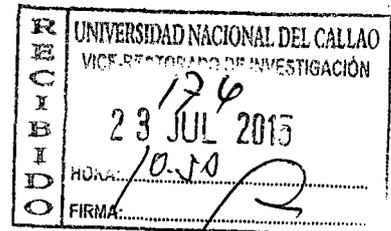


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
Y DE SISTEMAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS**



**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“RIESGO DE EXPOSICIÓN AL SÍLICE Y PREVENCIÓN DE  
LA SILICOSIS EN LA INDUSTRIA”**

**AUTOR: Ing. OSWALDO CAMASI PARIONA**

**(PERIODO DE EJECUCIÓN: 01 de Mayo del 2014 al 30 de Abril del 2015)**

**(Resolución de aprobación N° 369-2014-R)**

*el*

**Callao, 2015**

## **I. ÍNDICE**

|   |     |
|---|-----|
| <b>I. ÍNDICE</b>  | 1   |
| <b>II. RESUMEN y ABSTRACT</b>   | 5-6 |
| <b>III. INTRODUCCIÓN</b>  | 7   |
| 3.1 Exposición del Problema de la Investigación   | 7   |
| 3.2 Importancia y justificación de la Investigación   | 9   |
| <b>IV. MARCO TEÓRICO</b>  | 10  |
| 4.1 Sílice  | 10  |
| 4.2 Límites de exposición   | 16  |
| 4.3 Tipos de silicosis  | 20  |
| 4.4 Descripción de procesos y operaciones de actividades que<br>Utilizan materiales con sílice                                  | 21  |
| 4.4.1 Industria del vidrio  | 21  |
| 4.4.2 Industria del cemento   | 27  |
| 4.4.3 Minería y plantas concentradoras  | 31  |
| <b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b>  | 36  |
| 5.1 Visitas de estudio  | 37  |
| 5.2 La población de la Investigación y la muestra correspondiente   | 53  |
| 5.3 Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección<br>de datos  | 54  |
| 5.4 Técnicas de análisis o métodos estadísticos aplicados para la<br>conversión de la información colectada en datos elaborados | 58  |
| 5.5 Metodología   | 65  |
| <b>VI. RESULTADOS</b>   | 66  |
| <b>VII. DISCUSIÓN</b>   | 82  |
| <b>VIII. REFERENCIALES</b>  | 117 |
| <b>IX. APÉNDICES</b>  | 120 |
| 9.1 Riesgos ocupacionales y medidas de control en minería   | 120 |
| 9.2 Propuesta de plan nacional estratégico  | 122 |
| <b>X. ANEXOS</b>  | 123 |

*el*

## ÍNDICE DE TABLAS

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Tabla N° 4.1 | Características y propiedades del Sílice.....   | 11 |
| Tabla N° 4.2 | Contenido de Sílice en varios materiales.....   | 11 |
| Tabla N° 4.3 | Límites de exposición al Sílice en el ambiente<br>ocupacional.....  | 17 |
| Tabla N° 4.4 | Formulación para envases de vidrio transparente.....  | 22 |
| Tabla N° 5.1 | Pacientes atendidos por departamentos de residencia y<br>diagnóstico radiográfico Dirección Ejecutiva de Medicina<br>y Psicología del Trabajo CENSOPAS, 2006..... | 63 |
| Tabla N° 5.2 | Resultado de Exámenes Médico Ocupacionales en<br>trabajadores expuestos al Sílice .....   | 64 |
| Tabla N° 6.1 | Exposición promedio al polvo ocupacional del Centro<br>Minero.....  | 66 |
| Tabla N° 6.2 | Resultados de Evaluación de Riesgos Químicos.....   | 67 |
| Tabla N° 6.3 | Matriz .....  | 69 |

*el*

## ÍNDICE DE CUADROS

|                         |  |     |
|-------------------------|--|-----|
| Cuadro N° 4.1           | Enfermedades profesionales causadas por<br>Inhalación de sílice libre y Sílice.....                  | 18  |
| Cuadro N° 4.2           | Clases de vidrio.....  | 25  |
| Cuadro N° 4.3           | Coloración de los vidrios con pigmentos.....   | 26  |
| Cuadro N° 9.1           | Riesgos ocupacionales y medidas de control en la<br>mina de cobre en forma de sulfuros y óxidos..... | 120 |
| <i>el</i> Cuadro N° 9.2 | Propuesta de plan nacional estratégico.....  | 122 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                |  |     |
|----------------|--|-----|
| Figura N° 4.1  | Fuentes de sílice.....                               | 12  |
| Figura N° 4.2  | Actividades con riesgo de exposición a Sílice.....   | 12  |
| Figura N° 4.3  | Pulmones afectados por silicosis.....                | 13  |
| Figura N° 4.4  | Formas de trabajo con el sílice.....                 | 14  |
| Figura N° 4.5  | Exposición al sílice.....                            | 15  |
| Figura N° 4.6  | Agregados con sílice.....                            | 16  |
| Figura N° 4.7  | Fabricación de envases de vidrio.....                | 24  |
| Figura N° 4.8  | Diagrama de flujo de la industria del cemento.....   | 30  |
| Figura N° 4.9  | Tajo abierto.....                                    | 33  |
| Figura N° 4.10 | Diagrama de flujo de una planta concentradora.....   | 34  |
| Figura N° 4.11 | Planta concentradora.....                            | 35  |
| Figura N° 5.1  | Industria del vidrio con método semi-automático..... | 41  |
| Figura N° 5.2  | Industria del cemento portland.....                  | 46  |
| Figura N° 5.3  | Diagrama de flujo de la planta de óxidos.....        | 49  |
| Figura N° 5.4  | Complejo minero metalúrgico ferroso.....             | 52  |
| Figura N° 5.5  | Silicosis en el Perú.....                            | 60  |
| Figura N° 5.6  | Silicosis en Minería.....                            | 62  |
| Figura N° 6.1  | Sílice.....  | 72  |
| Figura N° 6.2  | Moldeo automático de envases de vidrio.....          | 72  |
| Figura N° 6.3  | Planta de cemento.....                               | 76  |
| Figura N° 6.4  | Chancado primario y secundario.....                  | 79  |
| Figura N° 6.5  | Lixiviación por agitación y en pilas.....            | 80  |
| Figura N° 6.6  | Electroobtención.....                                | 81  |
| Figura N° 6.7  | Moldeo automático.....                               | 86  |
| Figura N° 6.8  | Coprociamiento en la industria del cemento.....      | 89  |
| Figura N° 6.9  | Minería subterránea.....                             | 111 |

*el*

## II. RESUMEN

La Sílice es un material que se encuentra en los minerales. Es el componente principal de la arena y se presenta principalmente en las formas: cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita), amorfa (tierra de diatomea, ópalo).

Esta sustancia se utiliza en las actividades de minería, tratamiento de minerales, limpieza por arenado, industria del cemento, fabricación de asfalto, cerámica, limpieza abrasiva, demolición, industria del vidrio, molienda de cuarzo, moldes de fundición, pulido de superficies metálicas y construcción.

Las ocupaciones con riesgo potencial de exposición a sílice son: albañil, operador de maquinaria pesada, operador de máquinas de chancado de minerales, trabajos de pulido, operador de maquinaria minera, perforador de rocas, arenador, laboratorista dental.

La inhalación de polvo con contenido de sílice libre cristalizada en fracción respirable da lugar a la enfermedad ocupacional irreversible Silicosis que es la forma más importante de neumoconiosis.

En el marco del Programa Global de Erradicación de la Silicosis en el mundo al año 2030, promocionado por la OMS y la OIT, se desarrolló la Investigación con el objetivo de observar las condiciones de trabajo, mediante visitas de Reconocimiento las características de procesos y operaciones, evaluar los niveles ambientales de Sílice libre cristalizada en la industria del vidrio, cemento y minería; consideradas con actividades con alto riesgo de exposición al sílice para promover los programas de seguridad y salud en el trabajo que incluya la vigilancia de la exposición al sílice de alto riesgo para la salud de los trabajadores e implementar las medidas de control para prevenir la silicosis.

*el*  
Palabras claves: Sílice, prevención de silicosis.

## **ABSTRACT**

Silica is a material found in minerals. It is the main component of sand and occurs mainly in the forms: Crystalline form (Quartz, cristobalite, Trimidita), amorphous (diatomaceous earth, opal).

This substance is used in mining, mineral processing, cleaning by sandblasting, cement industry, asphalt manufacturing, ceramics, abrasive blasting, demolition, glass industry, quartz milling, casting molds, polishing of metal and building surfaces.

Occupations with potential risk of exposure to silica are: mason, heavy equipment operator, operator mineral crushing machines, grinding work, operator of mining machinery, rock drill, blaster, dental lab technician.

Inhalation of dust containing free crystalline silica in respirable fraction results in irreversible occupational disease silicosis which is the most important form of pneumoconiosis.

Under the Global Eradication Program Silicosis in the world in 2030, promoted by WHO and the ILO, the research was conducted in order to observe working conditions, the characteristics of processes and operations, assess environmental levels of free crystalline silica in the workplace by recognize of the glass industry, cement and mining; activities considered at high risk of exposure to silica for promote of health and safety programs at work that includes monitoring of exposure to silica at high risk for the health of workers and implement control measures to prevent the silicosis.

*el*

Keywords: Silica, Silicosis prevention.

### III. INTRODUCCIÓN

#### 3.1 Exposición del Problema de la Investigación

La Sílice es un material que interviene en la formación de casi todas las rocas. El 60% de las rocas y minerales que forman la superficie de la tierra contiene sílice (dióxido de silicio:  $\text{SiO}_2$ )

En el Perú existe riesgo de exposición potencial al Sílice en las actividades representativas de **la Industria del vidrio, Cemento y Minería** y hay la necesidad de realizar la gestión del Sílice con eficiencia a fin de reducir y/o eliminar la exposición y la enfermedad profesional Silicosis adquirida por el trabajador al estar expuesto durante un tiempo considerable al polvo de Sílice. La prevención es más importante que cualquier acción, por ser una enfermedad irreversible.

El estudio de un riesgo ocasionado por un agente ambiental, comprende básicamente el aspecto referente al ambiente de trabajo, siendo una responsabilidad de la Ingeniería.

Para llevar a cabo el estudio y el control de los riesgos ambientales se sigue la etapa de Reconocimiento de la Higiene Ocupacional que consiste en hacer Visita de estudio preliminar a las instalaciones de las actividades económicas a fin de identificar los riesgos en los ambientes de trabajo y establecer las medidas de control.

No se puede planificar la erradicación de la silicosis si la naturaleza del agente no está caracterizada, los modos y formas en que sus procesos y operaciones afectan a los elementos de la naturaleza y a la sociedad, es decir si no se sabe qué elementos y estructura tienen, no se podrían establecer programas de soluciones tecnológicas y administrativas adecuadas, si no se conocen con profundidad los problemas de cada complejo industrial con riesgo de exposición al Sílice.

*el*

El contenido de este estudio busca crear interés científico y social para fomentar acciones sostenidas y justas, desarrollar acciones de prevención, promoción y protección de la salud de los trabajadores en ambientes de trabajo.

## **Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

Disminuir y controlar la exposición a Sílice en ambientes de trabajo de la industria del vidrio, cemento y minería, con riesgo potencial de exposición al sílice a fin de reducir la incidencia y prevalencia de la Silicosis mediante el manejo seguro de los materiales que contienen Sílice, prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales ocasionados por exposición potencial y contribuir a un mejor desarrollo del país, siguiendo ciertos criterios de orden preventivo y correctivo ya que la salud de los trabajadores está en relación directa con el desarrollo del país.

### **Objetivos Específicos**

Implementar las medidas de control para el manejo seguro de los materiales que contienen Sílice que permitan reducir los riesgos asociados al uso y emisiones del Sílice para prevenir accidentes y enfermedades profesionales ocasionados por exposición a Sílice en ambientes de trabajo del sector industrial a fin de contribuir a un mejor desarrollo del país, siguiendo ciertos criterios de orden preventivo y correctivo.

Realizar Visitas de Estudio a las instalaciones de las actividades representativas de la Industria donde se utilizan grandes cantidades de sílice a fin de identificar los riesgos ocupacionales y observar las condiciones de trabajo para su control adecuado.

*el*

Promover la identificación y adecuado manejo del Sílice a fin de lograr ambientes saludables de trabajo, teniendo en cuenta las injustificadas enfermedades, muertes y los inevitables riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Informar y sensibilizar a los trabajadores acerca de la exposición y los efectos nocivos del Sílice a la salud de las personas y sobre los síntomas y patologías relacionados con este agente a fin de motivar el uso permanente y obligatorio de los equipos de protección personal.

Establecer procedimientos seguros y controles en manejo del Sílice en los ambientes de trabajo.

### **3.2 Importancia y Justificación de la Investigación**

La inhalación del polvo ambiental de sílice produce la silicosis, que es la forma más importante de neumoconiosis. Cuanto más elevada es la concentración al que están expuestos los trabajadores y más larga la exposición, es mayor el riesgo de contraer la silicosis.

La silicosis es una enfermedad pulmonar inhabilitante y progresiva que puede causar invalidez física y la muerte. Es causada por la inhalación de polvo que contiene partículas de Sílice cristalina. Cuando estas partículas ingresan a los pulmones de las personas producen inflamación y cicatrices en los tejidos.

Los trabajadores y las personas que viven cerca de industrias que utilizan materiales que contienen Sílice, pueden estar expuestas a este agente.

Existe exposición a Sílice en las industrias: abrasivos, fabricación de cemento, fabricación de asfalto, cerámicas, arcillas y alfarería, empresas de construcción, industria electrónica, fundiciones, minería, operaciones de acabado de túneles, astilleros.

*el*

Las ocupaciones de alto riesgo son: albañil, operador de maquinaria pesada, operador de máquinas de chancado de minerales, trabajos de pulido, operador de maquinaria minera, perforador de rocas, arenador, laboratorista dental.

Los materiales que presentan potencial exposición al Sílice son: arena, abrasivos, polvo de carbón, concreto, grafito natural, mica, minerales, pulidores, cuarzo, silicatos, tierra, desechos de construcción.

La Sílice actualmente es un material que causa preocupación en todo el mundo y el interés mundial está en la acción contra la contaminación ambiental generada por las industrias que motiva la investigación científica.

La poca información que se dispone sobre los efectos del Sílice sobre la salud humana, la economía; justifican esta investigación.

La Investigación se justifica porque se establece medidas de prevención y protección en ambientes de trabajo.

#### **IV. MARCO TEORICO**

**No se puede planificar la erradicación de la Silicosis si la naturaleza del agente no está caracterizada.**

##### **4.1 Sílice**

La Sílice es un material que se encuentra en los minerales. Es el componente principal de la arena.

Es un material duro que interviene en la formación de casi todas las rocas. El 60% de las rocas y minerales que forman la superficie de la tierra contiene sílice (dióxido de silicio: SiO<sub>2</sub>).

Se presenta principalmente en las formas:

Forma cristalina: Cuarzo, Cristobalita, Tridimita.

Amorfa: tierra de diatomeas, ópalo.



La Sílice libre es la que no está combinada con ningún otro elemento. El cuarzo es un ejemplo de Sílice libre que cristaliza en el sistema hexagonal.

**TABLA N° 4.1**  
**CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL SÍLICE**

| <b>Características y propiedades del Sílice</b> |                  |
|---|------------------|
| Símbolo   | SiO <sub>2</sub> |
| Punto de inflamación                            | No inflamable    |
| Peso molecular (g/mol)                          | 200.59           |
| Densidad a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )           | 13.55            |
| Punto de fusión (°C)                            | 700              |
| Punto de ebullición (°C)                        | 2230             |
| Densidad relativa                               | 2.65             |
| Solubilidad en Agua                             | No soluble       |

Fuente: Parmeggiani, Luigi, Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1989.

**TABLA N° 4.2**  
**CONTENIDO DE SÍLICE EN VARIOS MATERIALES**

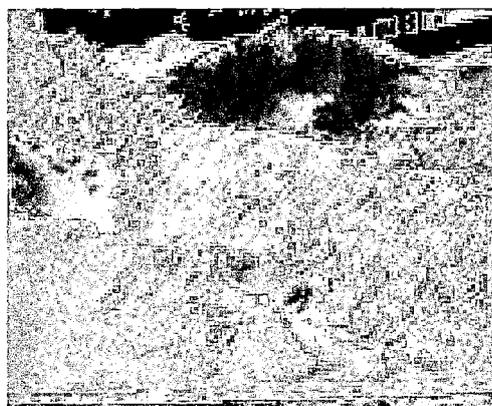
| <b>Materiales</b>               | <b>% SiO<sub>2</sub></b> |
|---------------------------------|--------------------------|
| Arena de moldeo en fundición    | 50 a 90                  |
| Material cerámico               | 15 a 25                  |
| Componentes de ladrillo y tejas | 10 a 35                  |
| Piedra caliza                   | 0 a 3                    |
| Feldespatos                     | 12 a 25                  |
| Arcilla (Silicato de Aluminio)  | 0 a 40                   |
| Mica                            | 0 a 10                   |
| Talco                           | 0 a 5                    |
| Pizarra                         | 5 a 15                   |
| Roca para uso vial              | 0 a 80                   |

Fuente: Parmeggiani, Luigi, Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1989.

La inhalación de polvo con contenido de sílice libre cristalizada en fracción respirable da lugar a la Silicosis que es la forma más importante de neumoconiosis.

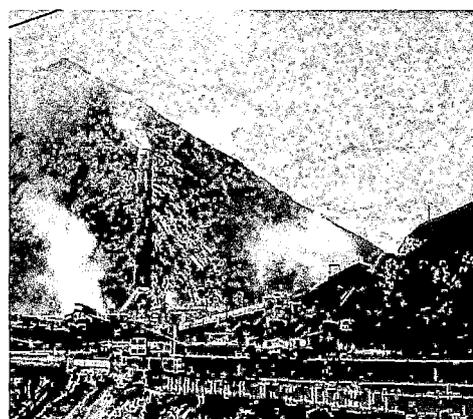
Esta sustancia se utiliza en las actividades de minería de superficie y de carbón, tratamiento de minerales, limpieza por chorro de arena, industria del cemento, fabricación de asfalto, cerámicas, arcilla y alfarería, limpieza abrasiva, industria electrónica, demolición, industria del vidrio, molienda de cuarzo, moldes de fundición, fabricación de prótesis dentales, pulido de superficies metálicas y construcción.

**FIGURA N° 4.1**  
**FUENTES DE SÍLICE**



Fuente: Danna, Mineralogía, 2009

**FIGURA N° 4.2**  
**ACTIVIDADES CON RIESGO DE EXPOSICIÓN A SÍLICE**

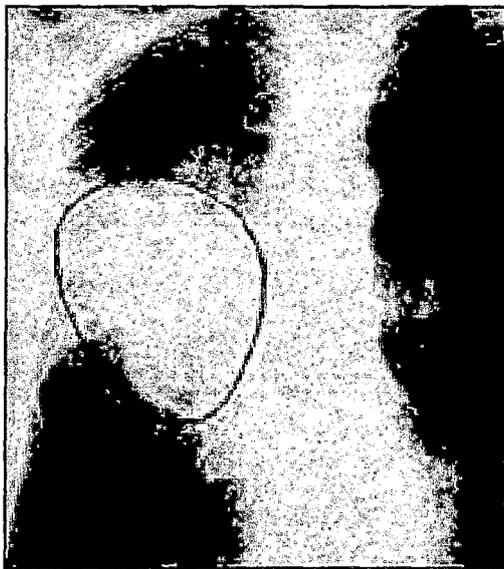


Fuente: Doe Run Perú, Reporte, 2001

*ep*

**FIGURA N° 4.3**

**PULMONES AFECTADOS POR SILICOSIS**



*el*

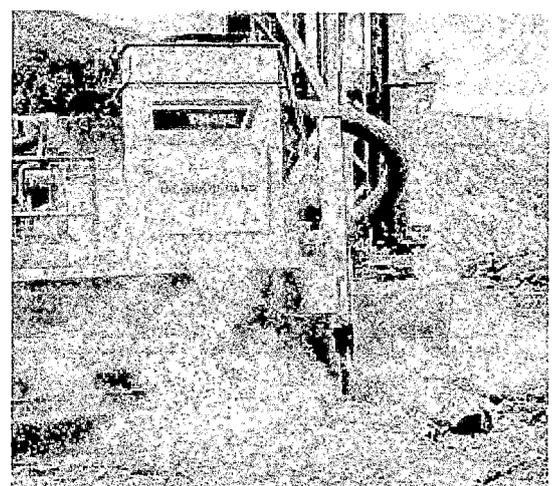
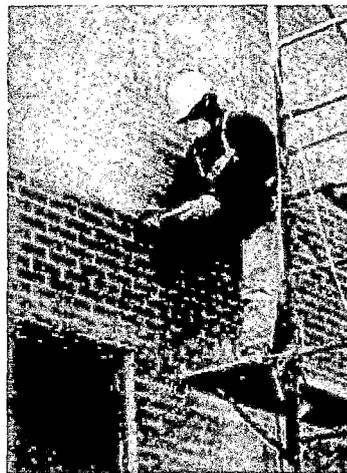
Fuente: Dr. Rolando Medina Ch., Silicosis en el Perú, 2010

Las ocupaciones con riesgo potencial de exposición a Sílice son: albañil, operador de maquinaria pesada, operador de máquinas de chancado de minerales, trabajos de pulido, operador de maquinaria minera, perforador de rocas, arenador, laboratorista dental.

**FIGURA N° 4.4**

**FORMAS DE TRABAJO CON EL SÍLICE**

- Pulido
- Arenado
- Cepillado
- Perforado

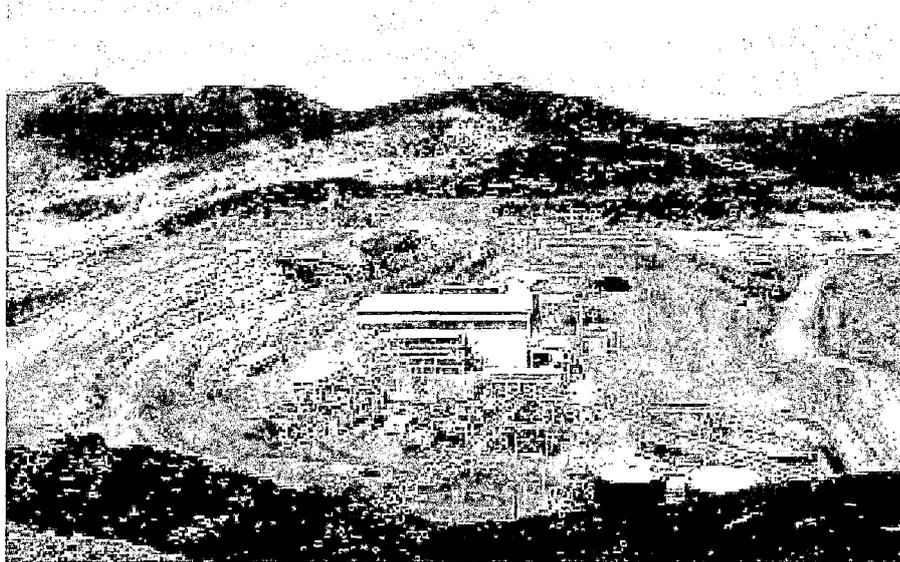


*IP*

Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile, Potencial exposición a Sílice.

**FIGURA N° 4.5**

**EXPOSICIÓN AL SÍLICE**

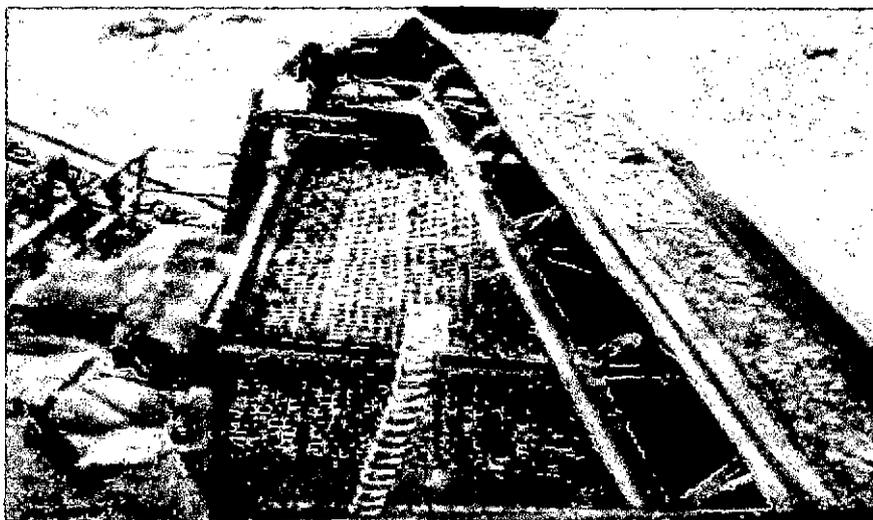


*el*

Fuente: Instituto de Seguridad Minera, Revista de Minería, 2010

## FIGURA N° 4.6

### AGREGADOS CON SÍLICE



Fuente: Ing. Juan Alcaíno Lara, Control Banding, 2009

#### 4.2 Límites de exposición:

##### Límites Ocupacionales.

Los límites ocupacionales están establecidos en el "Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo", aprobado el 6 de Julio de 2005, mediante el Decreto Supremo N° 015-2005-SA.

