



REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio de Minas y Energía



Procesamiento de Minerales Auríferos

Preservación Ambiental



Cartilla No. 3

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

Directiva

Ministro:

Jorge Eduardo Cock Londoño

Viceministro de Minas:

Silvio Mejía Duque

Secretario General:

Eduardo Afanador Iriarte

Secretaria Privada:

Vivian Cock Ordoñez

Director Técnico de Minas:

Víctor Manuel Rivera Monsalve

Autor

Jorge Vásquez García

Colaboradores:

Manuel Acevedo López

María Chérie González C.

Lilian Rivera Peña

José David Castañeda H.

CONTENIDO

	Pág.
PRESENTACION	I
INTRODUCCION	II
La Preservación Ambiental en el Procesamiento de Minerales	3
1. Método de la Clorinación Alcalina	5
1.1. Uso de la Clorinación Alcalina en el País	6
1.2. Recomendaciones Técnicas para un Mejor Aprovechamiento de Hipoclorito de Calcio	8
2. Reducción del Grado de Contaminación de los Químicos Usados en las Explotaciones Auríferas	9
2.1. Alternativas para Disminuir el Consumo de Cianuro	9
2.2. Alternativas Tecnológicas para Minimizar la Contaminaciones por Mercurio en la Pequeña y Mediana Minería	11
3. Toxicología del Mercurio y sus Combinaciones	12
3.1. Valores Permisibles para el Mercurio	14
4. Toxicología del Cianuro	15
4.1. Medidas Precautelativas	16
4.2. Como Tratar los Envenenamientos con Cianuro	16
4.3. Valores Permisibles para el Cianuro	17
TABLA	
Tabla No 1 Efectos Ambientales Causados por Procesamiento de Minerales	19

PRESENTACION

La minería de metales preciosos ha sido históricamente una actividad de gran importancia para el país. La mayor parte del oro, es producido por la pequeña y mediana minería, aunque sin introducir los cambios requeridos en el sistema de procesamiento de los minerales que permitan incrementar el porcentaje de extracción que actualmente se obtiene.

EL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA y la Empresa Minerales de Colombia, S.A., "MINERALCO", firmaron el Acuerdo No. 12, con el propósito de fomentar, difundir y hacer accesible la transferencia de tecnología hacia la pequeña y mediana minería en el área del procesamiento de los minerales auríferos, dentro de un marco de preservación ambiental.

En ese sentido el MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, preparó este documento de PROCESAMIENTO DE MINERALES AURIFEROS, conformado por tres cartillas, con el deseo de que sirva como una guía para buscar el mejoramiento sustancial del rendimiento, mediante una mayor recuperación de los metales preciosos, ofreciendo técnicas que garanticen una verdadera racionalización de la operación minera.

Nuestra meta: "Preservar el medio ambiente sin detener el desarrollo minero."


JORGE EDUARDO COCK LONDOÑO
Ministro de Minas y Energía



LA PRESERVACION AMBIENTAL EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES

Las instalaciones de beneficio: Trituración - molienda-concentración hasta la obtención de productos comerciales, por razones económicas y técnicas deben localizarse cerca a la mina o sitio de explotación, lo que trae como consecuencia con referencia al medio ambiente los siguientes efectos negativos:

Altas posibilidades de contaminación por polvo durante la trituración , la clasificación y el transporte de mineral seco homogenizado.

La contaminación del recurso hídrico por el uso de reactivos químicos en el proceso de concentración por flotación y por la acción ejercida por el cianuro y el mercurio en las explotaciones auríferas . En la tabla No. 1 se detalla los riesgos, causas y áreas afectadas.

Por otra parte, las operaciones de extracción aurífera generan una variedad de materiales de desperdicio, los cuales deben ser dispuestos con responsabilidad, en concordancia con las regulaciones ambientales. En muchos casos hay incentivos metalúrgicos, como son los beneficios económicos que se producen al reciclar los reactivos y/o sólidos, gases, líquidos y una mezcla de estos.

