectos adversos en la salud. Sin embargo, debido a las variaciones en la susceptibilidad individual de las personas, un pequeño porcentaje de trabajadores podrán sufrir enfermedades ocupacionales aun si las exposiciones se mantienen debajo de estos límites. El criterio de evaluación no toma en cuenta la hipersensibilidad individual, condiciones médicas preexistentes, posibles interacciones con otros agentes en el sitio de trabajo, medicinas que tome el trabajador u otras condiciones ambientales.

El criterio de evaluación para sustancias químicas se basa generalmente en la exposición de la zona de respiración personal a la sustancia en el aire durante un día de trabajo completo de 8 a 10 horas, expresado como un promedio compensado por tiempo (TWA). Las exposiciones personales se expresan usualmente en unidades de partes por millón (ppm), miligramos por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), o microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Como suplemento al TWA de 8 horas, donde existen efectos adversos de salud causados por exposiciones de corto tiempo, algunas sustancias tienen un límite de exposición de corto tiempo (STEL) para períodos máximos de 15 minutos; o un límite máximo (C) que no se debe exceder en ningún momento. Adicionalmente, algunas sustancias químicas tienen una nota referente a la "piel" para indicar que la sustancia se puede absorber mediante el contacto directo del material con la piel y las membranas mucosas.

Los RELs de NIOSH y los TLVs de ACGIH se basan primeramente en la preocupación con la prevención de las enfermedades ocupacionales. Los PELs de OSHA son normas legales en los EE.UU. Para desarrollar los PELs, OSHA tiene que considerar la factibilidad económica de controlar las exposiciones en varias industrias, notificar al público y obtener comentarios, y asistir en las evaluaciones judiciales además de trabajar en la prevención de las enfermedades y lesiones ocupacionales.

#### **B. Sustancias específicas**

El criterio de exposición ocupacional (NIOSH, OSHA ACGIH), para las sustancias cuyas exposiciones se midieron durante este estudio, se presenta en la Tabla 1. La tabla incluye una breve discusión de los efectos primarios en la salud que se deben prevenir con los límites de exposición. A continuación se incluyen más discusiones detalladas del As y Pb.

### Arsénico (As)

La exposición al arsénico inorgánico puede producir dermatitis (inflamación de la piel), queratosis (crecimientos callosos en la piel), neuropatías periféricas (enfermedades de los nervios en las extremidades), enfermedades vasculares periféricas (enfermedades de las arterias y venas en las extremidades), y cáncer de la piel, hígado y pulmones. El arsénico se absorbe principalmente mediante la inhalación y la ingestión. La ingestión oral causada por manos contaminadas puede resultar en la absorción de cantidades toxicológicamente significantes de As. Un número de estudios de trabajadores de fundiciones expuestos a As ha determinado que sufren un exceso de muertes causadas por el cáncer de las vías respiratorias.<sup>8</sup> Sin embargo, es difícil conocer precisamente el efecto de la exposición al As de los trabajadores de fundiciones, ya que ellos están expuestos simultáneamente a otros agentes potencialmente tóxicos.

El As inorgánico se elimina del cuerpo mediante el metabolismo y la excreción urinaria. La cantidad total expulsada en la orina es aproximadamente 60% de la cantidad absorbida. Los metabolitos de As inorgánico aparecen en la orina poco tiempo después del comienzo de la exposición. La concentración se eleva lentamente durante los primeros días de exposición y luego se estabiliza. Si la exposición de un trabajador en los siguientes días es similar, la concentración de As en la orina permanece más o menos igual.

El criterio de exposición ocupacional al As se ha desarrollado para proteger a los trabajadores de los efectos carcinogénicos del As, que pueden ocurrir a niveles muchos más bajos de exposición que los efectos fácilmente visibles de la exposición aguda al As, tal como dermatitis e hiperpigmentación de la piel. La concentración ACGIH-TLV-TWA para el As inorgánico es  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El BEI de la ACGIH para el arsénico es  $50 \mu\text{g}/\text{g Cr}^*$  de As inorgánico y sus metabolitos en la orina al final de la semana de trabajo. El BEI debe indicar si las exposiciones se mantienen o no dentro del TLV. NIOSH, OSHA [29 CFR 1910.1018]\*\* y la ACGIH consideran que el As inorgánico es un carcinógeno ocupacional. El REL de NIOSH (límite máximo) es  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el PEL-TWA de OSHA es  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tanto NIOSH como la ACGIH recomiendan que las exposiciones ocupacionales al As sean bajadas a los niveles más bajos posibles para reducir el riesgo de cáncer hasta el mínimo.

Las fuentes de exposición no ocupacional al As son el agua de beber, alimentos y aire contaminado.<sup>9</sup> Las comidas del mar son una fuente bien conocida de arsénico en la dieta, pero el As está en una forma orgánica menos tóxica. El fumar cigarrillos es una fuente de

---

\* Como las concentraciones de arsénico disuelto en la orina dependen de la cantidad de orina producida, ellas se pueden normalizar con referencia a la concentración de creatinina en la misma muestra. La creatinina normalmente se expulsa del cuerpo en la orina a una velocidad constante.

\*\* Código de Reglas Federales

exposición al arsénico inorgánico (12 a 42  $\mu\text{g}/\text{cigarrillo}$ ).<sup>10</sup> Por lo tanto, el arsénico se encuentra en la orina de personas que no han tenido exposición ocupacional al As. Las concentraciones en la orina de arsénico inorgánico y sus metabolitos de la población en general en países europeos son usualmente menores de 10  $\mu\text{g}/\text{L}$  (que equivale generalmente a  $\mu\text{g}/\text{g Cr}$ ), pero ligeramente más altas en los Estados Unidos.<sup>11</sup> Si las exposiciones de los trabajadores llegan cerca del REL de NIOSH para As, la concentración normal de As en la orina podría fácilmente ocultar la contribución de las exposiciones ocupacionales.

### **Plomo (Pb)**

El plomo es ubicuo en los ambientes urbanos de los EE.UU. debido al gran uso de compuestos de Pb en la industria, gasolina y pinturas durante el siglo pasado. La exposición al Pb ocurre por la inhalación del polvo y humos, y por la ingestión a través del contacto con las manos, alimentos, cigarrillos y ropas contaminadas con plomo. El plomo que se absorbe se acumula en los tejidos blandos y huesos del cuerpo. El plomo se puede acumular en los huesos por décadas y puede causar daños a la salud mucho tiempo después de la exposición a medida que se expulsa lentamente en el cuerpo.

Los síntomas de exposición al Pb incluyen debilidad, cansancio excesivo, irritabilidad, estreñimiento, anorexia, cólicos abdominales, pequeños temblores y la "caída de la muñeca."<sup>12,13,14</sup> La sobreexposición al Pb puede también resultar en daños a los riñones, anemia, alta presión arterial, infertilidad y deseos sexuales reducidos en ambos sexos, e impotencia. El BLL de una persona es una buena indicación de la exposición reciente y de la presente absorción del plomo.<sup>15</sup> La frecuencia y severidad de los síntomas asociados con la exposición al Pb generalmente aumentan con el BLL.

El promedio general geométrico de BLL en la población adulta de los EE.UU. (edades de 20 a 74 años) declinó significativamente entre 1976 y 1991 de 13,1 a 3,0 microgramos por decilitro ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) de sangre. Esta caída se debe probablemente a la reducción de plomo en la gasolina. Más del 90% de adultos en los EE.UU. tienen ahora un BLL de  $<10 \mu\text{g}/\text{dL}$  y más del 98% tienen un BLL de  $<15 \mu\text{g}/\text{dL}$ .<sup>16</sup>

Bajo la norma industrial general de Pb de OSHA (29 CFR 1910.1025), el PEL de exposición de Pb en el aire es 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (TWA de 8 horas).<sup>17</sup> La norma requiere la reducción del PEL en jornadas que excedan 8 horas, observación médica de empleados expuestos a Pb en el aire en concentraciones más altas que el nivel de acción de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (TWA de 8 horas), remoción médica de los empleados con BLLs medios de 50  $\mu\text{g}/\text{dL}$  o mayores, y protección económica de los trabajadores removidos por razones médicas. Estos trabajadores no pueden retornar a trabajos que tengan exposición al plomo hasta que el BLL baje a menos de 40  $\mu\text{g}/\text{dL}$ . La ACGIH ha propuesto un TLV para plomo de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (TWA de 8 horas), con el BLL de los trabajadores controlados a niveles de

20 µg/dL o menores, y la designación del plomo como un carcinógeno animal.<sup>18</sup> El Servicio de Salud Pública de los EE.UU. ha establecido el objetivo, para el año 2000, de eliminar todas las exposiciones ocupacionales que resulten en BLLs mayores de 25µg/dL.<sup>19</sup> Un grupo de estudio de la Organización Mundial de la Salud recomendó que los BLLs de personas adultas no embarazadas, que hayan sido expuestas ocupacionalmente, no exceda 40 µg/dL.<sup>20</sup>

El criterio de exposición ocupacional (arriba) no protege contra todos los efectos conocidos del Pb en la salud. Por ejemplo, estudios han encontrado síntomas neurológicos en trabajadores con BLLs de 40 a 60 µg/dL, y una menor fertilidad en hombres con BLLs tan bajos como 40 µg/dL. El BLL se ha asociado con aumento de la presión arterial, sin ningún umbral aparente hasta un valor menor de 10 µg/dL. La exposición del feto al Pb se ha asociado con una menor edad gestacional, peso al nacer y desarrollo mental con BLLs maternos tan bajos como 10 a 15 µg/dL,<sup>21</sup> Los hombres y mujeres que planean tener hijos deben limitar su exposición al Pb.

En los hogares con un miembro de la familia expuesto ocupacionalmente al Pb, se debe tener cuidado de evitar la "entrada en la casa" del Pb, o sea, llevar el Pb a la casa en las ropas, piel y cabellos, y en vehículos, Se han encontrado altos BLLs en niños y concentraciones elevadas de Pb en el polvo de las casas de trabajadores empleados en industrias asociadas con alta exposición al Pb.<sup>22</sup> Se debe hacer un esfuerzo particular para asegurar que los niños de las personas que trabajan en áreas con gran exposición al plomo reciban una prueba BLL.

### **Plomo (Pb) en el polvo y tierra superficial**

El polvo y tierra superficial contaminado con plomo representan fuentes potenciales de contaminación ocupacional de Pb. Esto puede ocurrir por contacto directo de mano a boca o por contacto indirecto de mano a boca con ropas, cigarrillos o alimentos contaminados. No hay normas federales en la actualidad que indiquen el límite permisible de contaminación de Pb para las superficies en los lugares de trabajo. Como lo requiere la Sección 403 de la Ley de Control de Substancias Tóxicas (TSCA), la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) está en el proceso de desarrollar un reglamento para controlar los peligros del polvo y la tierra con contaminación en y alrededor de las casas.