*el*

**TABLA N° 4.3**

**LÍMITES DE EXPOSICIÓN AL SÍLICE EN EL AMBIENTE  
OCUPACIONAL**

| N° CAS (*) | Agente Químico:<br>Sílice cristalina | LÍMITES ADOPTADOS   |                   |
|------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|
|            |                                      | Fracción respirable |                   |
|            |                                      | TWA                 | STEL              |
|            |                                      | mg/m <sup>3</sup>   | mg/m <sup>3</sup> |
| 14464-46-1 | Cristobalita                         | 0.05                | -----             |
| 14808-60-7 | Cuarzo                               | 0.05                | -----             |
| 15468-32-3 | Tridimita                            | 0.05                | -----             |

**CAS (\*)**, Chemical Abstracts Service.

TWA: Media Ponderada en el Tiempo.

STEL: Exposición de corta duración.

*el*

Fuente: Valores Limite Permisibles para Agentes Químicos en el  
Ambiente de Trabajo, Lima-Perú: D.S. N° 015-2005-SA.

**CUADRO N° 4.1**

**ENFERMEDADES PROFESIONALES CAUSADAS POR INHALACIÓN  
DE SÍLICE LIBRE Y SÍLICE**

| AGENTE                | Relación de síntomas y patologías relacionadas con el agente | Principales actividades capaces de producir enfermedades relacionadas con el agente   |
|-----------------------|--|---|
| Polvo de Sílice libre | Silicosis  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajos expuestos a la inhalación de polvo de Sílice libre, y especialmente:</li> <li>- Trabajos en minas, túneles, canteras, galerías, obras públicas.</li> <li>- Tallado y pulido de rocas silíceas, trabajos en canterías</li> <li>- Trabajos en seco, de trituración, tamizado y manipulación de minerales o rocas.</li> <li>- Fabricación de carborundo, vidrio, porcelana, loza y otros productos cerámicos, fabricación y conservación de los ladrillos refractarios a base de sílice.</li> <li>- Fabricación y manutención de abrasivos y de polvos detergentes.</li> <li>- Trabajos de desmoldeo, desbardado y desarenado en las fundiciones.</li> <li>- Trabajos con muelas (pulido, afinado) que contengan sílice libre.</li> <li>- Trabajos en chorro de arena y esmeril.</li> <li>- Industria cerámica.</li> <li>- Industria siderometalúrgica.</li> <li>- Fabricación de refractarios.</li> <li>- Fabricación de abrasivos.</li> <li>- Industria del papel.</li> <li>- Fabricación de pinturas, plásticos y gomas.</li> </ul> |
| Sílice                | Neoplasia maligna de bronquio y pulmón                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajos expuestos a la inhalación de polvo de Sílice libre, y especialmente:</li> </ul>   |

*el*

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minería, canteras, fundiciones, chorreado de arena, trabajos de construcción, trabajos que impliquen molienda de rocas silíceas, industria cerámica y del vidrio.</li> <li>- Tallado y pulido de rocas silíceas, trabajos de canterías.</li> <li>- Trabajos en seco, de trituración, tamizado y manipulación de minerales o rocas.</li> <li>- Fabricación de carborundo, vidrio, porcelana, loza y otros productos cerámicos, fabricación y conservación de los ladrillos refractarios a base de sílice.</li> <li>- Fabricación de lana de vidrio.</li> <li>- Fabricación y utilización de abrasivos y de polvos detergentes.</li> <li>- Trabajos de desmoldeo, desbarbado y desarenado en las fundiciones.</li> <li>- Trabajos de fundición con exposición a los polvos de las arenas de moldeo en la preparación de moldes, moldeo propiamente dicho y extracción de piezas moldeadas.</li> <li>- Trabajos de mantenimiento de hornos de fundición.</li> <li>- Trabajos con muelas (pulido, afinado) que contengan sílice libre.</li> <li>- Trabajos en chorro de arena y esmeril.</li> <li>- Trabajos de alimentación de unidades de combustión (calderas) con carbón.</li> <li>- Enfoscado y limpieza de fachadas.</li> <li>-Aserrado, acabado y limpieza de elementos de hormigón.</li> </ul> |
|--|--|---|

Fuente: MINSA, Norma Técnica de Salud que establece el listado de las Enfermedades Profesionales, R.M. N° 480-2008/MINSA, 2008.



#### **4.3 Tipos de silicosis:**

1. Silicosis Crónica: Ocurre después de 10 años de exposición
2. Silicosis Acelerada: por exposición a altas concentraciones de sílice y se desarrolla entre 5 a 10 años de exposición.
3. Silicosis Aguda: producto de exposiciones muy altas y puede causar el desarrollo de síntomas entre algunas semanas y 5 años.

#### **Síntomas:**

- Dificultad al respirar
- Pérdida de peso
- Fatiga
- Pérdida de apetito
- Tos crónica
- Fiebre

La Silicosis es una enfermedad ocupacional reconocida como uno de los problemas prioritarios de Salud Ocupacional en el mundo. Se trata de una fibrosis pulmonar incurable y progresiva, producida por la exposición a polvo con contenido Sílice libre cristalizada en fracción respirable. Esta enfermedad es inhabilitante, progresiva e irreversible pudiendo causar una invalidez física y la muerte; provoca sufrimiento humano, disminución de calidad de vida, con un importante impacto al interior de la familia y representa una carga para la economía nacional y ausentismo por enfermedad, pérdida de días de trabajo, discapacidades, pago de subsidios y pérdida de mano de obra calificada.

*el*

## 4.4 Descripción de Procesos y Operaciones de actividades que utilizan materiales con Sílice.

### 4.4.1 Industria del Vidrio.

El Vidrio es el material más resistente a ácidos y álcalis, son frágiles y transparentes, formados por soluciones sólidas de silicatos. El vidrio tiene tres importantes propiedades: dureza, transparencia y resistencia química. La industria del vidrio es un campo especializado, que emplea todos los elementos de la ciencia moderna para la producción, control y desarrollo de sus numerosos productos.

#### a. Materias Primas

Arena de tipo cuarzo que da en alto porcentaje el Sílice ( $\text{SiO}_2$ ), interviene como vitrificante.

Caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) que da el  $\text{CaO}$  como estabilizante.

Carbonato de sodio ( $\text{CaCO}_3$ ) que da el  $\text{Na}_2\text{O}$  que interviene como fundente.

Estas materias primas constituyen el 90% del vidrio, el 10% lo conforman los siguientes materiales:

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  : antiespumante

$\text{As}_2\text{O}_3$  : para destrucción de burbujas

$\text{KNO}_3$  : atrapa el fierro.

$\text{CuO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  : colores.

$\text{SeO}_2$  : decoloración.

#### b. Molienda

El objetivo es llevar las materias primas a tamaño pequeño a fin de que se produzca la reacción.

*el*

**c. Formulación**

Se hace con la finalidad de tener cierto tipo de vidrio. La composición del vidrio para envases en su variedad incolora transparente corresponde al tipo sódico cálcico:

**TABLA N° 4.4**

**FORMULACIÓN PARA ENVASES DE VIDRIO TRANSPARENTES**

| <b>Compuesto</b>  | <b>Cantidad (Kg)</b> |
|---|----------------------|
| SiO <sub>2</sub>  | 50                   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                                   | 20                   |
| CaCO <sub>3</sub>   | 15                   |
| Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O | 5                    |
| NaCl  | 5                    |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                   | 0.5                  |
| SeO <sub>2</sub>  | 1.5                  |
| AsO <sub>3</sub>  | 2                    |
| KNO <sub>3</sub>  | 1                    |
| (SiO <sub>2</sub> )Na <sub>2</sub> O.CaO + CO <sub>2</sub>        | 100                  |

Fuente: Ing. Oswaldo Camasi Pariona, Informe sobre la Industria del vidrio, 2006.

**d. Fusión**

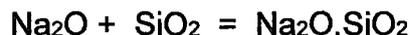
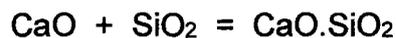
Se realiza en el horno rectangular de fondo plano y paredes verticales. El calor necesario para la fusión llega irradiado por flamas desde la cámara de combustión situada en la parte superior. Hay 2 etapas:



Etapa de 800 a 1110°C: Formación de óxidos y gases.



Etapa de 1110 a 1400°C: Formación de silicatos:



**e. Moldeo**

El vidrio es sacado del horno y se le da la forma al envase en una máquina Schiller semi-automática o automática, los envases formados son pasados a la faja que va hacia la templa.

**f. Templado**

Se somete a una temperatura de 530 a 650°C a fin de enfriar al medio ambiente en un tiempo mayor para disminuir las tensiones o quebramiento debido al cambio brusco de temperatura de caliente a frío, se enfrían gradualmente entre 45 a 60°C.

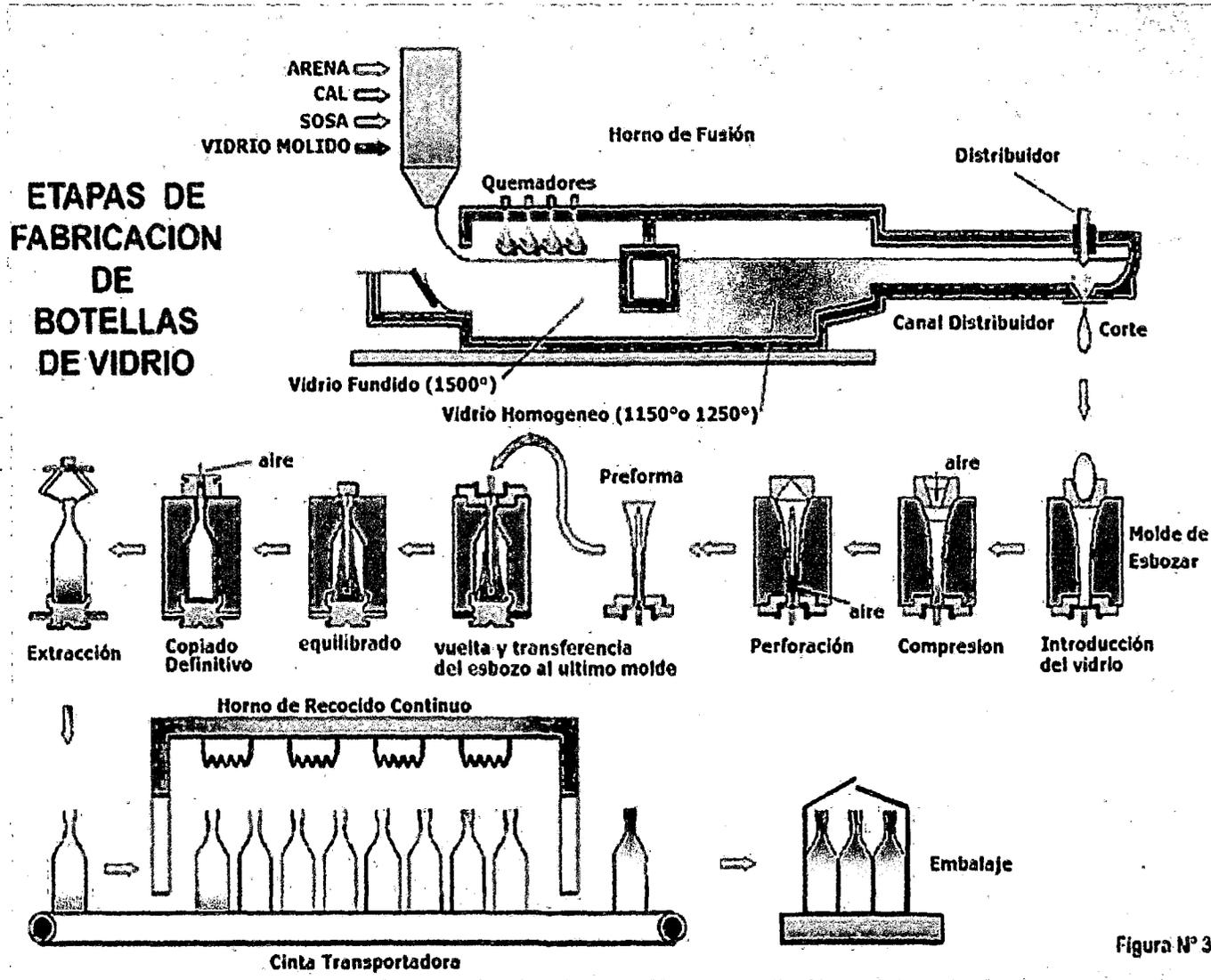
**g. Control de calidad**

Se controla la capacidad, peso, dimensiones del envase; la resistencia a la presión, el choque térmico.

*il*

28

Fuente: Norris Shreve, Chemical Process Industries, 1977



FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO

FIGURA Nº 4.7

Figura Nº 3

## Clases de vidrio

En general los vidrios comerciales se agrupan en seis clases:

### CUADRO N° 4.2

#### CLASES DE VIDRIO

| N° | Clases de vidrio      | Características  |
|----|-----------------------|--|
| 1  | Vidrio de Sílice      | Vidrio fabricado fundiendo sílice pura sin fundente, de mucha resistencia térmica y química.                             |
| 2  | Silicatos alcalinos   | Vidrios solubles utilizados únicamente como soluciones   |
| 3  | Vidrio cálcico        | Vidrio sosa-cal-sílice, de amplias aplicaciones, para ventanas, instalaciones transparentes y toda clase de recipientes. |
| 4  | Vidrio de plomo       | Producto obtenido a partir de óxido de plomo, sílice y álcali para efectos decorativos y ópticos.                        |
| 5  | Vidrios borosilicatos | Vidrios de óxido bórico y sílice para trabajos ópticos y científicos.  |
| 6  | Vidrios especiales    | Vidrios coloreados, translúcidos, de seguridad y laminados, fibra de vidrio y especiales para usos químicos.             |

*ep*

Fuente: Norris Shreve, Chemical Process Industries, 1977

CUADRO N° 4.3

COLORACIÓN DE LOS VIDRIOS CON PIGMENTOS

| Compuesto químico  | Coloración           |
|--|----------------------|
| Oxidos de Hierro   | Verde                |
| Oxidos de Cromo  | Verde, café, azul    |
| Sulfito de fierro  | Amarillo a café-rojo |
| Oxidos de Níquel   | Gris a verde         |
| Oxidos de Manganeso                                      | Violeta              |
| Oxidos de Cobalto  | Azul a violeta       |
| Oxidos de Cobre  | Rojo – azul a verde  |
| Selenio  | Naranja a rojo       |
| Sulfito de Cadmio  | Amarillo             |
| Oro  | Rubí a rojo          |
| Plata  | Amarillo             |
| Oxidos de Manganeso / Sodio – Selenio + Oxido de Cobalto | Incoloro             |

*el*

Fuente: Norris Shreve, Chemical Process Industries, 1977

El proceso de producción del vidrio causa problemas ambientales y a la salud humana porque el sílice libre cristalizada en fracción respirable al ingresar al organismo produce la Silicosis que es la forma más importante de neumoconiosis.

#### **4.4.2 Industria del Cemento**

El cemento es un material compuesto por mezclas de óxido cálcico, sílice y óxido férrico, que se combinan por calentamiento (clinkerización) a 1400°C de la harina cruda constituida por caliza, pizarra, y mineral de hierro.

##### **a) Materias primas**

Caliza que aporta  $\text{CaCO}_3$

Pizarra que aporta  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$

Mineral de hierro que aporta  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

##### **b) Trituración**

Se tritura independientemente la caliza, pizarra, fierro y yeso, luego son transportados mediante fajas al patio.

Trituración primaria: cuando llegan a tamaños de 2.5 a 4 cm

Trituración secundaria: cuando llegan a tamaños de 5 a 12 mm.

##### **c) Secado**

El objetivo es eliminar el agua superficial que se encuentra alrededor de las partículas.

##### **d) Molienda de crudos**

Caliza + pizarra + Fierro = harina cruda

Los materiales son transportados a sus respectivas tolvas donde son dosificados por balanzas al molino de

Crudos con bolas de acero. Luego son molidos a una determinada fineza con diámetro apropiado de malla 150-200 a fin de dividir las partículas para entrar en reacción química.

**e) Homogenización**

La harina cruda se homogeniza por agitación mediante aire que viene de compresoras. Luego de pasar por una balanza dosificadora es transportada a la parte alta del pre-calentador.

**f) Pre-calentador**

El objetivo es precalentar la materia prima para que las reacciones químicas tengan mayor eficacia. En esta torre se inicia el calentamiento de la harina cruda de 100 a 800°C, la harina al descender va aumentando de temperatura al entrar en contacto con los gases calientes del horno.

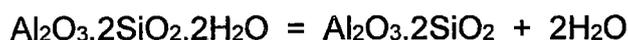
**g) Calcinación**

El objetivo es transformar las materias primas homogenizados en Clinker. En los primeros metros del horno rotatorio, la harina se descarbonata y por su rotación la harina avanza hacia la zona de fuego.

Las reacciones químicas son:

De 100 a 300°C: deshidratación

De 500 a 800°C: Se elimina agua químicamente ligada al material:



A 900°C: El cemento tiene el componente más importante, se forma el óxido de calcio:

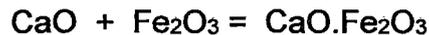


*el*

De 1000 a 1100°C: Se descomponen los compuestos de arcilla.



Reacción total del CaO:



De 1250 a 1500°C: Se forman los compuestos básicos del cemento: clinkerización.

Las fases principales del Clinker son:



#### **h) Enfriamiento**

El Clinker sale del horno a 1400°C y pasa a un enfriador donde se disminuye su temperatura por medio de un sistema de convección forzada de aire. Este aire caliente a unos 1000°C y succionado por el extractor va pasando por el horno e intercambiador de calor preparando la harina.

En el patio de Clinker se enfría a la temperatura del ambiente.

#### **i) Molienda de Clinker y yeso**

El Clinker es transportado por fajas y elevadores a su respectiva tolva, igual se hace con el yeso, mediante balanzas dosificadoras se alimenta al molino de bolas con Clinker y yeso ( 2 a 4%).

La malla es de 300 a 325, obteniéndose el cemento que es transportado a silos de almacenamiento.

*el*

j) **Envasado**

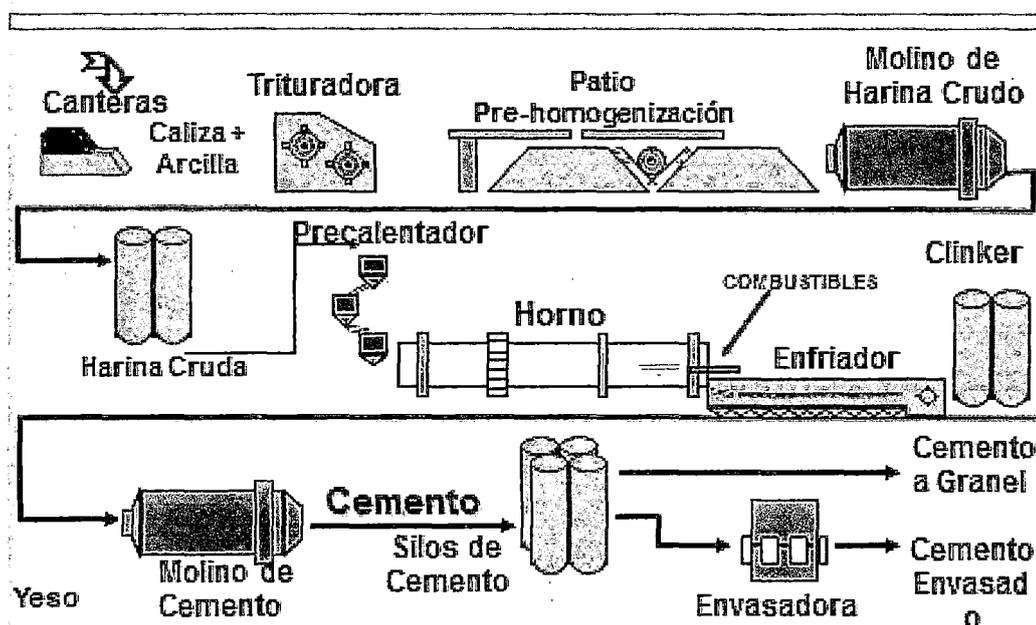
Se envasan en bolsas de papel a fin de preservar de la humedad hasta un tiempo determinado.

Hay riesgo de exposición al sílice en la trituración de materiales, molienda de crudos, pre-calentador, molino de cemento y envasado.

FIGURA N° 4.8

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

## Proceso del cemento



*Handwritten signature*

Fuente: Gustavo Solórzano Ochoa, INE-JICA-SER, 2004

#### **4.4.3 Minería y Plantas Concentradoras**

La minería se ocupa de extraer los minerales y de procesarlos para que los industriales fabriquen con ellos los productos que necesitamos y que utilizamos todos los días. Los mineros tienen el compromiso de explotar y usar los recursos naturales de manera eficiente, cuidando el ambiente, respetando la diversidad de culturas, costumbres y principios de nuestras comunidades, actuando con responsabilidad social.

La actividad minera comprende las siguientes operaciones y procesos:

##### **a) Exploración**

La etapa exploratoria en la actividad minera se inicia cuando se empieza a buscar un yacimiento minero, continúa cuando es encontrado y se define sus más importantes características geológicas, y termina cuando se decide extraer el mineral.

##### **b) Explotación a tajo abierto**

Sí el depósito de mineral se encuentra cerca de la superficie, se trabaja a tajo abierto.

El mineral extraído se traslada en camiones a la zona de procesamiento.

##### **c) Explotación de Minería subterránea**

Cuando las características del depósito mineral indican que se encuentra al interior de la tierra, se emplea la técnica de la minería subterránea.

El mineral que ha sido separado del subsuelo es acarreado y trasladado al exterior de la mina con equipos de baja altura como camiones o trenes eléctricos.

*el*

**d) Lixiviación**

A través de la lixiviación, el mineral se coloca sobre depósitos especialmente aislados del suelo y se disuelve mediante productos químicos que separan los metales valiosos de las rocas que los contienen. La sustancia formada con los contenidos minerales es colectada y tratada en plantas de procesamiento de alta tecnología para obtener el metal.

**e) Plantas Concentradoras**

Otro proceso para separar los minerales valiosos de aquello que no tiene valor, es a través de la concentración, el mismo que se realiza a través de Plantas Concentradoras.

En dichas Plantas, los minerales que vienen de la mina son chancados hasta dejarlos en trozos pequeños. Luego ingresan a molinos donde son mezclados con agua para formar un lodo muy fino. Añadiendo cantidades adecuadas de reactivos químicos y agitando esta mezcla, se forman burbujas que atrapan las partículas de mineral valioso, mientras que las partículas no valiosas se hunden. A este subproceso se le llama flotación.

Los contenidos valiosos son colectados y se llaman concentrados, los cuales tienen valor comercial. Los concentrados son posteriormente transportados en camiones herméticos a los puertos peruanos para su exportación o a las fundiciones y refinerías para su mayor purificación.

La silicosis es una enfermedad ocupacional adquirida por el trabajador al estar expuesto durante un tiempo considerable al polvo de sílice.

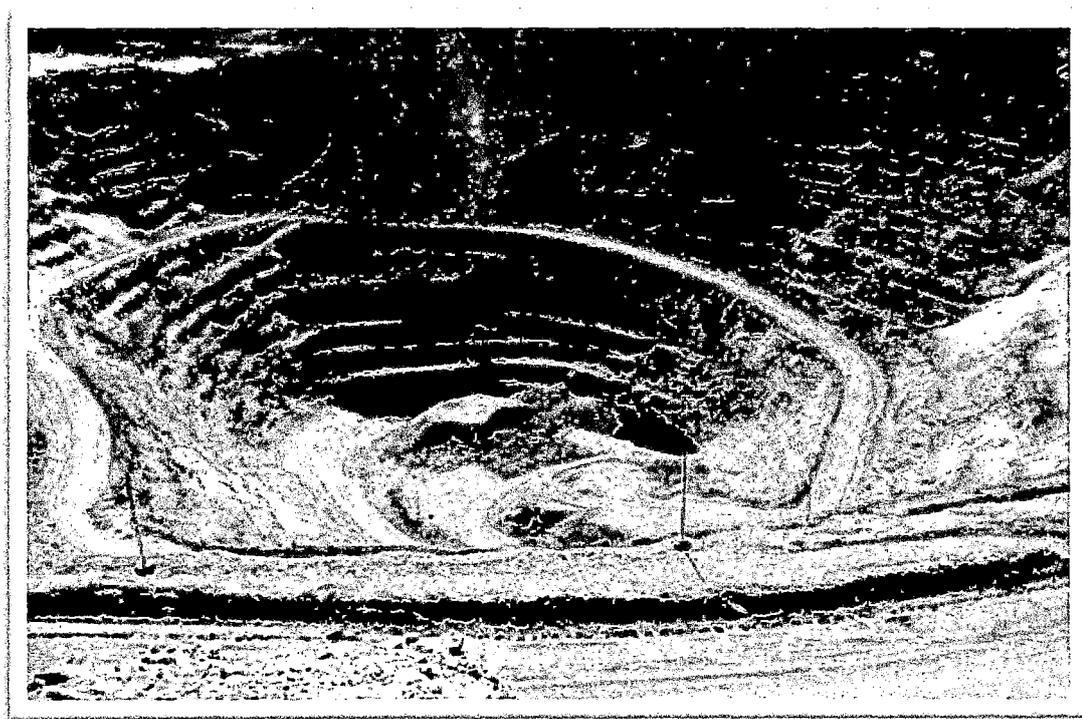
*ef*

La exposición a contaminante polvo que contiene sílice en minas y plantas concentradoras es en labores subterráneas, en operaciones de perforación, chancado y molienda.

