



1170

PNUMA

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE
CENTRE DE ACTIVIDAD DEL PROGRAM INDUSTRIA Y MEDIO AMBIENTE

INFORME TECNICO N°5

ASPECTOS AMBIENTALES EN MINERIA DE METALES NO FERROSOS (Cu, Ni, Pb, Zn, Au)

Con asistencia de la: Oficina Internacional de Trabajo

**ASPECTOS AMBIENTALES EN MINERIA
DE METALES NO FERROSOS
(Cu, Ni, Pb, Zn, Au)**

Directiva Técnica

**Traducción de la Versión en Inglés
Realizada en el Centro de Estudios
Minería y Desarrollo**

**CEMYD
La Paz - Bolivia**



**PNUMA
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS
PAR EL MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ACTIVIDAD DEL PROGRAMA
INDUSTRIA Y MEDIO AMBIENTE
(CAP/IMA)**

39-43 QUAI ANDRÉ CITROËN
75739-PARIS CEDEX 15 - FRANCE
TEL : 33 (1) 44 37 14 50
TLX : 204997F
FAX 33 (1) 44 37 14 74



Esta es la publicación de una nueva Serie Técnica en la que se reagrupan las pautas, resúmenes, análisis técnicos y deliberaciones de los cursos prácticos publicados anteriormente por el PNUMA/CAP-IMA¹. Al agruparlos en una serie única se asegura una mayor cohesión entre las futuras publicaciones, y se logra que en un solo documento aparezcan los diversos elementos del trabajo del CAP/IMA que en el pasado se habían presentado separadamente.

Al igual que antes, la Serie Técnica tiene como objetivo satisfacer las necesidades de una amplia de funcionarios de gobierno, gerentes industriales y asociaciones de protección del medio ambiente, proporcionándoles información sobre los problemas y métodos de la gestión del medio ambiente que sean pertinentes a las diversas secciones industriales.

Copyright © 1994 PNUMA

El texto no ha sido traducido por el Servicio de Conferencias y del Consejo de Administración del PNUMA.

Reservados todos los derechos. Esta publicación no puede ser total o parcialmente reproducida, almacenada en un sistema de recuperación de datos, ni transmitida en ninguna forma ni por ningún medio, ya sea electrónico o electrostático, en cinta magnética, fotocopia mecánica o grabación, o de cualquier otra índole, sin permiso por escrito de los titulares de los derechos.

Primera edición (inglés) 1991

Los conceptos expuestos y la presentación del material en esta publicación no significan que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente exprese alguna opinión respecto a la situación jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, o en cuanto a la demarcación de sus límites o fronteras. Por otra parte, la mención de nombres de fábrica o de procesos comerciales no significa que sean respaldados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PUBLICACION DE LAS NACIONES UNIDAS

Número de Venta : 91 - III - D4

ISBN 92 - 807 - 137 - 52

1/ Centro de Actividades del Programa de Industria y Medio Ambiente, del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

ASPECTOS AMBIENTALES EN MINERIA DE METALES NO FERROSOS (Cu, Ni, Pb, Zn, Au)

INDICE

	Páginas
PROLOGO	X
AGRADECIMIENTOS	XI
GLOSARIO DE TERMINOS CLAVES	XIII
RESUMEN	1
1. PRELIMINARES GENERALES	5
1.1. <i>Historia</i>	5
1.2. <i>Producción</i>	5
1.3. <i>Minerales Metálicos</i>	6
1.4. <i>El caso de la Minería de Metales Básicos</i>	8
2. DESCRIPCION GENERAL DE PROCESOS	9
2.1. <i>Exploración</i>	9
2.2. <i>Desarrollo de Proyectos</i>	11
2.3. <i>Operación Minera</i>	11
2.4. <i>Beneficio</i>	16
2.5. <i>Transporte y Manipulación</i>	22
2.6. <i>Cierre de Mina</i>	22
3. IMPACTOS POTENCIALES DE LA MINERIA EN EL MEDIO AMBIENTE	23
3.1. <i>Contaminantes Potenciales</i>	23
3.2. <i>Efectos Potenciales en el Medio Ambiente</i>	24
4. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINANTES	27
4.1. <i>Contaminación del Agua</i>	27
4.2. <i>Contaminación Atmosférica</i>	34

	Pages
4.3. <i>Desechos Sólidos y Residuos</i>	34
4.4. <i>Subsidencia</i>	38
4.5. <i>Ruido y Vibraciones</i>	38
4.6. <i>Exploración</i>	41
4.7. <i>Transporte</i>	42
5. DRENAJE ACIDO DE MINA	43
5.1. <i>Introducción</i>	43
5.2. <i>Mecanismo de formación de AMD (Drenaje Acido de Mina)</i>	43
5.3. <i>Características del Agua de Drenaje Acido de Mina</i>	44
5.4. <i>Predicción de Drenaje Acido de Mina</i>	45
6. CIERRE DE MINAS Y SITIOS DE MINAS ABANDONADAS	46
6.1. <i>Restauración</i>	46
6.2. <i>Legislación y Financiamiento</i>	47
6.3. <i>Impacto Socio-económico</i>	47
7. TECNOLOGIA DE CONTROL	48
7.1. <i>Introducción</i>	48
7.2. <i>Contaminación del Agua</i>	48
7.3. <i>Contaminación Atmosférica</i>	55
7.4. <i>Depósito de Desecho Sólido</i>	56
7.5. <i>Subsidencia</i>	58
7.6. <i>Ruido y Vibraciones</i>	58
8. MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO	59
8.1. <i>Principales Peligros Ocupacionales y Efectos en la Salud</i>	59
8.2. <i>Gestión del Medio Ambiente</i>	63
8.3. <i>Gestión de Parámetros de Salud de los Trabajadores</i>	65
8.4. <i>Estrategias de Control</i>	65
8.5. <i>Vigilancia Médica</i>	67
8.6. <i>Primeros Auxilios y Procedimientos de Urgencia</i>	68
8.7. <i>Seguridad y Prevención de Accidentes</i>	68
8.8. <i>Fuentes de Información</i>	69

	Pages
9. MINERIA DE ORO A PEQUEÑA ESCALA	70
9.1. Definición	70
9.2. Procesos	70
9.3. Impactos en el Medio Ambiente	70
9.4. Medidas que Implementar	70
10. PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL AMBIENTAL	72
10.1. Políticas y Maneras de Abordar el Control Ambiental	72
10.2. Estructura de Regulación para la Protección del Medio Ambiente	73
10.3. Evaluación Ambiental	77
10.4. Gestión y Auditoría Ambiental	79
10.5. Dirección Gerencial del Medio Ambiente dentro de una Compañía	79
10.6. Planes de Urgencia	80

LISTA DE APENDICES

APENDICE I: LITERATURA SUPLEMENTARIA	85
<p><i>I. Bibliografía seleccionada sobre minería y medio ambiente</i></p> <p><i>II. Bibliografía seleccionada sobre el problema de drenaje ácido de mina</i></p> <p><i>III. Bibliografía seleccionada sobre el medio ambiente de trabajo</i></p> <p><i>IV. Referencias indicadas en el texto</i></p>	
APENDICE II: EJEMPLOS DE NORMATIVA AMBIENTAL	94
<p>1. NORMATIVA DE LA AGENCIA DE PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE; (40 CFR CH. 1; Edición 7-87)- Subparte J, Subcategoría de minerales, incluyendo cobre, plomo, zinc, oro, plata, y molibdeno, y Subparte LL, considerando Estándares de Desempeño para Plantas de Proceso de Minerales Metálicos.</p> <p>2. NORMATIVA DEL GOBIERNO DEL CANADA Y GUIAS; Ley de Pesquería, Normativa para Efluentes Líquidos en Minería Metálica (SOR/77-178; 25 de Febrero de 1977), y Directivas para la Medición de Letalidad Aguda en Efluentes Líquidos de Minas Metálicas (Departamento del Medio Ambiente, 19 de Marzo de 1977).</p>	

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
1. Perforación con diamantina, colección de muestras de lodo	10
2. Socavones abiertos con pilares regulares	11
3. Excavación por subniveles con socavones longitudinales en vetas angostas	12
4. Excavación y terraplenado	12
5. Excavación por bloques	13
6. Relación entre pendientes de frentes de explotación y de pendientes finales en mina a cielo abierto	15
7. Gráfico del flujo de una planta concentradora de Pb - Zn	18
8. Gráfico del flujo de una planta concentradora de oro (Hecla Mining Company)	20
9. Gráfico del flujo de recuperación de oro, Ortiz gold mine	21
10. Diagrama de proceso de aguas. Tara mine	33
11. Métodos estándar de construcción de diques de desechos	37
12. Sistema de tratamiento de aguas ácidas de mina en Brunswick Mining	53
13. Proceso de tratamiento de aguas ácidas de mina con gran densidad de lodos	54
14. Almacenamiento de desechos de limonita en la mina de níquel de Kongouhaou	57
15. Proyectos mineros - Principales aspectos ambientales	84

LISTA DE CUADROS

	Páginas
1. Producción minera mundial de metales no ferrosos seleccionados	5
2a Minerales de Cu, Ni, Pb y Zn	7
2b Minerales de oro	7
3. Métodos de minería subterránea	14
4. Resumen de métodos de proceso de minerales de or	19
5. Reactivos típicos en el proceso de minerales	23
6. Efectos potenciales de la actividad minera en el medio ambiente	26
7a Serie de características químicas de aguas de mina no tratadas, en ocho minas de plomo y zinc	29
7b Ejemplos de calidad de aguas de usadas en estanques de desechos en plantas de metales básicos	29
8a Reactivos de flotación usados en plantas concentradoras de metales básicos	30
8b Consumo típico de reactivos de flotación en plantas de metales no ferrosos	31
9. Composición de efluentes finales de doce minas de oro de Ontario y Quebec, 1978 y 1980	32
10. Niveles de ruido en instalaciones de plantas	39
11. Niveles de ruido en equipo móvil	39

	Pages
12. Efectos de sobrepresión en estructuras	40
13. Efectos de vibraciones del suelo en estructuras	41
14. Características del drenaje ácido de mina, en una mina de plomo y zinc	45
15. Principales componentes de un programa de gestión	49
16. Costos relativos de reactivos de neutralización en Canadá	52
17. Límites de exposición ocupacional para algunos contaminantes transportados por el aire	61
18. Matriz de impacto para minería	83

PROLOGO

La minería y sus actividades conexas pueden ser una fuente de considerable perjuicio para el medio ambiente. La contaminación de aguas de superficie y subterráneas, el daño producido a la tierra y la destrucción del hábitat son algunos de los impactos que han sido registrados en el pasado. Los riesgos para la salud y para la seguridad pueden ser considerables también para los trabajadores de una mina o para quienes viven en sus cercanías.

El deterioro de los recursos naturales y de la salud humana pueden tener un efecto nocivo en el potencial de crecimiento a largo plazo de un país, aún cuando haya empresas que obtengan beneficios económicos inmediatos. Por esta razón, es importante que, en la medida de lo posible, la minería minimice estos impactos destructores. Con una planificación cuidadosa, con tecnologías modernas, y con una gestión sensibilizada al problema, es a menudo posible lograr una minería con un costo ambiental aceptable. Esta directiva técnica da un panorama de los métodos y de las tecnologías que pueden ser aplicados para alcanzar ese objetivo.

La presente directiva se dirige a lectores de disciplinas diferentes y con diversos niveles de responsabilidad:

- Al personal de la industria minera que encontrará aquí descripciones de procedimientos y tecnologías para minimizar el impacto ambiental, así como políticas y directivas de dirección para implementar una operación de efectivamente poco impacto.
- Al personal de gobierno y a los reguladores de la industria que encontrarán aquí indicaciones del nivel de desempeño ambiental que se puede esperar de la industria, junto con una descripción de la planificación técnica y de las herramientas de gestión que permitan su obtención.
- A los lectores, en general, que encontrarán aquí un panorama de los impactos ambientales relacionados con la industria minera, así como algunas estrategias recomendadas para la regulación de sus efectos.

PNUMA espera que este informe sirva de ayuda a quienes deciden en estos sectores para tomar decisiones técnicas y administrativas que sean económica y ambientalmente sólidas de modo que contribuyan al futuro desarrollo de una industria minera realmente sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Esta directiva técnico fue preparado por el Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas, el Centro de Actividad del Programa de Industria y el Medio Ambiente (PNUMA CAP/IMA), con la asistencia de un gran número de personas y de organizaciones.