Actualmente, EPA recomienda los siguientes niveles de Pb en las superficies después de actividades para reducir el plomo residencial o establecer controles interinos: pisos sin alfombras, 100 microgramos por pie cuadrado (µg/ft<sup>2</sup>); umbrales de ventanas interiores, 500 µg/ft<sup>2</sup> y aberturas para ventanas, 800 µg/ft<sup>2</sup>.<sup>23</sup> Estos niveles se han establecido como posibles si se emplean actividades y controles interinos para reducir el plomo, y no se basan en los efectos proyectados de salud asociados con niveles específicos de polvo en la

superficie. Sin embargo, los estudios han demostrado una correlación suficiente entre los BLLs de niños residentes y los niveles de Pb en el polvo de la casa.<sup>24</sup>

La EPA recomienda actualmente una estrategia de respuesta escalonada a la contaminación de la tierra con Pb, dependiendo de las concentraciones de plomo y otros factores específicos del sitio. Cuando las concentraciones de Pb exceden 400 ppm en el suelo desnudo, la EPA recomienda una evaluación adicional y la implantación de actividades para reducir la exposición, de acuerdo con el nivel de riesgo específico para el sitio. Si la concentración en el suelo excede 5000 ppm, la EPA recomienda la eliminación permanente de la tierra contaminada.<sup>12</sup>

## RESULTADOS

### Evaluación de la exposición ocupacional

#### A. Consideraciones generales y limitaciones

Los trabajadores incluidos en la evaluación de exposición de NIOSH (muestras de aire y biológicas) representan cerca del 10% del número total de trabajadores potencialmente expuestos en la planta. Los trabajadores fueron seleccionados por funcionarios de ENAF basándose en su conocimiento de los peligros del proceso y criterio suministrado por NCEH para el estudio de exposición de la comunidad. La intención del estudio era estudiar un grupo de trabajadores de la fundición con las exposiciones anticipadas más altas a metales pesados. Sin embargo, como el grupo de trabajadores era relativamente pequeño, no es posible decir que las exposiciones medidas para estos trabajadores eran las máximas para esta fundición. Esta investigación no se debe considerar como una evaluación completa de las exposiciones de los trabajadores a metales pesados en esta fundición, sino más bien como un estimado preliminar del grado potencial del peligro.

Los investigadores de NIOSH pidieron que ENAF seleccionara, para la observación de la exposición por el aire, 15 trabajadores del primer turno que representaran las mismas posiciones o clasificaciones que los 15 trabajadores preseleccionados para la observación biológica como parte del estudio de exposición de la comunidad. Los nombres de las posiciones, (como se indican en la versión original en español y en nuestra traducción al inglés) para los dos grupos de 15 trabajadores seleccionados, se presentan en la Tabla 2. Podemos confirmar una correspondencia de las posiciones en sólo tres de los 15 casos; en dos de esos casos, el mismo trabajador participó tanto en la observación biológica como en la del aire. Las posiciones más prevalentes en la observación del aire fueron los operadores de filtros (filtreros, 3 trabajadores), y los alimentadores de hornos (3 trabajadores). En la observación biológica, las posiciones más prevalentes fueron los jefes de puntos (3) y los refinadores térmicos de baja ley (3). Debido a que la mayoría de estas posiciones difieren entre los dos grupos, los investigadores de NIOSH no creen que sería apropiado hacer una

comparación directa entre los resultados de la investigación biológica y la de contaminación ambiental.

**B. Resultados del monitoreo del aire**

Los nombres de las posiciones o cargos y las ubicaciones de las muestras, períodos y tiempos (en minutos) para los 15 trabajadores que participaron en el monitoreo del aire se presentan en la Tabla 3. Se hizo un esfuerzo para tomar muestras de cada uno de los 15 trabajadores para la mayor parte de sus turnos de trabajo. Para tres de los 15 trabajadores, el período de muestreo fue significativamente menor que una jornada completa debido a fallas de las bombas (tiempos de muestreo: 98 - 103 minutos). Basándose en la naturaleza del trabajo, los investigadores de NIOSH asumieron que estas muestras eran representativas de las exposiciones de turno completo para estos trabajadores.

Los resultados para As, Bi, Cd, Fe, Pb, Sb, Sn y Zn, expresados como promedios compensados para el tiempo (TWA son las siglas en inglés), se muestran en la Tabla 4. Las exposiciones personales reportadas no tienen en cuenta los respiradores que pudieran ser usados por los trabajadores y, por lo tanto, pueden sobreestimar las cantidades actualmente inhaladas. Ninguna de las exposiciones de los trabajadores medidas para Fe, Sn y Zn representan un peligro para la salud. Todas estaban bien por debajo del criterio de exposición ocupacional respectivo (no hay criterio de exposición para el Bi).

Las exposiciones al As, Cd, Pb y Sb entre los 15 trabajadores excedieron los criterios establecidos. Las medias geométricas y las gamas para exposiciones a estos metales fueron: As,  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gama: no se detectó ninguna (ND) a  $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); Cd,  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gama: ND a  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); Pb,  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gama: 7,4 a  $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y Sb,  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gama: ND a  $4500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Algunas de las exposiciones medidas de los trabajadores a los metales fueron muy altas y representan un peligro significativo para la salud; las mediciones de la exposición para estos metales se comparan con los respectivos NIOSH RELs o OSHA PELs en la tabla 5.

Catorce de las 15 exposiciones a As fueron mayores que el NIOSH REL de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , nueve fueron más de cinco veces el REL, y seis fueron más de 10 veces el REL. La mayor exposición medida al As, para un operador de descarga, fue 195 veces el REL y 39 veces el OSHA PEL para exposición a As.

Seis de las 15 exposiciones al Pb fueron mayores que el OSHA PEL de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y una, para un operador de filtro, era mayor de cinco veces el PEL. Una de las 15 exposiciones al Sb excedió el NIOSH REL de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esta exposición, sufrida por un operador de filtros en el área de antimonio, era nueve veces el REL. Once de las 15 exposiciones eran mayores que el PEL de OSHA de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y la mayor de dos exposiciones, para un operador de horno y un filtrero, fue 46 y 36 veces el PEL, respectivamente.

Los resultados de SO<sub>2</sub> para los 15 trabajadores monitoreados se presentan en la Tabla 6. La media geométrica para la exposición de SO<sub>2</sub> era de 4,3 partes por millón (ppm), (gama: <1 a 31 ppm). Ocho de las 15 exposiciones al SO<sub>2</sub> excedieron el NIOSH REL de 2 ppm, cinco fueron más de 5 veces mayores que el REL y 2 fueron más de 10 veces el REL. Los trabajos con la mayor exposición a SO<sub>2</sub> fueron los de filtrero y transportador de polvos. La máxima exposición medida para un filtrero fue 15 veces el REL para SO<sub>2</sub>.

La severidad de las máximas exposiciones personales a As, Cd, Pb, Sb y SO<sub>2</sub>, y la determinación que el 40% de las exposiciones a As eran más de 10 veces el REL, indican que esta planta tiene controles de ingeniería inadecuados o ineficaces para estos peligros de salud. Tanto el As como el Cd pueden causar cáncer en los trabajadores expuestos y NIOSH recomienda que las exposiciones a estas dos sustancias sean reducidas al límite más bajo que sea tecnológicamente posible.

Los operadores de filtros (filtreros) tienen algunas de las exposiciones más altas tanto a metales pesados como al SO<sub>2</sub>. El manejo de los filtros y del polvo en las casas de filtros de diseño convencional es típicamente una operación muy polvorienta, lo que es peligroso debido a los metálicos tóxicos en el polvo y los gases presentes en las emisiones de los hornos.

#### C. Otras muestras ambientales

Se recogieron ocho muestras de proceso y de materiales de desecho en los edificios de Alta Ley y Baja Ley para evaluar el potencial de la exposición del trabajador a los metales pesados a través del contacto directo con las superficies contaminadas. La ingestión accidental de los metales puede ocurrir a través del contacto con manos, alimentos, cigarrillos y ropas contaminadas. Los resultados del muestreo indican que las superficies en toda la fundición tienen concentraciones altas de As, Pb y de otros metales. Vea la tabla 7. Las concentraciones de la media geométrica de As y Pb en los polvos fueron de 5210 µg/g\* y 7342 µg/g, respectivamente.

El polvo depositado sobre una viga de soporte en el edificio de Baja Ley, que era accesible desde una escalera abierta, contenía concentraciones altas de As y Pb; 6400 µg/g y 12.000 µg/g, respectivamente. El polvo depositado era visible en muchas de las superficies horizontales en este edificio, tales como barandas y pasillos, y en los bancos y pisos de los cuartos de cambio. Una preocupación particular eran las similarmente altas concentraciones de As y Pb en las superficies del piso dentro y cerca del cuarto de cambio de los trabajadores en el edificio de baja Ley (3600 µg/g As y 6300 µg/g Pb), porque

---

\* Un microgramo por gramo (µg/g) es equivalente a una parte por millón por peso.

parecía que no había áreas limpias en los cuartos de cambio para que los trabajadores se pudieran cambiar las ropas después de la ducha.

Se tomaron dos muestras de agua de beber de llaves de agua en la cafetería de ENAF para estudiar la contaminación de metales pesados (Tabla 8). Se dejó correr el agua de las llaves durante cinco minutos antes de tomar las muestras. Una llave suministró agua de superficie de una fuente en las montañas cercanas conocida como La Cala Cala; la otra llave suministró agua del pozo de ENAF en el sitio de la fundación. No se detectó ningún As ni Pb en el agua de La Cala Cala; las concentraciones detectables mínimas (MDCs son las siglas en inglés) fueron 3 µg/L para As y 2 µg/L para Pb. La muestra de agua del pozo de ENAF contenía 9 µg/L de As, un nivel menor que el máximo nivel de contaminación de la EPA en los EE.UU. de 50 µg/L de As en el agua de beber. No se detectó Pb en la muestra del pozo de ENAF. Los otros metales (Bi, Cd, Fe, Sb, Sn y Zn) en las dos muestras de agua de beber no se detectaron o estaban presentes en concentraciones demasiado bajas para afectar la salud (Tabla 8).

**D. Facilidades y prácticas de higiene**

Se efectuó una visita a las áreas de cambio y de duchas en los edificios de Alta Ley y Baja Ley. Se les daban ropas de trabajo a los empleados y las áreas de cambio tenían armarios y bancos. Dos de las tres áreas de cambio eran cuartos situados junto a los cuartos de duchas y el tercero estaba en un lugar separado. No había separación entre las áreas "limpias" y "sucias" de los cuartos de cambio. A cada empleado se le había dado un armario para guardar sus ropas. La inspección reveló que los cuartos de cambio no estaban limpios; había polvo visible en los pisos, bancos y otras superficies.