Los sólidos incluyen desechos de mina, de procesos de concentración y lodos antiguos de operaciones mineras discontinuas. Las mayores consideraciones químicas para estos desechos es la posible contaminación de la superficie y/o del agua subterránea resultante del contacto del agua lluvia o de la solución que se derrama con el desecho sólido, por ejemplo :

1. Drenaje ácido de la mina, resultante de la descomposición del mineral sulfuroso (piritas de hierro) que forma un sulfato ácido de hierro, conocido con el nombre de "caparrosa".
2. La liberación de cianuro residual y de otro tipo de metales solubles durante el desarrollo de las operaciones de lixiviación.

Los más importantes gases de polución están relacionados con los tratamientos pirometalúrgicos (calcinación, tostación, fundición, reactivación de carbón) y son: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, arsénico, antimonio, hidrocarburos, plomo y

otros metales pesados que pueden afectar la calidad del aire dentro y fuera del sitio del proyecto y ejercer un efecto secundario sobre la calidad del agua.

Los efluentes líquidos son soluciones o lechadas producidas por los procesos hidrometalúrgicos, especialmente los de flotación y de cianuración. Es importante fiscalizar la posible amenaza al medio ambiente que presentan los constituyentes tóxicos de la fase líquida, como son los diversos compuestos del cianuro, los iones metálicos tóxicos y los excesos del pH.

El requerimiento para una pasivación va a depender de la amenaza a la vida silvestre, a las aves y los mamíferos. Esta amenaza puede reducirse siguiendo las siguientes etapas:

1. Minimizar la concentración de los compuestos tóxicos, usando un buen diseño del proceso que incluya un control efectivo del cianuro.
2. Prevenir el acceso de soluciones tóxicas a la vida silvestre, aislando los compartimientos que contienen los efluentes y cubriendo las albercas de la solución con material plástico.

Si lo anterior no da resultado, es necesario pasivar los constituyentes tóxicos a niveles de seguridad que cumplan con las regulaciones ambientales que son muy cambiantes, según los criterios y estándares empleados. Un ejemplo de lo anterior es la variabilidad de las restricciones que se imponen a los efluentes que portan cianuro como resultado de la confusión sobre la toxicidad de los diferentes compuestos. Investigaciones recientes indican que los más tóxicos son el cianuro libre (CN y HCN), el complejo disociable del ácido (WAD) y los complejos de zinc, cobre y níquel.

La dilución cuando es aplicable es la forma más simple, rápida y económica de pasivación cuando se trata de cumplir con un control específico. Para reducir la cantidad de contaminantes en los efluentes descargados, agua limpia o una solución que contiene muy bajo nivel del tóxico problema, es mezclada con la solución del proceso en cuantía suficiente para disminuir su concentración por debajo de los tenores establecidos.

Los métodos más adecuados para pasivar el cianuro pueden agruparse en las siguientes categorías:

1. Eliminación del cianuro : Degradación natural.

Absorción por otros minerales.

2 Oxidación a compuestos.

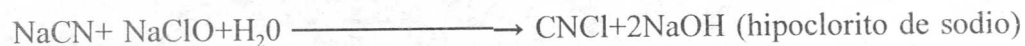
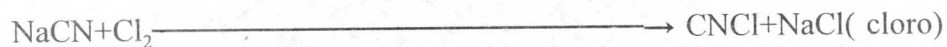
Menos tóxicos (cianatos) : Oxidación natural.
 Método peróxido de hidrógeno
 Método de bióxido de azufre.
 Método de clorinación alcalina.
 Método de oxidación biológica
 Método de la ozonación.

3 Complejación a un cianuro de hierro (Fe⁺²), con la posibilidad de remoción como una sal insoluble doble.

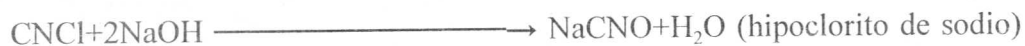
1. METODO DE LA CLORINACION ALCALINA

La clorinación alcalina es el más antiguo y ampliamente reconocido proceso de destrucción del cianuro bajo ciertas condiciones de alcalinidad (pH entre 10,5 a 12). Puede emplearse cloro en forma líquida o sólida; hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio.