El Sr. J. A. Casalis, de Metaleurop, preparó la mayor parte del texto y las referencias. La planificación de la directiva fue asesorada por un grupo de expertos cuya contribución fue apreciable. Ellos fueron:

Dr L. Buffa	- Environment Canadá
Sra B. Goelzer	- Organización mundial de la Salud
Dr J. Hamdorf	- Pasminco Metals, Australia
Sr N. Jennings	- Oficina Internacional de Trabajo
Sr R. J. Keyes	- Energy, Mines and Resources, Canadá
Sr M. Johnson	- University of Liverpool, UK
Sr L. McIntosh	- Australian Mining Industry Council
Sr F. Maubert	- Département Eau, Environnement et Energie. Francia
Dr J. Miller	- American Mining Congress
Dr A. Otero	- Ecominsa, España
Sr T. Takada	- Metal Mining Agency of Japan

También recibimos comentarios escritos, documentos y sugerencias de:

Sr P.G. Broman	- Boliden Mineral, Suecia
Sr D. Ganapin Jr	- Environmental Management Bureau, Filipinas
Sr P. Grindlay	- E.V.S. Consultants, Canadá
Sr M. Hietamki	- Ministry of Environment, Finlandia
Dr O. Harrop	- Centre of Environmental Management and Planning, RU
Sr H. Jones	- Department of Mines, Australia Oeste
Sr J. Littlejohn	- Ministry for Planning and Environment, Victoria, Australia
Dr J. G. Malick	- Norecol, Canadá
Sr J. G. Melvin	- Washburn & Gillis Associates, Canadá
Sr H. Veldhuizen	- Noranda Mining, Canadá

Y de las siguientes organizaciones:

Cámara de Minas de Zimbabwe

Departamento del Medio Ambiente, Reino Unido

Agencia de Protección del Medio Ambiente, EEUU
Autoridad de Protección del Medio Ambiente, Australia Oeste
Federación Internacional de Trabajadores en Metales, Suiza
Organización de Investigación de la Industria Mineral, RU
Agencia Nacional de Protección del Medio Ambiente, China
Pasminco Metals, Australia
Banco Mundial
Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

El personal de la PNUMA que participó en la producción de esta directiva fue:

Sra J. Aloisi de Larderel, Directora CAP/IMA
Sr F. Balkau, Senior Programme Officer quien
estuvo a cargo de este proyecto
Sr T. Hamada, Senior Programme Officer (a cargo de éste hasta 1990)
Sra J. Auger, Secretaria

PNUMA CAP/IMA desea agradecer a todos los contribuyentes arriba mencionados por la ayuda que prestada que hizo posible la realización de esta directiva.

La traducción del inglés de este documento fue llevada a cabo por el Centro de Estudios Minería y Desarrollo, Bolivia, con la ayuda técnica del Sr. M. J. Damay (Francia), el Sr. J. Solari y la Sra. C. Luengo (Chile). La Sra. H. Vasquez-Araya llevo a cabo la edición final del texto.

La contribución financiera de la OIT para la impresión de este documento ha sido altamente reconocida.

GLOSARIO DE TERMINOS CLAVES

Socavon: (Adit)	Abertura hecha horizontalmente en el lado de una colina o cerro, desde la cual un depósito mineral será explorado y desarrollado.
Anomalía: (Anomaly)	Desviación de la norma en los modelos de rocas, generalmente descubierta por métodos geofísicos. Una anomalía sugiere la posibilidad de un depósito mineral pero solamente una entre miles de anomalías conducirá a un descubrimiento de mineral útil.
Ensayo: (Assay)	Análisis de una muestra de mineral para determinar su contenido de metal de valor en la muestra.
Relleno: (Backfill)	Material de desecho usado para sostener las paredes de un caserón y suministrar una plataforma de trabajo después de haber retirado el mineral.
Molino de bolas: (Ball mill)	Equipo de planta usado para moler el mineral en pequeñas partículas, que usa bolas de acero como muela.
Metal base: (Base metal)	Metal comercial como cobre, plomo o zinc. El término fue creado para describir un metal no precioso contrariamente a la plata y al oro.
Lecho de roca: (Bedrock)	Roca sólida de la corteza terrestre, generalmente cubierta por capas de tierra o agua.
Beneficiar: (Beneficiate)	Este término se usa para el tratamiento de mineral, cuando se desea que el producto resultante sea más rico o más concentrado que el mineral. El término se aplica, especialmente, a un tratamiento preliminar de trituración en plantas de bauxita y de mineral de hierro.
Lixiviación biológica:	Proceso de recuperación de metales a partir de minerales de baja ley que se disuelven en una solución. La disolución es facilitada por la acción de bacterias.
Excavación por bloques: (Block-caving)	Método de explotación de bajo costo, por el que se socavan grandes bloques de mineral, haciendo que éste permanezca en su lugar, quebrándose y derrumbándose bajo su propio peso.
Concentrar: (Concentrate)	Tratamiento del mineral de manera a que el resultado - "concentrado"- contenga menos ganga y mayor cantidad de mineral de valor. En muchas operaciones mineras, el mineral es concentrado en una concentradora, o planta, en superficie. Luego, el concentrado es embarcado hacia una fundición y el producto de ésta es enviado a una refinera para la recuperación, mediante eliminación de las impurezas, del metal contenido.
Excavación y terraplenado: (Cut and fill)	Método de excavación por tajos, en el cual el mineral es retirado en tajadas o "arranques", luego la parte excavada se rellena con roca (relleno) o con otro material de desecho, antes de que la tajada siguiente sea arrancada. El relleno sostiene las paredes de la excavación y sirve también como piso de trabajo para la etapa siguiente de explotación.

Agotamiento:	Disminución continua de la cantidad de mineral en un depósito o propiedad, como resultado de su explotación. Se dice que los minerales están en un "medio de agotamiento" porque una vez explotados ya no pueden ser reemplazados.
Desarrollo: (Development)	Llevar una propiedad minera a un estado de producción. Técnicamente, el llevar adelante trabajos para acceder al cuerpo mineralizado.
Dilución: (Dilution)	Empobrecimiento de la ley del mineral debido a la explotación, cuando roca estéril o mineral de baja ley constituye, inevitablemente, parte del mineral extraído.
Galería : (Drive)	Túnel horizontal bajo tierra, cuya dirección sigue la longitud del cuerpo mineralizado.
Flotante: (Float)	Rocas desplazadas de su posición original, por fuerzas naturales tales como la acción de heladas o glaciaciones.
Flotación: (Flotation)	Proceso común en la concentración de minerales. Cuando las partículas de varios minerales han sido suficientemente trituradas como para permitir su separación, entre ellas y del material estéril o ganga, se las bombea en suspensión a celdas de flotación. Gracias a la adición de ciertos reactivos químicos y a la introducción de aire a través de la suspensión, las diferentes partículas de minerales pueden adherir selectivamente a las burbujas de aire para formar una espuma, la cual es entonces separada del resto de la suspensión.
Yacente: (Footwall)	Piso o roca en la parte inferior de una veta o de una estructura mineralizada.
Ganga: (Gangue)	Mineral sin valor y/o roca combinados con el mineral de valor en un depósito de mineral.
Jig: (Jig)	Máquina usada en planta para concentrar mineral en una rejilla sumergida en agua, ya sea por movimiento alternativo de la rejilla o por pulsación del agua a través de ella.
Lixiviación: (Leaching)	Proceso químico usado para la extracción de metales valiosos de un mineral. También se llama así el proceso natural por el cual el agua del suelo disuelve los minerales.
Nivel: (Level)	Desarrollo horizontal de galerías y cruces desde una labor de la mina.
Filón o veta: (Lode)	Depósito vertical o muy inclinado de mineral en roca sólida.
Depósitos marginales: (Marginal ore deposits)	Cuerpos mineralizados de baja ley cuya explotación no es rentable en las condiciones económicas del momento.
Mata : (Matte)	Material fundido obtenido durante un proceso de recuperación en una fundición : no es un vendible y requiere un tratamiento complementario para poder ser comercializado.
Mineral: (Mineral)	Substancia que puede o no tener valor económico, que existe naturalmente en la tierra. Es homogénea, tiene ciertas características químicas y corrientemente aparece en forma de cristales o de granos.

Carga o material de desarrollo: (Muck)	Roca o mineral producido en el desarrollo de un depósito y que ha sido quebrado por voladura.
Mena: (Ore)	Mezcla de minerales y de ganga de la cual por lo menos uno de los minerales puede ser extraído con beneficio.
Tratamiento de minerales: (Ore dressing)	Proceso de tratamiento en una planta.
Recubrimiento: (Overburden)	Roca estéril sobre un cuerpo mineralizado.
Placer: (Placer)	Depósito de arena o de grava que contiene un mineral de valor tal como oro, platino, estaño rutilo o diamantes.
Chimenea: (Raise)	Labor bajo tierra, vertical o inclinada, que ha sido excavada desde el nivel inferior al nivel superior.
Planchoneo: (Rock burst)	Desplome súbito de paredes, techos o pilares en una mina, causada por el peso o por la presión de las rocas circundantes.
Molino de barras: (Rod mill)	Molino cilíndrico rotativo que emplea barras de acero como medio para moler minerales en pequeñas partículas.
Mineral de Alimentación: (Run-of-mine)	Material extraído de una mina. Se caracteriza por leyes de porcentaje de sustancia valorizable.
Clavo: (Shoot)	Parte enriquecida de una veta o zona, que tiene leyes (o contenido) con un valor económico.
Cámara y almacén: (Shrinkage)	Método de explotación en socavones que utiliza parte del mineral quebrado.
Explotación en socavones:	Método que utiliza las paredes como soporte de la explotación de un caserón.
Fundición: (Smelting)	Recuperación parcial de metal fundido de un mineral procesado. Aunque el mineral haya sidotratado y concentrado en una planta, la fundición es necesaria para recuperar el metal contenido y pasarlo a un estado que permita su refinación.
Estanque o sumidero: (Sump)	Excavación cuyo fin es el de recoger o almacenar agua. Se utiliza el fondo de un pozo con este objetivo.
Desechos: (Tailings vein)	Material de desecho de una planta procesadora de mineral. Apertura, fisura o resquebrajadura en una roca que contiene materia mineralizada.

RESUMEN

Este documento se refiere a los minerales de los cuatro metales no ferrosos más comunes: cobre, níquel, plomo y zinc, frecuentemente llamados minerales de metales básicos; así como también a los minerales de oro, cuya minería y producción continúan siendo esenciales para nuestra sociedad.

Pese a que el desarrollo de un proyecto minero modifica necesariamente el medio ambiente local natural, a menudo se encuentran disponibles tecnologías y procedimientos de control para limitar estos impactos y reducirlos a niveles aceptables. Tanto antiguas minas existentes y como aquellas que han sido cerradas, pueden

presentar difíciles problemas de control del medio ambiente.

Muchos de los temas o tópicos sobre el medio ambiente, sobre seguridad y salud, relacionados con la minería de metales no ferrosos, no difieren significativamente de aquellos que se refieren a la explotación de otros minerales. La especificidad de operaciones no ferrosas resulta de la composición natural del mineral, de los reactivos empleados en el proceso de beneficio, del potencial de toxicidad del metal y de los compuestos extraídos. Las minas subterráneas requieren medidas particulares en el campo de la salud y de la seguridad.

Los Contaminantes Potenciales y sus Impactos

Entre las fuentes potenciales de contaminación de aguas se cuentan los drenajes de minas de superficie y subterráneas, las aguas usadas de tratamiento de beneficio y las corrientes superficiales creadas por rebalses y lluvias.

El volumen y la composición química de las aguas potencialmente contaminadas varía mucho. Esto depende del tipo de operaciones mineras, de la hidrología de la mina, de la naturaleza del mineral, de los procedimientos de beneficio, de la concentración, del método de almacenamiento de desechos y de la localización del sitio. Entre los contaminantes potenciales se cuentan los ácidos y los metales disueltos, tales como el cobre, el hierro, el zinc, el cadmio y el plomo, resultantes del drenaje ácido de la mina. El drenaje ácido de la mina puede ser definido como la contaminación química inorgánica del agua procedente de la oxidación del contenido sulfuroso de los minerales. El drenaje ácido de la mina puede afectar el agua de la mina subterránea y de superficie, el drenaje de apilamientos de rocas de

desecho y de depósitos de desechos de plantas concentradoras. Eso puede ocurrir mientras la mina está en operación y después del cierre de la mina. En este último caso, el control de contaminación del agua es frecuentemente más difícil de efectuar.

El cianuro y el mercurio contenidos en los efluentes de tratamientos de oro, pueden ser preocupantes y a menudo requieren instalaciones para tratamientos específicos.

Se necesita un cuidado especial en las operaciones de transporte y almacenamiento del cianuro; se recomienda el desarrollo de un plan de emergencia para prevenir un perjuicio ambiental excesivo en caso de desbordamiento. Otros contaminantes potenciales tales como reactivos de tratamientos de minerales en efluentes, polvos y gases, tienen que ser también considerados, especialmente en cuanto concierne al medio ambiente de trabajo.

Los contaminantes del agua afectan principalmente la flora y la fauna acuática,

también deterioran el agua potable; éstos pueden entrar en la cadena de alimentos por acumulación en el tejido de los peces y, por consiguiente, afectar la vida humana y animal.

La toxicidad de los contaminantes del agua depende de la naturaleza y de la concentración de los elementos disueltos en ella y de la ocurrencia de factores que limitan la bio-disponibilidad de metales : alcalinidad, dureza, etc. La sedimentación de ríos debida a una excesiva descarga de sales, puede también ser un problema serio.

Elementos de polvo en suspensión en el aire y contaminantes gaseosos ponen en peligro, principalmente, la salud de los trabajadores mineros.