La separación de las áreas "limpias" y "sucias" en los cuartos de cambio es un factor importante en el diseño de instalaciones para la higiene del trabajador. Se necesita la frecuente limpieza de los cuartos de cambio y duchas y el lavado regular de las ropas de trabajo, por lo menos una vez por semana, para evitar el contacto del cuerpo del empleado con concentraciones altas de metales pesados en las superficies y en las ropas. Se debe prohibir barrer en seco el polvo tóxico durante la limpieza de los cuartos de cambio y de otras áreas en toda la fundición. Para reducir la exposición de los trabajadores al polvo tóxico, el polvo se debe humedecer con agua antes de barrerlo o se debe aspirar con un equipo equipado con un filtro de aire con alta eficiencia para retener partículas.

Una de las áreas de cambio en el edificio de Baja Ley era simplemente un área abierta, sin paredes ni techo, rodeada por las áreas de producción. Esta área, que estaba sujeta a la contaminación causada por los procesos de fundición cercanos, tenía una gran acumulación de polvo sobre los pisos y otras superficies. Las muestras de polvo del piso del cuarto de cambio y del piso fuera del cuarto tenían concentraciones altas de As, Pb, Sn y Sb, similares a las concentraciones de estos metales encontradas en muestras del polvo

recogido de las áreas de producción (Tabla 7). Este polvo se podía llevar a la casa por los trabajadores en los zapatos o ropas. Este cuarto de cambio no estaba cerca de las duchas. Un funcionario de ENAF reportó que los trabajadores que usaban esta área de cambio caminaban hasta y desde las duchas, que estaban localizadas dos pisos debajo en un área separada de la planta. Sería difícil caminar entre las dos áreas sin tocar o frotar las barandas y otras superficies contaminadas con concentraciones altas de metales pesados.

Como es la costumbre en Bolivia, el agua caliente para las duchas se obtenía abriendo primero el agua fría y luego cerrando un circuito de 220 V conectado a una bobina de calefacción instalada alrededor de la tubería de agua junto a la cabeza de la ducha. Cada ducha tenía una bobina separada, con un interruptor de cuchilla abierta instalado en la pared, justamente fuera de la ducha. El uso de interruptores de cuchilla abierta, particularmente cerca del agua, es un peligro de seguridad porque el trabajador está expuesto al contacto con partes eléctricas energizadas y con el arco eléctrico que se forma cuando se abre el interruptor de cuchilla.

Se efectuó una inspección del comedor de los empleados. La instalación está bien diseñada y mantenida. Las superficies del piso y de las paredes en la entrada, cocina y comedor eran duraderas y fáciles de limpiar. Había lavabos con agua corriente, jabón y toallas a la entrada para que los empleados pudieran lavarse antes de comer o beber. Es muy importante que los trabajadores se laven siempre las manos antes de consumir cualquier alimento o fumar cigarrillos para evitar la ingestión accidental de metales pesados. Los funcionarios de ENAF reportaron que un alto porcentaje de trabajadores en esta fundición mastican hojas de coca diariamente, lo que es una costumbre común de los trabajadores en Bolivia. Para evitar la ingestión de metales pesados, es muy importante que los trabajadores no guarden las hojas de coca en sus ropas de trabajo o en otras áreas contaminadas, y que siempre laven sus manos antes de tocar o usar las hojas. Adicionalmente, se ha determinado que los trabajadores que fuman cigarrillos tienen exposiciones más altas a metales pesados en las plantas industriales. Esto se debe a la ingestión accidental de la contaminación en los cigarrillos, ropas y manos de los trabajadores mientras fuman.

#### **E. Protección respiratoria**

Los trabajadores en los cargos evaluados estaban provistos de respiradores purificadores de aire, del tipo de media cara, aprobados por NIOSH para protección contra metales pesados y SO<sub>2</sub>. Los respiradores estaban equipados con cartuchos reemplazables aprobados por NIOSH conteniendo filtros para vapores orgánicos y gases ácidos, y filtros de alta eficacia para polvos tóxicos.

Aun cuando esta investigación no intentó una evaluación completa del programa respiratorio en esta fundición, los investigadores de NIOSH observaron algunos problemas serios con respecto al uso de respiradores durante este estudio. Los respiradores provistos y usados no eran adecuados en vista de las exposiciones medidas. El Factor de Protección Asignado de NIOSH para el tipo de respirador usado es 10. Esto significa que, en la ausencia de carcinógenos ocupacionales potenciales, este tipo de respirador se puede usar con seguridad en atmósferas que contienen hasta 10 veces el límite de exposición para los contaminantes respectivos.<sup>25</sup> Se midieron durante el estudio exposiciones de los trabajadores hasta 195 veces el REL para As, 46 veces el PEL de OSHA para Cd, y 15 veces el REL de NIOSH para SO<sub>2</sub>.

Además, tanto As como Cd son carcinógenos ocupacionales potenciales, o sea, pueden causar cáncer en trabajadores expuestos a ellos. La política de NIOSH es el uso solamente de los respiradores más confiables y protectivos para protección contra los carcinógenos ocupacionales; ya sea los respiradores con suministro de aire y máscara completa, operados en demanda de presión o en otro modo de presión positiva, o los aparatos de respiración integrales con máscara completa, operados en demanda de presión o en otro modo de presión positiva. Si ésto no es posible para ENAF, la siguiente alternativa mejor es suministrar a los trabajadores respiradores purificadores de aire aprobados por NIOSH, con máscara completa y equipados con cartuchos combinados conteniendo filtros para vapores orgánicos y gases ácidos, y filtros de eficacia alta para los polvos tóxicos.

Se observó una falta de consistencia en el uso de los respiradores. En áreas con una gran cantidad de polvo y niveles altos de vapores, algunos trabajadores no estaban usando respiradores, aunque otros trabajadores al lado de ellos si los usaban. Los supervisores y funcionarios de ENAF no siempre usaban respiradores cuando pasaban a través de áreas donde el uso de respiradores era requerido para los trabajadores. Se debe poner un énfasis especial en el adiestramiento de los trabajadores de que los respiradores se deben usar en todo momento mientras se trabaja en áreas donde se ha identificado una exposición peligrosa a los metales pesados o SO<sub>2</sub>, y asegurar que todo el personal siga esta política cuando entren en esas áreas.

Varios de los trabajadores observados usando respiradores habían colocado piezas de tejidos sobre las partes de la máscara del respirador que forman el sello de la máscara con la cara. Esta modificación del respirador, aparentemente para hacerlo más confortable, reduciría seriamente su eficacia, especialmente para los gases como el SO<sub>2</sub>. En casos como éste, los respiradores usados proveerían un factor de protección mucho menor que el factor deseado de 10. El esfuerzo físico requerido para respirar aumenta significativamente cuando un trabajador usa un respirador purificador de aire del tipo suministrado por ENAF. En reconocimiento de la molestia causada por el uso de respiradores purificadores de aire durante períodos extensos, NIOSH recomienda que se suministre un respirador de aire

forzado a cualquier empleado que reporte dificultad con el uso de un respirador purificador de aire de tipo convencional.

Los funcionarios de la planta reportaron que habían ocurrido uno o más incidentes de serio envenenamiento por gas arsina ( $\text{AsH}_3$ ) cerca de los hornos de tostación donde se procesan los minerales de estaño bolivianos. Se reportó que ocurren concentraciones extremadamente peligrosas de  $\text{AsH}_3$  en esta área infrecuentemente y que no se pueden predecir. Los respiradores suministrados por ENAF no protegen a los trabajadores contra la exposición a  $\text{AsH}_3$ .

#### F. Monitoreo biológico

En la Tabla 9 se presentan los resultados de los análisis de UAs y BLL. El grupo de trabajadores que participó en el monitoreo biológico tenía un promedio de 17 años de empleo en la fundición (gama: 10 - 24 años).

El valor medio de UAs fue de 78  $\mu\text{g/g}$  de creatinina (Cr), con una gama de <1,3 a 206  $\mu\text{g/g}$  Cr. Nueve de los 15 trabajadores tenían niveles de UAs en exceso del Índice de Exposición Biológica (BEI son las siglas en inglés) de la ACGIH de 50  $\mu\text{g/g}$  Cr. Según la ACGIH, el BEI representa los niveles que posiblemente serán observados al fin de la semana en trabajadores saludables con una exposición equivalente al TLV de la ACGIH. La concentración normal de UAs en una persona adulta es menor de 30  $\mu\text{g/L}$  (aproximadamente equivalente a  $\mu\text{g/g}$  Cr) en la ausencia de un consumo significativo de alimentos marinos o agua potable contaminada con arsénico.<sup>26</sup> Los resultados del monitoreo de UAs, junto con los niveles altos de As medidos en el aire, sirven para documentar más aun que los trabajadores han sido sobreexuestos ocupacionalmente al arsénico.

El BLL medio de los 15 trabajadores analizados fue de 19  $\mu\text{g/dL}$ , con una gama de 13 a 54  $\mu\text{g/dL}$ . Cinco de los 15 trabajadores tenían BLLs mayores que el BEI de  $\leq 20 \mu\text{g/dL}$  de la ACGIH; cuatro excedieron el objetivo de 25  $\mu\text{g/dL}$  del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos; y uno excedió el nivel de remoción médica de OSHA de 50  $\mu\text{g/dL}$ . Los resultados de los análisis de BLL, junto con los niveles altos de Pb medidos en el aire, demostró que los trabajadores en esta fundición han sido sobreexuestos ocupacionalmente al plomo.

El monitoreo biológico de UAs y BLL mide las dosis absorbidas de los metales; no indica si la ruta de exposición fue por ingestión o inhalación. Los resultados y observaciones del monitoreo del aire durante una inspección indicaron que existe un potencial alto de exposición para ambas rutas en esta fundición.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las exposiciones a metales pesados y SO<sub>2</sub> constituyeron un peligro para la salud de los trabajadores incluidos en este estudio. De los 15 trabajadores seleccionados para el monitoreo de exposición en el aire, 14 estuvieron expuestos a niveles peligrosos de As, 11 estuvieron expuestos a niveles peligrosos de Cd y 8 estuvieron expuestos a niveles peligrosos de SO<sub>2</sub>. Esta conclusión se basa en la comparación de los niveles de exposición medidos y el criterio de exposición desarrollado por NIOSH, el Servicio de Salud Pública de los EE.UU., la ACGIH y OSHA para proteger la salud de los trabajadores en los EE.UU. Estos criterios de exposición se basan en muchos años de estudio en todo el mundo de los efectos en la salud de los trabajadores expuestos. No hay razón para creer que los trabajadores bolivianos son más resistentes a los efectos de metales pesados y SO<sub>2</sub> que los trabajadores en otras partes del mundo.