La primera etapa de la destrucción del cianuro conlleva a la oxidación de éste a cloruro de cianógeno:



En la misma etapa y debido al elevado pH de la reacción de oxidación, el cloruro de cianógeno es rápidamente hidrolizado a cianato:



Dentro de la clorinación alcalina, el hipoclorito de calcio ha sido el método más positivo y de mejor respuesta a las pruebas de laboratorio y de las plantas de cianuración de pequeña y mediana minería a que ha sido sometido. Las siguientes son las ventajas y desventajas de estas experiencias realizadas por el suscrito, como jefe del Grupo de Beneficio de Minerales de la División Regional Minera de Medellín.

1.1.1 VENTAJAS

- El proceso es adaptable a operaciones continuas y a operaciones pequeñas debido a que no requiere de equipos adicionales, excepto la de un tanque auxiliar.
- Las reacciones químicas que ocurren durante la neutralización son relativamente completas y su mecanismo entendible.
- Los metales pesados precipitan como hidróxidos.
- El tiocianato es oxidado y eliminado.
- Formas de cianuro libre y débilmente disociables son oxidadas y neutralizadas dando tenores bajos en los efluentes residuales, inferiores a 0,5 ppm (partes por millón), es decir, 0,5 miligramos por litro.

1.1.2 DESVENTAJAS

- El consumo de hipoclorito puede ser excesivo cuando hay altas concentraciones de tiocianato.
- Debe controlarse cuidadosamente el pH durante la neutralización para evitar emanaciones de cloruro de cianógeno, que es tóxico a la vida acuática.
- Los cianuros complejos de hierro no son extraídos bajo condiciones normales.
- El cianuro no es recuperado sino destruido.

1.2 RECOMENDACIONES TECNICAS PARA UN MEJOR APROVECHAMIENTO DEL HIPOCLORITO DE CALCIO.

1.2.1 La primera etapa de oxidar el cianuro a cianato demora 15 minutos y la segunda de oxidar e hidrolizar el cianato a nitrógeno y carbonato consume en promedio una hora si hay una agitación vigorosa, y de 5 a 6 horas sino se dispone de esta ayuda mecánica.

1.2.2 El consumo total de hipoclorito es de 2,5 Kilogramos por cada kilogramo de cianuro presente, usando un reactivo de 65% de concentración (cloro activo). Los valores de cianuro al final del tratamiento están por debajo de 0,3 PPM o miligramos por litro.

1.2.3 Por la forma tan peculiar de operar en nuestro medio las numerosas plantas de cianuración a nivel de pequeña minería, el cianuro que realmente es necesario neutralizar es aquél que queda impregnado a las arenas luego de finalizado el tratamiento, alrededor de 1,5 a 1,8 kilogramos de cianuro para plantas con capacidad para 40 toneladas de arenas auríferas; la mayor parte por lo tanto permanece en la solución pobre (solución de trabajo), que el minero luego refuerza con cianuro adicional para utilizarla en próximos procesos.

1.2.4. Se recomienda los siguientes métodos analíticos para evaluar los contenidos mínimos de cianuro:

El método volumétrico es adecuado para determinar concentraciones de cianuro por encima de 1 PPM (1 miligramo por litro), titulándolo con una solución estandar de nitrato de plata y como indicador el Para-dimetilaminobenzal rodanina, para un cambio de color amarillo a salmón.

El método colorimétrico es útil para concentraciones de cianuro por debajo de 1 PPM y hasta 1 PPb (una parte por billón)=0,001 PPM.

El método se basa en que la muestra problema es convertida a cloruro de cianuro (CNCl), por la reacción con cloramina T, y luego por la adición del ácido piridin - barbitúrico se forma un colorante rojo - azul, cuya absorbancia se lee en un espectrofotómetro a 578 mm.