La prevención es más importante por ser la silicosis una enfermedad irreversible.

**FIGURA N° 4.9**

**TAJO ABIERTO**

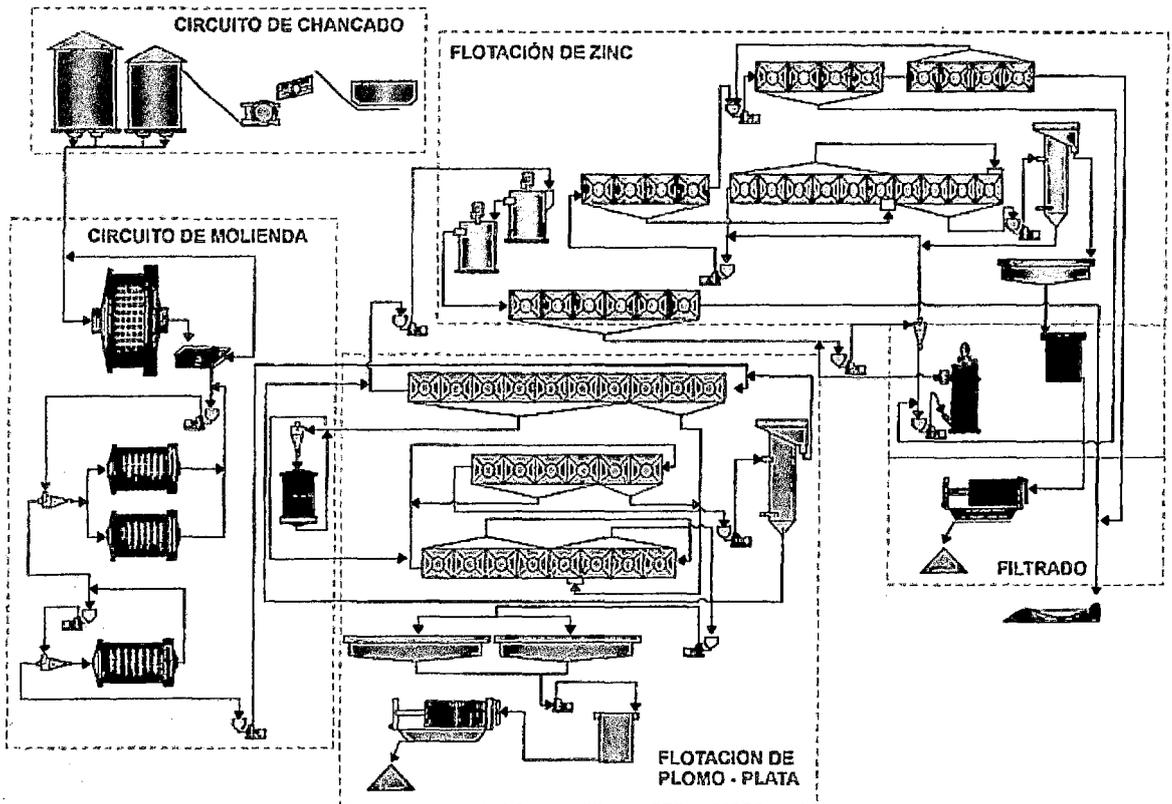


*el*

Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde, Operación mina, 2013.

FIGURA N° 4.10

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA CONCENTRADORA

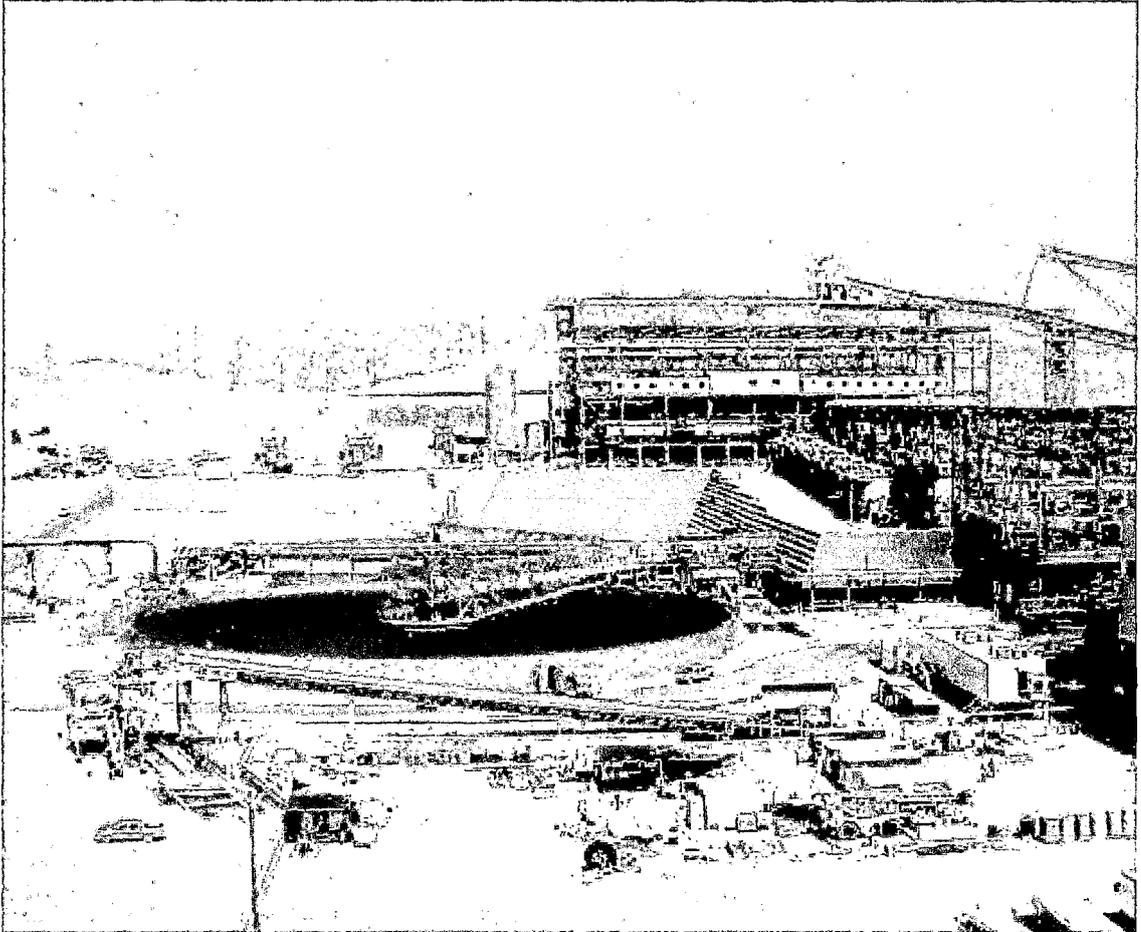


*el*

Fuente: Minera Uchucchacua, Planta Cocentradora, 2014

**FIGURA N° 4.11**

**PLANTA CONCENTRADORA**



*el*

Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde, Planta concentradora, 2013.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

El efecto de un riesgo ocasionado por un agente ambiental, comprende el estudio del ambiente de trabajo, siendo una responsabilidad de la Ingeniería. Para llevar a cabo el estudio y el control de los riesgos ambientales se sigue la etapa de Reconocimiento de la Higiene Industrial.

El Reconocimiento consiste en realizar una visita de estudio a las instalaciones a fin de identificar los riesgos ocupacionales, observar las condiciones de trabajo, las condiciones de seguridad y facilidades sanitarias para indicar las medidas adecuadas de control de Seguridad e Higiene Industrial que contribuirán a promover y proteger la salud y bienestar de los trabajadores, mediante la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales causadas por las condiciones de trabajo.

Se explora la identidad general de la materia prima, efluentes y residuos por cada proceso industrial. Se plantea alternativas de solución, a través de Visitas de Estudio que se llevan a cabo con industrias representativas que utilizan materiales con sílice. Los sectores o ramas industriales y actividades consideradas en este estudio representan a la industria del vidrio, cemento y minería.

La investigación considera la relación: **SALUD-TRABAJO-PRODUCTIVIDAD-DESARROLLO** y permite desarrollar acciones de promoción y protección de la salud de los trabajadores del país y la prevención de accidentes y enfermedades profesionales por el impacto que tiene el costo económico y social en la población económicamente activa.

*el*

## 5.1 Visitas de Estudio

### 1. Industria del Vidrio

La Visita de Reconocimiento se realizó a las instalaciones de una fábrica de vidrio que produce envases por el método semi-automático, ubicada en Lima y otra de soplado automático ubicado en el Callao, a fin de observar las condiciones de trabajo, las características de procesos y operaciones e identificar los riesgos ocupacionales.

#### Procesos y Operaciones en la Industria del vidrio con método semiautomático

##### a) Materias primas

La empresa utiliza arena de tipo cuarzo que proporciona en alto porcentaje el sílice ( $\text{SiO}_2$ ) que interviene como vitrificante.

Caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) que da  $\text{CaO}$  que interviene en el proceso como estabilizante.

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  que proporciona el óxido de Sodio ( $\text{NaO}$ ) que interviene como fundente.

Estas materias primas intervienen en un 90%, el 10% restante lo conforman los materiales que tienen ciertas propiedades:

Antiespumante: Sulfato de sodio

Destrucción de burbujas: óxido de Arsénico

Remoción de Hierro: Nitrato de potasio.

También se utiliza el feldespato y caolín que proporcionan el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que interviene como fundente.

El ácido bórico y bórax, se utilizan porque proporciona el anhídrido bórico que interviene como fundente.

**b) Molienda**

La operación tiene por objetivo reducir las materias primas a partículas de tamaño pequeño para facilitar la reacción química.

**c) Mezcla y homogenización**

Se realiza en un mezclador rotatorio a fin de obtener un mezclado homogéneo.

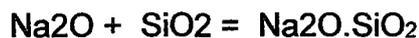
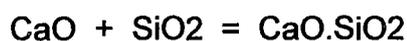
**d) Fusión de la mezcla.**

Se efectúa en el horno que tiene un fondo rectangular plano y paredes verticales de ladrillo refractario. El calor necesario para la fusión llega irradiado desde la cámara de combustión del petróleo situada en la parte superior. La fusión finaliza cuando desaparece la espuma que flota sobre la superficie del vidrio. Los gases productos de la combustión y de la formación de silicatos se eliminan por la chimenea a la atmósfera.

En la etapa de 800 a 1100°C, hay formación de óxidos y gases:



En la etapa de 1110 a 1400°C, se forman los silicatos:



*el*

**e) Moldeo**

El horno trabaja para el proceso semi-automático. El vidrio fundido es sacado del horno por medio de una caña de acero y luego se da la forma al envase en una máquina Schiller, en el primer molde se forma el cuello de la botella y luego en el segundo molde se le da la forma final, luego son llevados a la faja transportadora que va hacia el horno de templado.

En cada canal de obtención del vidrio se distribuyen 5 trabajadores:

Sacador, maquinista, soplador, elevador y llevador.

**f) Templado.**

Se somete a una temperatura a fin de hacer variar las tensiones moleculares, enfriar al medio ambiente en un tiempo mayor para disminuir las tensiones debido al cambio brusco de temperatura de caliente a frío, debido a que la superficie externa de la botella enfría más rápidamente que la interna.

La templadora consiste de un horno tipo túnel constituido por material refractario en su interior, dentro del cual se mueve una malla metálica de acero resistente al calor, la que transporta las botellas en una longitud de 25 metros calentando los envases de 530 a 650°C, enfriando gradualmente entre 45 a 60°C.

**g) Control de Calidad**

Se hace un muestreo para una población de envases finito para determinar el volumen, masa, altura, diámetro, resistencia a presión, choque térmico.

*el*

#### **h) Embalaje**

Se realiza utilizando cajas de cartón corrugado con enrejillado para protegerlos por daños que pudieran sufrir al ser transportados a los laboratorios y plantas envasadoras.

#### **Procesos y operaciones en la industria del vidrio con método automático**

La empresa es el fabricante de envases de vidrio más importante en el mercado peruano.

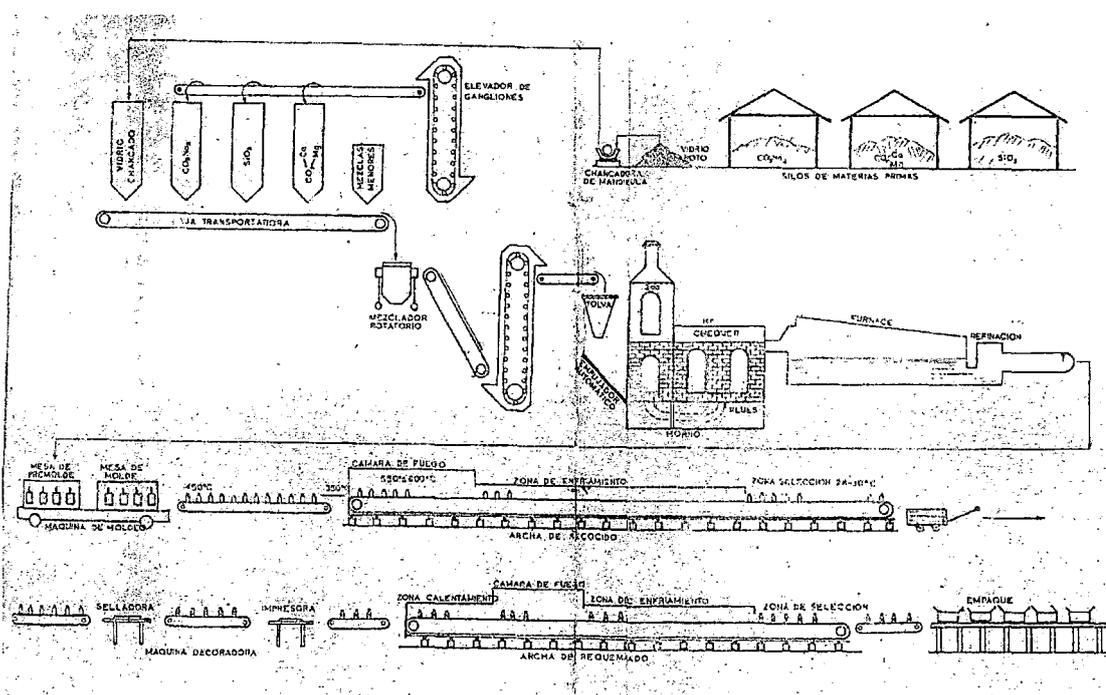
Las materias primas utilizadas son arena de tipo cuarzo que aporta en alto porcentaje el sílice ( $\text{SiO}_2$ ) como vitrificante, caliza que aporta el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) como estabilizante, carbonato de sodio que aporta el óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) que interviene como fundente, Además se utiliza el feldespatos ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) y rotura de vidrio en un 48%. Se puede añadir otros productos químicos en pequeñas cantidades como antiespumantes, eliminación de burbujas de vidrio fundido, agentes colorantes, decolorantes. El proceso de fabricación se inicia con formulación, mezcla y adición de rotura de vidrio, los cuales son llevados al horno construido de material refractario y calentados por quemado de gas natural con oxígeno del aire para su fusión entre 1200 a 1500°C y de una capacidad de 220 TM/día.

El soplado automático se usa en tres máquinas para la producción de botellas. El vidrio en forma de nevada se extrae del horno por un proceso vertical y gravedad, cae para su moldeo por presión donde se da la forma al envase; los envases formados son llevados mediante fajas transportadoras hacia los hornos de templado de cada línea

a fin de enfriar en un tiempo mayor y disminuir las tensiones debido al cambio de temperatura de caliente a frío. Existen tres líneas de moldeo con un horno de templado por cada línea de producción. Luego se realiza la inspección de las características del producto y se empaqa. Los ambientes de trabajo visitados son: almacén de materias primas, chancado, silos, fundición, formación, templado, inspección y empaque.

FIGURA Nº 5.1

INDUSTRIA DEL VIDRIO CON MÉTODO SEMI-AUTOMÁTICO



*Handwritten signature*

Fuente: Oswaldo Camasi Pariona, Informe sobre Visita de Reconocimiento, 2006.

## 2. Industria del Cemento

Se realizó la Visita de Reconocimiento a las instalaciones del complejo industrial que se dedica a la producción y comercialización de Clinker y cemento ubicado en Lima a fin de observar las condiciones de trabajo, las características de procesos y operaciones, identificar los riesgos ocupacionales, las condiciones de seguridad y las facilidades sanitarias.

Tipos de Cemento que se produce:

Tipo I.- Para uso general que no requiera propiedades de otro tipo.

Tipo II.- Cuando se expone a la acción moderada de sulfatos o cuando se necesita un moderado calor de hidratación.

Tipo II.- Cuando se requiere alta resistencia a la compresión inicial.

Tipo IV.- Cuando se requiere bajo calor de hidratación

Tipo V.- Cuando se requiere alta resistencia a los sulfatos.

La planta de procesamiento tiene las siguientes áreas de producción:

### a) Materias Primas

Caliza: aporta principalmente  $\text{CaCO}_3$

Pizarra: aporta principalmente  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$

Mineral de hierro: que aporta  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Yeso: que aporta  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

*el*

**b) Etapas del proceso**

**Extracción de la caliza en la cantera**

Perforación y voladura

Carguío y acarreo

**Reducción del tamaño de la caliza y su homogenización**

Chancado primario

Chancado secundario

Pre-homogenización

Molienda y homogenización

**Obtención del Clinker**

Pre-calentador

Horno rotativo

Enfriador

**Molienda de cemento**

**Envasado y despacho**

**c) Extracción de la caliza en la cantera**

**Perforación y voladura**

La primera operación es la perforación de hasta 15 metros de profundidad. Luego se cargan con explosivos Anfo y se procede a la voladura.

**Carguío y acarreo**

Se utiliza cargadores frontales y camiones de 50 toneladas

**d) Reducción del tamaño de la caliza y su homogenización**

*e.f* La caliza pasa sucesivamente por la chancadora primaria, chancadora secundaria y zarandas, pre

homogenización, molino de crudos y silo de homogenización.

#### **Chancadora primaria**

Se tritura reduciendo su tamaño desde 1.50 metros hasta de 40 centímetros, depositándola en una cancha de almacenamiento.

#### **Chancadora secundaria**

La caliza es reducida en su tamaño de 40 centímetros a 18 milímetros.

#### **Zarandas**

Se encargan de separar la caliza de 18 milímetros para enviarla a la cancha de prehomogenización y los tamaños más gruesos regresan a la chancadora.

#### **Pre homogenización**

La cancha es del tipo circular donde la caliza se deposita en capas sucesivas horizontales por medio de una faja apiladora. La caliza se traslada mediante fajas a los silos de alimentación del molino de crudos.

#### **Molienda y homogenización**

La caliza se pulveriza por el impacto de las bolas de acero de diferentes tamaños en el molino de crudos, luego es conducido por medio de fajas transportadoras al silo de homogenización para afinar su calidad.

### **e) Obtención del Clinker**

#### **Pre-calentador**

Consta de cuatro etapas de ciclones que se encuentran ubicados uno encima de otro. El crudo homogenizado se alimenta por el extremo superior del pre-calentador, pasando a través de los ciclones donde se calienta por acción de los gases del horno.

*ep*

### **Horno rotativo**

El crudo comienza a descarbonatar en el precalentador e ingresa al horno donde por efecto del calor generado por acción del petróleo en un quemador, sufre transformaciones físicas y químicas, llegando a clinkerizarse a temperaturas de 1400 a 1450°C, obteniéndose el producto intermedio entre el crudo y el cemento, denominado Clinker. El material avanza por el interior del horno de 5.20 metros de diámetro por 85 metros de largo y que gira hasta 3 r.p.m. con una capacidad de producción de 5000 toneladas de Clinker por día.

### **Enfriador**

El Clinker es descargado por el horno y pasa al enfriador de varias superficies escalonadas compuestas por placas fijas y móviles alternadas con pequeños orificios por donde pasa el aire insuflado por la parte inferior por la acción de ventiladores a fin de enfriar el Clinker hasta los 100°C.

### **f) Molienda del cemento**

El Clinker se transporta a una cancha donde termina su enfriamiento para ser alimentados mezclado con el yeso a los molinos de bolas, obteniéndose el cemento que es trasladado a silos del envase por medio de una faja transportadora y un sistema de bomba neumática.

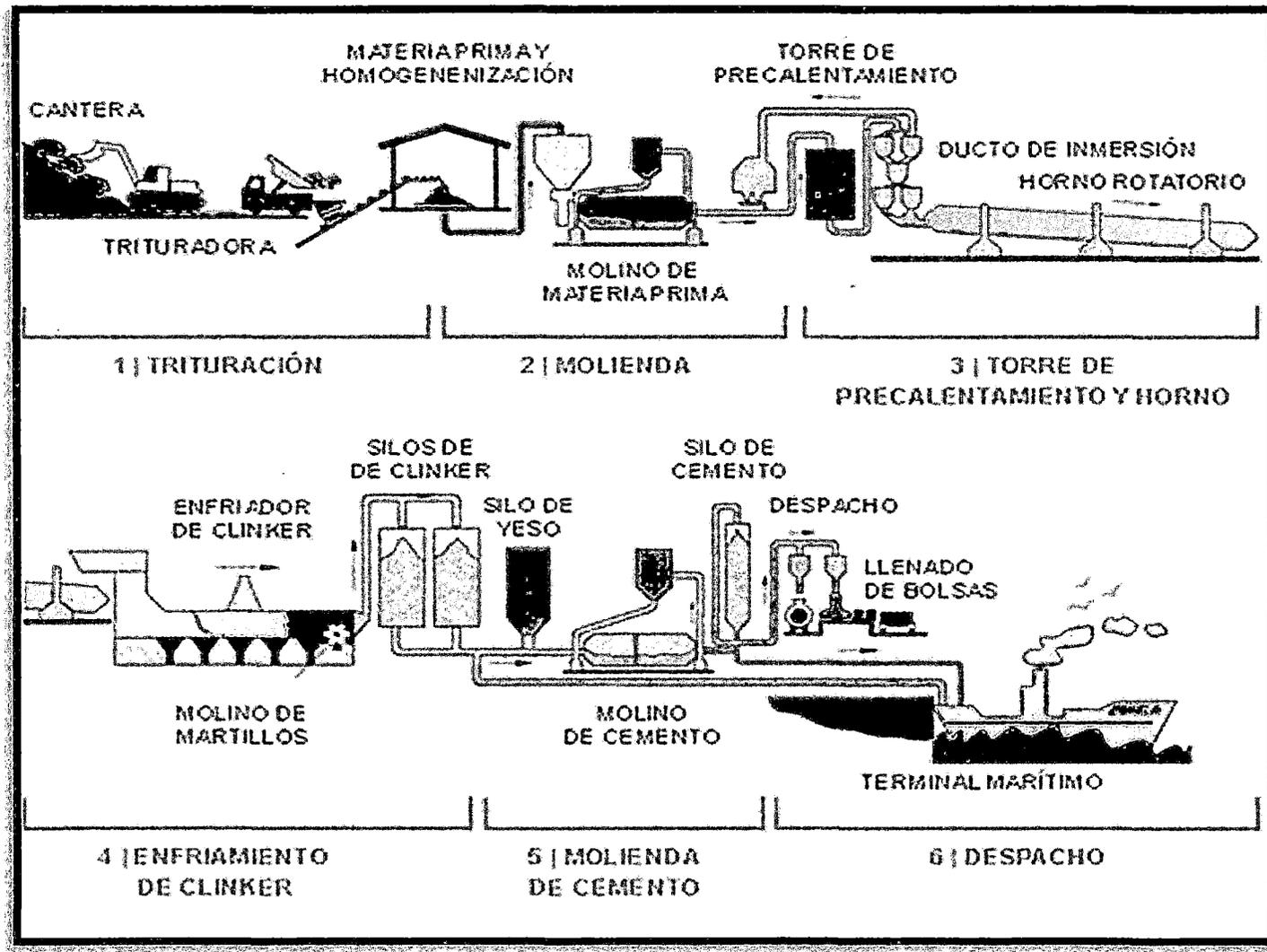
### **g) Envase y despacho del cemento**

Se utilizan máquinas rotativas automáticas que tienen una capacidad de envasado de 1800 bolsas por hora, con un peso de 42.5 kilogramos que se descarga sobre una faja transportadora a las plataformas de los camiones.

*el*

21

Fuente: Norris Shreve, Chemical Process Industries, 1977



INDUSTRIA DEL CEMENTO PORTLAND

FIGURA Nº 5.2

### 3. Minería

#### 3.1 Minería no ferrosa

Se realizó una visita de Reconocimiento a las instalaciones de la mina ubicada a 4100 m.s.m. Es una operación a tajo abierto que produce concentrado de cobre a partir de minerales en forma de sulfuros y cátodos de cobre a partir de minerales en forma de óxidos en sus 2 plantas por flotación y lixiviación, respectivamente.

**Mina.** La extracción del mineral se realiza a tajo abierto porque el depósito mineral se encuentra cerca de la superficie, incluye operaciones de perforación, voladura, carguío, acarreo y transporte de minerales en carros mineros.

**Planta de Óxidos.** El proceso es hidrometalúrgico para recuperar el cobre de los minerales oxidados como crisocola, malaquita y azurita.

El cobre es recuperado mediante el proceso de lixiviación en pilas y lixiviación por agitación, extracción por solventes y electro obtención.