La caída de partículas puede contaminar los suelos, la vegetación y el agua. También tienen que ser tomados en cuenta otros impactos potenciales de la minería en el medio ambiente, tales como el ruido, las vibraciones debido a voladura y al uso de maquinaria, el impacto de grandes excavaciones a cielo abierto y el efecto socioeconómico de la minería.

Tecnología de control

El control de impactos en el medio ambiente debe ser una parte integral de la operación. Una planificación apropiada limitará los riesgos de deterioros en el medio ambiente.

Ya que existen muchos métodos diferentes para controlar las diferentes fuentes de contaminación, deberá tenerse en cuenta que no existe una regla que se considere de aplicación general. En cada caso específico, las restricciones impuestas por las condiciones del sitio y por el proceso limitarán las opciones técnica y económicamente factibles que puedan ser seleccionadas.

Las principales técnicas para el control de aguas incluyen el control físico del volumen y de las vías de agua en el lugar de la

mina y, si procede, el tratamiento de aguas de desecho. Algunos tratamientos, tales como el ajuste del pH, la precipitación de metales pesados o la destrucción del cianuro, son realizados frecuentemente en los depósitos de desechos. Esa posibilidad no existe más, una vez que la mina ha sido cerrada. Si se procede a un drenaje ácido de mina, es posible que se necesite la instalación de una planta de tratamiento de agua, si las técnicas pasivas no son eficaces para resolver el problema.

Las partículas y los contaminantes gaseosos ascienden de fuentes puntuales, tales como puntos de carga o planos inclinados en sistemas de acarreo, y de fuentes más generales tales como caminos y apilamientos. El control de emisión de polvo de las fuentes puntuales puede lograrse previniendo su formación, usualmente mediante la humidificación del mineral. El uso de rociadores de agua puede ser eficaz para la prevención de la emisión de polvo de fuentes dispersas. Después que la explotación ha cesado, la manera más eficaz para controlar la emisión de polvo y para volver la tierra disponible para futuro uso, es generalmente la revegetación.

Las consideraciones ambientales en el apilamiento de rocas de desecho y en el embalse de desechos incluyen la estabilidad de los depósitos, el transporte de sólidos y de metales disueltos en las aguas de salida, así como la emisión de polvos y los impactos visuales.

La inestabilidad de depósitos de desechos, en algunos lugares, ha dado como resultado desastres en el medio ambiente. Actualmente se dispone de métodos geotécnicos para construir pilas de rocas y diques de desechos que garanticen una estabilidad aceptable.

Las técnicas básicas para controlar el ruido incluyen la reducción del volumen del ruido generado en la fuente, aislando la fuente mediante cobertura del equipo fijo y por absorción del ruido entre la fuente y el auditor.

Las operaciones de voladura, en la minería a cielo abierto, pueden crear sobrepresiones y vibraciones de tierra provocando daños en las edificaciones de la vecindad. Para minimizar estas molestias, hay controles eficaces para los operadores mineros, que consisten principalmente en evitar sobrecargas y en diseñar modelos apropiados de voladura.

Medio ambiente de trabajo

El mayor riesgo ocupacional de salud en la industria minera de metales básicos está relacionado con los contaminantes transportados por el aire, con el ruido y con la vibración. El medio ambiente térmico, la carencia de iluminación, el manejo de reactivos químicos y los contaminantes biológicos son también, en algunos casos, dignos de ser considerados.

Los minerales de metales básicos pueden contener elementos tales como plomo, níquel, cadmio, mercurio o arsénico, los cuales pueden ser tóxicos en ciertos compuestos químicos. La toxicidad potencial de los metales contenidos en el material pulverulento del mineral y de la ganga, tiene que ser cuidadosamente examinada en cada caso.

El mayor riesgo potencial resultante de las partículas transportadas por el aire, se sitúa en los cristales finos de silicio pues su inhalación puede conducir a la silicosis.

El monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno se encuentran generalmente presentes en los escapes liberados por los motores diesel. Los humos de voladuras tienen que ser cuidadosamente dirigidos. El elemento más importante de control de calidad del aire en una mina subterránea, es un apropiado diseño de un sistema de ventilación gracias al cual se obtiene una disolución significativa del polvo y de los gases transportados por el aire. Si los contaminantes transportados por el aire no pueden ser reducidos a un nivel aceptable tendrá que usarse máscaras anti polvo o respiradores.

Además de algunos contaminantes transportados por el aire tales como el polvo, también se emplean algunos reactivos químicos tóxicos en plantas de beneficio. Deberá tenerse especial cuidado cuando se manejen estos productos.

Los trabajadores de minas subterráneas y a cielo abierto se hallan a menudo expuestos a altos niveles de ruido emitidos por la maquinaria. Además del mejoramiento del diseño de la maquinaria minera, es necesaria una protección personal eficaz de los trabajadores contra el ruido.

Para determinar la extensión de la exposición ocupacional, deberá establecerse en cada caso un programa de gestión de rutina que incluya un análisis de muestras de aire y de partículas, así como medidas del ruido, de la temperatura atmosférica y de la humedad.

Una gestión regular de los parámetros de salud de los trabajadores, incluyendo un control biológico, vigilancia médica, exámenes pre-empleo y periódicos, permitirán una pronta detección del deterioro de la salud causado por la exposición ocupacional, pero esto no reemplaza las medidas de control.

La seguridad y la prevención de accidentes son esenciales en cualquier instalación. En muchos países, las normas en materia de seguridad y de protección de la salud de los trabajadores constituyen un Código de Seguridad de la Industria Minera que se aplica a toda la industria minera. Estas han sido establecidas por un grupo de expertos compuesto por representantes del gobierno y de la industria minera. En cada operación, se pueden añadir al Código de Seguridad de la Industria Minera reglas específicas de trabajo interno; éstas serían establecidas por la compañía minera y por la entidad estatal correspondiente, tras consulta de los representantes de los trabajadores.

Para cada operación debería crearse un Comité de Salud y de Seguridad con miras a complementar la acción de los represen-

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
 CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN MINERÍA Y METALURGIA

tantes del personal quienes son responsables de la seguridad y de la higiene.

Normativa ambiental, sistemas de administración

Las operaciones mineras deberían estar sujetas a una regulación gubernamental que relacione, entre otras, la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores, y la protección ambiental. Cuando los estándares ambientales y las normativa no existan, o no sean adecuados, deberían establecerse ya sea a nivel nacional o para un sitio específico. Cuando se opte por esta segunda solución, dichos estándares o normativa deberían basarse en una Evaluación de Impacto en el Medio Ambiente; una normativa importante en un sitio minero puede no ser necesariamente apropiada en otro lugar.

La evaluación de los impactos ambiental, social y económico del desarrollo de una nueva mina, puede efectuarse a través de una Evaluación del Impacto en el Medio Ambiente. Esta evaluación debería estar basada, en la medida de lo posible, en pruebas científicas sólidas, aunque hay que reconocer que también se puede recurrir a un razonamiento lógico y prudente cuando los datos de base son incompletos, inadecuados o no existen. En muchos países existen estándares ambientales relacionados con el aire, el agua, los desechos y el ruido existen. Esos estándares están basados en la capacidad del medio ambiente para asimilar, sin daño excesivo, el impacto de contaminantes y de desechos. También se puede decidir el cierre de la mina así como los cuidados posteriores requeridos. El desarrollo de un estándar ambiental también toma en consideración, generalmente, las disponibilidades en tecnología de control y el impacto económico de las medidas de control.

Una estrecha cooperación entre las autoridades que establecen los estándares y la industria minera, sería fructuosa para fijar requisitos que sean eficaces y prácticos.

En muchos países es común la participación popular en el proceso de establecimiento de estándares.

Los estándares ambientales tendrían que tener en cuenta la tecnología disponible, como también las restricciones económicas de una industria minera específica o de un proyecto. Los impactos ambientales y económicos deberían ser claramente identificados para discusión y conocimiento público.

Los parámetros críticos de la contaminación y del medio ambiente industrial, tienen que ser administrados como corresponde durante todas las etapas de la vida de la mina y después de su cierre.

La protección eficaz del medio ambiente requiere la cooperación de todos, desde los más altos ejecutivos hasta los trabajadores. En la explotación de una gran mina, un departamento especial debería estar a cargo de los aspectos ambientales; para las pequeñas explotaciones, esta tarea debería ser asignada a los diferentes superintendentes de planta bajo la supervisión de la dirección general.

Habría que proceder a una formación constante para informar y dar conciencia a todos los trabajadores de los problemas del medio ambiente, de la salud y de la seguridad, relacionados con su trabajo. La compañía minera o grupos consultores con experiencia deberían organizar cursos.

Debería crearse un programa de concientización para informar a las comunidades vecinas de los riesgos potenciales para la salubridad ambiental ocasionados por la mina y de los programas efectuados por la compañía para minimizarlos.

1. PRELIMINARES GENERALES

1.1 Historia

El oro y el cobre fueron probablemente los primeros metales usados por el hombre: el oro se encuentra en la naturaleza en su forma original y en Turquía se encontraron (en forma de una aleación de bronce) vestigios de metalurgia del cobre que datan de aproximadamente 6300 años A.C. El uso del plomo es casi tan antiguo como el del oro: su extracción por tostación y fundición era conocida en 5000 A.C.

El zinc, como la aleación de latón, estuvo en uso en la antigüedad cerca de 4000 A.C. Su empleo como metal puro es más reciente y fue obtenido en el siglo XIX.

El níquel, sin embargo, es un metal "joven", identificado como un elemento específico en 1790 y para el cual el proceso de extracción metalúrgica fue desarrollado solamente a partir de 1850.

Metal	Tasas de crecimiento por año
Cobre	0.8%
Níquel	0.4%
Plomo	- 0.7%
Zinc	0.8%
Oro	2.8%

Por lo tanto, con excepción del níquel, la minería de metales básicos no es reciente: solo el desarrollo de la industrialización vuelve su producción cuantitativamente significativa. Estos metales y sus compuestos se utilizan en muchos campos: cables eléctricos, baterías, acero inoxidable, coberturas anticorrosivas. El oro, por su parte, conserva su papel como estándar monetario y de reserva.

1.2. Producción

La producción minera de 1988 se presenta en el Cuadro 1 en términos de contenido metálico.

En los diez últimos años, probablemente en relación con una crisis económica mayor, la tasa de expansión de la producción de minerales fue baja e incluso negativa en el caso del plomo; sólo el oro presenta una tasa de crecimiento destacada.

Africa, Asia y las Américas (excepto Canadá y los EE.UU.) producen una gran parte de la producción de mineral: cerca de 50% del cobre y 30% de los otros metales básicos.

Cuadro 1
Producción Minera Mundial de Metales No-Ferrosos Seleccionados (1988)

Zona	Cobre	Níquel	Plomo	Zinc	Oro
	1000 toneladas métricas				toneladas
Africa	1218	69	194	273	657
Canadá+EE.UU.	2141	203	760	1604	329
Resto de América	2068	103	416	1073	149
Asia	1028	99	516	1111	131
Europa(+URSS)	1849	246	1064	2278	306
Oceanía	452	129	466	759	201
Total	8756	849	3416	7098	1773

Fuente: Minemet Yearbook, France (2)

1.3. Minerales Metálicos

Composición mineralógica

A diferencia del oro, los metales básicos raras veces se encuentran como metales elementales naturales, sino más bien como compuestos de otros elementos en minerales metálicos. El Cuadro 2a indica las principales formas mineralógicas de minerales de cobre, níquel, plomo y zinc, así como su abundancia relativa. Como regla general (excepto para el níquel) los metales básicos aparecen principalmente como sulfuros, mientras que los minerales oxidados juegan solo un papel menor. El níquel es la única excepción notable con una proporción de 60 - 40% de minerales sulfurosos y lateríticos respectivamente.

El oro se presenta en tres formas mineralógicas: oro natural, telururos, y electro (una aleación natural de oro-plata). Una clasificación de minerales de oro, con respecto a un criterio mineralógico, tendría, sin embargo, poco significado económico: la clasificación presentada en el Cuadro 2b está basada en las combinaciones minerales observadas en los minerales más comunes, y la importancia económica de los varios tipos de minerales es más o menos idéntica, siendo los telururos los menos frecuentes.

Combinación con otros elementos

Un compuesto de metal no ferroso raramente es encontrado solo en su mineral, generalmente se presenta en asociación con otros metales.

Las combinaciones más comunes son:

- plomo-zinc;
- plomo-zinc-cobre;
- plomo-plata;
- zinc-cadmio;
- cobre-molibdeno;
- cobre-oro;
- níquel-cobre (minerales sulfurosos);
- níquel-cobalto (lateritas).

Minerales ganga

La ley con la cual un metal está presente en un mineral es generalmente bastante baja, en una proporción baja para los metales básicos, unos pocos gramos por tonelada en el caso del oro.

La mayor parte del mineral se compone de tierra y de roca desechable, llamada comunmente ganga. Los minerales ganga más frecuentes son el silicio, los silicatos, los carbonatos y la pirita; menos frecuentes son la fluorita y la barita.

En lo que respecta al impacto de la minería de metales básicos en el medio ambiente, un caso importante es el de los minerales sulfurosos en los que sulfuros de hierro tales como la pirita y la pirrotina pueden representar una gran parte, sino la mayor, de la ganga. Tales sulfuros nocivos son la causa esencial del drenaje ácido de mina. (ver Capítulo 5).