Cuarenta por ciento de las exposiciones a As medidas fueron más de 10 veces el Límite Recomendado de Exposición (REL son las siglas en inglés) para As de NIOSH y la exposición máxima fue 195 veces mayor que el REL de NIOSH. Seis trabajadores también estuvieron expuestos a niveles peligrosos de Pb y un trabajador fue expuesto a un nivel peligroso de Sb. Por lo menos nueve de los 15 trabajadores seleccionados para el monitoreo biológico tenían niveles de UAs que indicaban la sobreexposición a As. Cuatro trabajadores en este grupo tenían un BLL mayor que el establecido por el Servicio de Salud Pública de los EE.UU. para trabajadores expuestos en los EE.UU., y dos tenían BLL mayores que el nivel recomendado por el grupo de estudio de la Organización Mundial de la Salud de 40 µg/dL. Uno de los trabajadores tenía un BLL que, si fuera un promedio de tres medidas, causaría la inmediata remoción de la exposición con mantenimiento de paga completa y beneficios bajo las leyes de los EE.UU.

Los investigadores de NIOSH concluyeron que el programa para controlar las exposiciones de los trabajadores a metales pesados y SO<sub>2</sub> no era adecuado para proteger la salud de los trabajadores. El programa de control de los peligros para la salud dependía mucho del uso de respiradores y muy poco de los controles de ingeniería. El tipo de respirador utilizado no era adecuado para protección contra las exposiciones de As, Cd y SO<sub>2</sub> medidas en los trabajadores en este estudio. Además, los respiradores no se usaban consistentemente ni propiamente en las áreas de exposiciones altas de la fundición. Para algunos de los procesos evaluados, los controles de ingeniería demostrados por más de una década como posibles en los EE.UU. no estaban en uso. NIOSH recomienda que se dependa en los respiradores sólo para protección cuando los controles de ingeniería son ineficaces, no factibles, o mientras dichos controles se están instalando o reparando, y para emergencias y otras situaciones temporales (tales como las actividades de mantenimiento periódico).

Existía una ventilación general de dilución en los edificios de la fundición, con aberturas para las puertas, ventanas y techo. Sin embargo, la ventilación natural o general no es usualmente efectiva en fundiciones para el control de contaminantes aéreos de alta toxicidad, tales como As, Pb y Cd. Para esas instalaciones, NIOSH recomienda el uso de ventilación local para expulsar

los contaminantes, en o cerca de la fuente que los genera, siempre que sea posible. Por ejemplo, sistemas de extracción de aire bien diseñados en los hornos de refinación, en las entradas de material en los hornos y en las salidas del material fundido reducirían efectivamente la exposición de los trabajadores en esas áreas. La falta de controles de ingeniería para la protección de la salud de los empleados de ENAF se demostró por la severidad de las mediciones de exposición de los trabajadores a los metales y  $\text{SO}_2$ . La exposición excesiva a metales pesados y a  $\text{SO}_2$  en ENAF se puede atribuir a la falta de ventilación por extracción de aire en un número de áreas críticas, incluyendo los cucharones de refinación de metales y en los puntos de alimentación y descarga de los hornos.

Otro tipo de control de ingeniería que se ha demostrado es efectivo para reducir la exposición de los trabajadores en fundiciones es la ventilación local. Esto se logra introduciendo en la estación de trabajo, a baja velocidad, aire externo limpio para crear una "isla de aire limpio" alrededor del trabajador.

Antes de diseñar e implementar controles de ingeniería, se deben tomar por lo menos una o dos muestras más en cada estación de trabajo para confirmar nuestros resultados. Una medida de la exposición de un trabajador en una estación de trabajo no representa necesariamente la situación que existe día a día en el lugar de trabajo. Sólo representa las condiciones y la situación que existió en esa estación de trabajo durante el tiempo en que se tomó la muestra. Además, se necesita más estudio para evaluar las áreas donde se pueden usar con éxito los controles de ingeniería y para diseñar esos controles. Sin embargo, en general, el método de control más efectivo es la instalación de extractores locales para capturar los vapores y gases y transportarlos hacia fuera, lejos de los trabajadores, a través de equipos para controlar la contaminación. La exposición de los trabajadores de hornos a los metales y  $\text{SO}_2$  se podría reducir significativamente mediante la instalación de campanas sobre las aberturas de los hornos. En la Figura 1 se muestra un ejemplo del uso de estas campanas para controlar las emisiones de un horno reverberatorio.

Entre el grupo de trabajadores estudiado, los respiradores suministrados y usados no eran adecuados para la protección contra las exposiciones medidas a As, Cd y  $\text{SO}_2$ . Los respiradores de media cara de purificación de aire que se usaban habían sido aprobados por NIOSH para exposiciones de hasta, pero sin exceder, 10 veces los límites aplicables de exposición. Las exposiciones de los trabajadores a As, Cd y  $\text{SO}_2$  eran más de 10 veces los límites de exposición. NIOSH también recomienda que sólo se usen los respiradores más protectores y confiables contra As y Cd, que son sustancias que pueden causar cáncer en los trabajadores expuestos. NIOSH no considera que el tipo de respirador utilizado sea adecuado para protección contra carcinógenos.

Los cuartos de cambio y duchas no están diseñados o mantenidos adecuadamente para proteger la seguridad y salud de los trabajadores. Había una visible y, en algunos casos, pesada acumulación de polvo en los pisos, bancos y armarios en las áreas de cambio de ropas. Uno de los cuartos de cambio no tenía paredes ni techo para aislarlo de las áreas de producción que lo

rodean, y los trabajadores tenían que caminar a través de las áreas de producción para llegar a las duchas. Los cuartos de cambio no tenían áreas "sucias" y "limpias" separadas. Se determinó que el polvo acumulado en el piso de uno de los cuartos de cambio contenía niveles altos de metales, similares a las concentraciones encontradas en las muestras de polvo recogidas en las áreas de producción. También estaba contaminado el polvo en el piso inmediatamente fuera del cuarto de cambio. Los interruptores de cuchilla abierta para los calentadores de agua en las duchas son un peligro para la seguridad, particularmente cerca del agua.

## **RECOMENDACIONES**

Se ofrecen las siguientes recomendaciones para reducir las exposiciones ocupacionales peligrosas a los metales pesados y SO<sub>2</sub> en las instalaciones de ENAF. Estas recomendaciones no son diseñadas necesariamente para proveer el nivel de protección que requeriría la ley en los EE.UU. La intención es asistir a ENAF a mejorar el programa existente de protección a los trabajadores para proteger adecuadamente la seguridad y salud de los trabajadores.

1. Dada la alta exposición a partículas en el aire de metales pesados y de SO<sub>2</sub> medidas en los 15 trabajadores que participaron en este estudio, se debe efectuar un estudio más completo de las exposiciones ocupacionales a estos metales. Se deben las exposiciones durante varios días para confirmar las sobreexposiciones medidas anteriormente, para determinar la cantidad de variación de las exposiciones de un día a otro, y para recolectar datos adicionales que se puedan usar para diseñar soluciones eficaces de ingeniería. La evaluación debe incluir los siguientes elementos:
  - ▶ Una inspección de otras áreas de la fundición no incluidas en este estudio para determinar si hay otros puestos con un potencial alto de sobreexposición de metales pesados. Una vez que esos puestos son identificados por observación del ambiente en el trabajo, se deberá efectuar una evaluación de la exposición tomando muestras durante dos o tres días de la exposición en el aire a que están sometidos ciertos trabajadores seleccionados.
  - ▶ Una evaluación adicional de la exposición de las categorías de puestos incluidas en este estudio tomando muestras durante dos o tres días de la exposición en el aire a que están sometidos ciertos trabajadores seleccionados.
  - ▶ Observación adicional de las prácticas de trabajo y procesos de producción en las estaciones de trabajo seleccionadas para evaluación en las instalaciones de la fundición con el objeto de determinar las áreas donde las soluciones de ingeniería y los cambios en las prácticas de trabajo podrían tener el mayor impacto para reducir las exposiciones peligrosas a metales pesados y a SO<sub>2</sub>.

2. Después de completar una evaluación adicional de las exposiciones en la fundición, se podrán ofrecer recomendaciones más detalladas por el higienista industrial para la implementación de soluciones de ingeniería y cambios en las prácticas de trabajo. En general, se deben implementar los controles de ingeniería donde sea posible en la fundición para proteger la salud de los trabajadores, con el fin de reducir la exposición a As, Sb, Pb, Cd y SO<sub>2</sub>.

Hasta que se puedan completar más estudios, las áreas de mayor prioridad para la instalación de ventilación local con extracción de aire y otras soluciones de ingeniería deberán ser las áreas donde se midieron las exposiciones más altas de los trabajadores en este estudio y en las cuales se expuso el mayor número de individuos.

3. Debido a las limitaciones inherentes en su uso, los respiradores no se recomiendan como un medio primario para controlar las exposiciones ocupacionales peligrosas. Entre otros problemas, el uso de ellos no es cómodo, los trabajadores pueden ofrecer resistencia a usarlos, y es difícil asegurar que se usen y mantengan propiamente por los empleados. El programa de protección de la respiración y el uso de respiradores se debe mejorar por ENAF para que los respiradores proporcionen la mayor protección posible contra las exposiciones peligrosas.

- ▶ Como mínimo, ENAF debe proporcionar un respirador de tipo aprobado por NIOSH (o equivalente) con máscara para toda la cara, suministro de aire y cartuchos combinados para cualquier trabajador que: 1) puede estar expuesto a más de 10 veces el límite de exposición recomendado, o 2) que pide este tipo de respirador.
- ▶ Los trabajadores deben recibir mejor adiestramiento sobre el uso correcto de los respiradores. El adiestramiento debe incluir el ajuste adecuado, cuidado, uso y limitaciones de los respiradores. Las limitaciones de los respiradores purificadores de aire usados por ENAF incluyen la dificultad en obtener un sello efectivo entre el respirador y la cara, la falta de confort después de un uso prolongado y la necesidad de cambiar los cartuchos de los filtros químicos en forma regular y frecuente.
- ▶ Los respiradores se deben limpiar e inspeccionar diariamente. Se le debe pedir al trabajador que reporte inmediatamente cualquier problema con su respirador.
- ▶ Se deben tener disponibles inmediatamente respiradores para cualquier trabajador que reporte un problema con su respirador. Es preferible tener un taller central para el mantenimiento de los respiradores, operado por un trabajador que ha sido adiestrado completamente para inspeccionar y reparar respiradores.