Para mediciones rápidas (5 minutos) y especialmente en el campo se usa el método anterior, sustituyendo el espectrofotómetro por un comparador de colores portátil,

como el suministrado por la casa alemana Merck. Hay 2 referencias : Microquant 14798 para determinaciones de 0,03 a 5,0 Ppm y el spectroquant 14800 para concentraciones de 0,005 a 0,5 Ppm.

2. REDUCCION DEL GRADO DE CONTAMINACION DE LOS QUIMICOS USADOS EN LAS EXPLOTACIONES AURIFERAS.

2.1 ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE CIANURO.

El uso creciente e indiscriminado del cianuro en las explotaciones mineras, extendido hoy en día a grandes volúmenes de minerales marginales y arenas piritosas con bajo contenido de oro y teniendo en cuenta que no se vislumbra a corto plazo un sustituto ideal, obliga a que los residuos derivados de las plantas de cianuración sean manejados en forma tal que garanticen su pasivación, sin perturbar el medio ambiente generalizando y difundiendo alternativas tecnológicas que disminuyan el consumo de cianuro, como son:

2.1.1 La Concentración por el sistema de flotación o por métodos gravitacionales de los sulfuros polimetálicos que en forma asociada portan el oro, y luego la lixiviación de este producto, que en promedio no constituye más del 10% por peso de los minerales y arenas que usualmente se cianuran en unas 250 plantas activas en los distritos mineros del país. Los beneficios serían: ECONOMICOS, por el tiempo, eficiencia, costos y mejor calidad del producto final; AMBIENTALES, al rebajarse en un 90% el consumo de cianuro, lo que facilitará su posterior neutralización con hipoclorito de calcio, procesamiento químico que a corto plazo sería el más efectivo de acuerdo a las experiencias logradas por el Ministerio de Minas y Energía - División Regional Minera de Medellín. Los beneficios económicos y ambientales pueden apreciarse y cuantificarse efectuando el siguiente ejercicio.

BASE DE CALCULO

**PLANTAS DE CIANURACION EN OPERACION: 250 CON CAPACIDAD
C/U DE 40 TONS ARENAS.**

TIEMPO DE DURACION DEL TRATAMIENTO: 30 DIAS

ARENAS AURIFERAS QUE SERAN CIANURADAS: 120.000 TONELADAS.

**CONSUMO PROMEDIO DE CIANURO POR TON DE
ARENAS: 1,2 KILOGRAMOS.**

CIANURACION RUTINARIA

$$\text{TIEMPO NECESITADO PARA CIANURAR} = \frac{120.000 \times 1}{250 \times 40} = 12 \text{ MESES}$$

$$\text{GASTO DE CIANURO} = \frac{120.000 \times 12}{1000} = 144 \text{ TONELADAS}$$

CIANURACION PREVIA CONCENTRACION

Supóngase que los valores están contenidos en los sulfuros y que estos son el 8% de las arenas auríferas .

Toneladas de concentrados auríferos a cianurar:

$$\text{Toneladas} = 120.000 \times 0,08 = 9.600 \text{ toneladas}$$

tiempo necesitado para cianurar las 9.600 toneladas:

$$\text{TIEMPO} = \frac{9.600 \times 1}{250 \times 40} = 1 \text{ MES}$$

$$\text{GASTO DE CIANURO EN TONELADAS} = \frac{9600 \times 1,2}{1000} = 11,52$$

**RESULTADOS: TIEMPO AHORRADO : 11 MESES
CIANURO AHORRADO: 132,5 TONELADAS**

2.1.2. El empleo de nuevas técnicas durante el proceso decianuración que no sólo aumenten la eficiencia de la disolución (lixiviación) sino que disminuyan ostensiblemente el consumo de cianuro. Ellas son: La preaireación a un pH=9-10 antes de la adición del cianuro; cuando hay presencia de oxidación de sulfuros (piritas de hierro), es importante agregar sales de plomo, del orden de 0,2 gramos por tonelada de mineral cianurado, lo que evita altos consumos de cianuro y acelera la cinética de la disolución del oro.