Por lo tanto, el impacto de una operación minera en el medio ambiente, depende de la composición del mineral. Se requiere un conocimiento preciso de la naturaleza mineralógica y petrográfica del mineral para apreciar este impacto, y para tomar, en consecuencia, las medidas apropiadas para minimizarlo.

Cuadro 2a
Minerales de Cu, Ni, Pb y Zn

Metales		Sulfuros		Minerales Oxidados	
Cobre	***	calcopirita	$CuFeS_2$	**	malaquita $Cu_2(OH)_2CO_3$
	**	bornita	Cu_5FeS_4	*	azurita $Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$
	**	calcosita	CuS	*	cuprita Cu_2O
	*	tetraedrita	$(Cu, Fe, Zn, Ag)_{12}(Sb, As)_4S_{13}$		
Níquel	***	pentlandita	$(Fe, Ni)_9S_8$	**	garnierita $3SiO_2, 4(Mg, Ni)O, 6H_2O$
	**	millerita	NiS	***	minerales lateríticos de níquel
Plomo	***	galena	PbS	**	cerusita $PbCO_3$
				*	anglesita $PbSO_4$
				*	piromorfita $Pb_5(PO_4)_3Cl$
Zinc	***	esfalerita	ZnS	**	smithsonita $ZnCO_3$
				*	calamina $SiO_2, 2ZnO, H_2O$
				*	zincita ZnO
				*	willemita $ZnSiO_4$
				*	franklinita $(Fe, Mn, Zn)O(Fe, Mn)_2O_3$

*** los más corrientes

** mineral ocasional

* raro

Fuentes (3),(4),(5),(6),(7)

Cuadro 2b
Minerales de Oro

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1) minerales de oro libre porfídico | 5) oro con cobre |
| 2) oro con sulfuros de fierro | 6) oro con plomo y minerales de zinc |
| 3) oro con minerales de arsénico
y/o antimonio (arsenopirita, etc...) | 7) minerales carbonatados |
| 4) Telururos de oro | |

1.4. El Caso de la Minería de Metales Básicos

Los minerales de metales básicos representan solamente el 15 por ciento de todas las toneladas de mineral extraídas anualmente por la industria minera mundial. En muchos aspectos, los problemas ambientales potenciales relacionados con la minería de metales básicos no difieren, en lo que concierne al medio ambiente físico, de aquellos creados por otros sectores de la industria minera. Muchos de estos problemas existen indiferentemente de la naturaleza de los minerales que están siendo explotados (minerales de carbón, hierro...). Es el caso, por ejemplo, de la emisión de polvos, del almacenamiento de

desechos, molestias de ruido, manejo de explosivos, etc. Muy a menudo, las medidas o remedios aplicados en la minería de otros productos pueden ser eficaces en las operaciones de metales no ferrosos. Por consiguiente, la experiencia en este campo sirve como referencia fiable y, como resultado del mayor tonelaje extraído, la abundancia de publicaciones relacionadas con el medio ambiente en aquel sector de la industria minera hacen que estos documentos sean potencialmente muy útiles.

De hecho, las especificidades de las operaciones no ferrosas resultan esencialmente de la toxicidad potencial del metal extraído, de la composición química del mineral y de la naturaleza de los procedimientos de extracción.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCEDIMIENTOS

El propósito de este capítulo es ofrecer una descripción general de los principales métodos de minería y de proceso de minerales aplicados en la industria minera de metales básicos, para evaluar su impacto potencial en el medio ambiente.

2.1. Exploración

La exploración de una zona previamente seleccionada por consideraciones geológicas, generalmente comprende las siguientes operaciones :

- reconocimiento preliminar mediante sensores remotos con levantamiento aerofotográfico e imágenes de satélite para identificar las principales características de interés geológico y ambiental, y para suministrar una guía de datos para evaluaciones ambientales y planificación.
- Levantamiento cartográfico geológico detallado de la zona, que incluye la selección manual de algunas muestras superficiales para ensayos y caracterización mineralógica. En la prospección de oro, las muestras pueden ser colectadas en los lechos de los ríos y concentradas por bateado.
- reconocimiento geoquímico: el muestreo puede tener lugar en sedimentos de corrientes, suelos o fragmentos de rocas. Se recogen pequeñas muestras, de unos pocos gramos cada una, en localizaciones sistemáticas o predeterminadas. La realización de un reconocimiento geoquímico en tierras forestales puede requerir algunos cortes en el terreno.
- reconocimiento geofísico: los métodos más usados son los métodos eléctricos o electromagnéticos (medidas de las características eléctricas de la tierra) y los métodos magnéticos (medidas de las anomalías del campo magnético de la tierra). El reconocimiento puede ser llevado a cabo en tierra con instrumentos portables, o desde el aire en aviones o en helicópteros.
- las zanjas y la perforación de pozos destinadas a investigar las formaciones cerca de la superficie. Se pueden excavar pozos, de 1 a 2 metros cuadrados en la zona, de hasta una profundidad de alrededor de 10 metros, mediante pico y pala o retroexcavadora o taladro a motor. Zanjas, de 20 a 30 metros de longitud, pueden también ser excavadas con pico y pala (1 a 2 metros de ancho) o tractor (4 a 5 metros de ancho). Corrientemente, sólo se excavan unas pocas zanjas en la zona de interés, para evitar daños en el medio ambiente por un desplazamiento excesivo de tierras.
- sondeo : cuando está garantizado por los resultados de los pasos previos, el sondeo se usa para confirmar la extensión de los cuerpos mineralizados en profundidad. Los métodos de sondeo incluyen la percusión o el sondeo rotativo (se usa aire o lodo como fluido de taladro), lo que produce cortes de rocas gracias al triturado de las rocas con la broca; o el sondeo para la obtención de testigos, mediante el cual se recogen muestras de sondajes como testigos para estudios y pruebas.

El equipo del taladro puede ser independiente (Figura 1) o montado en camión.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCEDIMIENTOS

Frecuentemente, se precisa la construcción de caminos para permitir el acceso al sitio de la perforación. La mayor parte del tiempo, el agua es reciclada.

Generalmente, el personal de la perforación es acomodado en instalaciones temporales.

La primera fase de trabajo concluye con una evaluación técnico-económica que establece la oportunidad de proseguir con el esfuerzo de exploración en el proyecto. Si se ha llegado a una decisión positiva, se entra en una nueva fase de trabajo, la cual conducirá a un estudio de factibilidad; esta puede incluir trabajos de minería subterránea: pozos, rampas, galerías, etc. para mejorar el conocimiento del cuerpo mineralizado, definir con mayor precisión las reservas y recoger muestras más grandes de mineral con las cuales se pueda desarrollar un proceso de tratamiento.

La suma de trabajo necesaria puede variar según el caso.

Como previamente se tomará en cuenta el impacto potencial de cualquier actividad minera en la zona, es necesario emprender luego un estudio completo del impacto en el medio ambiente. Este estudio considerará de qué manera el desarrollo de minas y de infraestructuras afectarán a la población local, a la utilización de la tierra de la zona y sobre todo a la ecología. Tendrán que ser evaluados los cambios del contorno del agua y de la tierra, el almacenamiento de la ganga de mina, desechos y residuos, junto con la exportación de concentrados.

Simultáneamente a estas tareas técnicas, serán emprendidas tareas administrativas, tales como la presentación de solicitudes para obtener permisos de exploración: licencias mineras, compra de tierras, etc.

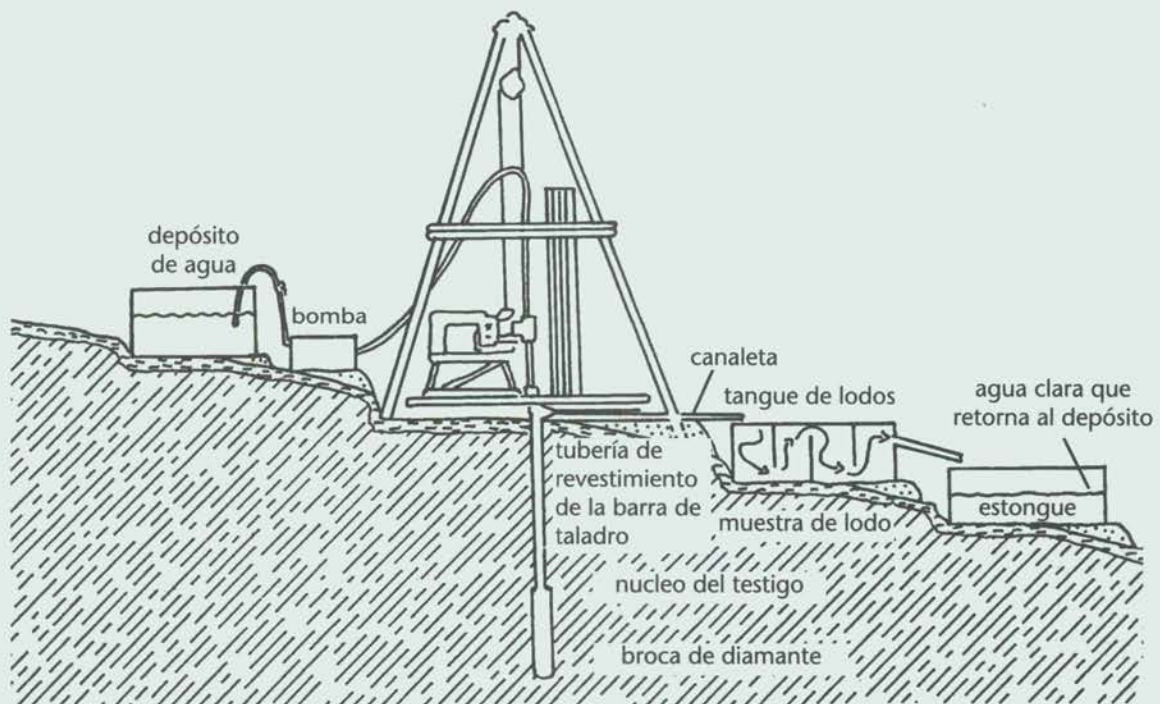


Figura 1. Perforación a diamantina, colección de muestras de lodo

Fuente: USDA, 1983

2.2 Desarrollo de Proyectos

Una vez que se hayan efectuado los trámites administrativos y que se haya obtenido el financiamiento, puede comenzar el desarrollo del proyecto. Este comprende los pasos siguientes :

- ingeniería detallada del proyecto minero, de la planta de tratamiento y de las instalaciones.
- desarrollo minero :
 - descubrimiento, en el caso de una operación a cielo abierto.
 - construcción de la infraestructura subterránea para acceder al mineral (pozos, rampas, galerías, niveles de transporte, etc.), seguida de una preparación de socavones.
 - construcción de la planta de tratamiento.
 - construcción de edificaciones de superficie (talleres, almacenes, laboratorios, oficinas, instalaciones sociales, etc.
 - preparación de métodos de disposición de desechos de mina y de efluentes de planta.
 - construcciones de accesos y de caminos de servicio o de vías férreas, etc.
 - utilización de la energía suministrada por una red existente o instalación de una planta de energía.

- desarrollo de un sistema de aguas para abastecer la mina y la planta de tratamiento con agua. El agua puede provenir de la mina, de pozos de agua, de una desviación de un riachuelo, de un tanque de almacenamiento, etc.
- preparación de una infraestructura social : primeros auxilios, cuarto para cambiarse, y si procede, tiendas, viviendas, sitios de recreo.

2.3 Operación Minera

2.3.1. Introducción

Según la forma y la localización del cuerpo mineralizado, la minería puede ser conducida por explotación subterránea o de superficie. En el segundo caso, la operación consistirá en una excavación a cielo abierto. Las operaciones mineras en placeres de oro son un caso especial, donde el mineral está constituido en sedimentos próximos de la superficie o pobremente consolidados, de origen glacial o aluvial. Todas las otras operaciones consisten en lo siguiente : arranque del mineral, carga, extracción o transporte hacia una zona de acumulación desde la cual se lleva a la planta para tratamiento o concentración en la planta.