- ▶ No se debe permitir que los trabajadores hagan cualquier modificación a los respiradores, tal como colocar telas o medias sobre la máscara para hacerla más comfortable.
  - ▶ No se debe permitir que los trabajadores y supervisores entren o trabajen sin respiradores en las áreas donde se ha determinado que los respiradores son necesarios para controlar las exposiciones peligrosas.
4. Los cuartos de cambio y las duchas en la planta se deben modificar para mejorar la protección de los trabajadores contra la contaminación de metales pesados.
- ▶ Para proteger al trabajador contra el peligro de choque eléctrico, todos los interruptores abiertos de cuchilla en las duchas se deben cambiar por interruptores de botón o palanca a prueba de agua, encerrados en plástico, porcelana u otros materiales aislantes. Estos interruptores deben tener indicadores para mostrar las posiciones abierta y cerrada.
  - ▶ Los cuartos de cambio se deben limpiar mucho más frecuentemente. La limpieza diaria es probablemente necesaria. La limpieza se debe hacer con una aspiradora especial diseñada para limpiar polvos tóxicos, equipada con un filtro de alta eficacia para partículas, como se muestra en la Figura 2. Las aspiradoras de este tipo se usan comúnmente en los EE.UU. para limpiar la contaminación de plomo (Pb) y asbesto. Las aspiradoras regulares, para uso en los hogares o talleres, no son eficaces para remover pequeñas partículas de polvos tóxicos. Si no es posible usar una aspiradora especial, el lavar o barrer el polvo después de mojarlo con un rocío de agua es aceptable.
  - ▶ Se deben establecer áreas separadas para las ropas limpias de calle de los trabajadores y las ropas sucias de trabajo. Si es posible, estas áreas deben estar en cuartos de cambio separados, que estén separados por el área de duchas y lavabos. Este diseño evitará la recontaminación de la piel y ropas de los trabajadores con el polvo contaminado después de lavarse o ducharse. Las Figuras 3 y 4 muestran ejemplos de diseños de cuartos de cambio para las plantas que usan o procesan metales pesados.
  - ▶ ENAF debe considerar la instalación de máquinas para limpiar los zapatos a las entradas de la cafetería y de los cuartos de cambio para que los trabajadores puedan quitar de sus zapatos el polvo contaminado con metales pesados antes de entrar. Un tipo de máquina limpiadora de zapatos que se usa en las fundiciones es un limpiador con brocha al vacío, como se muestra en la Figura 5. Para usar un limpiador de zapatos de brocha al vacío, el trabajador inserta un zapato a la vez en la máquina durante unos segundos, repitiéndolo dos o tres veces. Las brochas rotatorias, localizadas dentro de la máquina, limpian y sacan los polvos tóxicos de los zapatos de los trabajadores. El polvo que se quita de los zapatos se recoge en la bolsa de vacío del limpiador para reciclaje o disposición.

5. Para evitar la ingestión accidental de metales pesados, ENAF debe enfatizar la importancia de no tocar alimentos, productos de tabaco ni hojas de coca en áreas contaminadas. Como regla general, no se debe permitir que los trabajadores usen monos u overoles de trabajo y otras ropas externas en el comedor, a menos que el polvo se haya sacado de la ropa por aspiración con una aspiradora del tipo HEPA. Se deben usar respiradores durante la aspiración de ropas contaminadas para protección contra el polvo en el aire. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de un trabajador aspirando sus ropas.
6. Para reducir las exposiciones de los trabajadores en los cuartos de control, se deben modificar los sistemas de ventilación para asegurar que se suministre aire exterior no contaminado con ventilación mecánica y que los cuartos se mantengan con presión positiva de aire, con respecto a las áreas de producción circundantes, con el fin de evitar la infiltración de contaminantes en el aire.
7. ENAF debe instalar un sistema para monitoreo continuo de arsina ( $AsH_3$ ) cerca de los hornos de tostación, para evitar el envenenamiento con arsina después de escapes accidentales. El monitor debe producir una alarma audible y visual cuando se detecte una concentración de  $AsH_3$  que exceda un nivel aceptable. Se le debe decir a los trabajadores inmediatamente que evacúen el área si ocurre una alarma. Trabajadores de rescate, propiamente equipados y adiestrados, pueden entonces volver a entrar en el área. Los trabajadores de rescate deben estar provisto de un aparato de respiración integral, aprobado por NIOSH (o equivalente), con una máscara que cubra toda la cara y operado por demanda de presión o por otro sistema de presión positiva.
8. Se debe hacer disponible un programa de observación médica, incluyendo un monitoreo biológico apropiado, para los trabajadores expuestos a sustancias tóxicas, particularmente Pb, As y Cd. El objetivo de tal programa sería: a) detectar sobreexposiciones y efectos en la salud causados por exposición en trabajadores individuales, y tomar acción correctiva apropiada; y b) ayudar a identificar fuentes de exposición controladas inadecuadamente en las áreas de trabajo incluidas en el programa de observación.

Las evaluaciones de precolocación y otras evaluaciones médicas periódicas deben incluir aquellos exámenes, procedimientos y pruebas cuya sensibilidad, especificidad y valores predictivos (positivos y negativos) las hagan útiles para monitorear exposiciones y detectar los efectos adversos en la salud causados por el trabajo. Idealmente, el programa de monitoreo médico debe detectar estas señales con suficiente anticipación para evitar una morbilidad mayor. Desafortunadamente, estas condiciones son muchas veces difíciles de lograr en la práctica.

OSHA requiere programas de monitoreo médico para los trabajadores en los EE.UU. expuestos a As, Cd y Pb (29 CFR, Partes 1910.1018, 1910.1027 y 1910.1025, respectivamente). Como ciertas especificaciones con respecto a los criterios de

elegibilidad, periodicidad y niveles de acción son algo arbitrarios, y como puede que los recursos necesarios para la ejecución de algunas de estas pruebas y procedimientos en forma rutinaria no existan en todos los países, los protocolos de OSHA se deben considerar como pautas de información, y no como requisitos, fuera de los EE.UU. Además, algunas de las pruebas y procedimientos especificados, tales como las radiografías del pecho y la citología del esputo para determinar la exposición a As, ya no se consideran útiles para hacer determinaciones rutinarias de cáncer pulmonar. También, ciertas pruebas y procedimientos que pueden haber sido los mejores posible cuando se adoptaron las normas de OSHA, pueden ya haberse reemplazado por alternativas de igual o mayor eficacia. Finalmente, aun cuando la norma de As no requiere el monitoreo de UAs, ésta es la prueba más sensible de exposición y se debe hacer periódicamente, junto con pruebas de Pb y Cd, para evaluar los incidentes de exposición.

9. Para reducir la generación de polvo en el aire causada por vehículos, ENAF debe considerar la pavimentación de tanto el área del patio como los pisos en los edificios donde existe el mayor tráfico vehicular. La pavimentación de estas áreas con asfalto o concreto proveerá superficies que se pueden lavar con agua para evitar grandes acumulaciones de polvo conteniendo metales tóxicos, tales como Pb y As.

## REFERENCIAS

1. NIOSH [1994]. Manual de Métodos Analíticos de NIOSH, 4ta edición. Eller, P. y Cassinelli, ME, Eds. Cincinnati, OH: Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicio de Salud Pública, Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, DHHS (NIOSH) Publicación No. 94-113.
2. Hornung, R. y L. Reed [1990]. Estimado de la concentración media en la presencia de valores no detectables. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 5 (1), pp 46-51.
3. DT Miller, DC Paschal, EW Gunter, PE Strous y JD'Angelo [1987]. Determinación del plomo en la sangre usando espectrometría de absorción atómica y atomización electrotrémica con una plataforma L'vov y modificador de matriz. *Analyst*, Vol 112, pp 1701-1704.
4. DC Paschal, MM Kimberly y GG Bailey [1986]. Determinación de arsénico en la orina usando espectrometría de absorción atómica y atomización electrotrémica con una plataforma L'vov y modificador de matriz. *Analytica Chimica Acta*, Vol 181, pp 179-186.
5. NIOSH [1992]. Recomendaciones de NIOSH para la salud y seguridad ocupacional, resumen de documentos y declaraciones de política. Cincinnati, OH: Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicio de Salud Pública, Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, DHHS (NIOSH) Publicación No. 92-100.
6. ACGIH [1993]. Valores de los umbrales límites para sustancias químicas y agentes físicos e índices de exposición biológica para 1993-1994. Cincinnati, OH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales.
7. 58 Fed. Reg. 124 [1993]. Administración de la Seguridad y Salud Ocupacional: contaminantes en el aire, regla final. (A ser codificada como 29 CFR, Parte 1910.1000).
8. Hathaway G. et al. [1991]. Peligros químicos del lugar de trabajo, por Proctor y Hughes. 3ra edición. Nueva York, NY: Van Nostrand Reinhold, pp 92-94.
9. Ishinishi N, Tsuchiya K, Vahter M, Fowler B [1986]. Arsénico. En: Friberg L, Nordberg G. Vouk VB, eds. *Handbook on the Toxicology of Metals* (Manual de Toxicología de los Metales). Nueva York, NY: Elsevier, pp 43-83.

**Página 27 - Informe No. 94-0109 de Evaluación de Peligros y Asistencia Técnica**

10. Foa V, Colombi A, Maroni M, Buratti M [1987]. Indicadores biológicos para la evaluación de la exposición humana a las sustancias químicas industriales. Arsénico. Luxemburgo: Comisión de las Comunidades Europeas.
11. Smith TJ, Crecelius EA, Reading JC [1977]. Exposición al arsénico en el aire y la excreción de compuestos arsénicos metilados. *Environ. Health Perspect.* **19**: 89-93.
12. Hernberg S, et al [1988]. Plomo y sus compuestos. En: Medicina ocupacional. 2da edición. Chicago, IL: Year Book Medical publishers.
13. Landrigan PJ, et al [1985]. La acumulación de plomo en el cuerpo: resumen de datos epidemiológicos y su relación con las fuentes ambientales y los efectos tóxicos. En: La dieta y el plomo ambiental: efectos en la salud humana. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
14. Proctor NH, Hughes JP, Fischman ML [1991]. Plomo. En: Peligros químicos en el lugar de trabajo. 3ra ed. Filadelfia, PA: J.B. Lippincott Company, Filadelfia, pp 353-357.
15. NIOSH [1978]. Exposición ocupacional al plomo inorgánico. Cincinnati, OH: Departamento de Salud, Educación y Bienestar, Servicio de Salud Pública, Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, DHEW (NIOSH) Publicación No. 78-158.
16. Pirkle, JL, et al [1994]. La reducción de los niveles de plomo de la sangre en los Estados Unidos, las Encuestas para Examinar la Salud y Nutrición Nacional (NHANES). *JAMA*, **272**: 284-291.
17. Código de Reglamentos federales [1992]. Norma de plomo de OSHA. 29 CFR, Parte 1910.1025. Washington, DC: Imprenta del Gobierno de los estados Unidos, Registro Federal.
18. ACGIH [1993]. Valores de los umbrales límites de 1993-1994 para sustancias químicas y agentes físicos.e índices de exposición biológica. Cincinnati, OH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales.
19. DHHS [1990]. Pueblo saludable 2000: Promoción nacional de la salud y objetivos de enfermedades. Washington DC: Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicio de Salud Pública. Publicación DHHS No. (PHS) 91-50212.
20. OMS [1980]. Límites recomendados basados en la salud para la exposición ocupacional a metales pesados. Informe de un grupo de estudio de la OMS. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud [OMS]. Serie de Informes Técnicos 647.