2.1.3. La Tiourea como posible sustituto del cianuro. La Tiourea es un reactivo nuevo utilizado para la lixiviación del oro y la plata; su química es menos conocida que la del cianuro y la puesta en marcha del proceso requiere mucho más experimentación. La cinética de la disolución es rápida, del orden de 3 a 5 horas en contraste con la del cianuro, que es de 16 a 48 horas. Requiere pH bajos (0,5 a 2,0); el consumo es de 12 a 15 kilogramos por tonelada y su costo es de 30 a 40% más que el cianuro. La recuperación de los metales preciosos disueltos se puede realizar por separación electrolítica o extracción por solventes.

Indudablemente que la Tiourea es un reactivo con porvenir, pero todo indica que todavía el cianuro será la vía preferida por mucho tiempo para la recuperación aurífera en nuestra industria minera.

2.2 ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA MINIMIZAR LAS CONTAMINACIONES AMBIENTALES POR MERCURIO EN LA PEQUEÑA Y MEDIANA MINERIA

La amalgamación hace parte de uno de los procesos más antiguos y más utilizados para la colección del oro; la simpleza, la poca inversión de capital y la alta eficiencia hacen de esta técnica la más apetecida por los mineros, sin tener en cuenta los riesgos que ocasionan a la salud y al medio ambiente.

La colocación de grandes cantidades de mercurio en los primeros tramos del canalón (equipo recuperador) para alear el oro, más la velocidad del flujo de la pulpa y la alta pendiente del canalón son causantes de grandes pérdidas de este reactivo en las plantas de beneficio; como ellas son instaladas en cercanías de las corrientes acuosas, el mercurio escapado por la acción de las bacterias y las algas-Metilización Microbial-es transformado en metil y dimetil mercurio, los cuales son altamente tóxicos y pueden ser ingeridos por el cuerpo humano a través del agua y de los peces.

Las medidas para minimizar estas contaminaciones están orientadas a mejorar los

diseños y la eficiencia de los procesos de beneficio, con la implementación de alternativas técnicas como son:

2.2.1. El uso de equipos Destiladores-Retortas, para la quema de las amalgamas, lo cual permite aislar y luego reciclar el mercurio, evitando que sus vapores contaminen al minero y a la población urbana, cuando esta quema se hace en las compras de oro.

2.2.2. La recuperación del mercurio en forma de partículas pequeñas que resultan de la molienda- amalgamación de los minerales polimetálicos a nivel de pequeña minería filoniana, para la extracción del oro libre . El subproducto de esta operación es cianurado y en el precipitado quedan estas partículas, que al ser quemado y fundido permite la liberación del mercurio con sus efectos contaminantes. Cualquier tratamiento gravitacional o de flotación será suficiente para captarlas, dada la diferencia apreciable de sus densidades con la de los otros constituyentes mineralógicos.

2.2.3. El Diseño y la Localización de las plantas de oro aluvial.

Estas plantas deben estar alejadas de las corrientes acuosas para evitar la descarga directa de las colas y sedimentos. Para ejercer un uso racional del mercurio, este se eliminaría del canalón, al asignársele a este equipo la función de operar como un preconcentrador, de tal modo que se tenga un producto de oro más arena negra, que luego serían separados gravitacionalmente en base a la diferencia de densidades. Posteriormente el oro sería recuperado en pequeñas instalaciones de amalgamación o por la vía pirometalúrgica (alternativa para sustituir la amalgamación).

2.2.4 La probable sustitución del mercurio por velcro, como colector del oro fino en la etapa final de lavada y recogida de valores en las plantas de beneficio de la minería aluvial. El velcro es un adhesivo muy utilizado en la industria de la confección y es necesario avanzar en los estudios que evalúen los fundamentos técnicos de este producto.