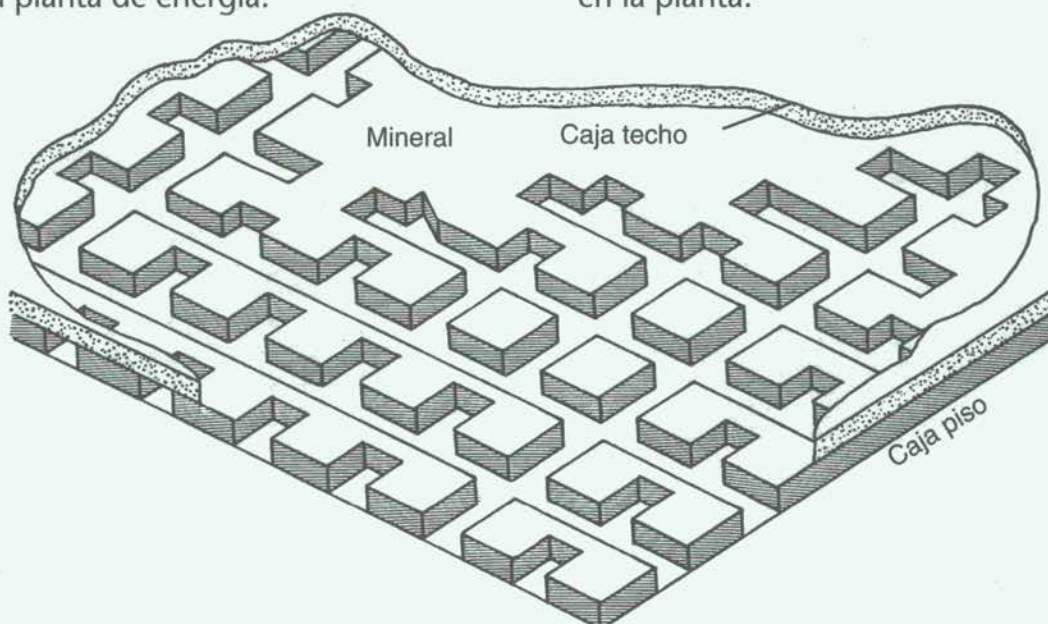


Figura 2. Rajo abierto con pilares regulares

2. DESCRIPCION GENERAL DE PROCEDIMIENTOS

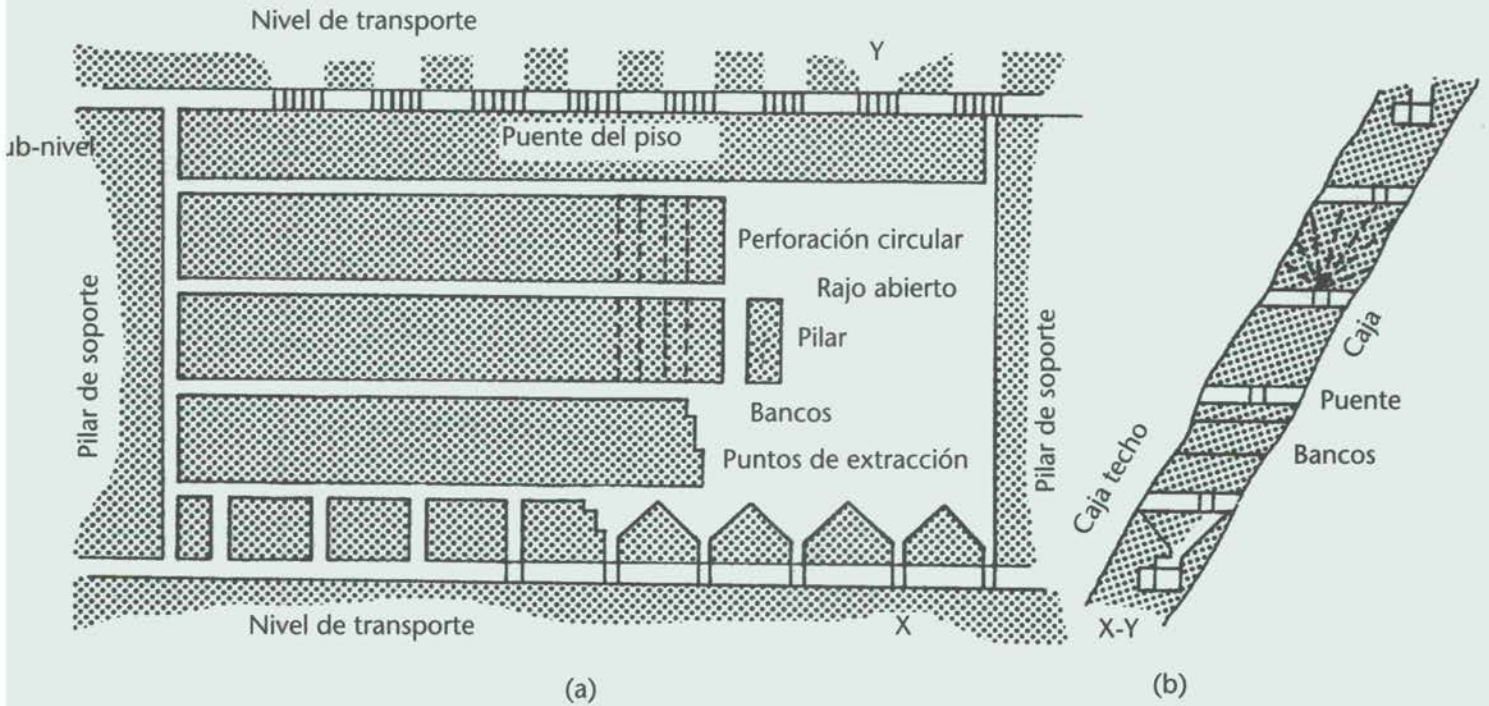


Figura 3. Caserones por sub-niveles con rayos longitudinales en vetas angostas

Fuente: (9)

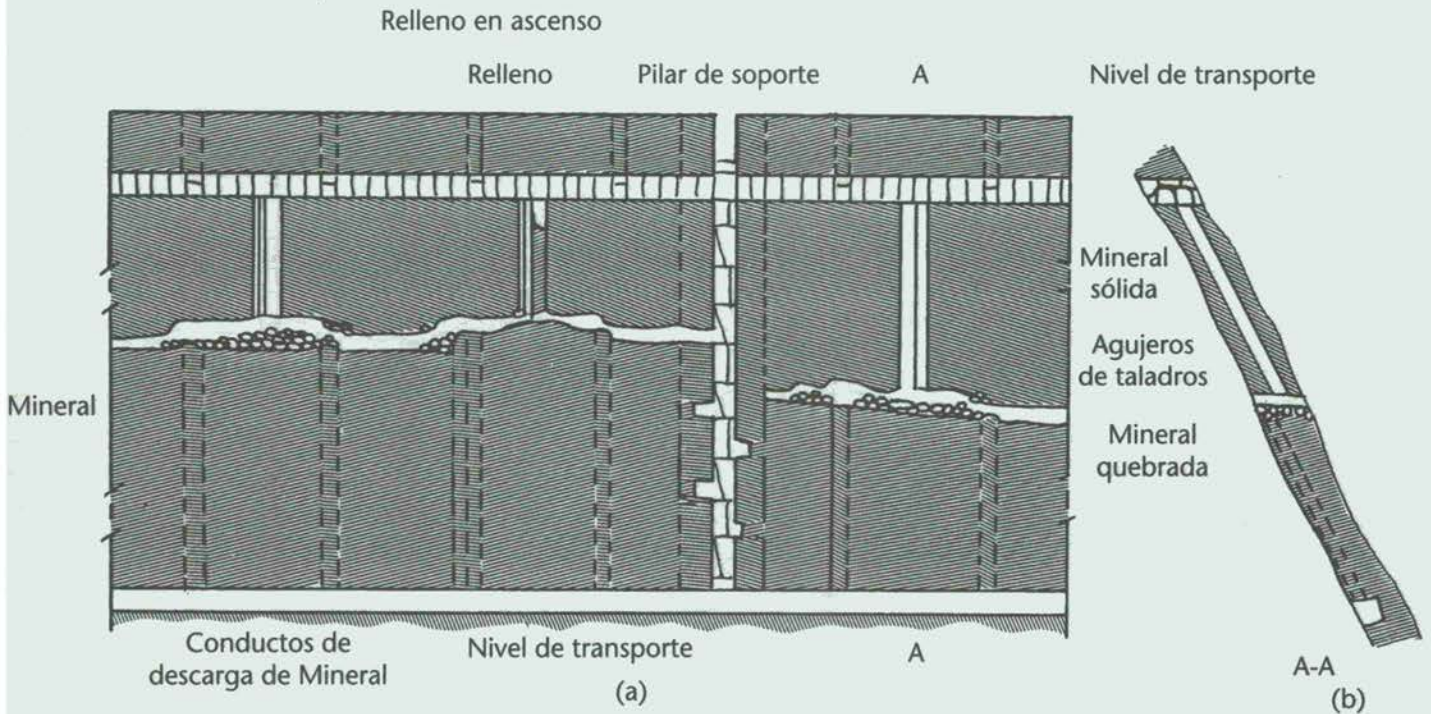


Figura 4. Corte y relleno

Fuente: (9)

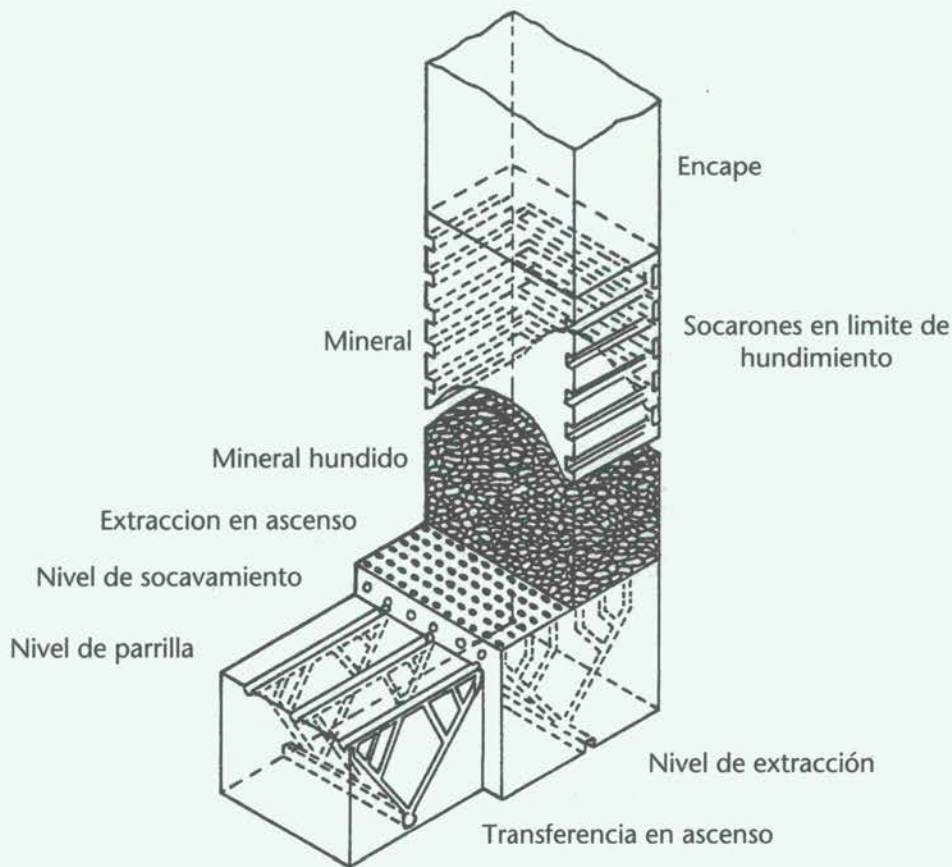


Figura 5. Hundimiento por bloques

Fuente: (9)

En minas no ferrosas, el arranque del mineral es generalmente ejecutado por uno de estos dos medios :

- en rocas duras, por voladura, usando explosivos cargados en barrenos perforados con taladros rotatorios o de percusión. Los agentes de voladura más comunes son : ANFO (Nitrato de Amonio + Fuel oil), geles de agua y explosivos a base de nitroglicerina.
- en materiales más blandos, directamente con un equipo de servicio pesado tal

como palas cargadoras, tractores rasadores, draga cavadora, escarbadores, etc.

2.3.2. Minería subterránea

La selección de un método de minería subterránea está basada en las características del depósito : tamaño y dimensiones, distribución del mineral dentro de éste, características mecánicas del mineral y de la roca circundante, criterios de beneficio económico, etc.

Cuadro 3
Métodos de Minería Subterránea

I. Abertura de Soporte Propio	II. Aberturas Sostenidas	III. Métodos Hundimiento
<p>A. Explot. socavones vacíos</p> <p>1. Aberturas aisladas</p> <p>2. Socavones con pilares</p> <p>a. Con pilares al azar</p> <p>b. Con pilares regulares</p> <p>B. Explot. por cámaras y pilares</p> <p>C. Socavones por subniveles</p> <p>D. Cámara y almacén</p> <p>E. Excavación con andamios</p>	<p>A. Corte y relleno</p> <p>B. Explot. con entibación ascendente y relleno (Square-set-and fill)</p> <p>C. Explotación con muros largos</p> <p>D. Explotación con muros cortos</p> <p>E. Rebaje</p>	<p>A. Hundimiento en sub-nivel</p> <p>B. Hundimiento por bloques y paneles</p>

Fuente: (9)

Las figuras 2 a 5 describen, los métodos más comúnmente usados :

Después de la voladura, el mineral es recogido por equipo mecánico tal como cargadores, escarbadores, cucharas, etc. y dirigido a través de pasos o caídas de mineral hacia el nivel principal de extracción por camiones subterráneos, vagones ferroviarios o cintas transportadoras.

Desde el nivel de extracción hasta la superficie, el mineral es transportado (extraído) mediante técnicas que dependen de la infraestructura general de la mina:

- en minas con rampas o socavones : por camiones o cintas transportadoras.
- en minas con pozos : mediante máquinas de extracción compuestas por un elevador, guías y andamios.