**Página 28 - Informe No. 94-0109 de Evaluación de Peligros y Asistencia Técnica**

21. ASTDR [1990]. Perfil toxicológico del plomo. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicio de Salud Pública, Agencia de Substancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. DHHS (ATSDR) Publicación No. TP-88/17.
22. Grandjean, P y Bach, E [1986]. Exposiciones indirectas: el significado de circunstancias en el trabajo y en la casa. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 47(12):819-824.
23. EPA [1994]. Pautas acerca de pinturas a base de plomo, polvo contaminado con plomo y suelos contaminados con plomo. Washington, DC: Agencia de protección Ambiental de los EE.UU., Oficina de Prevención, Pesticidas y Substancias Tóxicas. Memorándum de Lynn Goldman, Administradora Asistente, julio 14 de 1994.
24. Farfel, MR. y Chisholm. JJ. [1990]. Resultados sanitarios y ambientales de las prácticas tradicionales y modificadas para reducción de las pinturas residenciales a base de plomo. *American Jour. of Pub. Health*, 80:10, 1240-1245.
25. NIOSH [1987]. Guía de NIOSH para la protección respiratoria industrial. Cincinnati, OH: Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicio de Salud Pública, Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, DHHS (NIOSH) Publicación No. 87-116.
26. Rosenstock, L. y Cullen, M. [1994]. Arsénico, en: Libro de Texto de Medicina Clínica Ocupacional y Ambiental. Filadelfia, PA: W.B. Saunders Company, pp 732-734.

**AUTORES Y RECONOCIMIENTOS**

Informe Preparado por: Aaron Sussell, M.P.H., C.I.H.  
Supervisor de Higiene Industrial  
Sección de Higiene Industrial

Mitchell Singal, M.D., M.P.H.  
Funcionario Médico Principal

Asistencia Técnica y de Campo: Sherrilyn Wainwright, D.V.M., M.P.H.  
Funcionario del Proyecto  
Departamento de Estudios de la Salud  
Centro Nacional de Salud Ambiental

Oficina que Originó el Informe: Departamento de Evaluaciones de Peligros y  
Asistencia Técnica  
División de Vigilancia, Evaluaciones de Peligros y  
Estudios de Campo

Informe Mecanografiado por: Kate L. Marlow  
Asistente de Automatización de Oficina  
Sección de Higiene Industrial

**Reconocimientos**

Este estudio internacional en Bolivia no se hubiera podido completar sin la asistencia de la Organización Panamericana de la Salud y sus representantes en Bolivia, incluyendo el Dr. Luiz Augusto Galvao, Dr. Manuel Nasif Issa, e Ing. Juan Guillermo Orozco. Agradecemos igualmente la cooperación y asistencia de los representantes de ENAF en la Empresa Metalúrgica Vinto durante el curso de esta evaluación, incluyendo el Dr. Wilfredo Aramayo Orellana, Ings. Jorge Camargo Bayá y René Candia Trigo, Sras. Martha Martínez Herrera y Martha Baptista Sánchez, Sr. Renán Llanque Conde y todos los trabajadores que participaron en el monitoreo de la exposición.

**DISTRIBUCION Y DISPONIBILIDAD DEL INFORME**

Este informe se puede reproducir libremente y no ha sido registrado como propiedad literaria. Se pueden obtener copias sencillas de este informe durante un período de 90 días escribiendo a NIOSH Publications Office, 4676 Columbia Parkway, Cincinnati, Ohio 45226. Para obtener una respuesta más rápida, incluya en su carta una etiqueta adhesiva con su dirección. Después del período indicado, se podrán comprar copias del National Technical Information Service (NTIS) (Servicio de Información Técnica Nacional), 5825 Port Royal Road, Springfield, Virginia 22161. Se puede obtener información sobre el número de surtido de NTIS escribiendo a la Oficina de Publicaciones de NIOSH a la dirección indicada arriba.

Se han enviado copias de este informe a:

1. Director, Pan American Health Organization (Organización Panamericana de la Salud), Washington, D.C. (a ser dirigido a ENAF)
2. Health Studies Branch (Departamento de Estudios de la Salud), National Center for Environmental Health (Centro Nacional de Salud Ambiental).

Tabla 1  
Límites de Exposición Ocupacional y Efectos en la Salud de las Substancias Medidas  
Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia

Substancia (unidades)	NIOSH REL-TWA	OSHA PEL-TWA	ACGIH TLV-TWA	Efectos Primarios en la Salud*
As--arsénico inorgánico (µg/m <sup>3</sup> )	2 C	10	10 <sup>A</sup>	Debilidad, náusea, vómitos, diarrea, irritación de la piel y de los ojos, hiperpigmentación, engrosamiento de la piel en las manos y en las plantas de los pies (hiperqueratosis), dermatitis de contacto y sensibilidad de la piel. La exposición puede causar cáncer de la piel y de los pulmones.
Bi-bismuto				Ninguno indicado para la exposición al metal bismuto.
Cd-cadmio (µg/m <sup>3</sup> )	LFL	5	10	Irritación de los pulmones, daños en los pulmones y riñones, cáncer de la próstata y del sistema respiratorio.
Fe-vapor de óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) as Fe (µg/m <sup>3</sup> )	5000	10000	5000	La exposición crónica al vapor de óxido de hierro causa una pneumoconiosis benigna (siderosis).
Pb-plomo (µg/m <sup>3</sup> )	<100 <sup>B</sup>	50	50 <sup>A</sup>	Debilidad, irritabilidad, disturbios gastrointestinales, efectos en el sistema reproductivo y en el sistema nervioso central, efectos en el desarrollo, distinción neuromuscular y daños en los riñones. El plomo es posiblemente carcinogénico para los seres humanos.
Sb-antimonio (µg/m <sup>3</sup> )	500	500	500	Irritación de la piel, ojos y membranas mucosas. Dermatitis, rinitis, tos crónica, dolor de garganta, dolor o tirantez en el pecho y síntomas gastrointestinales.
Sn-metal estaño (µg/m <sup>3</sup> )		2000	2000	Irritación de los ojos y de la piel. La ingestión de alimentos altamente contaminados con estaño causa irritación gastrointestinal.
SO <sub>2</sub> -anhídrido sulfuroso (ppm)	2 5 C	5 [2] [5 C]	2 5 C	Irritación severa de los ojos, de las membranas mucosas y de la piel. La exposición puede resultar en parálisis respiratoria o edema pulmonar.
Zn--vapor de óxido de zinc as Zn (µg/m <sup>3</sup> )	5000 10,000 C	5000	5000 10,000 C	La inhalación del vapor causa una enfermedad parecida a la gripe, conocida como "fiebre de vapor de metal". Los síntomas incluyen fiebre, escalofríos, fatiga, dolor muscular, náusea y vómitos.

\*Fuente: Proctor and Hughes' Chemical Hazards of the Workplace (Peligros Químicos en el Trabajo), 3rd ed, Van Nostrand Reinhold.

<sup>A</sup> Resultado de aviso de cambio planeado para ACGIH TLV

<sup>B</sup> NIOSH recomienda se usen controles de ingeniería y prácticas buenas de trabajo para reducir la exposición de los empleados al plomo.

TLV = 1989 OSHA PEL anulada por la Corte de Apelaciones de los EE.UU.

TWA = Exposición media compensada de 8 horas, a menos que se indique lo contrario.

LFL = Límite más bajo factible.

C = Límite máximo que no debe exceder en ningún momento, o límite de exposición de corto tiempo (15 minutos).

**Tabla 2**  
**Títulos de las Clasificaciones de los Trabajadores Participantes en el Monitoreo Biológico y del Aire**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 16-17, 1994**

<b>TITULOS DE CLASIFICACIONES DE TRABAJO -- ESPAÑOL</b>		<b>Misma Clasif.</b>	<b>Misma Persona</b>
<b>Monitoreo Biológico</b>	<b>Monitoreo del Aire</b>		
Hornero de Alta Ley	Alimentador de hornos - sangría	√	√
Hornero de Sala de Mando	Alimentador de horno rotatorio		
Jefe de punta en Tostación	Alimentador de Tostación		
Jefe de punta fundición -- Antimonio	Ayudante de operador de equipo		
Jefe de punta volatilización Alta Ley	Filtrero		
Operador de cristalización Baja Ley	Filtrero		
Operador de Sala de Mando	Filtrero		
Operador de Sala de Mando	Operador de descarga		
Operador hornero	Hornero	√	
Operador de Nave 1200	Operador de Nave	√	√
Operador de Sala de Mando Baja Ley	Preparador de mezclas		
Primer operador	Refinador de metal		
Refinación térmica de Baja Ley	Tablerista		
Refinación térmica de Baja Ley	Transportador de polvos		
Refinación térmica de Baja Ley	Transportador de polvos		

<b>TITULOS DE CLASIFICACIONES DE TRABAJO -- INGLES</b>		<b>Misma Clasif.</b>	<b>Misma Persona</b>
<b>Monitoreo Biológico</b>	<b>Monitoreo del Aire</b>		
High-grade furnace operator	"Blood" furnaces feeder	√	√
Furnace control room operator	Rotary furnace feeder		
Chief of roasting point	Roaster feeder		
Chief of antimony smelting point	Feeder equipment operator		
Chief of high-grade volatilization point	Filter operator		
Low-grade crystalization operator	Filter operator		
Control room operator	Filter operator		
Control room operator	Discharge operator		
Furnace operator	Furnace Operator	√	
Vessel 1200 operator	Vessel operator	√	√
Low-grade control room operator	Mixture preparer		
First operator	Metal refiner		
Low-grade thermal refining	Control panel operator		
Low-grade thermal refining	Dust transporter		
Low-grade thermal refining	Dust transporter		

**Tabla 3**  
**Información de 15 Muestras Personales de Monitoreo de Aire**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 17, 1994**

Título de la Clasificación	Ubicación	Período de la Muestra		Tiempo Total (min)
		Comienzo	Fin	
Alimentador de horno rotatorio <sup>1</sup>	Fundición de Baja Ley	12:51	14:34	103
Alimentador de hornos - sangría <sup>2</sup>	Reverbero 1-2	6:31	14:17	466
Alimentador de Tostación <sup>3</sup>	Tostación	7:07	13:58	348
Ayudante de operador de equipo <sup>2,3</sup>	Cristalizador de Baja Ley	6:56	14:02	327
Filtrero	Horno de Reverbero	6:27	14:03	456
Filtrero	Volatilizador	6:29	14:07	458
Filtrero <sup>1</sup>	Filtros de Antimonio	12:25	14:05	100
Hornero	Horno de Reverbero	6:25	14:06	461
Operador de descarga	Tostación	7:09	14:00	411
Operador de Nave	Pelotillización de Baja Ley	6:44	13:56	432
Preparador de mezclas <sup>3</sup>	Preparación de Carga, Fundición Alta Ley	6:41	13:57	348
Refinador de metal	Refinación Térmica de Alta Ley	6:35	11:39	304
Tablerista <sup>1</sup>	Volatilización de Baja Ley	12:23	14:01	98
Transportador de polvos	Reverbero 3-4	6:34	14:04	450
Transportador de polvos <sup>2</sup>	Reverbero 1-2	6:33	14:15	462

**Notas:**

<sup>1</sup>El período de muestreo se abrevió debido a la falla de una bomba.