El mineral oxidado de la mina es chancado a fin de reducir de tamaño con etapa de separación en húmedo, donde la fracción fina se separa de la gruesa por zarandas lavadoras. La fracción gruesa se apila en canchas permanentes para ser irrigado con una solución de ácido sulfúrico la que circula por cañerías con sistema de riego por goteo, donde se disuelve el cobre oxidado, formando una solución de sulfato de cobre la que es

recogida por el sistema de drenaje y llevada en canaletas impermeabilizadas.

Los finos se lixivian en tanques de agitación y el cobre disuelto se recupera en la etapa de separación sólido-líquido.

El cobre disuelto en estado iónico, forma parte de la solución cargada de lixiviación. Las soluciones de lixiviación por agitación y de pilas se juntan y luego es purificado en la extracción por solventes con reactivo orgánico extractante.

El cobre de la solución purificada es depositado en la etapa de electro-obtención por intermedio de una corriente continua, produciéndose el cobre metálico puro.

Los residuos o rípios de lixiviación son neutralizados con carbonato y lechada de cal hasta un pH 7.5, luego son depositados en la presa de relaves.

**Planta de Sulfuros.** El proceso utiliza el sistema convencional que incluye las operaciones siguientes:

Chancado primario: El chancado primario reduce el tamaño del mineral a 8 pulgadas de diámetro.

Chancado secundario: El tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.

Chancado terciario: El material se reduce de tamaño a ½ pulgada.

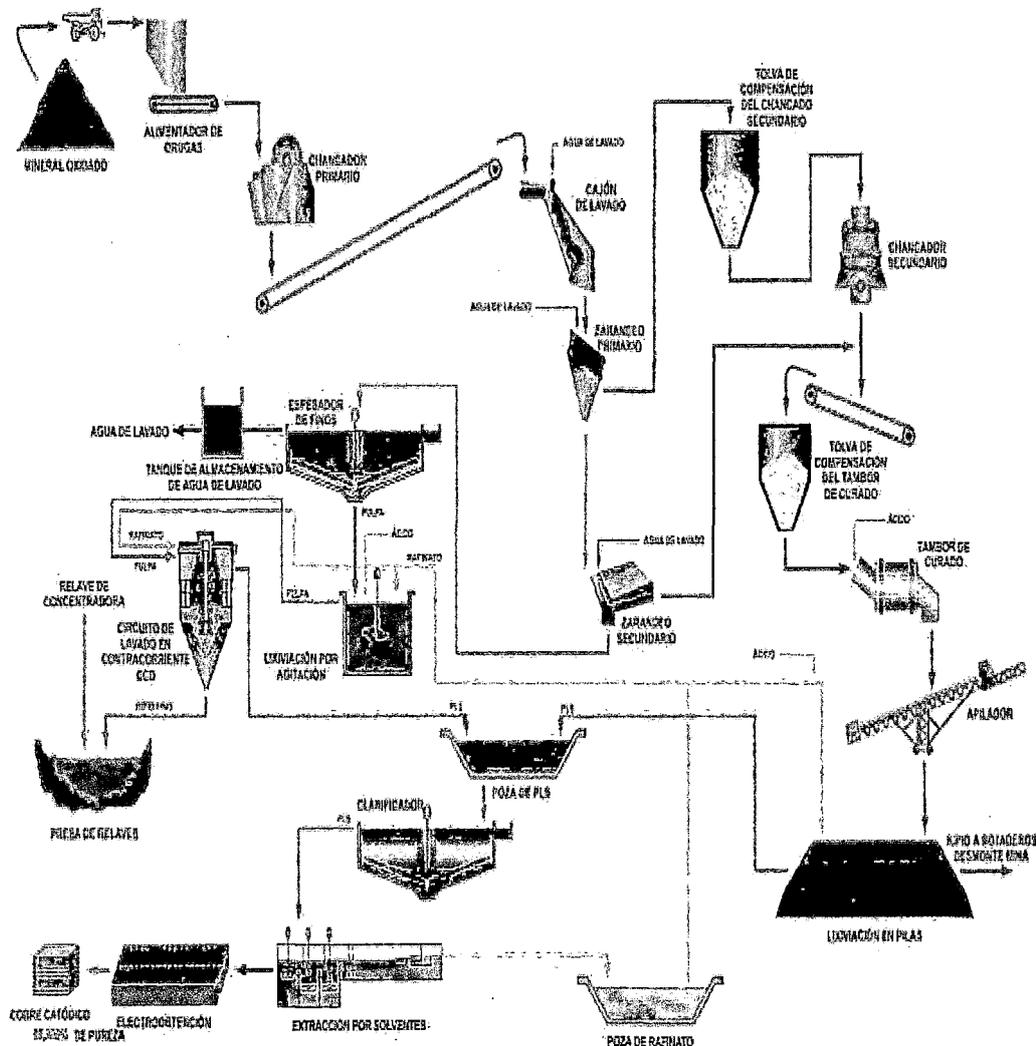
Molienda: Es la etapa de concentración que consiste en reducir el mineral a un tamaño más reducido a través de molinos de bolas.

Flotación: Permite separar los elementos valiosos contenidos en minerales del material estéril. La

*el*

separación se realiza en agua y con reactivos selectivos, formándose una pulpa, donde las partículas sólidas se mantienen en suspensión por medio de unos agitadores. Filtración: La operación consiste en separar los sólidos de líquidos. El concentrado de cobre obtenido es secado para luego disponer su venta.

**FIGURA N° 5.3**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE ÓXIDOS**



*il*

Fuente: Xtrata Tintaya, Descripción general del proceso de la planta de óxidos, 2014

### **3.2 Minería ferrosa**

Se realizó una visita de estudio a las instalaciones de la mina de hierro que explota y procesa el mineral de hierro de sus yacimientos ubicados a 530 kilómetros al sur de Lima. Obtiene concentrados de hierro para sinterización, pellets para alto horno y siderúrgicas y pellets de bajo sílice para el proceso de reducción directa.

#### **Ambientes visitados y actividad.**

**Mina.** Abarca 150 kilómetros cuadrados. Se extraen minerales de magnetita en mayor proporción y hematita en menor cantidad.

El método de explotación se realiza por el sistema de tajo abierto convencional porque el mineral se encuentra cerca de la superficie y comprende las siguientes operaciones:

Perforación y voladura.- Cuenta con perforadoras, palas mecánicas y tractores.

Carguío y acarreo.- Se realiza con palas y camiones volquetes.

Chancado.- Existen 2 chancadoras con capacidad de 100 toneladas/hora y de 2000 toneladas/hora, respectivamente que reducen el mineral a 2 pulgadas de diámetro.

Transporte.- El mineral chancado es transportado a la planta de beneficio mediante una faja transportadora de una longitud de 15.3 kilómetros y también mediante camiones volquete.

**Planta de beneficio.** Se realiza la transformación del mineral en las siguientes instalaciones:

9.1

Planta de chancado.- Reducen de tamaño al mineral a un tamaño de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en 2 líneas.

Planta de molienda.- La molienda se realiza en molinos de barras y de bolas.

Planta de separación magnética.- La concentración es a través de ciclones donde se separa la fracción fina y gruesa, pasando luego por separación magnética y flotación de sulfuros para eliminar el azufre y finalmente es llevado a zarandas desaguadoras. Se obtiene dos tipos de productos, un concentrado de hierro para zinterización y otro para la planta de peletización, pasando por filtración.

Planta de filtros.- Se realizan las operaciones de espesamiento, homogenización y filtrado de la pulpa recibida de la planta de separación magnética.

Planta de peletización.- Tiene 2 líneas de producción:

Línea 1: El concentrado es cubierto por bentonita y homogenizado para ser aglomerado en discos y obtener pellets de  $\frac{5}{8}$  a  $\frac{3}{8}$  de pulgada.

Línea 2: El crudo es secado, pre-quemado y quemado mediante piroconsolidación.

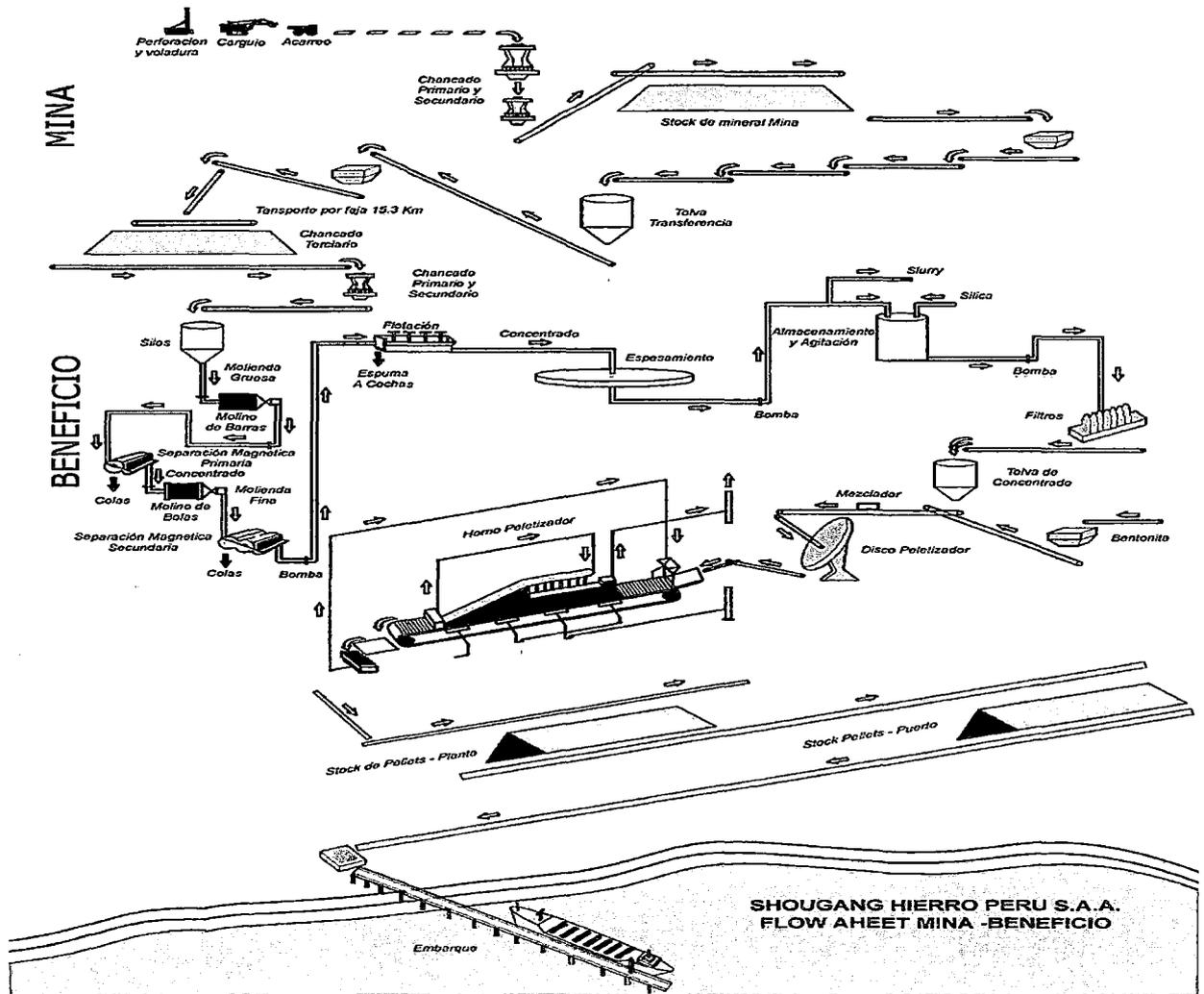
El horno trabaja a  $1300^{\circ}\text{C}$  con quemadores de petróleo residual 500 que consume 3.7 gal/TM.

Se obtiene concentrado de hierro para sinterización, pellets para alto horno de siderúrgicas y pellets de bajo sílice para el proceso de reducción directa.

Los productos se transfieren mediante un sistema de fajas transportadoras a un stock ubicado en el puerto.

FIGURA Nº 5.4

COMPLEJO MINERO METALÚRGICO FERROSO



*Handwritten signature*

Fuente: Shougang Hierro Perú S.A.A., Diagrama de flujo, 2014

## 5.2 La población de la investigación y la muestra correspondiente

Las actividades económicas que usan materiales con Sílice son: abrasivos, cemento, asfalto, cerámicas, arcillas y alfarería, empresas de construcción, industria electrónica, minería, fundiciones, operaciones de acabado de túneles.

La población está conformado por las industrias que utilizan materiales que contienen sílice.

Para determinar el tamaño de la muestra en población finita se utiliza la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{E^2 (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde, las variables referenciales son:

N = Tamaño de la población

n = Tamaño de la muestra

E = Error de muestra

Z = Coeficiente de confianza de distribución normal

p = evento favorable

q = evento no favorable

El muestreo se realiza para 100 empresas ubicadas en Lima que utilizan materiales con Sílice en su proceso de producción para un nivel de confianza de 95% y 5% de error de muestra, con porcentaje de p: 90%, q: 10%.

$$n = \frac{(1,96)^2(0,90)(0,10)(100)}{(0,05)^2(100-1) + (1,96)^2(0,90)(0,10)}$$

n = 29 unidades muestrales

El muestreo es un instrumento para conocer los hechos, se necesita información acerca de las condiciones de trabajo de empresas; se acepta que tomando un número adecuado de estos elementos y eligiendo sus componentes, los resultados reflejarán las de la población o universo.

En el estudio se considera Visitas de Estudio a las instalaciones de empresas industriales que utilizan materiales con Sílice en su proceso de producción.

En estas empresas se expone en las actividades de transformación y tratamiento de materiales que contienen Sílice..

En la industria, las materias primas contienen sílice libre cristalizada en fracción respirable siendo la dosificación o mezclado el momento de mayor exposición ocupacional al sílice. La silicosis se puede prevenir si se da la debida información y se usan medidas preventivas y correctivas adecuadas.

### **5.3 Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos**

Para establecer los riesgos en los ambientes de trabajo, se utilizó métodos de Seguridad e Higiene Industrial.

Para identificar los riesgos de exposición al Sílice y observar las condiciones de trabajo, se realizó Visitas de Estudio a las instalaciones de actividades económicas representativas: industria del vidrio, cemento y minería.

Se diseñó el cuestionario referido a exposición al sílice en ambientes de trabajo:

- a. ¿En qué actividades se utiliza el sílice?
- b. ¿Qué ocupaciones presenta riesgo potencial de exposición al sílice?
- c. ¿Qué materiales contienen sílice?

*el*

- d. ¿Cuáles son las fuentes de emisión?
- e. ¿la ventilación es adecuada?
- f. ¿Los ambientes de trabajo son saludables?
- g. ¿hay sustancias toxicas que se utilizan?
- h. ¿los trabajadores manejan adecuadamente los materiales que contienen sílice?
- i. ¿hay maquinas que giran, cortan?
- j. ¿hay desordenes en los ambientes de trabajo?
- k. ¿los trabajadores tienen implementos de protección personal?
- l. ¿los trabajadores usan correctamente los implementos de protección personal?
- m. ¿existe métodos de control para el tipo de trabajo que se realiza?

*el*

Se utilizó los siguientes formatos:

a. ¿En qué actividades se utiliza el sílice?

|        |         |         |          |           |              |
|--------|---------|---------|----------|-----------|--------------|
| vidrio | cemento | minería | cerámica | fundición | construcción |
|--------|---------|---------|----------|-----------|--------------|

b. ¿Cuáles son las ocupaciones que presentan riesgo potencial de exposición al sílice?

|          |         |            |          |             |
|----------|---------|------------|----------|-------------|
| operador | pulidor | perforador | arenador | constructor |
|----------|---------|------------|----------|-------------|

c. ¿Qué materiales contienen sílice?

|         |        |           |           |
|---------|--------|-----------|-----------|
| Cemento | vidrio | minerales | cerámicos |
|---------|--------|-----------|-----------|

d. ¿Cuáles son las fuentes de emisión?

|        |            |           |          |
|--------|------------|-----------|----------|
| molino | chancadora | mezclador | lijadora |
|--------|------------|-----------|----------|

e. ¿La ventilación es adecuada?

SI

NO

f. ¿Hay sustancias tóxicas que se utiliza?

SI

NO

g. ¿hay sustancias toxicas con sílice que se utilizan?

SI

NO

*el*

h. ¿Hay desórdenes en los ambientes de trabajo?

SI

NO

i. ¿Hay maquinas que giran, cortan?

|           |       |        |             |
|-----------|-------|--------|-------------|
| fresadora | torno | Sierra | trefiladora |
|-----------|-------|--------|-------------|

j. ¿Hay desordenes en los ambientes de trabajo?

SI

NO

k. ¿los trabajadores tienen implementos de protección personal?

|            |       |          |         |
|------------|-------|----------|---------|
| respirador | casco | uniforme | Calzado |
|------------|-------|----------|---------|

l. ¿Los trabajadores usan correctamente los implementos de protección personal?

SI

NO

*el*

m. ¿Existe métodos de control para el tipo de trabajo que se realiza?

SI

NO

#### **5.4 Técnicas de análisis o métodos estadísticos aplicados para la conversión de la información colectada en datos elaborados.**

El contenido de este Estudio busca crear interés científico y social para promover acciones sostenidas, permite identificar los riesgos de exposición al sílice en los procesos de producción desde el ingreso de materias primas hasta la salida de los productos terminados mediante la técnica de Reconocimiento que se realiza mediante la observación o Visita de información preliminar para determinar cualitativamente el nivel de riesgo ocupacional y la relación trabajador-ambiente.

Al determinar la magnitud del riesgo ocupacional en el Reconocimiento y si este resulta desfavorable, se recomendará implantar medidas de control en el origen, medidas de control de dispersión, medidas de protección personal.

Con la información obtenida se procede a la valoración del impacto que la industria están ocasionando en ambientes de trabajo; se puede obtener una apreciación de la magnitud del deterioro de ambientes de trabajo que estas actividades pueden causar y presentar la clasificación de ocupaciones con exposición potencial al sílice: exposición alta, mediana, baja y muy limitada.

En esta fase de Reconocimiento, se recogen todos los datos relacionados con los:

- a) Agentes ambientales que pueden encontrarse presentes en el ambiente de trabajo, dependiendo de las materias primas y auxiliares empleadas, de los subproductos y productos generados, de los procesos desarrollados y de las condiciones de operación.

*el*

- b) Trabajadores y su tipo de actividades que realizan, los riesgos particulares a cada ocupación y el tiempo de exposición y el tiempo de exposición.
- c) Sistemas de control, facilidades sanitarias, condiciones de trabajo.
- d) Servicios médicos.

Todos los datos obtenidos en el reconocimiento servirán de base para implementar medidas de control adecuados.

Según los datos de la OMS, en varios países del mundo, la silicosis es un problema vigente y se desconoce su verdadera prevalencia. Por lo señalado y considerando que esta patología es prevenible, la OMS y la OIT en el año 1995 establecieron el Programa Global de Erradicación de Silicosis en el mundo al año 2030.

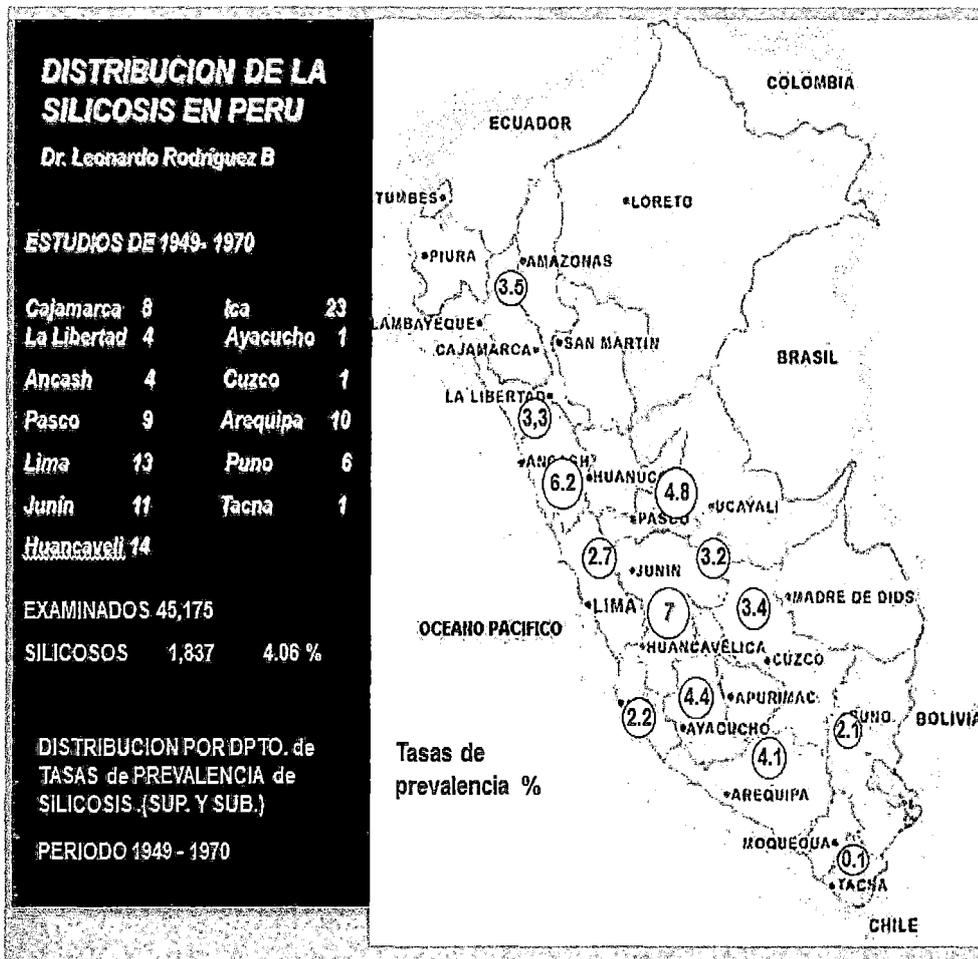
En el Perú, debido a su condición de país minero, la silicosis es considerada como un problema de salud pública, habiéndose realizado un importante número de estudios entre los años 1949 y 1970.

A pesar de estas iniciativas, el tema de silicosis no generó las necesarias intervenciones para relevar la importancia de esta enfermedad ocupacional que afecta significativamente la calidad de vida de los trabajadores.

*el*

FIGURA N° 5.5

SILICOSIS EN EL PERÚ



De 45,175 trabajadores examinados, se encontró 1,837 silicosos con una tasa de prevalencia de 4.06% .

*Handwritten signature*

Fuente: Dr. Leonardo Rodríguez Broglio, Silicosis en el Perú, 2006.

Desde 1948 a 1966 el Instituto de Salud Ocupacional ha efectuado 13,181 exámenes médicos, habiéndose encontrado entre estos trabajadores a 4,531 enfermos silicosos, que da una tasa de 34.4%.

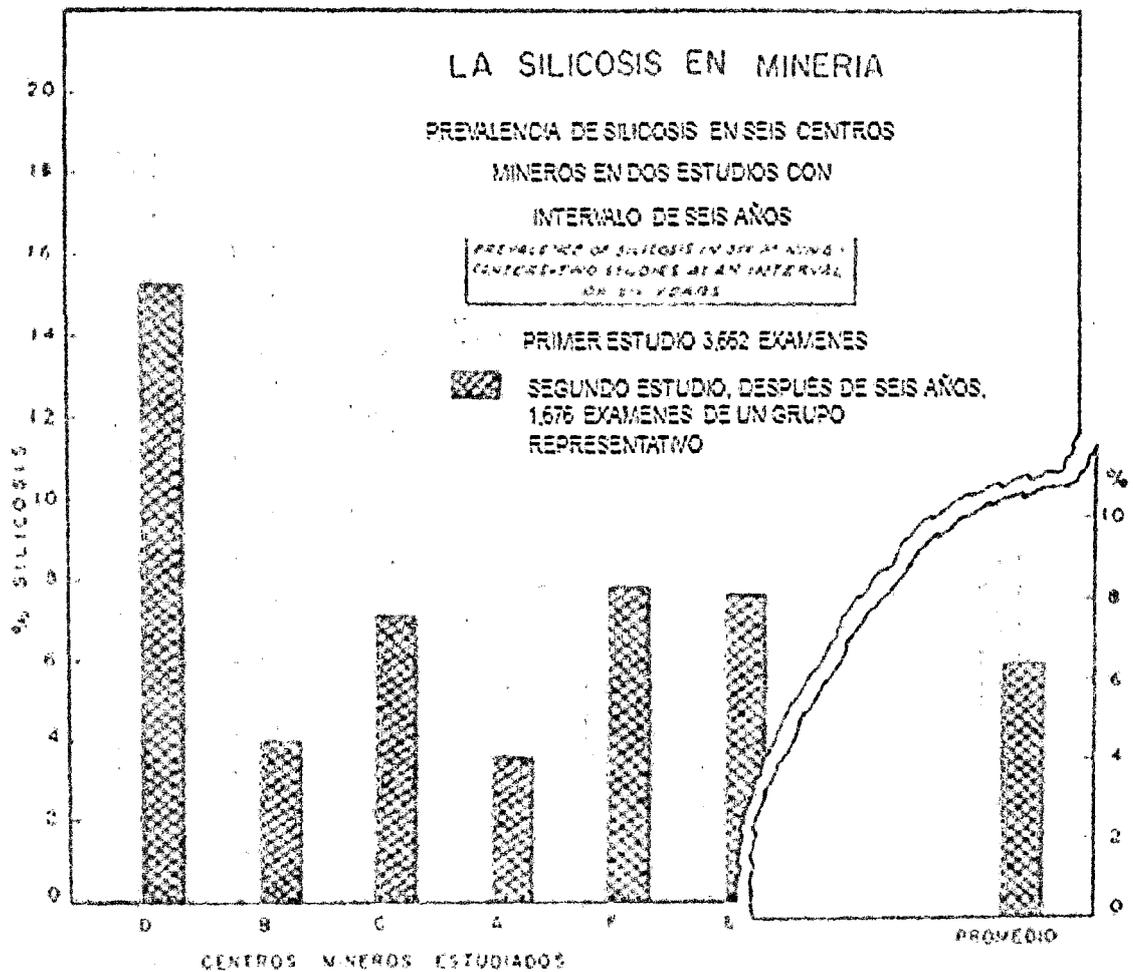
Este número de enfermos descubiertos en los 18 años, muestra la gravedad de la silicosis y con estimados simples dividiendo el número de silicosos diagnosticados, nuestra minería produce anualmente 252 silicosos.