Algunos de los métodos mineros requieren que los socavones de la mina sean rellenados después con material estéril. El material de relleno puede consistir de desechos de mina (roca estéril), o material externo (de una cantera exterior, por ejemplo), o desechos de la planta de tratamiento (residuos). El relleno es transporta-

do a los socavones, según el caso, por camiones, por conductos, o descargados desde la superficie a través de perforaciones especiales.

Es necesario un sistema de ventilación para suministrar aire fresco a los socavones de trabajo, para extraer los humos emitidos por la voladura y la maquinaria diesel, y también para enfriar las minas más profundas donde el aumento de la temperatura volvería las condiciones de trabajo insoportables para los trabajadores. En algunos casos, la geometría de la infraestructura de la mina es tal que permite una ventilación natural pero, generalmente, hay que instalar un circuito específico de aire con ventiladores (en la superficie o en el subsuelo), por conductos o por huecos especiales.

Debido a que las minas están frecuentemente por debajo del nivel freático, las filtraciones de agua dentro de la mina deben ser controladas y dirigidas primero hacia una estación de bombeo, luego a la superficie.

Las minas generalmente comprenden todas las instalaciones necesarias para una operación minera : estaciones eléctricas, cuartos para cambiarse, un restaurante, etc.

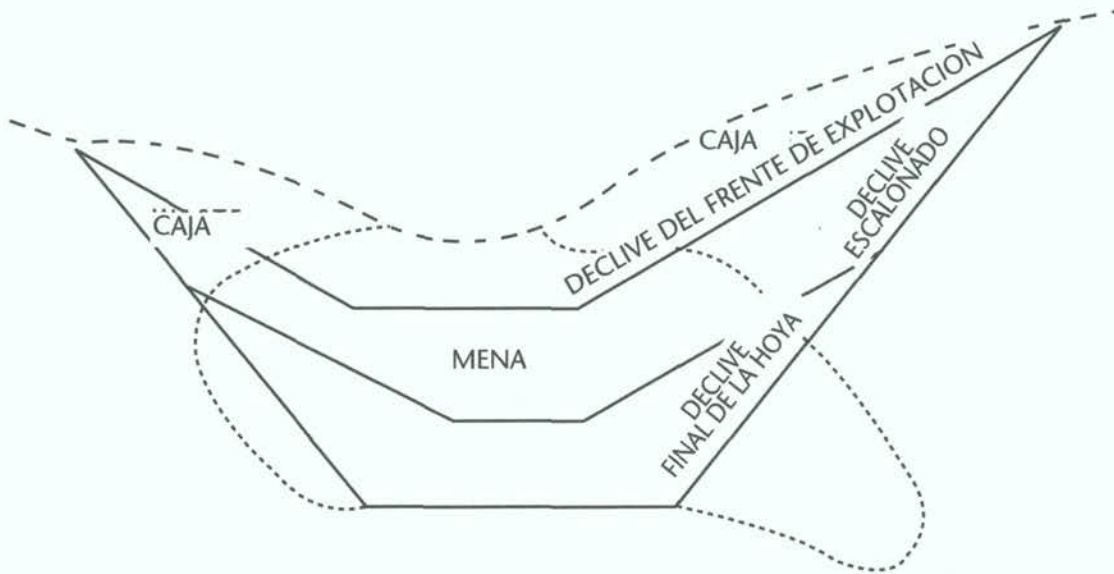


Figura 6 . Relación de declives de frentes de explotación a los declives finales en mina a cielo abierto

Fuente: USDA, 1983

2.3.3. minería de superficie

Los depósitos cerca de la superficie son explotados principalmente por métodos a cielo abierto y la máxima profundidad alcanzada depende de la geometría del cuerpo mineralizado y del costo de la remoción del recubrimiento y de los desechos. La figura 6 es una ilustración esquemática de un cielo abierto.

Las operaciones o pasos de minería son:

- la remoción de materiales de encape hacia zonas de depósito de desechos, voladura de mineral, carga, y transporte a la planta de proceso.

Los equipos de minería y de carga incluyen palas hidráulicas, retroexcavadoras, cargadores frontales, dragas cavadoras. El transporte es realizado por volquetes, cintas transportadoras, trenes, incluso andariveles cuando es necesario.

Frecuentemente, el fondo del corte debe ser bombeado hacia afuera para retirar las aguas de lluvia o de filtraciones naturales.

2.3.4. Minería de placeres

Los depósitos de placeres consisten en minerales pesados de materiales detríticos

no consolidados. Trataremos solamente de los depósitos de placeres de oro, aunque otros minerales se encuentran en depósitos similares (diamantes, estaño, columbotantalita, monazita etc.). Los principales métodos mineros son:

(a) Planta en tierra firme:

- cuchara de arrastre y línea de cable.
- equipo móvil, tal como tractores, dragas cavadoras, palas y camiones, pequeñas excavadoras con rueda de cangilones y camiones.
- minería hidráulica, que consiste en la liberación insitu del material mediante agua a alta presión.

(b) Planta flotante:

- draga cavadora y planta de lavado.
- dragado hidráulico.
- draga de cangilones.

A escala comercial, el principal método usado para extraer oro de materiales de placeres, consiste en una concentración gravimétrica primaria, en una canaleta con separadores o en una clasificadora hidráulica, seguida por una amalgamación con mercurio o limpieza gravimétrica del preconcentrado.

2.3.5. Minería a pequeña escala

En este informe, la minería a pequeña escala se refiere a una operación artesanal minera de oro, a menudo emprendida por unos pocos trabajadores, ya sea individualmente o en cooperativas. En muchas partes de Sudamérica, África Ecuatorial, y Sud-Este Asiático, cientos de miles de trabajadores recuperan oro por bateado manual y otros métodos básicos de extracción. En algunos países, esta práctica es estimulada por el gobierno (10); en otras partes, sin embargo, esto no está permitido o es llevado a cabo ilegalmente. Las consecuencias ambientales de la minería a

pequeña escala del oro son tratadas en el Capítulo 9.

2.4. Beneficio

Los minerales de metales no ferrosos son generalmente procesados en el sitio de la mina para producir concentrados comercializables o un caldo, en el caso del oro, excepto los minerales lateríticos de níquel que se suministran directamente a una fundición o a una planta hidrometalúrgica que produce un metal o una mata.

Los procedimientos más comunes de beneficio, en uso, son:

Metal	Minerales Sulfurosos	Minerales Oxidados
Cobre	G, F	G, F, L
Níquel	F, M	-
Plomo	G, F	G, F
Zinc	G, F	G, F
Oro		G, F, L
<i>Procedimientos Físicos</i> G: Gravimetría F: Flotación M: Separación magnética		<i>Procedimientos Químicos</i> L: Lixiviación

Los procedimientos físicos no son eficaces si las tipos de minerales comercializables en el mineral no pueden ser liberados del material desechable (ganga). La liberación requiere una operación de reducción de tamaño, llamada pulverización, antes que el proceso de beneficiamiento pueda tener lugar. Debe notarse que, muy a menudo, este es también el caso en los procedimientos de lixiviación.

2.4.1. Pulverización

Mientras que la distribución por tamaño de partículas de un mineral de mina va desde unos pocos micrones a varios cientos de milímetros, el tamaño de liberación de los minerales sulfurosos es generalmente inferior a 100 micrones. De hecho, para reducir el tamaño de las partículas de un mineral a la dimensión requerida, se utilizan dos tipos principales de flujogramas :

(a) Trituración-molienda

La reducción de tamaño de partículas de un mineral, hasta aproximadamente 10 mm, es realizada en seco en una planta de trituración, que comprende una trituración primaria en una trituradora de mandíbulas o en trituradora giratoria para operaciones de gran capacidad, seguida por una o dos etapas en trituradoras giratorias secundarias. En cada etapa, cedazos vibradores separan el material de la dimensión deseada.

La reducción subsecuente de tamaño del material triturado es obtenida por molienda húmeda, con molinos de barras y/o molinos de bolas, después de adición de agua al mineral.

(b) Molienda autógena

Después de la trituración primaria, el mineral de mina es directamente entregado en forma de pulpa, para su molienda, a un molino autógeno (o semiautógeno). La molienda fina es ejecutada con molinos de cilindros o con molinos clásicos de bolas.

(c) Clasificación

Según el tamaño final de grano requerido y de la capacidad de la planta de proceso, pueden haber hasta tres etapas de molienda. La clasificación incluye clasificadores de rastrillos, clasificadores de espiral, o más a menudo, hidrociclones instalados en cada etapa de molienda para retirar los granos de mineral que tienen la dimensión final específica y dirigirlos hacia el proceso siguiente.

2.4.2. Flotación

La flotación es el método más ampliamente usado para el beneficio de metales básicos, sulfurosos y de minerales oxidados (excepto minerales oxidados de níquel). Esta es también implementada para procesar minerales en los que el oro está combinado con sulfuros. La flotación es un procedimiento físicoquímico complejo efectuado en un mineral vuelto pulpa con agua y por el cual las superficies de uno o más minerales, finamente molidos, se vuelven impermeables y son atraídos por las burbujas de aire. Los minerales son acondicionados, ya sea para flotar o para hundirse, mediante un uso diferente de reactivos químicos (reactivos de flotación) mezclados con la pulpa del mineral.

La separación por flotación tiene lugar en una serie de celdas de agitación o en columnas, que tienen un sistema de dispersión de aire. A menudo se emplean varias etapas de flotación para obtener la concentración deseada.

Los concentrados comercializables son desaguados en espesadores y filtros. La Figura 7 da un ejemplo de flujograma de una planta de concentración por flotación de Pb-Zn. Los desechos son dirigidos a través de zanjas, canaletas o sistema de tuberías a estanques de almacenamiento, donde el agua es recuperada por decantación antes de reciclarla en la planta de proceso o evacuarla al medio ambiente.

2.4.3. Separación Gravimétrica

La concentración gravimétrica es un método implementado para separar sólidos de

diferente peso específico en un medio fluido, tal como agua o una suspensión de ferrosilicio o magnetita en agua.

Este procedimiento, cuando se aplica a minerales de metales no ferrosos, es, en la mayoría de los casos, usado como un paso de preconcentración para descartar del mineral triturado un tonelaje significativo de material antes que el mineral vaya a procedimientos más caros de molienda y de flotación. En ese caso, la concentración gravimétrica tiene lugar generalmente en tambores rotativos o en ciclones, después que el mineral haya sido mezclado con el fluido apropiado.

El oro libre se recupera del mineral por medio de numerosos dispositivos de concentración gravimétrica utilizando agua como medio, desde bateas manuales de espirales, clasificadoras hidráulicas, mesas vibradoras, mesas con mantas, concentradores Johnson, etc.

2.4.4. Otros procedimientos físicos

Además de la flotación y de la concentración gravimétrica, que son los procedimientos físicos de beneficio más frecuentemente usados, se puede mencionar:

- La separación magnética, empleada para separar la pirrotina de los minerales sulfurosos de níquel.
- La separación eléctrica, empleada para reconcentrar minerales sulfurosos.

2.4.5. Lixiviación

(a) Minerales de cobre

Para beneficiar óxido de cobre y minerales sulfurosos de muy baja ley, se usa la lixiviación con ácido sulfúrico y la extracción en forma de cloruros.

La lixiviación puede efectuarse en bateas, en montones o en diques. El cobre es recuperado de una solución preñada, por cementación en chatarra de hierro o por extracción solvente.