<sup>2</sup>Resultado combinado para dos muestras consecutivas.

<sup>3</sup>No se tomaron muestras en este período debido a que era el descanso de almuerzo.

**Tabla 4**  
**Resultados de la Exposición TWA\*\* a Metales de 15 Trabajadores**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 17, 1994**

Título de la Clasificación de Trabajo	As (µg/m³)	Bi (µg/m³)	Cd (µg/m³)	Fe (µg/m³)	Pb (µg/m³)	Sb (µg/m³)	Sn (µg/m³)	Zn (µg/m³)
Alimentador de horno rotatorio	26		11	88	71	7	79	43
Alimentador de hornos - sangría	31		11	760	83	1	230	86
Alimentador de Tostación	88		0.7	390	9.3	2	48	14
Ayudante de operador de equipo	0.04	3	7.8	10	140	4	970	0.7
Filtrero	3	2	180	91	58	1	91	180
Filtrero	129		16	208	280	1	340	69
Filtrero	18	5	0.5	29	9.5	4500	7	2
Hornero	12	1	230	130	63	1	130	130
Operador de descarga	390		2.5	700	30	10	270	27
Operador de Nave	11		19	137	43	2	47	116
Preparador de mezclas	55		5.4	690	37	11	250	35
Refinador de metal	9	5	12	108	33	2	28	7.9
Tablerista	6	5	0.5	37	7.4	7	56	2
Transportador de polvos	7		25	66	47	2	73	131
Transportador de polvos	9		11	210	46	1	130	82
<b>NIOSH REL-TWA</b>	2C		LFL	5000	<100	500		5000
<b>OSHA PEL-TWA</b>	10		5	10000	50	500	2000	5000
<b>Media Geométrica:</b>	14	3	8	132	42	5	101	27
<b>Mínima:</b>	0.04	1	0.5	10	7.4	1	7	0.7
<b>Máxima:</b>	390	5	230	760	280	4500	970	180
<b>LOD (ug/muestra):</b>	0.06	2	0.2	2	0.03	3	3	1
<b>LOQ (ug/muestra):</b>	0.19	6.3	0.42	4.2	0.096	7.5	8.3	3.3

**NOTAS:**  
 \*\*Vea las horas de las muestras en la Tabla 3.

*Cursiva* = No se detectó ninguno, se reporta 1/2 MDC como volumen de la muestra para fines estadísticos.

**En negritas** = Valor aproximado, entre MDC y MQC para el volumen de la muestra.

**C** = Límite máximo para cualquier período de 15 minutos.

**LFL** = Límite mínimo factible.

**TWA** = Exposición media compensada para el tiempo.

**LOD** = Límite de detección.

**LOQ** = Límite de cuantificación.

**MDC** = Mínima concentración detectable.

**MQC** = Mínima concentración cuantificable.

**Tabla 5**  
**Exposiciones a Metales Mayores que el Límite REL de NIOSH para 15**  
**Trabajadores de la Fundición**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 17, 1994**

<b>Substancia</b>	<b>N &gt; REL</b>	<b>N &gt; 5 x REL</b>	<b>N &gt; 10 x REL</b>
As - Arsénico	14	9	6
Cd - Cadmio*	11	2	2
Pb - Plomo*	6	1	0
Sb - Antimonio	1	1	0

REL = Límite de exposición recomendado por NIOSH

\* = Comparado con el límite PEL de OSHA en lugar del límite REL

**Tabla 6**  
**Resultados del Monitoreo de la Exposición al Anhídrido Sulfuroso para 15**  
**Trabajadores**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 17, 1994**

TITULO DE LA CLASIFICACION DE TRABAJO	Tiempo de la Muestra (minutos)	SO <sub>2</sub> PPM*
Alimentador de horno rotatorio	461	1,10
Alimentador de hornos - sangría	380	4,10
Ayudante de operador de equipo	426	1,20
Alimentador de Tostación	398	11,00
Filtrero	370	6,90
Filtrero	372	31,00
Filtrero	434	12,00
Hornero	372	8,30
Operador de descarga	411	14,00
Operador de Nave	434	ND <1
Preparador de mezclas	436	1,20
Refinador de metal	368	1,20
Toblerista	433	2,40
Transportador de polvos	371	22,00
<b>NIOSH REL-TWA</b>		2,00
<b>OSHA PEL-TWA</b>		5,00
<b>Media Geométrica:</b>		4,30
<b>Mínima:</b>		ND <1
<b>Máxima:</b>		31,00
<b>MQC</b>		1,00

\*Partes por millón (ppm) corregidas para la presión atmosférica normal de Oruro, Bolivia:

$$PPM_{\text{corregidas}} = [760 \text{ mmHg}/440 \text{ mmHg}] \times PPM$$

MQC = Concentración mínima cuantificable para el tiempo de la muestra.

ND = No se detectó ninguna

**Tabla 7**  
**Resultados del Muestreo de Polvo y Suelos**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 16-17, 1994**

Tipo de Muestra	Ubicación	As, µg/g <sup>1</sup>	Bi, µg/g	Cd, µg/g	Fe, µg/g	Pb, µg/g	Sb, µg/g	Sn, µg/g	Zn, µg/g
Polvo	Viga de soporte, Baja Ley <sup>2</sup>	6400	2100	1300	41000	12000	3300	45000	22000
Polvo	Piso del cuarto de cambio, Baja Ley	3600	1400	750	47000	6300	1800	34000	12000
Pelotillas	Transportador de proceso, Baja Ley	3700	1200	120	65000	5500	190	5400	5200
Polvo	Piso cerca de la pila de desechos, Baja Ley	2000	1400	1200	25000	8200	4300	150000	5700
Polvo	Piso fuera del cuarto de cambio, Baja Ley <sup>3</sup>	6100	1800	220	49000	10000	5100	160000	10000
Polvo	Piso debajo del horno eléctrico, Baja Ley	3300	490	130	68000	2600	3800	160000	6700
Polvo	Piso cerca del cucharón de refinación, Alta Ley	17000	6000	360	110000	14000	3300	390000	6600
Polvo	Piso cerca del horno, Alta Ley	9300	3300	150	34000	6800	2800	550000	2700
<b>Polvos</b>	<b>Media Geométrica</b>	<b>5210</b>	<b>1746</b>	<b>348</b>	<b>49994</b>	<b>7342</b>	<b>2330</b>	<b>95303</b>	<b>7435</b>
Suelo	Patio de ENAF, muestra 1	90	10	4.2	18000	120	480	47	150
Suelo	Patio de ENAF, muestra 2	60	9	2.1	16000	83	140	25	83
Suelo	Patio de ENAF, muestra 3	50	16	3.1	16000	82	280	23	100
<b>MDC</b>		30	4	0.5	5	20	5	10	2
<b>MQC</b>		99	13	1.7	17	66	15	33	6.6

Notes:<sup>1</sup>µg/g =microgramos por gramo; 10,000 µg/g = 1% by peso.

<sup>2</sup>Area de Peletización.

<sup>3</sup>Area de Fundición.

MDC = Concentración mínima detectable.

MQC = Concentración mínima cuantificable.

Números en **negritas** = Valor aproximado, entre MDC y MQC.

**Tabla 8**  
**Resultados de las Muestras de Agua de Beber**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 16-17, 1994**

Fuente de agua <sup>1</sup>	As µg/L	Bi µg/L	Cd µg/L	Fe µg/L	Pb µg/L	Sb µg/L	Sn µg/L	Zn µg/L
La cala cala	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	74
Pozo de ENAF	9	ND	ND	60	ND	ND	ND	130
<b>MDC</b>	3	100	3	30	2	30	70	5
<b>MQC</b>	7.7	300	10	100	3.8	100	200	15
<b>EPA MCL<sup>2</sup></b>	50 <sup>3</sup>	—	5	—	15 <sup>4</sup>	6	—	—

**Notas:**

- <sup>1</sup>Muestras de agua de beber en la cocina de la comisaría.
- <sup>2</sup>Nivel máximo de contaminantes (MCL) de la EPA de los EE.UU. para el agua de beber segura.
- <sup>3</sup>MCL para arsénico está actualmente bajo consideración.
- <sup>4</sup>Nivel de requisito de la técnica de tratamiento; MCL actual es 50 µg/L.

MDC = Concentración mínima detectable.  
 MQC = Concentración mínima cuantificable.  
 ND = No se detectó, < Cantidad mínima detectable (MDC).  
**Números en negritas** = Valor aproximado, entre MDC y MQC.  
 1 µg/L = Microgramo por litro = 1 parte por billón (ppb).

**Tabla 9**  
**Resultados del Monitoreo Biológico, As en la Orina y Nivel de Plomo en la Sangre**  
**(BLL)**  
**Empresa Metalúrgica Vinto, Oruro, Bolivia**  
**Marzo 16-17, 1994**

TITULO DE LA CLASIFICACION DE TRABAJO	Años de Empleo	As en la orina (ug/g Cr) <sup>1</sup>	BLL (ug/dL) <sup>2</sup>
Hornero de Alta Ley	10	96	42
Hornero de Sala de Mando	18	149	18
Jefe de punta en Tostación	18	177	26
Jefe de punta de fundición -- Antimonio	19	7.7	20
Jefe de punta volatilización Alta Ley	17	<1.3*	54
Operador de cristalización Baja Ley	12	119	20
Operador de Sala de Mando	14	60	16
Operador de Sala de Mando	20	101	16
Operador hornero	16	2	13
Operador de Nave 1200	17	37	22
Operador de Sala de Mando Baja Ley	11	32	25
Primer operador	24	78	19
Refinación térmica de Baja Ley	23	112	18
Refinación térmica de Baja Ley	28	25	15
Refinación térmica de Baja Ley	16	206	17
<b>Promedio</b>	17	78	19
<b>Indice Biológico de Exposición de la ACGIH</b>		50	≤20**
<b>Objetivo Establecido de PHS de los EE.UU.</b>			<25
<b>Nivel de Remoción Médica de OSHA</b>			50

**NOTAS:**

<sup>1</sup>µg/g Cr = Microgramo por gramo de creatinina.