*JF* Fuente: Dr. Jorge Ferrandiz C. , Instituto de Salud Ocupacional, 1967.

Para determinar la prevalencia de silicosis en minería se efectuaron dos estudios:

FIGURA Nº 5.6

SILICOSIS EN MINERÍA



*ep*

Fuente: INSO, 1994

**TABLA N° 5.1**

**PACIENTES ATENDIDOS POR DEPARTAMENTOS DE RESIDENCIA Y  
DIAGNOSTICO RADIOGRAFICO DIRECCION EJECUTIVA DE  
MEDICINA Y PSICOLOGIA DEL TRABAJO CENSOPAS, 2006**

| DEPARTAMENTO | TOTAL |       | DIAGNOSTICO RADIOGRAFICO DE TORAX |          |                    |                 |                 |                          |
|--------------|-------|-------|-----------------------------------|----------|--------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
|              | N°    | %     | NORMAL                            | SOSPECHA | NEUMOCONIOSIS<br>1 | NEUMOCONIOSIS 2 | NEUMOCONIOSIS 3 | TUBERCULOSIS<br>PULMONAR |
| ANCASH       | 31    | 1,7   | 15                                | 9        | 6                  | 1               |                 |                          |
| APURIMAC     | 2     | 0,1   | 1                                 | 1        |                    |                 |                 |                          |
| AREQUIPA     | 82    | 4,5   | 50                                | 7        | 22                 | 3               |                 |                          |
| AYACUCHO     | 15    | 0,8   | 6                                 | 2        | 7                  |                 |                 |                          |
| CAJAMARCA    | 8     | 0,4   | 2                                 | 4        | 2                  |                 |                 |                          |
| CALLAO       | 45    | 2,5   | 33                                | 6        | 5                  |                 |                 | 1                        |
| CUSCO        | 4     | 0,2   | 2                                 |          | 1                  | 1               |                 |                          |
| HUANCAVELICA | 95    | 5,2   | 42                                | 6        | 35                 | 6               | 6               |                          |
| HUANUCO      | 38    | 2,1   | 18                                | 4        | 13                 | 2               |                 | 1                        |
| ICA          | 23    | 1,3   | 13                                | 2        | 6                  | 1               | 1               |                          |
| JUNIN        | 758   | 41,4  | 334                               | 64       | 329                | 22              | 9               |                          |
| LA LIBERTAD  | 27    | 1,5   | 17                                | 4        | 3                  | 3               |                 |                          |
| LAMBAYEQUE   | 2     | 0,1   | 2                                 |          |                    |                 |                 |                          |
| LIMA         | 513   | 28,0  | 332                               | 36       | 127                | 14              | 2               | 2                        |
| LORETO       | 1     | 0,1   | 1                                 |          |                    |                 |                 |                          |
| MOQUEGUA     | 11    | 0,6   | 7                                 | 1        | 3                  |                 |                 |                          |
| PASCO        | 83    | 4,5   | 27                                | 13       | 42                 | 1               |                 |                          |
| PIURA        | 4     | 0,2   | 4                                 |          |                    |                 |                 |                          |
| PUNO         | 85    | 4,6   | 61                                | 9        | 14                 | 1               |                 |                          |
| TACNA        | 6     | 0,3   | 5                                 |          | 1                  |                 |                 |                          |
| TOTAL        | 1833  | 100,0 | 972                               | 168      | 616                | 55              | 18              | 4                        |
| %            | 100,0 |       | 53,0                              | 9,2      | 33,6               | 3,0             | 1,0             | 0,2                      |

*el* Fuente: Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud, 2006

**TABLA N° 5.2**  
**RESULTADO DE EXÁMENES MÉDICO OCUPACIONALES EN**  
**TRABAJADORES EXPUESTOS AL SÍLICE-CENSOPAS, 2008**

| DIAGNÓSTICO | %      | N   |
|-------------|--------|-----|
| NORMAL      | 74.40  | 625 |
| SILICOSIS 1 | 21.79  | 183 |
| SILICOSIS 2 | 2.62   | 22  |
| SILICOSIS 3 | 1.19   | 10  |
| TOTAL       | 100.00 | 840 |

Fuente: Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del  
Medio Ambiente, 2008.

*EP*

La Silicosis se puede prevenir si se da la debida información y si se usan medidas preventivas adecuadas.

## **5.5 Metodología**

La investigación es aplicada y considera la relación: salud-trabajo-productividad-desarrollo de seguridad y salud en el trabajo que permite participar en la prevención, protección y promoción de salud de la población económicamente activa en la industria de vidrio, cemento y minería; por el impacto que tiene el costo económico y social de los accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales.

Se plantea alternativas de solución a través de estudios de campo.

*el*

## VI. RESULTADOS

### Estudio del Ambiente de Trabajo

Resultado del estudio de las condiciones del ambiente de trabajo y su influencia sobre la salud de los trabajadores en relación con el desarrollo de la silicosis en un centro minero:

**TABLA N° 6.1**  
**EXPOSICIÓN PROMEDIO AL POLVO OCUPACIONAL DEL**  
**CENTRO MINERO**

| Ocupación         | N° de Muestras | Concentración promedio en mppca |
|-------------------|----------------|---------------------------------|
| <b>SUBSUELO</b>   |                |                                 |
| Perforista        | 13             | 7.4                             |
| Ayudante          | 10             | 5.5                             |
| Enmaderador       | 5              | 1.4                             |
| Lampero           | 7              | 5.5                             |
| Winchero          | 5              | 4.4                             |
| Timbrero          | 3              | 0.9                             |
| Chutero           | 5              | 4.9                             |
| Tubero            | 3              | 2.5                             |
| Caporal de        | 3              | 4.8                             |
| stope             | 7              | 2.4                             |
| Galería           | 7              | 2.9                             |
| Motorista         |                |                                 |
| <b>SUPERFICIE</b> | 6              | 7.0                             |
| Chutero           | 4              | 12.9                            |
| Chancador         |                |                                 |

mppca: millones de partículas de polvo por pie cúbico de aire.

Fuente: Instituto Nacional de Salud Ocupacional, 1994

Se puede apreciar en la tabla N° 6.1, las concentraciones promedio para las ocupaciones que cuentan con el mayor número de trabajadores, varían entre los 7.4 y 1.4 mpppca.

En el subsuelo las mayores concentraciones de polvo corresponden a las ocupaciones de perforista con 7.4, siguiendo la de lampero con 5.5 y la de chutero con 4.9. En superficie las ocupaciones más expuestas son las de chancador y la de chutero con 12.9 y 7.0 mpppca, respectivamente.

La concentración promedio de polvo obtenida en las galerías es de 2.4 mpppca.

**Evaluación de las Concentraciones de Riesgos Químicos en Ambientes colindantes a la Industria del Vidrio:**

**TABLA N° 6.2**

**RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS QUÍMICOS**

| N° | Contaminante     | Concentración            | Standar               |
|----|------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1  | CO               | 2 ppm                    | 20 ppm                |
| 2  | SO <sub>2</sub>  | 11.26 ug/m <sup>3</sup>  | 150 ug/m <sup>3</sup> |
| 3  | NO <sub>2</sub>  | 70.53 ug/m <sup>3</sup>  | 200 ug/m <sup>3</sup> |
| 4  | PTS              | 211.95 ug/m <sup>3</sup> | 350 ug/m <sup>3</sup> |
| 5  | Pb               | 0.237 ug/m <sup>3</sup>  | 1.5 ug/m <sup>3</sup> |
| 6  | Zn               | 3.53 ug/m <sup>3</sup>   | -                     |
| 7  | Cu               | 0.048 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |
| 8  | Mn               | 0.103 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |
| 9  | Cd               | 0.012 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |
| 10 | Cr               | 0.008 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |
| 11 | Fe               | 3.313 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |
| 12 | Ca               | 3.313 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |
| 13 | Mg               | 0.197 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |
| 14 | SiO <sub>2</sub> | 0.396 ug/m <sup>3</sup>  | -                     |

ppm: partes por millón.

ug/m<sup>3</sup>: microgramos por metro cúbico

Fuente: Ing. Oswaldo Camasi Pariona.

En la propuesta de patrones de calidad del aire en el Perú, no están establecidos aún los estándares de concentración para algunos contaminantes.

Con la visita de estudio a las instalaciones en el Proyecto de Investigación "Riesgo de exposición al Sílice y prevención de la Silicosis en la Industria", se demuestra la Hipótesis: que los trabajadores de la industria del vidrio, industria de cemento y minería, utilizan mayor cantidad de Sílice en sus operaciones y procesos con exposición potencial de la salud al Sílice que puede producir contaminación, y la enfermedad ocupacional silicosis irreversible.

Se debe elaborar la matriz de exposición a sílice en otras actividades económicas con riesgo de exposición, con ocupaciones con riesgo potencial de exposición a sílice y que utilizan materiales que contienen sílice.

El Ministerio de Salud y de Trabajo deben realizar la evaluación de la concentración de polvo y de la fracción respirable de sílice a fin de comparar con los estándares ocupacionales establecidos a fin de implementar las medidas de vigilancia y control para la prevención de la silicosis.

El Perú debe presentar el Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis que represente un avance en el cuidado de la salud de los trabajadores.

El Perú debe ratificar el compromiso para conseguir la erradicación de la silicosis que solicita el Programa Global de Erradicación de la Silicosis en el mundo al año 2030, promocionado por la OMS y la OIT

*el*

**TABLA N° 6.3**

**MATRIZ**

| <b>Avance de la Matriz de Exposición Potencial a Polvo de Sílice</b> |                         |                  |               |
|--|-------------------------|------------------|---------------|
| <b>RUBRO</b>   | <b>No<br/>Expuestos</b> | <b>Expuestos</b> | <b>TOTAL</b>  |
| Explotación de Minas Y Canteras                                      | 10246                   | 12523            | 22769         |
| Construcción   | 36724                   | 56768            | 93492         |
| Agricultura  | 298178                  | 20958            | 319136        |
| Vidrio   | 181                     | 60               | 241           |
| Cerámica   | 365                     | 920              | 1285          |
| Cemento, Cal y Yeso  | 191                     | 134              | 325           |
| Hierro y Acero   | 1712                    | 512              | 2224          |
| Fabricación de Prod. Metálicos<br>Tanques                            | 306                     | 14               | 320           |
| Fábrica de Vehículo Automotores y<br>Remolques                       | 97                      | 3                | 100           |
| Construcción y Reparación de Buques                                  | 676                     | 124              | 800           |
| Joyas  | 23                      | 27               | 50            |
| <b>TOTAL</b>   | <b>348699</b>           | <b>90,138</b>    | <b>440742</b> |

*el*

Fuente: MINSA, 2009.

Al determinar la magnitud del riesgo ocupacional en el Reconocimiento que resulta desfavorable, se recomienda implementar medidas de control en el origen, medidas de control de dispersión y medidas de protección personal.

## **6.1 Industria del vidrio**

### **Condiciones de Trabajo y Riesgos Ocupacionales**

En una industria ampliamente extendida y variada, los riesgos también difieren, las plantas modernas han eliminado algunos de los riesgos que aún permanecen en fábricas antiguas que usan métodos semi-automáticos.

### **Accidentes de trabajo**

Los accidentes durante el manejo del vidrio constituyen el principal riesgo en la industria y pueden causar cortes, quemaduras, lesiones.

Los fragmentos de vidrio desprendidos pueden causar heridas profundas y graves lesiones en los ojos.

Es necesario proporcionar ropas protectoras que brinden protección adecuada, de tejido de punto recubierto por dos capas de tela.

Cuando se trabaje con vidrio o se manipule sus desechos, es necesario utilizar protección ocular.

En la industria del vidrio debe mantenerse orden y limpieza al más alto nivel.

**Sílice.**- Es el componente principal en la fabricación de vidrio comercial. Se utiliza en forma de arena natural, las partículas finas al ser transportados por el aire, pueden causar silicosis. El polvo es peligroso. La elaboración de refractarios y el corte

*el*

pueden dar lugar a polvo que contiene una cantidad peligrosa de sílice libre.

La empresa de soplado automático es el fabricante de envases de vidrio más importante en el Perú, se dedica a la producción y comercialización de envases de vidrio para alimentos, espárragos, néctares, bebidas gaseosas, cervezas, vinos, licores, productos farmacéuticos.

La empresa utiliza como materias primas el sílice, carbonato de sodio, carbonato de calcio, feldespato y rotura de vidrio.

Existe exposición de trabajadores a niveles de ruido en los ambientes de trabajo de hornos de fusión, formadores de envases, compresores de aire.

Se observa dispersión de polvos remanentes en el patio de materias primas y lugares de tránsito dentro de la planta.

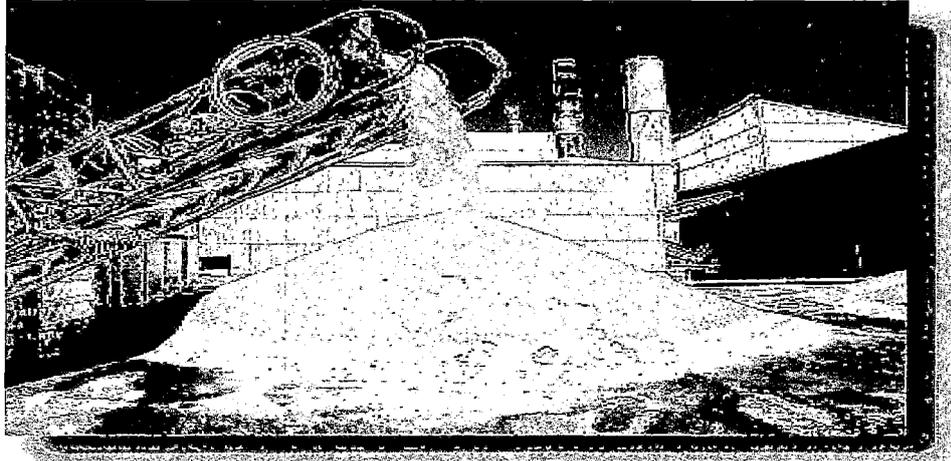
Existe exposición a calor radiante en los ambientes adyacentes al horno de fusión y quemadores de gas natural.

Los gases resultantes de la emisión del horno son eliminados a través de una chimenea hacia la atmósfera.

*el*

**FIGURA N° 6.1**

**SÍLICE**



Fuente: DIGESA, Informe de Visita de Reconocimiento, 2006

**FIGURA N° 6.2**

**MOLDEO AUTOMÁTICO DE ENVASES DE VIDRIO**



*el*

Fuente: Owens Illinois, Visita de Reconocimiento, 2006

## **6.2 Industria de cemento**

### **Condiciones de Trabajo y Riesgos Ocupacionales**

En las canteras de las que se extrae caliza, los trabajadores están expuestos a polvo producido durante perforación, explosiones y avalanchas de rocas y de tierra.

Durante el proceso de fabricación del cemento, el peligro principal es el polvo. También la contaminación del aire en los alrededores se reduce con el uso de filtros electrostáticos. El contenido de sílice libre en el polvo varía según la composición de la materia prima.

Otros riesgos que existen en ambientes de trabajo incluyen las temperaturas ambientales altas, especialmente cerca de los hornos, el calor radiante y los altos niveles de ruido en lugares próximos de los molinos de bolas.

La exposición a estos riesgos puede producir enfermedades del aparato respiratorio, trastornos digestivos, enfermedades de la piel, trastornos de la vista y del oído.

Los trabajadores en la producción del cemento se exponen a una variedad de materias primas que contienen sílice libre.

La neumoconiosis ocasionada por el cemento es benigna que aparece tras una exposición muy prolongada.

Hay incidencia de trastornos digestivos como úlceras gastroduodenales en la industria de cemento.

En cuanto a enfermedades de la piel puede producir erosiones, lesiones, infecciones. Sin embargo estas enfermedades son

*ef*

más frecuentes entre los usuarios del cemento como los albañiles.

El eczema del cemento podría ser debido a la presencia del cromo hexavalente. Probablemente las sales de cromo ingresan a las papilas dérmicas, se combinan con las proteínas y producen una sensibilización de naturaleza alérgica.

Los trastornos del oído y la vista pueden sufrir los trabajadores de molinos.

Los accidentes en las canteras pueden ser por desprendimientos de tierra o roca o durante el transporte, pueden producir contusiones, cortes, etc.

### **Factores de riesgo en el proceso productivo del cemento**

#### **Canteras**

Las operaciones que se realizan son:

Perforación.- consiste en remover la roca mediante explosivos.

Existe exposición a polvo, niveles de ruido.

Extracción.- Se realiza mediante palas mecánicas y tractores.

Hay exposición a polvo, niveles de ruido, vibraciones.

Acarreo.- La materia prima se traslada en vehículos pesados de la cantera a la planta. Hay exposición a ruido.

#### **Crudo**

Las principales operaciones son:

Chancado.- Se reduce el tamaño de las materias primas. Existe exposición a polvo, ruido.

*el*

Pre-homogenización.- La materia prima se clasifica y se homogeniza en tolvas. Los riesgos potenciales son el ruido y polvo.

Almacenes y silos.- Se deposita la harina cruda. El riesgo potencial es el polvo.

Molienda.- La materia prima se pulveriza. Los factores de riesgo son el polvo, ruido y vibración.

### **Clinker**

La harina cruda pasa por el pre calentador y luego por el horno rotatorio a 1500°C.

Las operaciones son:

Calcinación.- Se calienta la harina cruda hasta altas temperaturas. Hay exposición al ruido, polvo, calor radiante.

Enfriamiento.- El Clinker se enfría mediante corrientes de aire. Hay exposición a polvo, ruido, temperaturas altas.

### **Cemento**

El cemento se obtiene mezclando el clinker con yeso. Las operaciones de esta etapa son:

Molienda.- El Clinker se mezcla con el yeso y se pulveriza. Hay riesgo de exposición al polvo y ruido.

Envasado.- Se envasa en bolsa de papel. Hay riesgo de exposición al polvo y ruido.

*el*

**FIGURA N° 6.3**

**PLANTA DE CEMENTO**



*CL*

Fuente: Cementos Lima S.A., Guía práctica de cemento, 2010

### **6.3 Minería**

#### **Condiciones de trabajo**

##### **Mina de Cobre en forma de sulfuros y óxidos**

La mina está ubicada en la Región Cusco, a 4100 msnm. Es una operación a tajo abierto que produce concentrado y cátodos de cobre a partir de sulfuros y óxidos en sus 2 plantas por flotación y lixiviación, respectivamente. El proceso de flotación utiliza el sistema convencional que incluye: chancado, molienda, flotación, filtración y secado. El proceso en la planta de óxidos, difiere del proceso convencional y utiliza el método hidrometalúrgico para recuperar el cobre de los minerales oxidados, consta de las etapas de chancado, lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención.

Existe exposición de trabajadores a niveles de ruido en los ambientes de trabajo de perforación a tajo abierto, ambientes de chancadora primaria, secundaria y terciaria de la planta de sulfuros, chancadora y zarandeo primario de la planta de óxidos.

Se observa dispersión de polvos minerales en las etapas de perforación, carguío, transporte en el área de la mina, chancado primario, secundario, terciario de la planta de sulfuros, chancadora y zarandeo de la planta de óxidos.

Se observa presencia de solución de ácido sulfúrico en las canchas permanentes de irrigación en el proceso de lixiviación y difusión de vapores del reactivo orgánico que se utiliza para purificar el cobre iónico en la solución del área de extracción por solventes.

*el*

La empresa, cuenta con el Reglamento Interno de Seguridad, Comité de Seguridad e Higiene y Reglamento Interno de Transportes.

La empresa cuenta con 2 depósitos de relaves:

Los residuos o rípios de lixiviación son tratados en la planta de neutralización usando carbonato y lechada de cal, luego son depositados en la presa de relaves.

Los residuos de la planta de sulfuros pasan por espesadores de relaves y tanques de neutralización y es depositado en la presa principal con estación de cicloneo que separa los gruesos de los finos de acuerdo a una granulometría adecuada.

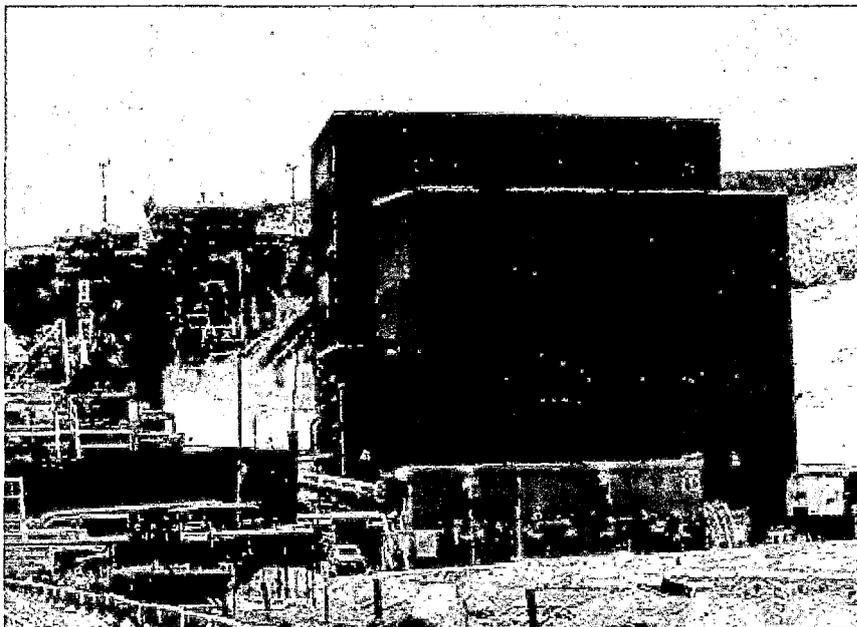
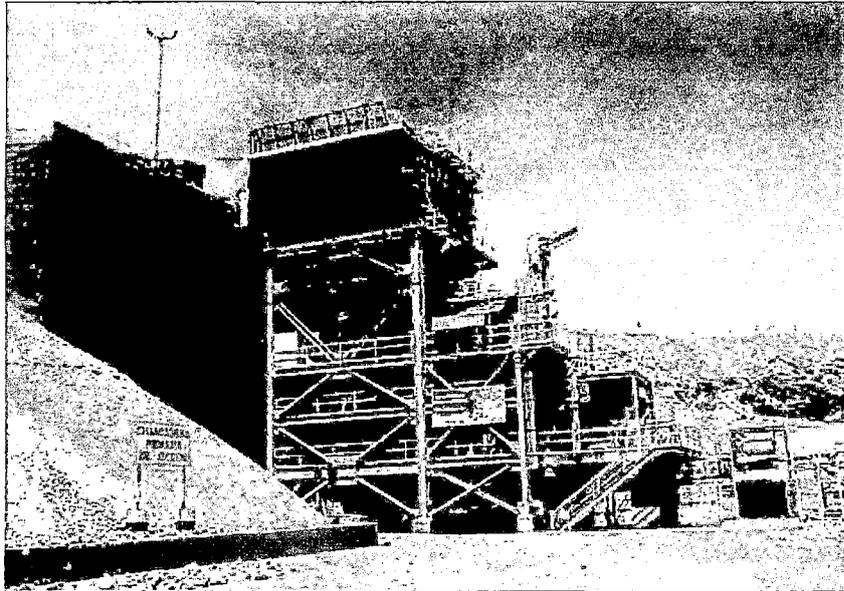
La empresa cuenta con un programa de seguridad y control de salud a cargo de cada gerencia para el bienestar de los trabajadores. Asimismo cuenta con la Certificación OHSAS 18001 de Seguridad y Salud Ocupacional.

La empresa cuenta con un sistema de regadío de lugares de tránsito en las instalaciones de la mina a fin de reducir la dispersión de material particulado en ambientes de trabajo.