3. TOXICOLOGIA DEL MERCURIO Y SUS COMBINACIONES

La toxicidad del mercurio depende de la clase de sus compuestos y del estado de oxidación. El mercurio en forma de vapor, como el que queda al quemar las amalgamas en un circuito abierto, es absorbido por el organismo humano a través de los pulmones hasta un 75%, llega a los riñones por medio de la sangre y es eliminado

del cuerpo como combinaciones de mercurio y albúmina, luego de un período de semidesintegración de aproximadamente dos meses. Los síntomas de un envenenamiento agudo debido a inhalaciones de vapor de mercurio se presentan por fases:

- Cólicos, vómitos e inflamaciones del estómago y de los intestinos.
- Molestias en los riñones y en las vías urinarias.
- Úlceras en la mucosa dental (Estomatis mercurialis).

Si se inhalan por tiempo prolongado los vapores del mercurio se presentan envenenamientos crónicos, cuyos síntomas son :

- Formación de úlceras.
- Depositaciones de HgS en el cuerpo. A veces diarrea abundante y saguinolenta.
- Convulsiones, trastornos en el habla, debilidad en la concentración y otros.
- Nacimiento de hijos con problemas físicos y/o mutilaciones.

En la región aurífera del Bajo Cauca, el Servicio Seccional de Salud del departamento de Antioquia, estableció que la causa del nacimiento de numerosos niños con labio leporino se debía al mercurio acumulado en el cuerpo de sus padres.

Las combinaciones inorgánicas de mercurio bivalente muestran efectos de intoxicación similares. Las combinaciones orgánicas, especialmente el metil y dimetilmercurio: CH_3Hg , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, son altamente tóxicos. Al ser ingeridos a través de los alimentos llevan a daños en las extremidades de los nervios, debido a su estabilidad y solubilidad en las grasas, pasando así al torrente sanguíneo.

El mercurio metálico no es asimilado por el organismo humano y no es tóxico en esa forma.

Las combinaciones inorgánicas y orgánicas anteriores son ingeridas a través del agua potable, de la alimentación y del aire. Un punto crítico es la concentración de mercurio mediante la cadena alimenticia de los peces, los cuales pueden acumular este

elemento en su organismo en un mayor porcentaje en comparación a la concentración de su medio ambiente.

3.1 VALORES PERMISIBLES PARA EL MERCURIO

3.1.1 Disposiciones nacionales sanitarias sobre agua

- Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso hídrico para consumo humano y doméstico. Mercurio, expresado como Hg, valor límite = 0,002 miligramos por litro, equivalente a 0,002 PPM (partes por millón).
- Para la preservación de la flora y la fauna en aguas dulces frías , cálidas y en aguas marinas o estuarinas, se establecen los siguientes valores:

	Agua Fría Dulce	Agua Caliente Dulce	Agua Marina y Estuarina
Mercurio,..... como Hg	0,01 CL96 50	0,01 CL96 50	0,01 CL96 50

Nota: 0,01 CL96 Significa que a esa concentración de mercurio produce la muerte del 50% de los organismos sometidos en un período de 96 horas.

- Para las actividades relacionadas con la potabilización de las aguas para consumo humano, que al sobrepasar los valores establecidos tiene un efecto adverso en la salud humana:

Mercurio, expresado como Hg, un valor admisible de 0,001 miligramos por litro, equivalente a 0,001 PPM(partes por millón).

3.1.2 Disposiciones Internacionales:

Normas Alemanas Mak y de la Organización Mundial de la Salud (WHO).

Agua potable.....Máximo 0,004 miligramos por litro o partes por millón.

Peces Máximo 0,0005 miligramos por gramo de peso fresco.

Vegetales y Frutas.....Máximo 0,03 miligramos por Kilogramo de peso.

Aire que se respira.....Para HgO, máximo 0,1 miligramo por metro cúbico. Para combinaciones orgánicas , 0,01 miligramo por metro cúbico.

En la sangre.....0,010 a 0,013 miligramos por litro o partes por millón.

En la orina.....0,0005 a 0,008 miligramos por litro o partes por millón.

En los cabellos.....0,0007 a 0,003 miligramos por litro o partes por millón.

4. TOXICOLOGIA DEL CIANURO

El cianuro de sodio es un veneno mortal cuando es absorbido dentro del sistema digestivo. La dosis fatal no ha sido establecida con exactitud, ya que varía con el peso y condición física de la persona; es fundamental la concentración de ácido clorhídrico en el jugo gástrico, pero la ingestión de 180 a 200 miligramos se reporta como mortal.