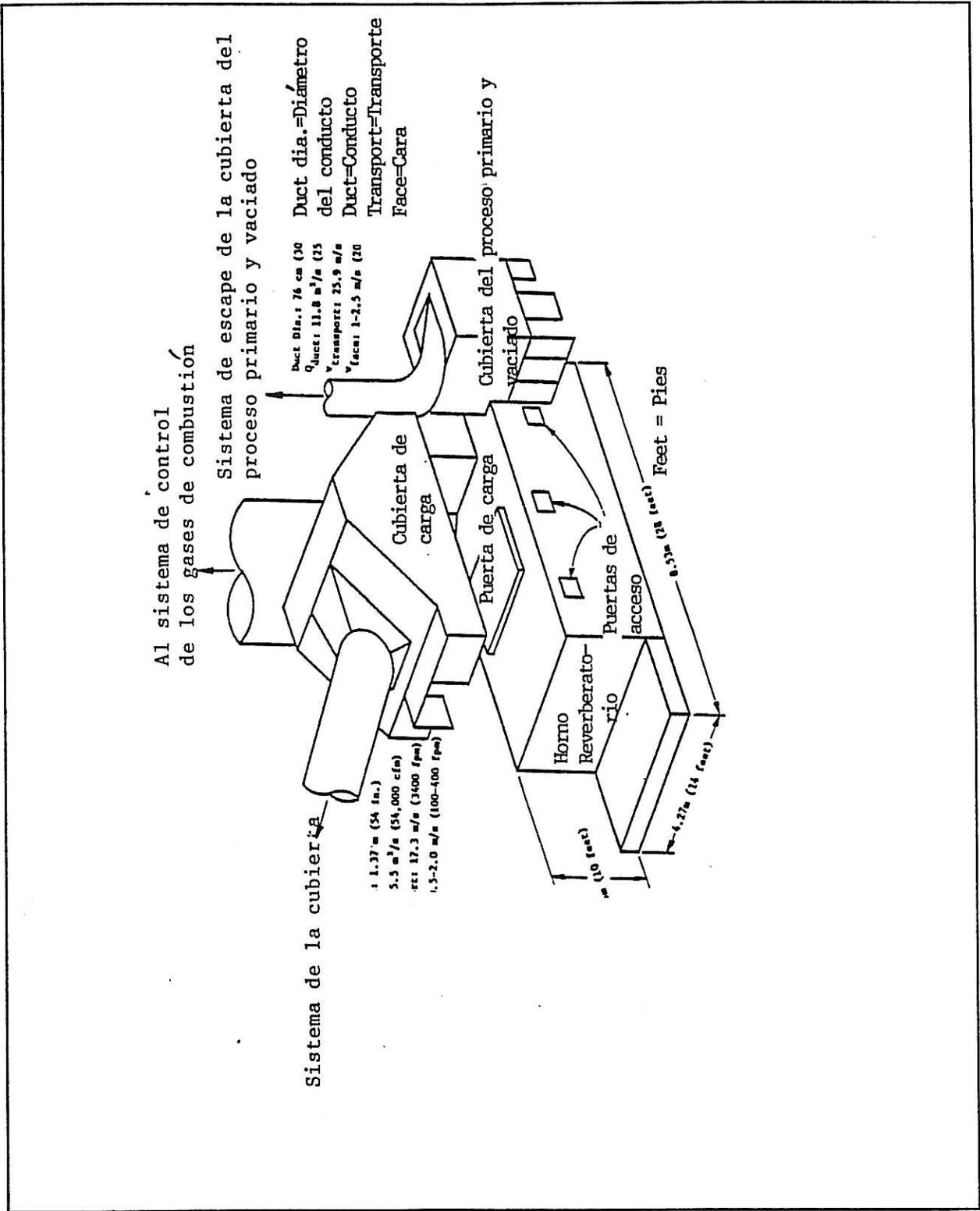
<sup>2</sup>µg/dL = Microgramo por decilitro (sangre completa).

\*No se detectó. Menor que la Mínima Concentración Detectable indicada.

\*\*Indice Propuesto de Exposición Biológica. El valor adoptado actualmente es 50.

**Figura 1. Horno reverberatorio y controles de ingeniería.**

(Del informe técnico de NIOSH: *Control Technology Assessment: The Secondary Nonferrous Smelting Industry* (Evaluación de la Tecnología de Control: La Industria de Fundición Secundaria de Metales No Ferrosos), (1980)





**Figura 4. Instalación de higiene usada en la fundición de plomo secundario.**  
 (Del informe técnico de NIOSH: *Control Technology Assessment: The Secondary Nonferrous Smelting Industry* (Evaluación de la Tecnología de Control: La Industria de Fundición Secundaria de Metales No Ferrosos), (1980))

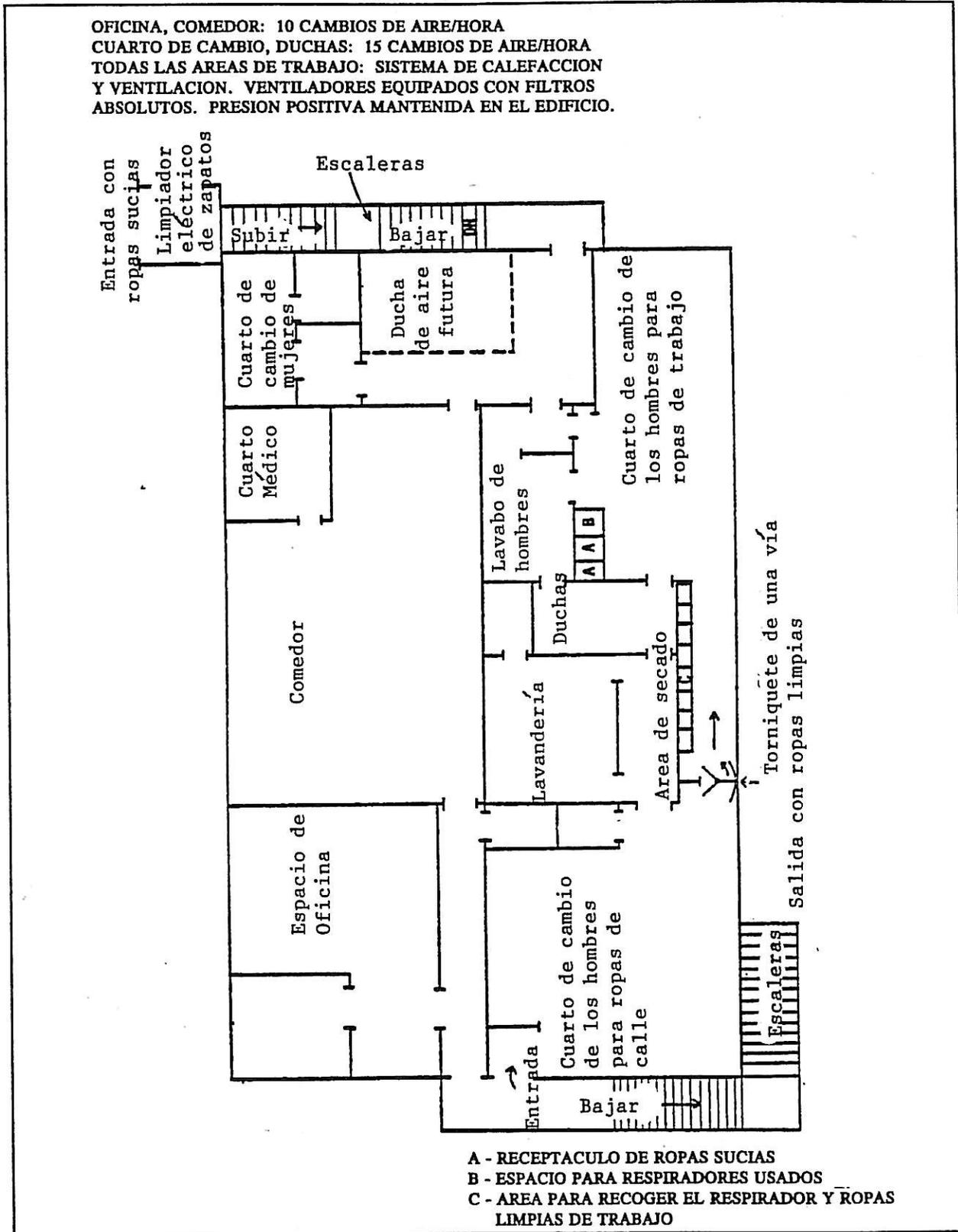
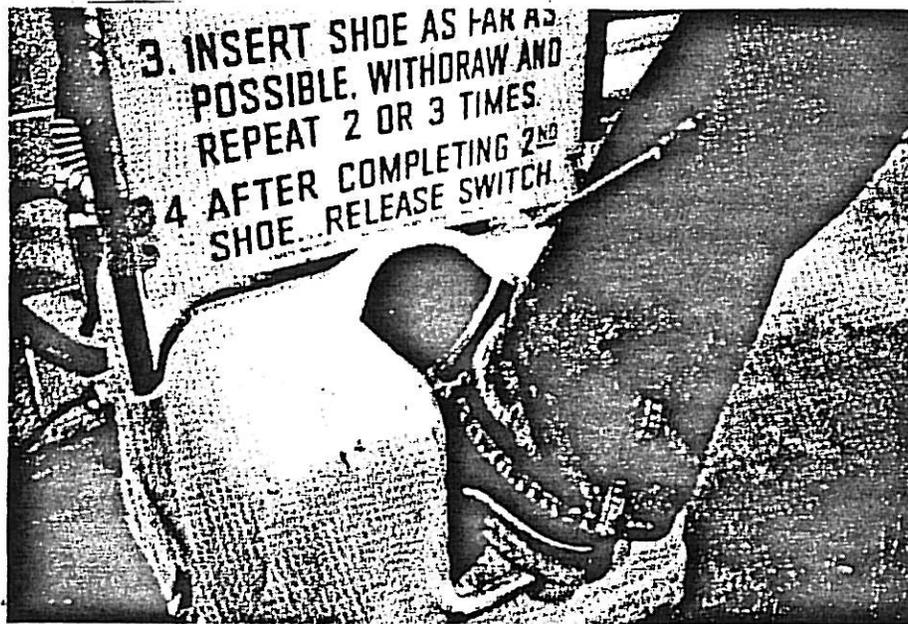


Figura 5. Limpiador de zapatos usado para quitar el polvo tóxico en una fundición de plomo. Del informe técnico de NIOSH *Demonstration of Control Technology for Secondary Lead Processing* (Demostración de la Tecnología de Control para el Procesamiento del Plomo Secundario), 1983.



Higienista industrial usa el tubo de humo para ilustrar la corriente de aire generada por el limpiador de zapatos equipado con cepillo y sistema de vacío.



El zapato izquierdo se limpió con el limpiador de zapatos. Note el contraste con el zapato derecho que está cubierto de polvo.

Figura 6. Trabajador se saca el polvo de sus ropas de trabajo con una aspiradora. Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.





**Delivering on the Nation's promise:**

**Safety and health at work**

**For all people**

**Through prevention**

**NIOSH**