*el*

**FIGURA N° 6.4**

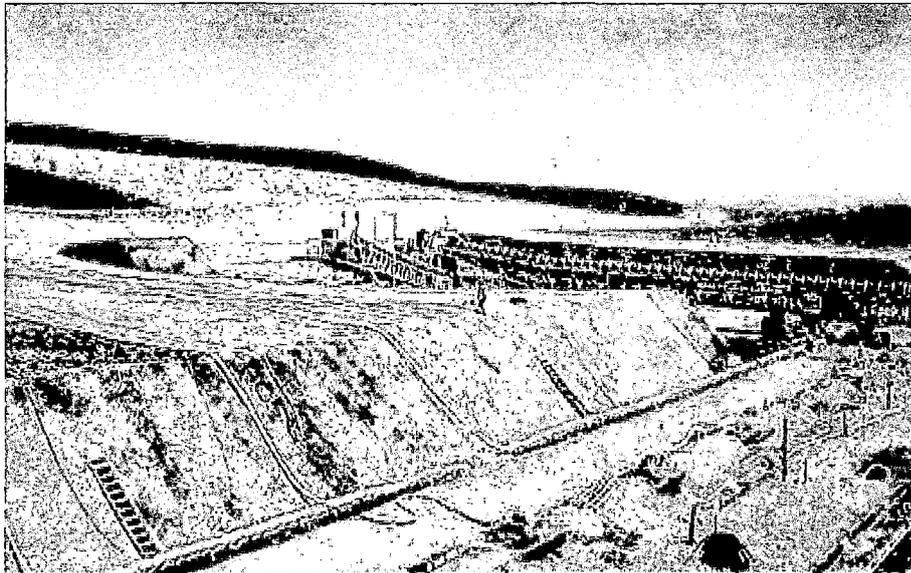
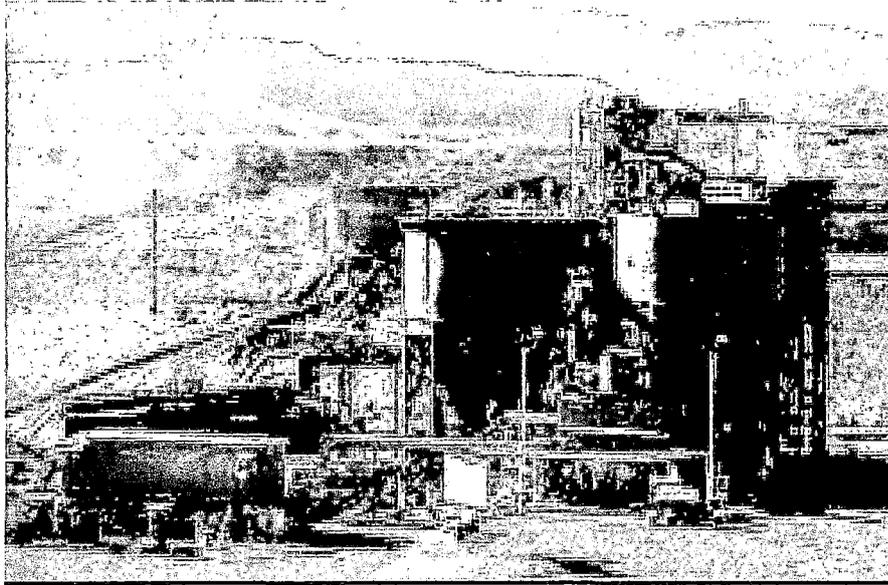
**CHANCADO PRIMARIO Y SECUNDARIO**



*el* Fuente: Xtrata Tintaya, Descripción general del proceso de la planta de óxidos, 2014.

**FIGURA N° 6.5**

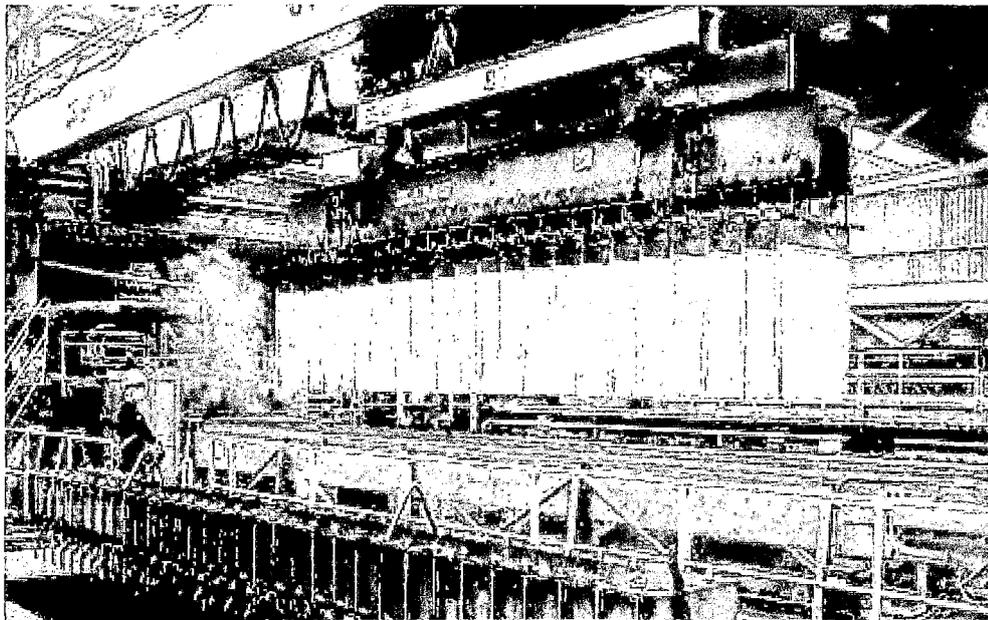
**LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN Y EN PILAS**



*el* Fuente: Xtrata Tintaya, Descripción general del proceso de la planta de óxidos, 2014.

**FIGURA N° 6.6**

**ELECTROOBTENCIÓN**



Fuente: Xtrata Tintaya, Descripción general del proceso de la planta de óxidos, 2014.

**Complejo minero de Hierro**

La empresa explota y procesa mineral de hierro de sus yacimientos ubicados al sur de Lima, obteniendo concentrados para sinterización, pellets para alto horno de siderúrgicas y pellets de bajo contenido de sílice para el proceso de reducción directa para mezclar con acero fragmentado reciclado.

Existe exposición de trabajadores a niveles de ruido en los ambientes de trabajo de perforación de los sistemas de tajo abierto, planta chancadora N° 2 de minerales de la mina, planta de chancado, planta de filtros, sala de bombas de vacío y hornos de quemado de pellets de la planta de beneficio.

*CP*

Se observa dispersión de polvos minerales en las etapas de perforación, carguío, transporte en el área de la mina y en la planta de chancado de la planta de beneficio.

La empresa cuenta con el Reglamento Interno de Seguridad, Comité de Seguridad e Higiene constituido por 17 miembros y Reglamento interno de Transportes.

La empresa cuenta con un depósito de relaves y con un proyecto de Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

La empresa cuenta con un sistema de regadío de lugares de tránsito en la mina a fin de disminuir la dispersión de polvos a ambientes de trabajo.

## **VII. DISCUSIÓN**

El desarrollo del proyecto de investigación “Riesgo de exposición al Sílice y prevención de la Silicosis en la Industria”, nos permite darnos una idea de la magnitud de los problemas de Seguridad y Salud Ocupacional que afectan a importantes sectores laborales.

En el Perú, debido a su condición de país con actividades productivas de alto riesgo, la silicosis es considerada como un problema de salud ocupacional, habiéndose realizado varios estudios para conocer la prevalencia e incidencia de la silicosis que no generó las necesarias intervenciones para su erradicación de esta enfermedad ocupacional que afecta la salud y la integridad física de los trabajadores causadas por las condiciones de trabajo.

Actualmente existe el Programa Global de Erradicación de la Silicosis en el mundo al año 2030, promocionado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

El Ministerio de Salud y de Trabajo del Perú, a través de una declaración conjunta, deben ratificar el compromiso de trabajar para

*el*

conseguir la erradicación de la silicosis como problema de salud ocupacional, definiendo desarrollar una estrategia y presentar un Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis que debe contener la matriz de exposición ocupacional a sílice a nivel nacional en las actividades económicas y fuentes de exposición.

El Instituto de Salud Ocupacional realizó un importante número de estudios entre los años 1940 y 1970 encontrando una prevalencia de 4.06%.

Actualmente la silicosis es la primera enfermedad ocupacional del país. La tasa de prevalencia de silicosis en la actualidad es de 3.9%, existiendo ciertas actividades donde el problema es de consideración. Las visitas de Reconocimiento realizadas, indican que la industria del vidrio, cemento y minería son consideradas como actividades con alto riesgo de exposición al sílice.

Actualmente en el Perú no existe una Institución acreditada para desarrollar aspectos de Salud Ocupacional, solo existe una Dirección de Salud Ocupacional en la DIGESA que es un Organismo técnico normativo, por otro lado existe el Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (CENSOPAS) que se dedica a realizar investigaciones y dar recomendaciones para la prevención de enfermedades originadas por actividades laborales. El estado de la Salud Ocupacional en el Perú es insatisfactorio, pues los indicadores: índice de frecuencia de accidentes y tasa de prevalencia de enfermedades ocupacionales, muestran que la magnitud del problema es considerable, hay insuficiente cobertura del Ministerio de Salud y de Trabajo en la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales.



**Ninguna nación puede alcanzar su desarrollo económico sin una fuerza laboral fuerte y sana, que esté adecuadamente protegida de los riesgos que amenazan a su vida y su salud.**

Es necesario establecer la política de Salud Ocupacional, reduciendo las competencias que se encuentran dispersas en diferentes instituciones, con estrategias para la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales, bajo una sola política y evitar el caos en la gestión.

Muchos accidentes, enfermedades y muertes podrían prevenirse con medidas de gestión adecuadas para garantizar una mejora continua. Actualmente se busca un trabajo decente y ambientes saludables de trabajo.

Propuesta de medidas de control para las actividades consideradas con alto riesgo de exposición a sílice:

#### **1. Industria del Vidrio**

En una industria ampliamente extendida y variada, los riesgos difieren en tipo e intensidad. Los riesgos predominan en industrias de vidrio que aún utilizan métodos de producción semiautomáticas.

#### **Medidas Preventivas**

##### **a) Prevención de Accidentes**

El orden y limpieza son de mayor importancia en la prevención de lesiones por rotura de vidrios que se encuentran en mesas, estantes o que permanecen en el suelo. Es muy importante implementar un sistema de seguridad y salud en el trabajo. La mecanización y automatización disminuye los riesgos.

Los uniformes de trabajo personales pueden evitar muchas lesiones en el manejo del vidrio. Es esencial una protección eficaz de los ojos donde existe el riesgo de exposición a vidrios.

*JP*

**b) Control de polvo y gases**

Es necesario una ventilación de evacuación donde se producen polvos tóxicos, gases o vapores. El polvo de sílice puede manejarse en un sistema cerrado. La entrega de materias primas en camiones, vaciado en una tolva, mezclado y transferido por métodos cerrados, eliminan los riesgos de polvo en el manejo manual.

Para revestimiento de refractarios durante la reparación, es necesario el uso de respiradores adecuados. Los hornos calientes, expulsan el polvo y gases fuera de los ambientes de trabajo. Los encargados de mantenimiento en la parte superior de los hornos, deben utilizar respiradores para gases de anhídrido sulfuroso.

**c) Calor**

El riesgo de las enfermedades por calor se reduce por la aclimatación. Por medio de pantallas puede proporcionarse una protección contra la energía radiante.

**d) Vigilancia médica**

Los que trabajan con óxido de plomo deben someterse a exámenes médicos periódicos según la exposición. Deben realizarse radiografías del tórax de trabajadores expuestos a polvo de sílice.



**FIGURA N° 6.7**

**MOLDEO AUTOMÁTICO**



Fuente: MINSA, Formato de Información y Control en Salud Ocupacional, 2013.

**2. Industria del cemento**

**Medidas de Salud y Seguridad**

Para la prevención de los riesgos del polvo en la industria del cemento es necesario el conocimiento de la composición, especialmente del contenido en sílice libre de todos los materiales utilizados. Es importante el conocimiento de la composición de los nuevos tipos de cemento desarrollados.

En las canteras, las excavadoras deben ser equipadas con cabinas cerradas y ventilación para asegurar un suministro de aire puro y se deben implementar medidas de control de polvo durante la explotación.

*el*

La posibilidad de intoxicación debida al monóxido de carbono y gases nitrosos desprendidos durante las voladuras puede evitarse manteniendo a los trabajadores a una distancia adecuada hasta que los humos hayan desaparecido.

Todas las operaciones que implican polvo en las fábricas de cemento deben ser equipados por sistemas de ventilación adecuados y las fajas transportadoras de cemento o materias primas deben ser encerradas, se requiere una buena ventilación en la plataforma de enfriamiento del Clinker y en el área de envasado de cemento.

Para el control de polvo en el pre-calentador, se debe instalar filtros electrostáticos a fin de evitar la dispersión de material particulado y evitar la contaminación del aire. Los gases acompañados de polvo son filtrados por un sistema electrostático que para recuperar estos polvos se hace con el filtro eléctrico que tienen cargas que atraen a las partículas y se almacenan en la cámara de electrofiltros. Las placas se encuentran con signo negativo para atraer las partículas y para rechazar y que se vayan a las paredes de la cámara; hay un cambio inmediato de la carga negativa a positivo. Luego los polvos recuperados se llevan a los silos.

Los puestos de trabajo con calor excesivo deben equiparse con duchas de agua fría y pantallas térmicas adecuadas. Las reparaciones de hornos se debe realizar con el horno enfriado. Los trabajadores deben mantenerse bajo supervisión médica, para controlar sus funciones cardiaca, respiratoria y evitar el shock térmico.



Las medidas de prevención de enfermedades de la piel deben incluir la provisión de duchas. En caso de eczema puede ser aplicado un tratamiento de desensibilización, retirando a los trabajadores de la exposición del cemento durante tres-seis meses.

El co-procesamiento de residuos:

Co-procesamiento: integración ambientalmente segura de los residuos generados por una industria o fuente conocida, a otro proceso productivo.

A través del co-procesamiento se aprovecha la energía de algunos residuos, dándoles un valor productivo.

Proceso de elaboración del cemento es idóneo para realizar el co-procesamiento controlado y ambientalmente seguro.

Co-procesamiento en hornos cementeros:

Altas temperaturas de sus hornos (Hasta 2000°C)

Altos tiempos de residencia de los gases dentro del horno (3 segundos a más de 1200°C).

Alta turbulencia: garantía de buena combustión.

Doble valorización: destrucción de compuestos orgánicos e incorporación de las cenizas al producto final.

Residuos co-procesables:

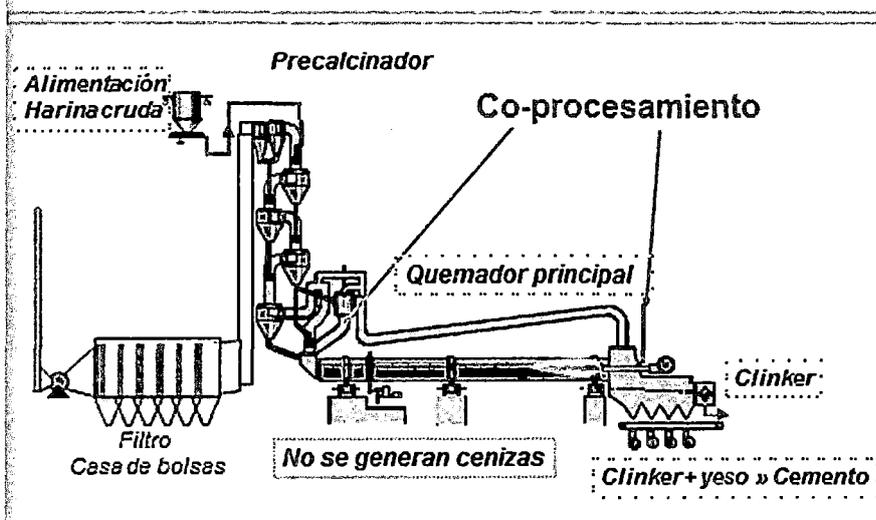
Llantas, aceites, solventes, pinturas, lodos de refinería, recortes de perforación, fondos de destilación, sólidos impregnados, tierras contaminadas, catalizadores gastados.

*el*

FIGURA N° 6.8

## COPROCESAMIENTO EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

### Principales características



Fuente: Gustavo Solórzano Ochoa, INE-JICA-SER, 2004

### 3. Minería

**Producción.-** Los minerales se encuentran en formas muy distintas y combinados con otros minerales diferentes, hay cuatro tipos de presentación:

Minerales de rocas ígneas

Minerales en vetas o cavidades

Minerales de rocas sedimentarias

Minerales de rocas metamórficas.

**Métodos de extracción.-** La minería de los metales puede dividirse en minería subterránea y minería a tajo abierto. Las minas subterráneas se inicia perforando pozos verticales o

el

inclinados que permitan alcanzar el mineral desde la superficie. Por lo general, en una mina deberá existir dos accesos desde el punto de vista de la ventilación y de la seguridad.

El método normal de extracción de mineral en los principales países mineros, consiste en perforar y volar con explosivos, cargar el mineral y transportar por fajas o vagones sobre carriles. Esta técnica ha cambiado debido a la introducción de grandes máquinas de perforación, carga y transporte accionadas por motor diesel.

**Riesgos y su prevención.-** La minería es un oficio peligroso, los principios básicos para prevenir accidentes son:

- a) Los túneles deben ser amplios con anchura de paso adecuada.
- b) Las vías deberán ser rectas con una pendiente apropiada.
- c) Deberá realizarse una inspección y un mantenimiento sistemáticos de locomotoras, vagones, dispositivos de tracción, cables.
- d) Deberán establecer normas relativas al empleo de aparatos de control y dispositivos de emergencia y de seguridad.
- e) Disponer y mantener sistemas de señalización.
- f) En los puntos de carga deberá disponerse de un espacio adecuado.
- g) No estará permitido subirse en ningún medio de transporte de forma no autorizada.
- h) Disponer de alumbrado para los medios de transporte.

**Riesgos para la salud.-** Los principales riesgos para la salud en una mina están relacionados con la contaminación del aire, presencia de polvo, gases venenosos y otras impurezas suspendidas en el aire.

*el*

Los principales problemas para la salud son: el control del polvo durante la perforación, voladura con explosivos, carga y transporte, y en las máquinas de excavación continua y en las cortadoras-cargadoras; las medidas para controlar la emisión de humos y gases perjudiciales en las voladuras, la reducción de los gases nocivos en el escape de los motores diesel; y la mejora de la ventilación de los lugares de trabajo subterráneo para así favorecer la dilución y eliminación de polvo y de los gases nocivos.

Control del polvo.- El polvo es una de las impurezas más corrientes en el aire de una mina. El polvo de la roca pasa al aire durante las operaciones de perforación, voladura, carga, transporte. Para obtener una alta velocidad de perforación deberá retirarse el polvo lo más rápido, sin provocar la dispersión del polvo. Esto se consigue utilizando aire comprimido aspirado a través de filtros, o bien agua o una mezcla de agua y aire comprimido.

Una voladura da lugar a un amontonamiento de rocas conteniendo cantidad de polvo. Para evitar que se disperse este polvo al cargar y transportar el mineral se pulveriza agua sobre el tajo, se humedecen los taladros de los barrenos o se inyecta agua perforando grandes orificios a fin de reducir la concentración de polvo durante la carga y el transporte en un 50 o 60%.

Durante el rozado de las paredes que quedan después de una voladura, se pulveriza agua hacia las puntas del martillo y sobre los fragmentos de roca o mineral desprendidos.

El requisito previo necesario para el estudio de la posibilidad de reducir o eliminar por medios técnicos el peligro para la salud ocasionado por los polvos que producen silicosis, es el conocimiento de los factores que determinan este peligro. Hay



cuatro factores que determinan el riesgo de padecer neumoconiosis:

**Concentración del polvo, el tamaño de las partículas, las propiedades del polvo y la duración de la exposición.**

Un médico del trabajo que desee valorar puestos de trabajo y zonas de riesgo, al medir las características del polvo deberá determinar los factores de concentración, tamaño de partículas y propiedades, para poder decidir si los trabajadores pueden o no quedar expuestos en esos lugares sin limitación de tiempo.

#### **Polvo respirable**

La silicosis es un proceso patógeno provocado al depositarse las partículas de polvo en los alveolos pulmonares. Por consiguiente, al evaluar presencia de polvo, hay que considerar la parte del polvo contenido en el aire que tenga un tamaño como para poder ingresar hasta los alveolos pulmonares.

Al fijar los valores límite para polvos que producen silicosis, es necesario indicar polvo respirable a la que se refiere el valor límite.

#### **Medidas generales para limitar el riesgo.**

El conocimiento de los cuatro factores muestra la forma que puede evitarse la neumoconiosis por medio de unas adecuadas medidas técnicas de higiene y por medio de una adecuada organización del trabajo.

#### **Factor tiempo**

La duración de la exposición puede controlarse con medidas de organización del trabajo enfocadas hacia un trabajador o hacia el proceso industrial.

*el*

Medidas que afectan al trabajador.- dependen de la cantidad de polvo inhalado durante un periodo de tiempo largo. Esto significa que los periodos de alta exposición al polvo pueden compensarse con periodos de baja exposición y que el peligro queda eliminado cuando la cantidad media de polvo inhalado durante un determinado periodo de estimación no supera un cierto límite. Los trabajadores empleados en un proceso con niveles altos e inevitables de polvo deberán ser transferidos a otros trabajos después de transcurrido un cierto tiempo. Para compensar el riesgo, los operarios deberán trabajar por un periodo más largo en un trabajo que les exponga a concentraciones de polvo muy bajas.

Medidas que afectan al proceso.- Las medidas de control tomadas para controlar procesos técnicos actuando sobre la organización tienen por objeto la planificación de las operaciones que presentan altas concentraciones de polvo, de forma tal que no haya ningún trabajador expuesto a estas concentraciones de polvo o haya pocas personas expuestas. Solamente deberán hacerse voladuras al final del turno de trabajo, cuando los equipos de trabajo pueden desplazarse hacia la zona de entrada de aire o cuando los mineros están saliendo, evitando que el personal del siguiente turno llegue al lugar de trabajo antes de que se diluyan los humos de la explosión.

### **Control del contaminante polvo en minas y plantas concentradoras**

La neumoconiosis es una enfermedad de los pulmones producida por la inhalación de partículas de polvo. Si esas partículas contienen sílice libre ( $\text{SiO}_2$ ) pueden producir silicosis, que es una enfermedad progresiva e incapacitante. Por ser la silicosis



adquirida en el trabajo, se considera como enfermedad ocupacional o profesional.

La silicosis no es una enfermedad reversible, es decir que una vez adquirida no se cura, el tejido lesionado no se restituye.

La silicosis es evitable, mediante la adopción de métodos y técnicas especiales para el control del polvo generado en las diferentes operaciones y procesos industriales.

Los objetivos de la Higiene Industrial son: el reconocimiento, la evaluación y el control de los agentes ambientales que pueden afectar la salud, el bienestar y la integridad física de los trabajadores. El reconocimiento permite establecer los agentes en el ambiente de trabajo; la evaluación determina el grado de exposición de los trabajadores; y el control significa la eliminación del agente o su reducción a un nivel que no constituya un riesgo para la salud.

Uno de los agentes ambientales en la industria minera, es el contaminante polvo, por ser causa de una de las enfermedades ocupacionales más serias, como es la silicosis.

### **3.1 El contaminante polvo en minas y plantas concentradoras**

Los polvos que se presentan en las diferentes operaciones de minado y beneficio de minerales, son partículas sólidas, finamente divididas, que se generan por acción mecánica en las operaciones de perforación, voladura, transporte, molienda clasificación y otras propias de la industria minera.



Desde el punto de vista de Higiene Industrial, los polvos se clasifican en los siguientes grupos:

- a) Polvos que producen fibrosis pulmonar, como los de sílice libre y asbesto.
- b) Polvos que producen pequeña o ninguna fibrosis pulmonar como los de carbón y hierro.
- c) Polvos tóxicos, aquellos que tiene efectos sistémicos sobre el organismo como los de plomo y manganeso.
- d) Polvos irritantes como los de cal.
- e) Polvos carcinógenos como los radioactivos.

La neumoconiosis significa retención de polvo en los pulmones.

La neumoconiosis puede clasificarse en:

Benigna, aquella que no produce fibrosis pulmonar ni incapacidad, a este grupo corresponden la siderosis, antracosis, estañosis, baritosis y talcosis, que resultan de la inhalación de polvos de hierro, carbón, estaño, baritina y talco, respectivamente. Específica, la que sí produce fibrosis pulmonar e incapacidad, en este grupo se consideran la silicosis y la asbestosis, producidas por la inhalación de polvos que contienen sílice libre y asbesto, respectivamente.

En el Perú la neumoconiosis más importante, por su alta frecuencia y carácter de enfermedad profesional incapacitante, es la silicosis.

La sílice libre, cuya fórmula es  $\text{SiO}_2$ , se presenta en la naturaleza bajo tres formas: cristalizada, criptocristalina y amorfa.

Entre las variedades cristalizadas tenemos el cuarzo, la tridimita y la cristobalita; son variedades criptocristalinas la calcedonia, ágata, jaspe, pedernal, crisoprasa. Ónix y chert; y amorfas: ópalo, hialita, geiserita, trípoli y tierra de diatomeas.

Comúnmente se designa como sílice libre al cuarzo, debido a que es el mineral más frecuente y el más conocido.

### **3.2 Fuentes de polvo en labores subterráneas**

Las principales fuentes de polvo en las labores subterráneas son:

- a) Perforación neumática en seco.
- b) Voladuras
- c) Remoción del material derribado por los disparos
- d) Carguío y descarga de carros metaleros
- e) Desatado del mineral o de rocas
- f) Enmaderado.