(b) Cianuración de minerales de oro:

La solubilidad del oro en soluciones acuosas diluidas de cianuro alcalino es la base de un importante método de bene-

2. DESCRIPCION GENERAL DE PROCEDIMIENTOS

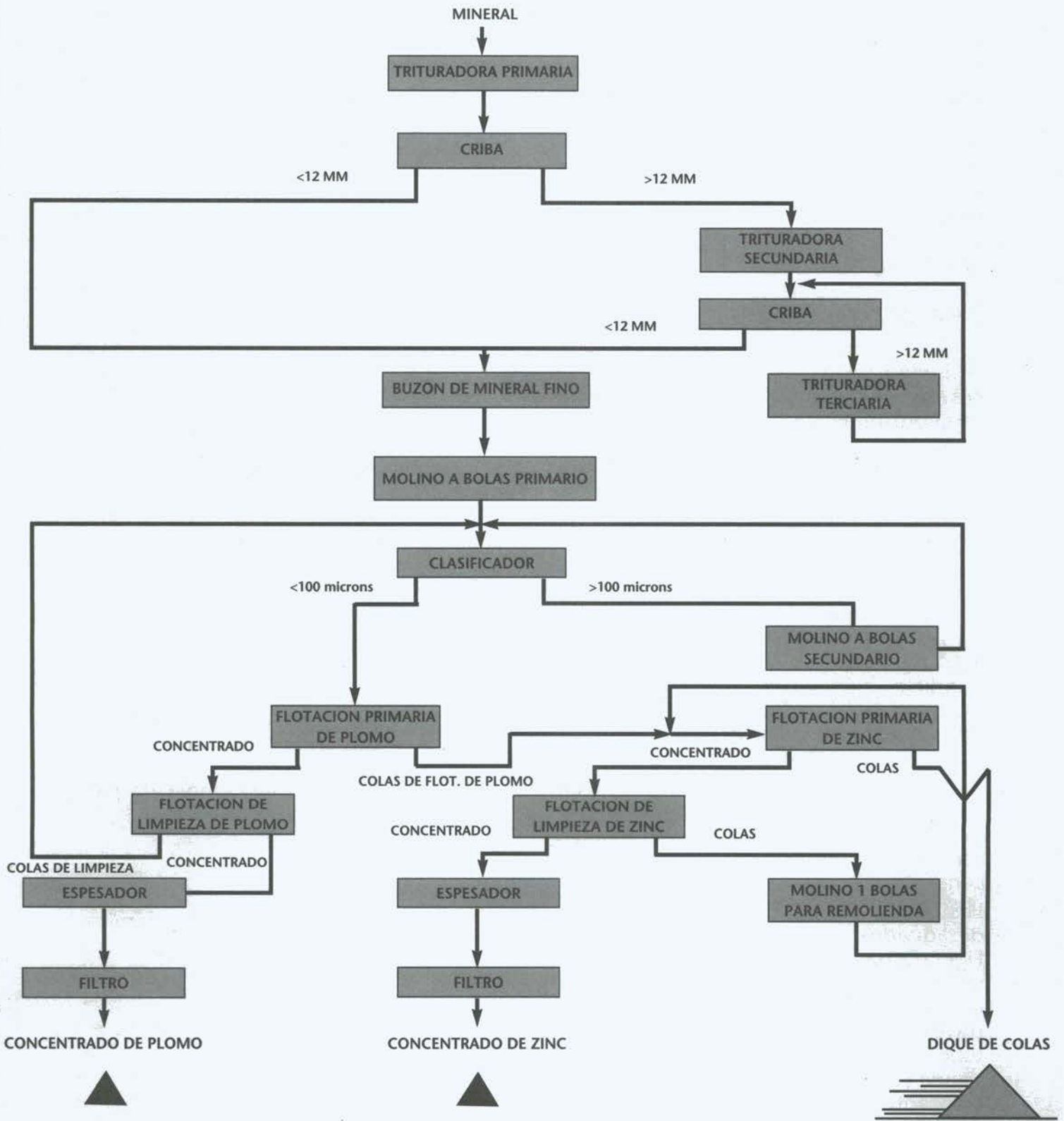


Figura 7. Flujograma típico de una planta concentradora de Pb-Zn

Cuadro 4
Resumen de Métodos de Proceso de Minerales de Oro

Naturaleza del Mineral	Método de tratamiento
Oro aluvial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Concentración gravimétrica 2. Amalgamación
Minerales filonianos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Concentración gravimétrica 2. Amalgamación 3. Cianuración directa, carbon activado en pulpa
Minerales sedimentarios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cianuración directa 2. Tratamiento de carbonatos refractarios, cianuración directa
Teluros de oro	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flotación en masa-tostación cianuración 2. Cianuración directa-SO₂ tostación cianuración de concentrados 3. Flotación-cianuración de concentrados-tostación de residuos-recianuración 4. Cianuración directa con adición de bromocianuro
Oro con pirita y marcasita	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flotación-fundición de concentrados 2. Flotación- cianuración de concentrados
Oro con pirrotina	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cianuración directa con preaeración de baja alcalinidad con cal 2. Cianuración directa-flotación desechos de cianuración molienda y recianuración de concentrado de flotación o tostación y recianuración
Oro con arsenopirita	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cianuración directa 2. Flotación-tostación de concentrados 3. Tostación de mineral-lavado cianuración 4. En autoclaves 5. Oxidación en ácido nítrico
Oro con minerales de cobre	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flotación-fundición de concentrados-recuperación durante refinación electrolítica 2. Flotación-cianuración de molibdeno
Oro en refractario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tostación-cianuración de minerales carbonáceos 2. Cloruración-cianuración 3. Flotación de material grafitico cianuración de desechos
Oro con minerales de plomo-zinc	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flotación-fundición de concentrados 2. Concentración en clasificadoras hidráulicas-amalgamación tratamiento en retorta.

Fuente: (11)

2. DESCRIPCION GENERAL DE PROCEDIMIENTOS

ficio de minerales de oro. Se puede apreciar en el Cuadro 4 que la cianuración puede ser aplicada a muchos tipos de minerales de oro.

La cianuración puede realizarse de diferentes maneras:

- lixiviando lo extraído de la mina o el

- mineral triturado
- lixiviando en bateas
- lixiviando el mineral molido, los concentrados de flotación, etc., en tanques de agitación. Las plantas concentradoras de oro pueden combinar flotación y cianuración (Figura 8).

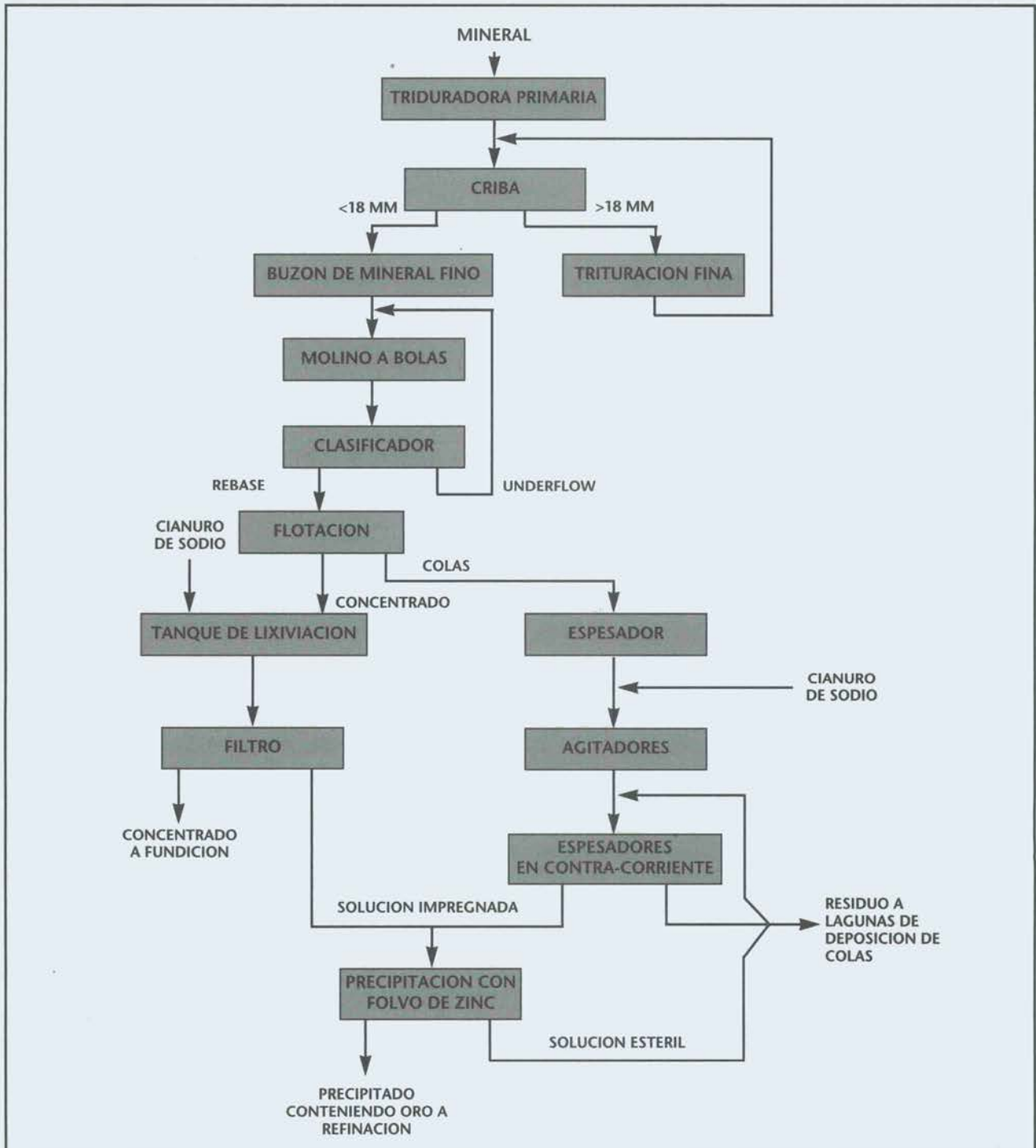


Figura 8. Flujograma de una planta concentradora de oro (Hecla Mining Company)

Fuente: (13)

El oro es recuperado de soluciones preñadas, por precipitación con polvo de zinc (Proceso Merrill-Crowe) y subsecuente fundición directa del precipitado. Más recientemente, ha venido a expandirse ampliamente el uso del carbón activado para recuperar oro disuelto por cianuración en pulpas de minerales (procedimiento de carbón en pulpa) o en soluciones preñadas claras (procedimiento de carbón en columna), como se indica en la figura 9.

El oro es extraído del carbono mediante una solución alcalina diluida y depositado por electrólisis en una esponja de hierro, la que es entonces fundida y el oro es sepa-

rado y vaciado como un caldo crudo o Doré. Los desechos de las plantas de cianuración se depositan de manera tradicional en un estanque donde los sólidos se sedimentan y la solución es decantada y reciclada hacia la planta. En esos casos, cuando es necesario descargar la solución (por ej. en lugares con precipitaciones mayores), la solución puede ser diluída o destoxificada por uno de los diversos métodos antes de descargarla (ver Apartado 7.2.4.2.).

Información suplementaria sobre beneficio de minerales de oro y de metales básicos, se halla disponible en (8), (11), (12), (14).

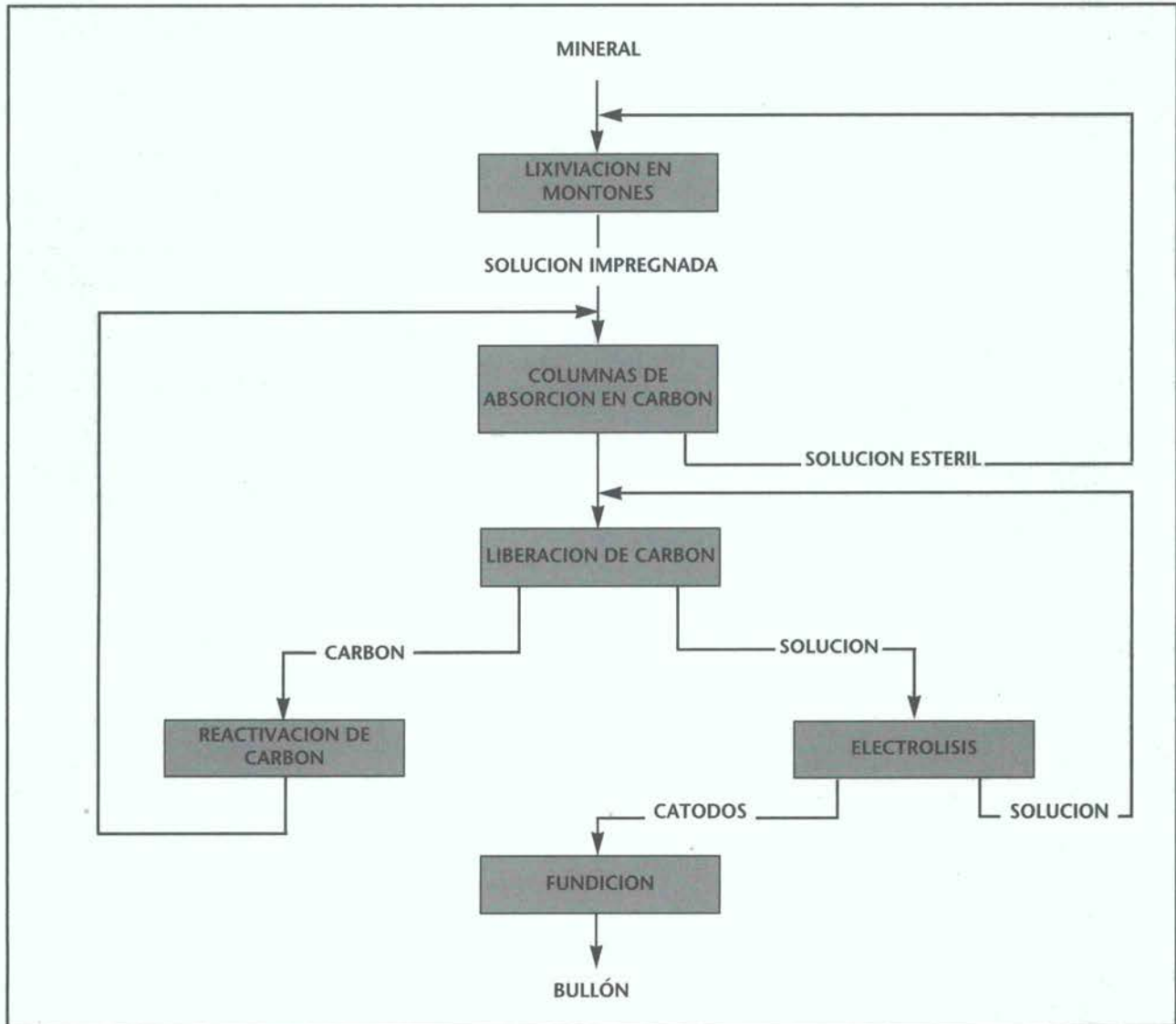


Figura 9. Flujograma de recuperación de oro - Ortiz Gold Mine

Fuente: E and M], Sep.1983

2.5. Transporte y Manutención

Los métodos de transporte en superficie de mineral de mina se describen en el Apartado 2.3.3.