La toxicidad del cianuro se debe a la formación del ácido cianhídrico, lo cual sucede al reaccionar con los ácidos inorgánicos e incluso con los orgánicos, tales como el cítrico, tartárico, oxálico, etc. La siguiente es la reacción:



El cianuro puede ser absorbido por la vía gástrica, por las vías respiratorias o por la mucosas, produciendo la paralización de los centros nerviosos. Se manifiesta por la dificultad para respirar, mareos, convulsiones, asfixia y coma. El contacto prolongado en algunas personas muy sensibles les da erupción cutánea, que con el tiempo les puede degenerar en úlceras difíciles de sanar.

En las explotaciones mineras que emplean este reactivo pueden presentarse estos casos de intoxicación con cianuro:

Por ingestión de cianuro sólido o de soluciones con cianuro provenientes de las plantas de cianuración. Estas soluciones de cianuro lo mismo que el sólido tienen un sabor amargo y penetrante, por lo tanto es imposible ingerirlas sin darse cuenta de ello.

- Por inhalación de ácido cianhídrico resultante de la descomposición del cianuro por causas diversas.

Cuando los precipitados de la etapa de cementación son atacados con ácidos minerales (clohídrico, nítrico, sulfúrico) , hay un desprendimiento de ácido cianhídrico en relación directa con la cantidad de cianuro presente, y si en el precipitado hay algún compuesto de arsénico, se desarrolla hidrógeno arseniado, que es aún más tóxico. El ataque de estos precipitados debe hacerse siempre en lugares ventilados y el operador no debe exponerse a los vapores liberados por la reacción química.

4.1 MEDIDAS PRECAUTELATIVAS

Debido a su toxicidad todas las personas que tengan relación con el cianuro deben observar las medidas de seguridad establecidas. Las principales son:

- Tomar todas las precauciones que sean necesarias para evitar el contacto del cianuro con ácido o sales ácidas.
- Nunca almacene, manipule o consuma alimentos o bebidas en áreas donde se use, se manipule o se almacene cianuro de sodio.
- No se debe permitir que el cianuro de sodio esté en contacto con personas que tengan heridas abiertas o excoiaciones.
- Usar guantes de caucho para el manejo del cianuro. Lavar con agua corriente las manos y los guantes después de cada operación.
- Cuando hay peligro de inhalar el polvo del cianuro debe utilizarse una máscara protectora.

4.2 COMO TRATAR LOS ENVENENAMIENTOS CON CIANURO

En toda planta de cianuración se deben tener una serie de antidotos que contrarresten la acción del cianuro. Ellos son el nitrito de amilo, tiosulfato de sodio en solución al 1% y una solución de hidrato ferroso.

El nitrito de amilo viene en ampollas que se rompen en el momento de usarse y se colocan debajo de la nariz del paciente por 15 segundos.

El tiosulfato de sodio debe aplicarse en forma de inyección y bajo la dirección de un profesional de la medicina, como complemento al tratamiento anterior.

El hidrato ferroso reciente precipitado obra fijando el ácido cianhídrico en forma insoluble. Es el de más fácil consecución a nivel de pequeña minería y se prepara de la siguiente manera:

- **Solución de sulfato de hierro al 23% en agua.**

Se disuelven 23 gramos de sulfato de hierro en agua y se complementa hasta 100 mililitros . De esta solución se toman 30 mililitros y se pasan a un frasco herméticamente cerrado y bien rotulado.

- **Hidróxido de sodio (soda caústica) al 3%.**

Se disuelven 3 gramos de soda en agua y se lleva a 100 mililitros; se toman 30 mililitros y se guardan en un frasco bien tapado y rotulado.

- **Oxido de magnesio en polvo y en bolsas o paquetes de 2 gramos.**

El remedio consiste en mezclar las soluciones con un paquete de 2 gramos de óxido de magnesio y dárselo a beber a la persona intoxicada.