Entre estas fuentes, la perforación neumática en seco produce la mayor cantidad de polvo, ya que actúa como un mecanismo triturador que reduce la roca a polvo en el lugar donde se hace el impacto.

Las fuentes de polvo en las labores de subsuelo, indica que los métodos de control son el humedecimiento del mineral o de la roca y una adecuada ventilación. La acción combinada de los dos métodos, brinda resultados satisfactorios:

- a) Es posible controlar el polvo generado en las diferentes operaciones de minado, mediante la ventilación, siempre que se proporcione el aire necesario a los lugares de trabajo; esto implica ventilación mecánica para cada operación.
- b) La aplicación de la ventilación local en la perforación neumática en seco, reduce las concentraciones de polvo hasta niveles por debajo de las consideradas higiénicamente permisibles, siempre que el contenido de sílice libre del material, sea bajo o medio. Cuando el contenido de sílice libre es alto, o sea por encima de 50%, la ventilación no es

*cl*

- suficiente para reducir las concentraciones de polvo a un nivel seguro.
- c) La perforación en húmedo sin una adecuada ventilación, es un método de control efectivo sólo cuando el contenido de sílice libre del material es bajo (menor de 5%).
  - d) La perforación en húmedo complementada por una buena ventilación, natural o mecánica, ofrece mejores resultados en el control de polvo.
  - e) Los atomizadores o pulverizadores de agua a presión, correctamente empleados, pueden eliminar hasta más del del polvo generado por los disparos, dentro de 10 a 15 minutos de producidos.

Fuente: Escuela de Minas del Estado de Colorado, EE.UU.

### **3.3 Principios generales para el control de polvo en las operaciones de perforación.**

#### **Método húmedo**

El mejor método de control de polvo en las operaciones de perforación, es el húmedo complementado por una buena ventilación. El método húmedo en perforación significa la aplicación continua de agua limpia a través del orificio central del barreno, durante todo el tiempo que la máquina está en operación.

Para conseguir los mejores resultados, el volumen de agua empleada por máquina es de un galón de agua por minuto, y la presión óptima fluctúa alrededor de 30 libras por pulgada cuadrada. El volumen y presión del agua a emplearse en la perforación, sólo puede conseguirse a través de un sistema de tuberías que alcance a todos los lugares de trabajo.

*el*

En cuanto a los métodos de trabajo, la educación de los trabajadores sobre la importancia de los métodos de control de polvo, es de vital importancia.

También debe considerarse los siguientes factores: tipo de máquina perforadora, dureza del material, tiempo efectivo de perforación, inclinación del barreno y grado de control requerido.

### **Ventilación**

Es el suministro de aire, por medios naturales o mecánicos a un espacio dado. El objetivo principal de la ventilación minera es la distribución racional de las corrientes de aire puro a fin de: suministrar a los trabajadores aire limpio y fresco en cantidad suficiente para su respiración normal, reducir por dilución las concentraciones de los contaminantes del ambiente a niveles tolerables, y regular las condiciones termo-ambientales manteniendo en grado comfortable.

### **Velocidad del aire:**

En las labores subterráneas, en ningún caso la velocidad del aire será menor de 25 metros por minuto, ni superior a 250 metros por minuto. Cuando se emplee explosivo ANFO, la velocidad del aire no será menor de 30 metros por minuto.

### **Ventilación forzada:**

Se hace por medio de ventiladores que introducen aire fresco a través de mangas.

### **Circuitos de ventilación:**

En toda mina subterránea, las labores de entrada y salida de aire, deberán ser absolutamente independientes.

*el*

Las condiciones termo-ambientales, en los lugares de trabajo dependen de la temperatura, la humedad relativa y el movimiento de aire; la combinación de estos factores da como resultado la temperatura efectiva, la cual expresa el grado de confort del ambiente y, en un solo valor, señala los efectos de la temperatura, humedad y movimiento del aire en la sensación de calor o frío del cuerpo humano.

La temperatura efectiva óptima varía con las estaciones del año, indica las condiciones bajo las cuales el 50% o más, de la gente, se siente cómoda. La zona de confort para el verano se encuentra entre 19 y 24°C de temperatura efectiva, registrándose un máximo de 98% de personas expuestas, cómodas a una temperatura efectiva de 22°C. La zona de confort para el invierno queda comprendida entre 17 y 22°C con el 97% de personas expuestas que se sienten cómodas a una temperatura efectiva de 19°C.

### **3.4 Control de polvo en las operaciones de perforación**

#### **Perforación en frentes**

Aparte del método húmedo de control, la ventilación puede ser natural siempre que el frente no se encuentre a más de 5 metros de la chimenea de ventilación; cuando la distancia es mayor, debe emplearse ventilación mecánica auxiliar, ya sea por inyección, por aspiración o por los dos métodos combinados.

#### **Perforación en blocks de explotación (Stopes o Tajeos)**

Se debe considerar todo lo considerado para la perforación en frente y tener además en cuenta que en los tajeos, aparte del perforista y su ayudante, están presentes otros trabajadores como enmaderadores, lamperos, etc, cuya labor genera también concentraciones de polvo; debiéndose considerar el número de



trabajadores y la naturaleza del trabajo, asignándose a cada uno de ellos la cantidad de aire mínima establecida.

### **Perforación en piques y chimeneas**

El método húmedo en la perforación de piques permite un control efectivo del polvo debido a que el barreno se orienta perpendicularmente hacia abajo casi en forma permanente que provoca poca cantidad de polvo.

La perforación de chimeneas donde la máquina avanza en posición vertical hacia arriba, genera altas concentraciones de polvo, se puede considerar dos procedimientos: método húmedo complementado por ventilación auxiliar por aspiración o por inyección, empleo de ventilación exhaustiva local.

## **3.5 Control de polvo en otras operaciones**

### **En voladuras**

Los atomizadores de agua, pueden eliminar hasta 99% del polvo generado por las voladuras, en un tiempo menor que cuando se utiliza solo ventilación.

El principio de operación de los atomizadores, se basa en que las finas gotitas de agua producen la supresión del polvo, por el impacto que producen sobre las partículas, precipitándolas inmediatamente.

Los atomizadores pueden ser hidráulicos y neumáticos. Los primeros operan por descarga de agua, a alta presión, a través de un orificio fino; los segundos, por acción del aire comprimido sobre el agua.. Los neumáticos son más efectivos porque: producen gotitas más finas y más numerosas, permiten el control de la relación aire-agua (mayor volumen de aire, producen gotas más

*el*

finas y más numerosas); y el aire comprimido aumenta la ventilación y remueve las partículas no afectadas por el agua pulverizada.

**Normas de trabajo:**

Como normas de trabajo, para el control de polvos en voladuras se aconsejan las siguientes:

Efectuar el disparo sólo al final de turno, cuando el personal esté fuera de la mina o en un lugar libre de la acción de los gases productos del disparo.

Humedecer la zona donde va a efectuarse el disparo.

Instalar los atomizadores de acuerdo a la magnitud del disparo, dirigiendo la corriente hacia el lugar del disparo.

Los atomizadores deben funcionar antes, durante y 30 minutos después de los disparos.

En el caso de emplearse atomizadores hidráulicos en espacios confinados, debe disponerse de inyectoros de aire comprimido.

Impedir el ingreso del personal a los lugares del disparo hasta que las concentraciones de polvos y gases se hayan disipado a un grado seguro.

**En la remoción del material derribado por los disparos.**

Es una de las operaciones que originan las más altas concentraciones de polvo, después de las de perforación y disparos.

Los métodos de control de polvo en esta operación son el humedecimiento del material y una adecuada ventilación de acuerdo a las siguientes normas:

La primera tarea es humedecer mediante mangueras todo el material derribado, así como toda la superficie de labor, a fin de prevenir la dispersión del polvo en las operaciones subsiguientes

y reducir las concentraciones de ciertos gases, como los óxidos de Nitrógeno (producto de los disparos, tóxicos e irritantes del tracto respiratorio), solubles en el agua.

Durante la remoción, manual o mecánica, se debe mantener el material húmedo, suministrar ventilación mecánica auxiliar por inyección, aspiración o combinada.

### **En el carguío y descarga de carros metaleros**

Cuando el carguío de los carros metaleros se realiza en la proximidad del frente de una galería, socavón o crucero, pueden aplicarse las medidas de control indicadas para la remoción del material derribado por los disparos.

Cuando el carguío de los carros se realiza a través de un chute (buzón) y el material es seco, debe procederse al control de polvo mediante atomizadores hidráulicos.

El mejor método es el control de polvo en las operaciones previas; la aplicación de los métodos húmedos en el disparo y remoción del material.

### **En el desatado de mineral o de rocas**

En el control de polvo se reduce al humedecimiento, mediante una manguera, de la superficie en donde se va a efectuar la operación, debiendo mantenerse, además, las mismas condiciones de ventilación recomendadas para las operaciones anteriores.

### **En el enmaderado**

El problema más serio se presenta durante el empatillado para la instalación de puntales o en el encribado de los piques y chimeneas. En todos los casos se debe humedecer la superficie del lugar de trabajo.

### **Calidad del aire de ventilación para labores subterráneas**

El aire puro que ingresa a una mina sufre una contaminación por la presencia o generación de ciertos gases y polvos, debido al desarrollo normal del trabajo o como resultado de la respiración de los hombres, así como por las emanaciones propias del yacimiento. La contaminación por polvo depende directamente de los métodos de control empleados.

Es necesario proceder a la limpieza del aire en diferentes lugares del circuito de ventilación. El procedimiento más empleado es el de cortinas de agua, que consiste en una serie de atomizadores hidráulicos que se instalan en las galerías. También se emplea simples duchas, lluvias o chorros de agua.

### **3.6 Fuentes de polvo en las plantas concentradoras.**

Las principales operaciones que comprende son: chancado, molienda, clasificación y concentración.

La parte valiosa indica una trituración o molienda del material, es la sección más expuesta al contaminante polvo. Cuando la operación se lleva a cabo en seco, como el tamizado o cribado, origina altas concentraciones de polvo, cuando la clasificación es hidráulica, no hay generación de este contaminante. Luego es sometido a las operaciones de concentración para la cual se aprovecha las diferencias que existen entre las propiedades físicas y físico-químicas de los minerales y las gangas. Los principales métodos de concentración son: flotación, gravimetría, inmersión en medios densificados y magnéticos. Las operaciones de concentración no son polvorizadas por efectuarse en húmedo; aunque durante el ensacado y despacho de los concentrados, puede existir generación de polvo.



Las operaciones de molienda y clasificación en seco son las que generan polvo en una planta concentradora, existen otras operaciones auxiliares como el transporte de mineral, almacenamiento en tolvas y sistemas de alimentación que también son fuentes de polvo.

La recepción del mineral proveniente de la mina se realiza en la tolva de gruesos. En este punto, los trabajadores expuestos a polvos son los encargados de romper los trozos de mineral que por sus grandes dimensiones no pueden pasar a través de la parrilla, cuando los operarios ingresan a la tolva, con el fin de hacer correr el mineral, la exposición es considerable.

El mineral alimentado, antes de ingresar a la chancadora, pasa por un sistema de clasificación de tamaños, constituido por una parrilla, con el fin de separar trozos que tengan un tamaño igual o menor. El cambio de nivel en el flujo de material entre la abertura de descarga de la tolva y la parrilla o entre la descarga del alimentador y la parrilla, ocasiona cuando el material es seco, concentraciones de polvo que pueden afectar al trabajador encargado del control de la abertura o del alimentador, así como al de la chancadora.

De la parrilla de clasificación, el mineral pasa a la chancadora primaria para su trituración; ésta es una de las operaciones que genera altas concentraciones de polvo, también se genera a raíz de la descarga del material triturado, ocasionado por la caída del material sobre la faja transportadora. El mineral es conducido por la faja transportadora y descargado en una criba vibradora para ingresar al molino de bolas, depositándose en la tolva de finos. Los trozos mayores descargan a otra faja que los transporta a la chancadora secundaria. Las fuentes de polvo en esta etapa

*el*

corresponden a la descarga de la faja a la criba (caída del mineral), al tamizado y a la descarga de la criba a la segunda faja. Las concentraciones de polvo dependen de la sequedad del mineral.

El material depositado en la tolva de finos, pasa al molino de bolas para su molienda fina o pulverización. Por efectuarse esta etapa de reducción de tamaños, en húmedo, no constituye una fuente de polvo.

### **Factores que influyen en la exposición a polvo**

Los factores que influyen en la exposición de los trabajadores al contaminante polvo son las características de las instalaciones, la maquinaria empleada, las propiedades físicas y mineralógicas del material a tratarse y el orden y limpieza del local.

El local es diseñado y construido de acuerdo con las principales operaciones de la planta y con la topografía del terreno, se descuida las condiciones de ventilación e iluminación naturales y se ignora todos los métodos o sistemas de control de polvo. Otra falla frecuente es que la sección de molienda primaria se encuentra en la misma sala con la de la molienda secundaria; esto hace que dos fuentes de polvo se encuentren en un solo compartimiento, con consiguiente contaminación del ambiente.

Es frecuente encontrar dos chancadoras primarias de trabajo simultáneo, así como más de una secundaria.

Las propiedades físicas y mineralógicas del material a tratarse, se relacionan con el grado de humedad del mineral con su resistencia al chancado y con el contenido de sílice libre.

*el*

La resistencia del material al quebrantamiento influye, debido a que el rendimiento de las máquinas disminuye con este factor, para compensar, se disminuye la escala de reducción y se añade otra unidad; en ambos casos ya sea aumentando el tiempo de trabajo o añadiendo otra máquina al circuito de molienda, se está en el primero por el mayor tiempo y en el segundo por añadir otra fuente de contaminación.

El contenido de sílice libre, el agente etiológico de la silicosis, indica la peligrosidad del polvo, y por tanto, es la que indica el grado de control requerido.

El orden, limpieza y mantenimiento de las plantas concentradoras, inciden directamente en la exposición a polvo. El desorden en la planta, aparte de constituir un riesgo de accidentes, contribuye a la exposición a polvo.

La buena conservación y mantenimiento de la planta, maquinaria y equipo, son parte esencial de un programa de supresión de polvo.

### **3.7 Control de polvo en plantas concentradoras**

Puede efectuarse por los siguientes métodos:

#### **Segregación**

Este método de control es uno de los conocidos y empleados en Higiene Industrial para el polvo y también para otros contaminantes del ambiente industrial. Consiste en aislar o segregar en compartimientos especiales aquellas operaciones que por su naturaleza sean fuentes de contaminación de polvo, con el fin de prevenir su dispersión en el ambiente de toda la planta y afectar a trabajadores encargadas encargados de otras actividades. Las operaciones que deben ser segregadas en una

*el*

planta concentradora son las de molienda primaria y secundaria, es muy difícil de aplicar en las plantas concentradoras, debido a que supone la ausencia de personal en el compartimiento segregado. Puede aplicarse en grandes instalaciones donde la sección de chancadora primaria está aislada.

### **Encerramiento**

El encerramiento de ciertas operaciones polvorizadas es un método efectivo, no es un método eficiente, requiere de otros, como el de los atomizadores de agua o de la ventilación exhaustiva local. Las operaciones de chancado, clasificación, transporte y cambios de nivel en el flujo de los materiales, pueden ser encerradas, impidiendo el escape de las partículas de polvo. Requiere de otro método como el de los atomizadores de agua o de la ventilación exhaustiva local, para controlar el polvo dentro del encerramiento y en los espacios abiertos de carga o descarga. El encerramiento es de mucha importancia y utilidad, y constituye un requisito indispensable para la aplicación de otros métodos. Los materiales empleados para los encerramientos pueden ser: madera, planchas de calamina, fibrocemento, lona, etc. El encerramiento depende de las características de la operación, así como de la maquinaria y equipo.

### **Atomizadores de agua**

La aplicación de los atomizadores en las operaciones de molienda, fue el resultado de éxito alcanzado en los trabajos de subsuelo, sobre todo como un sustituto de los sistemas de ventilación exhaustiva local cuyo alto costo de instalación, operación y mantenimiento constituyen su desventaja en relación con los atomizadores.

*el*

Intervienen factores generales y específicos que afectan el rendimiento de estos dispositivos.

Entre los factores generales se tiene: el encerramiento, posición del atomizador, dirección de la neblina y número de atomizadores. En cuanto a los factores específicos, están relacionados con el tipo de operación a controlar, la maquinaria que interviene, los métodos de trabajo.

Para lograr un trabajo eficiente de los atomizadores en plantas concentradoras se recomienda lo siguiente:

Seleccionar atomizadores hidráulicos, con una abertura de descarga comprendida entre 0.5 y 1.0 mm.

Mantener la presión del agua entre 40 y 80 libras por pulgada cuadrada.

El agua debe ser limpia, libre de partículas sólidas, para evitar obstrucciones en la boquilla del atomizador.

Efectuar el encerramiento de las operaciones que son fuentes de polvo.

La posición del atomizador debe establecerse a unos dos o tres pies de la fuente de contaminación a fin de que la neblina de agua pueda expandirse y cubrir la zona de origen.

El atomizador debe orientarse siempre en sentido contrario a la dirección del flujo de los contaminantes, a fin de que la neblina actúe como una cortina de agua que impida su dispersión.

El número de atomizadores a emplearse depende del área a controlar y de las características del encerramiento.

Efectuar controles de la concentración de polvo en el ambiente de la planta, para verificar la eficiencia.

*el*

### **Ventilación exhaustiva local**

Este método consiste en prevenir el escape de los contaminantes de su punto de origen, mediante la formación de una barrera aerodinámica que provoca la aspiración de éstos hacia una campana de succión, para luego pasar por: un sistema de tuberías, un elemento colector, un ventilador, que crea la presión negativa; y finalmente descargar fuera del ambiente de la planta. Es un procedimiento contrario a la ventilación general o de dilución y es considerado como el método más efectivo de control, siendo alto el costo de instalación, operación y mantenimiento.

Campana de succión.- crea una barrera aerodinámica que transporta hacia el sistema el polvo u otros contaminantes, impidiendo que escapen a las áreas vecinas.

Sistema de tuberías.- El objetivo es comunicar las diferentes campana de succión o encerramiento, a un elemento colector de polvo para luego pasar al ventilador y descargar el aire fuera del ambiente de la planta. Debe estar construido de planchas de acero galvanizado.

Colectores de polvo.- Sirven para recuperar las sustancias valiosas y prevenir su recirculación en los ambientes de trabajo o la contaminación de las áreas vecinas que ocasionan molestias o riesgos para la salud, los que más se usan son los de filtro de tela y los húmedos.

Colectores de tela.- Los más usados en plantas concentradoras son los de algodón, ya sean lisos o corrugados, se tiene dos tipos, los tubulares conocidos como bolsas (bags) y los de sobre en los

*el*

que la tela se acondiciona sobre sobre un soporte de malla de alambre con sus marcos.

Colectores de tela.- Son más indicados para trabajar a altas temperaturas por tener la ventaja de entregar el polvo colectado en estado húmedo.

### **3.8 Respiradores para polvo**

Los trabajadores pueden estar expuestos a concentraciones peligrosas de polvo, requiriendo de dispositivos personales para su protección. Los respiradores son equipos muy necesarios para ser usados como protección complementaria cuando los métodos generales no son suficientes para controlar la contaminación. Los respiradores deben usarse únicamente cuando la aplicación de todos los otros medios de control de polvo no sean prácticos.

Los respiradores son aparatos filtrantes que sirven para remover las partículas de polvo del aire aspirado. Generalmente protegen la boca y nariz, puede adaptarse anteojos para proteger la vista. El material usado en su fabricación es caucho, aluminio o plástico, cubriendo su perímetro con material esponjoso, forrado con paño. El filtro puede ser de papel, lana, algodón o cualquier medio filtrante y debe ser renovable.

Respiradores contra polvos que producen neumoconiosis.- han sido aprobados únicamente para la protección contra la inhalación de polvos que producen neumoconiosis, tales como los de sílice libre, asbesto y para los polvos que constituyen una molestia, tales como los de aluminio, celulosa, cemento, carbón vegetal, hulla, coque, harina, yeso, mineral de hierro, caliza y madera.

*el*

FIGURA N° 6.9

MINERÍA SUBTERRÁNEA



*ril* Fuente: MINSA, Formato de Información y Control en Salud Ocupacional, 2013.

## CONCLUSIONES

- a) La Sílice es un material que se encuentra en los minerales. Es el componente principal de la arena que interviene en la formación de casi todas las rocas. El 60% de las rocas y minerales que forman la superficie de la tierra contiene sílice ( $\text{SiO}_2$ ).
- b) La Sílice libre es la que no está combinada con ningún otro elemento. El Cuarzo es un ejemplo de Sílice libre que cristaliza en el sistema hexagonal.
- c) La inhalación de polvo con contenido de sílice libre cristalizada en fracción respirable da lugar a la enfermedad ocupacional irreversible Silicosis que es la forma más importante de neumoconiosis.

### Tipos de Silicosis:

- 1. Silicosis crónica: ocurre después de 10 años de exposición
  - 2. Silicosis acelerada: por exposición a altas concentraciones de sílice y se desarrolla entre 5 a 10 años de exposición.
  - 3. Silicosis aguda: producto de exposiciones muy altas y puede causar el desarrollo de síntomas entre algunas semanas y 5 años.
- d) La sílice se utiliza en las actividades de minería, tratamiento de minerales, limpieza por arenado, industria del cemento, fabricación de asfalto, cerámica, limpieza abrasiva, demolición, industria del vidrio, molienda de cuarzo, moldes de fundición, fabricación de prótesis dentales, pulido de superficies metálicas y construcción.
  - e) Las ocupaciones con riesgo potencial de exposición a sílice son: albañil, operador de maquinaria pesada, operador de máquinas de chancado de minerales, trabajos de pulido, operador de maquinaria minera, perforador de rocas, arenador, laboratorista dental.

*El*

- f) Actualmente en el Perú, la exposición potencial al sílice está relacionada con la industria del vidrio, fábricas de cemento y minero metalúrgico, y hay la necesidad de realizar la gestión con eficiencia mediante la implementación de medidas de control a fin de reducir o eliminar la exposición para prevenir la enfermedad ocupacional silicosis.
- g) La silicosis es una enfermedad profesional que afecta a los trabajadores, que se produce por inhalación de polvo con contenido de sílice libre cristalizada en fracción respirable. Esta enfermedad es inhabilitante progresiva e irreversible que puede causar invalidez física y la muerte. Para enfrentar esta situación se debe hacer la identificación, evaluación y control de la exposición a esta sustancia.
- h) La evaluación cuantitativa es la mejor metodología, sin embargo los requerimientos técnicos, la especialización, el tiempo que involucra aplicarla y el costo no permite lograr cobertura. Se ha desarrollado una metodología cualitativa para evaluar exposición a sílice y puede ser utilizada por los sectores involucrados en la erradicación de la silicosis. Esta metodología se denomina ECRES (Evaluación Cualitativa del Riesgo de Exposición a Sílice) - Control Banding y puede complementarse con la evaluación cuantitativa.



## RECOMENDACIONES

- a) Identificar ambientes de trabajo con riesgo de exposición a polvo de sílice libre a fin de lograr ambientes saludables de trabajo, teniendo en cuenta las enfermedades ocupacionales, muertes que produce y los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.
- b) El Ministerio de Salud y de Trabajo deben elaborar la matriz de exposición ocupacional a sílice mediante visitas de reconocimiento y evaluación a nivel local y regional en actividades económicas y fuentes de exposición potencial: explotación de minas y canteras, construcción, industria del vidrio, elaboración de cerámica, industria básica de hierro y acero, fabricación de productos metálicos, fabricación de instrumentos ópticos, fabricación de vehículos automotores y remolques, construcción y reparación de buques, fabricación de locomotoras, fabricación de joyas y agricultura.
- c) Implementar métodos de control de Ingeniería: sustituir los materiales que contienen sílice con otros de menor toxicidad cuando sea posible, métodos de trabajo húmedo, encerramiento de trabajos con riesgo de exposición, instalar sistemas de contención de polvo, mejorar orden y limpieza.
- d) Implementar sistemas de ventilación para mantener los ambientes de trabajo libres de polvo.
- e) Usar correctamente los respiradores certificados N95 NIOSH, de protección personal cuando sea necesario.
- f) Evaluar periódicamente los ambientes de trabajo a fin de determinar las concentraciones ambientales de sílice cristalina y comparar los resultados con los Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo: D.S. N° 015-2005-SA.
- g) Implementar programas de vigilancia médica para los trabajadores expuestos a sílice cristalina.



- h) Mantener buenas prácticas de higiene personal. El uniforme de trabajo debe ser cambiado diariamente y lavado antes de volver a usar. Estará prohibido llevar la ropa de trabajo a su domicilio para su lavado, la empresa debe responsabilizarse del lavado.
- i) Informar a los trabajadores sobre los riesgos de la sílice cristalina y la manera correcta de desarrollar sus labores.
- j) Promover y proteger la salud de los trabajadores de acuerdo a la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo mediante la prevención de enfermedades y accidentes ocupacionales.
- k) Las empresas deben implementar los registros obligatorios del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo de acuerdo al artículo 33° del Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, aprobado mediante Decreto Supremo N° 005-2012-TR que comprende:
  - a) Registro de accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales, incidentes peligrosos y otros incidentes, en el que deben constar la investigación y las medidas correctivas.
  - b) Registro de exámenes médicos ocupacionales.
  - c) Registro de monitoreo de agentes físicos, químicos, biológicos, psicosociales y factores de riesgo disergonómicos.
  - d) Registro de inspecciones internas de seguridad y salud en el trabajo
  - e) Registro de estadísticas de seguridad y salud
  - f) Registro de equipos de seguridad o emergencia.
  - g) Registro de inducción, capacitación, entrenamiento y simulacros de emergencia.
  - h) Registro de auditorías.
- l) Las empresas deben implementar el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo de acuerdo a la Resolución Ministerial N° 050-2013-TR, con las siguientes partes:



1. Lista de verificación de lineamientos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.
  2. Plan y programa anual de Seguridad y Salud en el Trabajo.
  3. Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos Laborales.
  4. Mapa de Riesgos
  5. Auditoría del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo
- m) Implementar las medidas de control establecidas en el proyecto de investigación siguiendo criterios de orden preventivo y correctivo para el manejo seguro de materiales que contienen sílice que permita reducir los riesgos asociados al uso y emisiones del sílice a fin de prevenir accidentes y enfermedades ocupacionales ocasionados por exposición al sílice en ambientes de trabajo de la industria del vidrio, cemento y minería donde se utilizan materiales con sílice en grandes cantidades.
- n) El método ECRES consta de una ficha de diagnóstico y de varias fichas de control. La primera ficha permite establecer el nivel de riesgo en que se encuentra una empresa y la urgencia con que se deben realizar acciones correctivas. Las segundas fichas presentan variadas formas de controlar los riesgos identificados.

Es recomendable conocer el diagrama de flujo del proceso a evaluar y efectuar una visita de reconocimiento a las instalaciones de la empresa.

Leer la ficha de diagnóstico y alcances de los diferentes ítems a evaluar, algunos ítems deben ser verificados a través de documentos. Marcar una sola opción de acuerdo a las categorías del riesgo.

Traspasar los puntajes a la hoja de puntaje de ficha de diagnóstico y establecer el puntaje final, y definir el nivel de riesgo de la empresa y las medidas de control a adoptar que están en las fichas de control.

### **Puntaje de diagnóstico, nivel de riesgo y acción a realizar**

| Puntaje de Diagnóstico | Nivel de Riesgo | Acción a Realizar            |
|------------------------|-----------------|------------------------------|
| 23.0-20.0              | 4               | Correcciones Inmediatas      |
| 19.9-15.0              | 3               | Correcciones a corto plazo   |
| 14.9-9.0               | 2               | Correcciones a Mediano Plazo |
| 8.9-0.1                | 1               | Correcciones Menores         |

- o) El Perú debe formular el Plan Nacional para la prevención y erradicación de silicosis a través de una declaración conjunta de los Ministerios de Salud y del Trabajo en el Marco del Programa global de erradicación de la silicosis en el mundo al año 2030, promocionado por la OMS y la OIT.

### **VIII. REFERENCIALES**

1. BÉLGICA BERNALESC., NELLA MARCHETTI P., HECTOR JARAMILLO. **Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis.** Gobierno de Chile, Ministerio de Salud. Andros Impresores. 2008.
- 2.
3. INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE. **Método ECRES-Evaluación Cualitativa del Riesgo de Exposición a Sílice.** Chile. Edición Juan Alcaíno Lara. 2009.

*el*

4. KENNET WARK, CECIL F. WARNER. **Contaminación del Aire, Origen y Control.** México. Editorial Limusa. 2008
5. MACKENZIE L. DAVIS, SUSAN J. MASTEN. **Ingeniería y Ciencias Ambientales.** México. Editorial Mc Graw Hill. 2005
6. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. **Manual del Pequeño Minero.** Lima. Proyecto PEMIN. Tercera Edición. 2001.
7. MINISTERIO DE SALUD, DIGESA. **Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo.** Lima-Perú. 2005.
8. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **Salud y Seguridad de los Trabajadores del Sector Salud.** Washington D.C. 2005.
9. OROZCO BARRENETXEA CARMEN, ANTONIO PEREZ SERRANO, M<sup>a</sup> NIEVES GONZALES DELGADO, FRANCISCO J. RODRIGUEZ VIDAL, JOSÉ MARCOS ALFAYATE BLANCO. **Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química.** España. Editorial Thomson. 2005.
10. PARMEGGIANI, LUIGI. **Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.** Madrid. Edición Española. 1989.
11. US-AID. **Potencial Impacto Ambiental de las Industrias en el Ecuador. Exploración Preliminar y Soluciones.** Ecuador. Fundación Natura. 1991

ef

### Páginas Web consultadas.

1. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. **Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de lugares de trabajo.** Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Madrid-España. Disponible en: <http://www.mtas.es/insht/index.htm>. Artículo web. Consultada el 22 de Enero del 2015. [cnntinsh@mtas.es](mailto:cnntinsh@mtas.es)
  
2. NIOSH SAFETY AND HEALTH TOPIC. **Control Banding.** Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ctrlbanding/>. Artículo web. Consultada el 30 de Enero del 2015.
  
3. CENTRO PARA EL CONTROL Y PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES- INSTITUTO NACIONAL PARA LA SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL. **La Silicosis/Síntomas/Como prevenir la Silicosis.** Disponible en: [www.paritarios.cl/salud\\_ocupacional\\_silicosis.htm](http://www.paritarios.cl/salud_ocupacional_silicosis.htm). Artículo web. Consultada el 31 de Marzo del 2015.
  
4. SAFETY RESOURCE CENTER. **Como prevenir la Silicosis-California State.** Disponible en: [www.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArtcle.aspx](http://www.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArtcle.aspx). Artículo web. Consultada el 25 de Abril del 2015
  
5. OSHA. **Exposición a la Sílice cristalina.** Disponible en: [https://www.osha.gov/publications/osha\\_3178.pdf](https://www.osha.gov/publications/osha_3178.pdf). artículo web. Consultada el 27 de Abril del 2015.

*el*

**IX. APENDICE**

**CUADRO N° 9.1**

**RIESGOS OCUPACIONALES Y MEDIDAS DE CONTROL EN LA MINA  
DE COBRE EN FORMA DE SULFUROS Y ÓXIDOS**

| Ambiente De Trabajo  | N° de Trabajadores Por turno | Riesgos Ocupacionales |          | Medidas de Prevención y Control | Recomendaciones   |
|--|------------------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|---|
|  |                              | Físicos               | Químicos |                                 |   |
| Mina:  |                              |                       |          |                                 |   |
| Perforación  | 16                           | Ruido                 | Polvo    | Implementos de protección       | Mantener el nivel dentro de límites permisibles.        |
| Voladura   | 17                           | Ruido                 | Polvo    | Implementos de protección       | Mantener el nivel dentro de límites permisibles         |
| Carguío, acarreo   | 142                          |                       | Polvo    | Respirador                      | Humedecimiento  |
| Transporte   | 11                           |                       | Polvo    | Respirador                      | Humedecimiento  |
| Planta de óxidos:  |                              |                       |          |                                 |   |
| Chancado   | 2                            | Ruido                 | Polvo    | Implementos de protección       | Mantener el nivel dentro de límites permisibles         |
| Irrigación de fracción gruesa con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 10                           |                       | Vapores  | Implementos de protección       | Mantener la concentración dentro de límites permisibles |
| Lixiviación De finos   | 6                            |                       | Vapores  | Implementos de protección       | Mantener la concentración dentro de límites permisibles |
| Extracción por solventes   | 5                            |                       | Vapores  | Implementos de protección       | Mantener la concentración dentro de límites permisibles |
| Electroobtención   | 5                            |                       | Vapores  | Respirador                      | Mantener la concentración dentro de límites permisibles |

*ef*

| Ambiente De Trabajo     | N° de Trabajadores Por turno | Riesgos Ocupacionales |          | Medidas de Prevención y Control | Recomendaciones  |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|--|
|                         |                              | Físicos               | Químicos |                                 |  |
| Planta de Sulfuros:     |                              |                       |          |                                 |  |
| Chancado primario       | 2                            | Ruido                 | Polvo    | Implementos de protección       | Mantener los niveles dentro de límites permisibles                         |
| Chancado secundario     | 2                            | Ruido                 | Polvo    | Implementos de protección       | Mantener los niveles dentro de los límites                                 |
| Chancado terciario      | 2                            | Ruido                 | Polvo    | Implementos de protección       | Mantener los niveles dentro de los límites                                 |
| Molienda                | 10                           | Ruido                 |          | Implementos de protección       | Mantener los niveles dentro de los límites                                 |
| Flotación               | 5                            |                       | Vapores  | Respiradores                    | Mantener la concentración dentro de los límites                            |
| Filtración              | 5                            | Humedad               |          | Uniforme de trabajo             | Mantener la humedad relativa y Temperatura efectiva dentro de los límites  |
| Taller de mantenimiento | 162                          | Ruido                 |          | Implementos de protección       | Mantener el nivel dentro de los límites                                    |
| Presa de relaves        | 57                           | Humedad               |          | Uniformes de trabajo            | Mantener la humedad relativa y Temperatura efectiva dentro de los límites. |

*el*

Fuente: Ing. Oswaldo Camasi Pariona. Elaboración propia, 2015

## CUADRO N° 9.2

### PROPUESTA DE PLAN NACIONAL ESTRATÉGICO:

#### Áreas de acción, Objetivos y Metas.

| Áreas de Acción  | Objetivos y Metas   |
|--|---|
| 1. Exposición a sílice en ambientes de Trabajo                       | Reducir y controlar la exposición a sílice en ambientes de trabajo, implementando el control de la exposición a sílice en las empresas.   |
| 2. Diagnóstico y Evaluación de Silicosis                             | Desarrollar programas de capacitación en Medicina de trabajo para el diagnóstico de la silicosis.   |
| 3. Programa de Vigilancia y Control                                  | Desarrollar Programas de Vigilancia y Control de Riesgos en Ambientes de Trabajo a nivel local y regional.<br>Desarrollar Programas de Vigilancia de la Salud de los trabajadores.  |
| 4. Servicios médicos a los trabajadores con Silicosis y apoyo social | Implementar servicios de diagnóstico de los casos de Silicosis.<br>Implementar programa de evaluación médica de los trabajadores desprotegidos a través del Ministerio de Salud.<br>Desarrollar una guía de tratamiento médico para trabajadores con Silicosis.<br>Desarrollar un programa de apoyo social para los trabajadores afectados con Silicosis. |
| 5. Sistema Nacional de información para la Vigilancia y Control      | Implementar un sistema de información sobre riesgo de exposición a Sílice a través de los programas de Salud Ocupacional.   |
| 6. Estudios de Investigación   | Realizar el estudio del ambiente de trabajo para determinar el grado de exposición de los trabajadores a través de la Ingeniería.<br>Realizar estudios de Silicosis para determinar la prevalencia e incidencia de la Silicosis a través de Medicina de Trabajo.<br>Desarrollar investigación tecnológica para disminuir la exposición a Sílice.          |
| 7. Declaración Conjunta  | Los Ministerios de Salud y del Trabajo deben desarrollar, implementar y evaluar el Plan Nacional a través de un acuerdo conjunto para conseguir la erradicación de la Silicosis.  |
| 8. Capacitación  | Realizar Seminarios y capacitación permanente en Salud Ocupacional con cursos en prevención y control de la Silicosis a nivel nacional y regional   |

Fuente: Ing. Oswaldo Camasi Pariona, 2015

## XI. ANEXOS

### ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| Formulación del Problema  | Objetivos  | Hipótesis   | Variables  | Dimensiones  | Indicadores   |
|---|--|---|--|--|---|
| <p>Problema General<br/>¿Existe riesgo de exposición al Sílice en ambientes de trabajo?</p> <p>Problemas Específicos<br/>¿Existe problemas de seguridad y salud en el trabajo como las enfermedades profesionales, los accidentes de trabajo en el sector minero metalúrgico e industrial ocasionados por el Sílice?</p> <p>¿Existe riesgo de exposición potencial al Sílice en la industria del vidrio, cemento y minería y hay la necesidad de realizar la gestión del Sílice para prevenir la enfermedad ocupacional Silicosis irreversible?</p> | <p>Objetivo General<br/>Disminuir y controlar la exposición a sílice en ambientes de trabajo a fin de reducir la prevalencia e incidencia de la silicosis.</p> <p>Objetivos Específicos<br/>Implementar las medidas de control para el manejo seguro de materiales con contenido de sílice libre cristalizada en fracción respirable.</p> <p>Realizar Visitas de Estudio a las instalaciones de las actividades representativas donde se utilizan grandes cantidades de material con contenido de sílice.<br/>Determinar el grado de exposición de los trabajadores al Sílice.</p> <p>Promover la identificación y adecuado manejo de materiales con sílice a fin de lograr ambientes saludables de trabajo.</p> | <p>Hipótesis General<br/>Los trabajadores del sector minero metalúrgico e Industria, utilizan materiales con contenido de sílice en sus operaciones y procesos con exposición potencial de la salud a polvo de sílice que puede producir silicosis.</p> <p>Hipótesis Específicas<br/>Los trabajadores desconocen el manejo seguro de materiales con contenido de sílice.<br/>La industria del vidrio, cemento y minería son actividades con alto riesgo de exposición al sílice.<br/>El Reconocimiento permitirá eliminar o reducir riesgo de exposición para la salud de los trabajadores.</p> | <p>Variable independiente:<br/>Ambiente de trabajo que utilizan materiales con contenido de Sílice.</p> <p>Variable dependiente:<br/>Riesgo de exposición al Sílice.</p> | <p>Información</p> <p>Identificación de riesgos ocupacionales en ambientes de trabajo</p> <p>Industrias con exposición a sílice.</p> <p>Ocupaciones con exposición potencial a sílice</p> <p>Materiales que contienen sílice</p> | <p>Información sobre los riesgos ocupacionales: químicos, físicos.</p> <p>Visita de reconocimiento.<br/>Observación de condiciones de trabajo.<br/>Identificación de condiciones y actos inseguros.</p> <p>Fabricación de cemento, vidrio, asfalto, cerámicas, construcción, industria electrónica, minería, fundiciones, astilleros.</p> <p>Albañil, operador de maquinaria pesada, operador de máquinas de chancado de minerales, trabajos de pulido, operador de maquinaria minera, perforador de rocas, arenador, laboratorista dental.</p> <p>Arena, abrasivos, polvo de carbón, concreto, grafito natural, mica, minerales, pulidores, cuarzo, silicatos, tierra, desechos de construcción.</p> |

## ANEXO II: TIPOS DE VIDRIO

| Tipo de vidrio | Nombre                            | Características  |
|----------------|-----------------------------------|--|
| Comerciales    | Soda-Cal                          | Este tipo de vidrio es el más utilizado, pues sus propiedades lo hacen adecuado para su uso con luz visible. Los recipientes hechos de vidrios de soda - cal son virtualmente inertes, no contaminado la materia que contienen ni su sabor. Son poco resistentes al choque térmico.                                      |
|                | Plomo                             | Utiliza óxido de plomo en lugar de óxidos de calcio, y óxido de potasio en lugar del óxido de sodio, y se conoce comúnmente como cristal al plomo. Los vidrios al plomo tienen un alto índice de refracción y una superficie relativamente blanda, lo cual permite una fácil decoración por esmerilado, corte o tallado. |
|                | Borosilicato                      | Están compuestos principalmente de sílice (70-80%) y óxido bórico (7-13%) con pequeñas cantidades de álcalis (óxidos de sodio y potasio) y óxido de aluminio. Su principal característica es una buena resistencia a los choques térmicos.   |
| Especiales     | Sílice vítreo.                    | Son vidrios hechos casi exclusivamente de sílice. Son necesarias temperaturas de fusión sobre 1.500°C.   |
|                | Vidrios de aluminosilicato.       | Contienen cerca de un 20% de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), además de óxido de calcio, óxido de magnesio y óxido de boro en cantidades relativamente pequeñas.   |
|                | Vidrios de sílice álcali - bario. | Contiene una cantidad mínima de óxidos de plomo, bario o estroncio.  |
|                | Vidrios de borato.                | Contienen pequeñas cantidades o nada de sílice. Son usados para soldar vidrios, metales o cerámicas, a relativamente, bajas temperaturas.  |
|                | Vidrios de fosfato.               | Consisten principalmente en mezclas de pentóxido de vanadio ( $V_2O_5$ ) y pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ).  |

*el* Fuente: Norris Shreve, Chemical Process Industries, 1977

### ANEXO III: LA INDUSTRIA DEL CEMENTO EN EL PERÚ



*el*

Fuente: Ing. José Félix Valverde, El cemento en el Perú, 2015

### ANEXO N° IV: TIPOS DE CEMENTO

| Cemento Andino                          | Caliza Cemento Inca      | Cementos Lima   | Cemento Yura                   | Cemento Sur                                  | Cementos Selva                        | Cementos Pacasmayo                    |
|---|--------------------------|---|--------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Cemento Portland tipo I, II y V         | Cemento Portland tipo I  | Cemento Portland tipo I ,marca "Sol"                  | Cemento Portland tipo I, II, V | Cemento Portland tipo I, II, V, marca "Rumi" | Cemento Portland tipo I               | Cemento Portland tipo I, II y V       |
| Cemento Portland Puzolánico tipo I (PM) | Cemento Portland tipo II | Cemento Portland tipo I-BA                            | Cemento Portland Puzolánico IP | Cemento Portland Puzolánico tipo IP          | Cemento Portland tipo II y V          | Cemento Portland MS-ASTMC-1157        |
|   |                          | Cemento Portland tipo IP ,marca "Súper Cemento Atlas" |                                |  | Cemento Portland tipo IP              | Cemento Portland Compuesto Tipo I Co. |
|   |                          | Cemento Portland tipo II-BA                           |                                |  | Cemento Portland Compuesto Tipo I Co. |                                       |
|   |                          | Cemento Portland tipo V-BA                            |                                |  |                                       |                                       |



Fuente: Ing. José Félix Valverde, El cemento en el Perú, 2015

## ANEXO N° V: COMPOSICIÓN DE LOS TIPOS DE CEMENTO

| Cemento  | Composición de los compuestos (%) |                  |                  |                   |                   |           |     | pérdida en el encendido |
|----------|-----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----|-------------------------|
|          | C <sub>3</sub> S                  | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF | CaSO <sub>4</sub> | CaO libre | MgO |                         |
| Tipo I   | 59                                | 15               | 12               | 8                 | 2.9               | 0.8       | 2.4 | 1.2                     |
| Tipo II  | 46                                | 29               | 6<br>(8 máx)     | 12                | 2.8               | 0.6       | 3.0 | 1.0                     |
| Tipo III | 60                                | 12               | 12<br>(15 máx)   | 8                 | 3.9               | 1.3       | 2.6 | 1.9                     |
| Tipo IV  | 30<br>(35 máx)                    | 46<br>(40 mín)   | 5<br>(7 máx)     | 13                | 2.9               | 0.3       | 2.7 | 1.0                     |
| Tipo V   | 43                                | 36               | 4<br>(5 máx)     | 12                | 2.7               | 0.4       | 1.6 | 1.0                     |

*pl*

Fuente: Cementos Lima S.A., Guía práctica de cemento, 2010

**ANEXO N° VI: CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE CEMENTO**

| TIPO  | DESCRIPCIÓN  | Características Opcionales |
|---|--|----------------------------|
| I   | Uso General  | 1, 5                       |
| II  | Uso general; calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos | 1, 4, 5                    |
| III   | Alta resistencia inicial   | 1, 2, 3, 5                 |
| IV  | Bajo calor de hidratación  | 5                          |
| V   | Alta resistencia a los sulfatos  | 5, 6                       |
| <b>CARACTERÍSTICAS OPCIONALES</b>   |  |                            |
| <p>1. Aire incluido, IA, IIA, IIIA.</p> <p>2. Resistencia moderada a los sulfatos: C3A máximo, 8%.</p> <p>3. Alta resistencia a los sulfatos: C3A máximo, 5%.</p> <p>4. Calor de hidratación moderado: calor máximo de 290 kJ/kg (70cal/g) a los 7 días, o la suma de C3S y C3A, máximo 58%.</p> <p>5. Alcali bajo: máximo de 0.60%, expresado como Na<sub>2</sub>O equivalente.</p> <p>6. El límite de resistencia Alternativa de sulfatos está basado en el ensayo de Expansión de barras de mortero.</p> |  |                            |

*el* Fuente: Cementos Lima S.A., Guía práctica de cemento, 2010

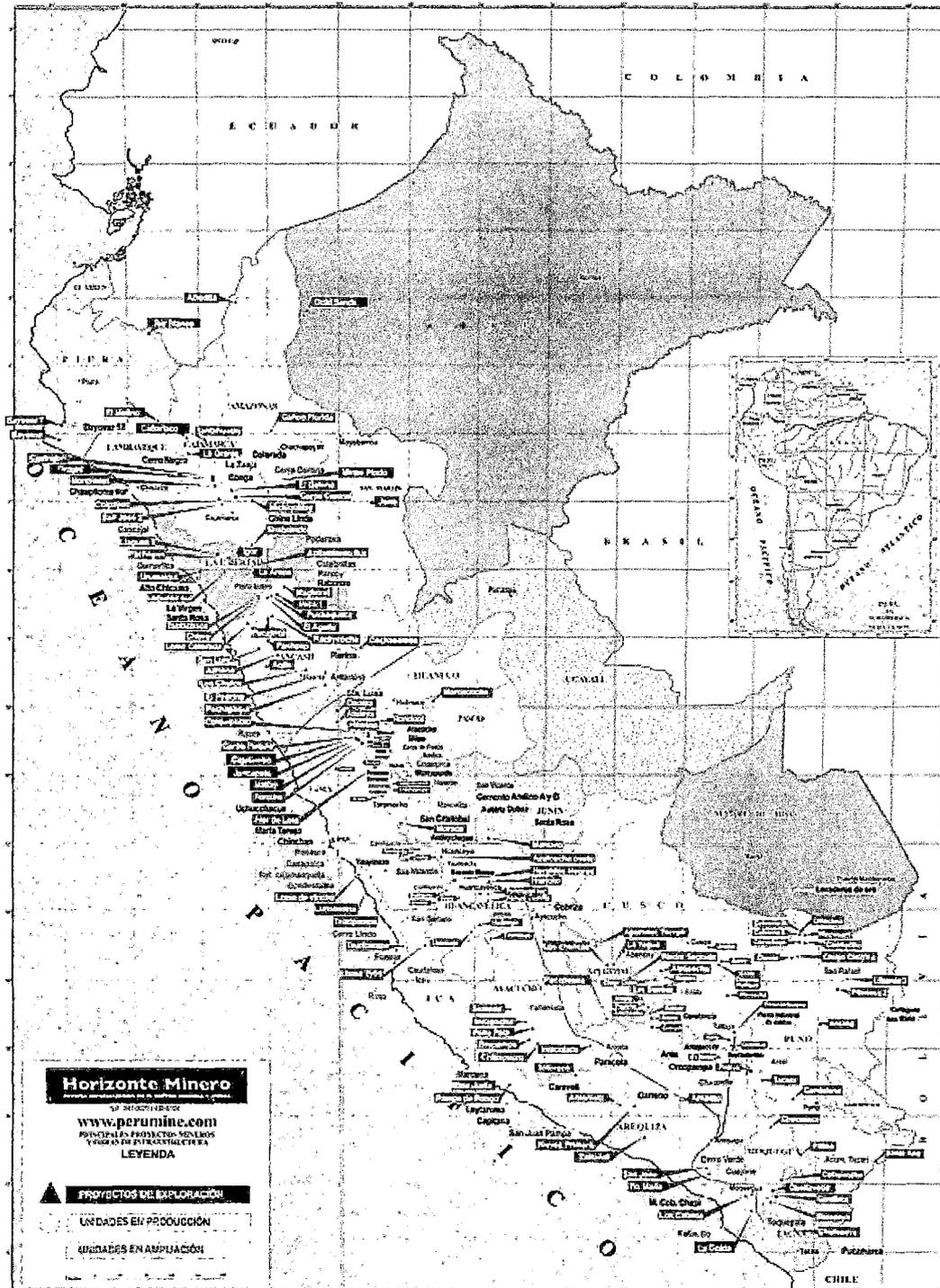
## ANEXO N° VII: USOS Y APLICACIONES DE TIPOS DE CEMENTO

| Tipo            | Aplicación   |
|-----------------|--|
| <b>Tipo I</b>   | Construcción general como: pavimento, puentes, trabajos de mampostería, edificios de concreto reforzado, columnas y placas. Etc.   |
| <b>Tipo II</b>  | Es usado en obras de concreto expuestas al ataque moderado de sulfatos y en donde se requiera moderado calor de hidratación, como muelles o muros de contención.   |
| <b>Tipo III</b> | Se utiliza cuando se requiere mayor resistencia a edades tempranas, se emplea en obras en las que se necesite desencofrar a corto tiempo, en construcciones masivas o en secciones estructurales de gran tamaño.     |
| <b>Tipo IV</b>  | Desarrolla bajo calor de hidratación; Posee buena resistencia a los sulfatos, por esta razón, es especial para usarse en grandes masas de concreto como presas de gravedad.  |
| <b>Tipo V</b>   | Ofrece alta resistencia a los sulfatos: se usa en estructuras hidráulicas, revestimientos de canales, alcantarillas, túneles, sifones y en construcciones que están en contacto con los suelos y aguas subterráneas. |

*el* Fuente: Cementos Lima S.A., Guía práctica de cemento, 2010

ANEXO N° VIII: MAPA MINERO

MAPA MINERO



*Handwritten signature*

Fuente: Perúmine, Horizonte Minero, 2015