4.3 VALORES PERMISIBLES PARA EL CIANURO

4.3.1 Disposiciones nacionales sanitarias sobre aguas.

- Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso hídrico para consumo humano y doméstico.

Cianuro expresado como CN^- , valor límite = 0,2 miligramos por litro o partes por millón.

- Para la preservación de la flora y la fauna en aguas dulces frías , cálidas y en aguas marinas o estuarinas se establecen los siguientes valores:

	Agua Fría Dulce	Agua Caliente Dulce	Agua Marina y Estuarina
Cianuro, expresado como CN ⁻	0,05CL96 50	0,05 CL96 50	0,05CL96 50

Nota: 0,05 CL96 Significa que a una concentración de 0,05 ppm de cianuro mueren el 50% de los organismos expuestos durante un período de 96 horas.

- Para las actividades relacionadas con la potabilización de las aguas para consumo humano, que al sobrepasar los valores establecidos tienen un efecto adverso en la salud humana.

Cianuro, expresado como CN⁻, un valor admisible de 0,1 miligramos por litro o partes por millón .

4.3.2 Normas Internacionales:

- De la Agencia Americana para la Protección Ambiental (EPA).
- Los niveles de tolerancia del contenido de cianuro total en agua potable fue fijado en 0,01 miligramos por litro o partes por millón.

Cuando se trata de descargas en aguas subterráneas es de 0,02 miligramos por litro o partes por millón.

- De la Organización Mundial de la Salud Europea (WHO).

El límite de tolerancia para agua potable es de 0,01 miligramos por litro, ó PPM (partes por millón).

TABLA 1. EFECTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR EL PROCESAMIENTO DE MINERALES.

AREA AFECTADA	RIESGOS	CAUSAS
A I R E	<p>GASES LIBERADOS POR COMBUSTION : SO₂ , SO₃ , S , Pb.</p> <p>PARTICULAS SOLIDAS (POLVOS) EN SUSPEN SION: TOXICOS, INERTES, INHALABLES .</p> <p>GASES Y VAPORES ACIDOS : HCN, CN , Hg , NO₂ , As .</p>	<p>TRATAMIENTOS PIROMETALURGICOS : COQUIZACION, CALCINACION, TOSTACION, COPELACION, FUSION .</p> <p>TRITURACION, PULVERIZACION Y CLASIFI CACION DE LOS MINERALES EN SECO (CRI BADO) .</p> <p>PROCESO DE LIXIVIACION CON CIANURO : AMALGAMACION ; CONTROLES ANALITICOS .</p>
AGUAS SUPERFICIALES	<p>CONTAMINANTES LIQUIDOS : DERRAMES POR ACEITES DE MOTORES ; POR REACTIVOS - QUIMICOS USADOS EN FLOTACION, CIANURA CION Y EN AMALGAMACION ; METALES Y SALES EN SOLUCION .</p> <p>CONTAMINANTES SOLIDOS .</p>	<p>INFILTRACIONES Y VERTIMIENTOS DE RESI DUOS DE PROCESOS MINERO- METALURGI COS ; AGUAS SERVIDAS CONTAMINADAS .</p> <p>CONTAMINACION DE LAS CORRIENTES POR SUSPENSIONES ACUOSAS DE PULPAS DE MINERALES PROVENIENTES DEL ESPESAMI ENTO DE LOS CONCENTRADOS DE FLOTA CION, DE SOLUCIONES LIXIVIADAS Y DEL DRENADO DE COLAS .</p>
ENTORNO	<p>RUIDO .</p> <p>VIBRACIONES .</p> <p>SEDIMENTACION DE POLVO .</p>	<p>TRITURACION - MOLIENDA - CRIBADO . ALIMENTACION Y DESCARGA .</p>
SUPERFICIE	<p>DESGASTE .</p>	<p>MONTAJE DE PLANTAS Y EDIFICACIONES . ALMACENAMIENTO DE CONCENTRADOS Y PRODUCTOS INTERMEDIOS .</p> <p>TANQUES Y LAGUNAS DE DECANTACION .</p>