Generalmente, las instalaciones de almacenamiento están delante de la planta de concentración. Estas incluyen:

- Tolvas (circulares o rectangulares)
- Apilamientos (cónicos, rectangulares, de forma arriñonada, en rampas).

El material de las tolvas es extraído con alimentadores de oruga, alimentadores vibratorios, cintas alimentadoras, etc.

El material apilado puede ser retirado por medio de una cinta transportadora instalada en un túnel por debajo de la tierra, o por una cargadora móvil con rueda de cangilones sobre tierra; para pequeños apilamientos se utilizan también palas, cargadores y tractores.

Dentro de la planta de concentración, el material seco es manejado con cintas transportadoras, las pulpas de minerales con bombas y tuberías.

Los medios usuales de manutención y de transporte de concentrados se resumen a continuación:

Concentrados	Manutención	Transporte
Pulpa	Bomba	Tubería
Pulpa espesada	Bomba	Vagón ferroviario
Queque filtrado (10-16% H ₂ O)*	Cinta transportadora Cargador frontal	Camión contenedor Carro de descarga lateral
	Pala de doble concha (cubierta)	Vagón ferroviario abierto Góndola de fondo plano
Queque filtrado (< 9% H ₂ O)	Cinta transportadora	Bolsas; Bolsas-grandes; Contenedores
Producto enteramente seco	Manutención neumática	Tanques de carretera y ferroviarios

* Se deberá tener cuidado con los concentrados sulfurosos para evitar combustiones espontáneas.

2.6. Cierre de mina

Las medidas que se deben tomar cuando se cierre una mina son examinadas en el Capítulo 6.

3. IMPACTOS POTENCIALES DE LA MINERÍA EN EL MEDIO AMBIENTE

Los impactos ambientales potenciales de la minería, se resumen en el Cuadro 6.

3.1. Contaminantes Potenciales:

Los contaminantes del agua pueden incluir:

- ácidos.
- mercurio.
- metales como iones o complejos de cobre, plomo, zinc, níquel, hierro, arsénico, cadmio.
- tiosulfatos, compuestos politionatos también resultantes del agua ácida de mina.
- cianuro de sodio para la recuperación del oro.
- reactivos de procedimientos (ver Cuadro 5), contenidos en los varios efluentes de procedimientos.
- compuestos de nitrógeno de los materiales de voladura
- aceite y fuel-oil usado en máquinas, plantas de energía, lubricación.
- sólidos en suspensión: agua de mina, drenaje de superficie, y efluentes de

procedimientos generalmente con sólidos en suspensión que pueden tener un tamaño desde coloidal a fácilmente sedimentable. Dichos materiales sólidos pueden ser parte del mineral, desechos de rocas o del suelo que rodea la superficie de la instalación.

Los contaminantes atmosféricos incluyen:

- polvo, cuya naturaleza es similar a los elementos que componen la suspensión de sólidos en efluentes líquidos.
- gases producidos por procedimientos de combustión tales como voladura, motores de combustión interna: monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre.
- escapes de gases naturales tales como metano, aunque nó es frecuente en minas de metales básicos. Los problemas atmosféricos subterráneos son tratados en el Capítulo 8.
- ruidos y vibraciones producidos por voladura, por el equipo minero, por las operaciones de plantas de proceso, etc.

Cuadro 5
Reactivos Típicos de Proceso de Minerales

Reactivos	Comentarios
Acidos (H ₂ SO ₄ , HCL, HNO ₃) Alcalis(CaO, Ca(OH) ₂ , CaCO ₃ , Na ₂ CO ₃ , NaOH, NH ₄ OH, NH ₃) Espumantes y Colectores Modificadores	Compuestos orgánicos activos de superficie Compuestos orgánicos activos y diversos inorgánicos tales como NaCN, Na ₂ SO ₃ , CuSO ₄ , ZnSO ₄ , Na ₂ S, AlCl ₃ , Pb(NO ₃) ₂ , silicatos y cromatos.
Cianuro de Sodio	Usado para cianuración de metales preciosos y como depresor en procedimientos de flotación de cobre, plomo, zinc.
Floculantes, Coagulantes	Sales de aluminio y hierro, y polímeros orgánicos.

Fuente: (15)

3.2. Efectos Potenciales en el Medio Ambiente

Contaminantes del agua

Mientras que el perjuicio para la salud humana provocado por los contaminantes de agua de mina es raro, en algunos lugares se llega a niveles de contaminación fatal para los organismos acuáticos. Muchos organismos acuáticos son más sensibles a los contaminantes que los humanos.

Metales Básicos

Muchos metales, tales como el cobre y el zinc, son necesarios para la salud en pequeñas concentraciones, pero altamente tóxicos cuando se presentan en exceso. Según su forma y su concentración, los

metales pesados pueden ser fatales para los peces, impidiendo la reproducción o entrando en la cadena humana por acumulación en el tejido del pez, como por ejemplo el cadmio y el mercurio que pueden estar presentes en los minerales sulfurosos de zinc. La toxicidad puede ser aguda o crónica.

La toxicidad causada por los metales pesados en agua fresca no solamente depende de la concentración de metales, sino también de otros factores tales como el pH, la dureza del agua, la presencia de otros metales y en caso de absorción o de presencia de agentes compuestos.

Por ejemplo, los niveles tóxicos del cobre y del zinc para los peces, dependen de la dureza del agua.

Dureza del Agua (mg/l CaCO ₃)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
10	0.005	0.3
50	0.02	0.7
100	0.04	1.0
500	0.11	2.0

Fuente: EEC Council Directive N° 78 - 659

Acidez

La acidez, que puede resultar de un incremento de la concentración de metales pesados disueltos, puede aumentar los efectos tóxicos de los metales.

Sin embargo, factores tales como la capacidad de amortiguamiento de la corriente receptora y la naturaleza del ácido son importantes en el impacto global de los efluentes que contienen ácido.

Tiosulfato

Los tiosulfatos pueden crear problemas ambientales a través de su oxidación en ácidos en las aguas receptoras.

Cianuros

Los cianuros son letales para los peces en

muy bajas concentraciones, tan bajas como 0.04mg/l para las truchas.

Reactivos Orgánicos

Algunos de los reactivos orgánicos usados en las operaciones de proceso de minerales de metales básicos pueden ser tóxicos. No obstante, la concentración de la mayoría de los elementos detectados en efluentes de estanques de desechos están muy por debajo del umbral de toxicidad aguda pero la posibilidad de una toxicidad crónica a más largo plazo no puede ser descartada.

Aceites

Los aceites forman una delgada película sobre la superficie del agua y pueden interfe-

rir en la reoxigenación de ésta. El aceite también puede cubrir las agallas de los peces.

Nitrógeno

El nitrógeno contribuye a la eutroficación de los cursos de agua.

Sólidos en suspensión

Muchos sistemas de agua contienen variadas concentraciones de sólidos en suspensión. Sin embargo, según su naturaleza y su concentración, los sólidos en suspensión pueden interferir en la autopurificación del agua, debido a la disminución de la penetración de la luz y de ahí la disminución de las reacciones de fotosíntesis. No obstante, algunas aguas pueden estar ya limitadas en luz por la presencia de materias naturales de sedimentación. En casos extremos, el depósito de cieno puede conducir a una inundación y a la obstaculización de la navegación.

Efecto combinado de contaminantes de agua

Un efluente que contiene una mezcla de contaminantes puede tener una toxicidad total, la cual es diferente de aquella de sus componentes individuales. Se podrían llevar a cabo pruebas biológicas de efluentes para identificar su potencial dañino para el medio ambiente.

Contaminantes atmosféricos

El polvo en suspensión en el aire, representa potencialmente un riesgo para la salud humana (ver Capítulo 8). La caída de partículas puede causar la contaminación del suelo, de la vegetación y del agua. El efecto preciso depende de la naturaleza y de la concentración de las partículas que son depositadas.

Los contaminantes gaseosos relacionados con la minería de metales básicos, conciernen principalmente a los trabajadores mineros (ver Capítulo 8).

Los sitios alrededor de las fundiciones pueden tener altos niveles de precipitación de metales pesados y de liberación de SO₂.

Otros contaminantes

Una variedad de compuestos químicos asociados con la minería o con el manejo de operaciones en el sitio, pueden causar problemas mineros ambientales si son desparramados. Tales compuestos químicos incluyen pesticidas y herbicidas, solventes de pinturas y aceites, así como los fluidos de transformadores del equipo pesado eléctrico.

Otros efectos

Estética

Las excavaciones de grandes cantidades de material en operaciones a cielo abierto, el almacenamiento de desechos en el suelo y la construcción de edificaciones y de estructuras mineras, son actividades que tienen a menudo un impacto estético considerable y negativo en la topografía local. Trabajos auxiliares tales como caminos de acceso, puertos, pistas aéreas, y cables de alta tensión etc., pueden presentar un mal aspecto durante las operaciones mineras y después del cierre.

Socioeconómico

El crecimiento de la población y el desarrollo de la infraestructura están comúnmente asociados con el desarrollo minero. La percepción positiva o negativa de estos efectos está grandemente determinada por el grado y por el éxito de la planificación en el crecimiento poblacional. Una apropiada planificación puede producir beneficios positivos tales como un mejor cuidado de la salud o beneficios económicos para la población local, etc.

Zonas alejadas

El impacto potencial sobre el medio ambiente tiene que ser especialmente estudiado cuando el proyecto minero está siendo planificado en una zona alejada y relativamente desconocida. En ese caso debería insistirse en hacer intervenir especialistas en el medio ambiente y asesores a través de todas las etapas de planificación y de desarrollo del proyecto.

Cuadro 6 - Efectos Potenciales de la Actividad Minera en el Medio Ambiente

	Contaminación de agua superficial	Contaminación de agua subterránea (1)	Contaminación del aire	Desecho sólido	Excavación	Ruido y vibración	Observaciones
Salud humana y actividad	Contaminantes solubles en aguas de uso doméstico y/o agrícola Deposición de sólidos en tierras agrícolas en zonas marinas de poca profundidad Retiro de agua para propósitos industriales	Contaminantes solubles en pozos, manantiales, etc. Flujantes naturales de agua secándose como una consecuencia, del descenso del nivel freático	Ventarrón con polvo en tierras agrícolas habitadas (2)	Riesgos relacionados a la inestabilidad de depósitos de desechos		Efectos del ruido en la salud humana Daño en edificaciones debido a la vibración por voladura.	(1) Occurrence of such impla ocurrencia de tales impactos en aguas subterráneas no es un caso general; esta depende esencialmente de la hidrogeología del área (2) La atmósfera en planta y especialmente en mina subterránea ver Sección 8
Fauna	Alteración de la fauna acuática incluyen la destrucción de especies de pez, acumulación de elementos tóxicos en los peces				Pérdida del hábitat	Trastorno de las características del hábitat (3)	(3) Las emisiones respecto a las características únicas del hábitat (corredores de migración, áreas de abrevadero, etc...) para especies amenazadas o en riesgo; deberían ser especialmente dirigidas.
Flora	Alteración de la flora acuática.		Acumulación en las plantas, de los elementos tóxicos transportados por el polvo		Pérdida del hábitat		Los requerimientos espaciales de las operaciones mineras normalmente son bastante restringidos; dentro del área el trastorno puede ser significativo. Deben ser considerados esencialmente los efectos en especies con limitada extensión geográfica.
Uso de la tierra	Deposición de arena en lechos de río en zonas marinas de poca profundidad			Trastorno de la tierra Retroceso de la tierra apta para la agricultura	Trastorno de la tierra Subsistencia de la tierra debido al minado subterráneo		

4. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINANTES

4.1. Contaminación de Agua

4.1.1. Drenaje de minas de superficie y subterráneas

La fuente más significativa de líquidos de desecho en la industria minera de metales no ferrosos, es el drenaje ácido de mina. El drenaje ácido de mina es común en zonas donde la apertura de mina intercepta el nivel freático y donde las rocas contienen sulfuros de hierro (pirita y/o pirrotina) o, menos comúnmente, algunos otros sulfuros. Allí donde se extraen esos minerales piríticos, la lixiviación por la lluvia de desechos de rocas amontonadas puede ser responsable de la contaminación ambiental. El tema del drenaje ácido de mina es tratado en el Capítulo 5.

Menos significativo, aunque algo frecuente como fuente de desechos, es la cantidad de sólidos en suspensión por drenaje en operaciones mineras.

El volumen y la calidad del agua de mina varía ampliamente según el tipo de operación minera, la geoquímica, y la hidrología de dicha mina.

Para operaciones a cielo abierto, el volumen de agua depende del ingreso de agua subterránea y de la precipitación dentro del zona superficial del corte. El agua es normalmente colectada en pozas en el fondo del corte.

Para operaciones subterráneas, el volumen de agua de mina está influenciado por las condiciones hidrogeológicas locales, la infiltración del agua superficial dentro de la mina, el agua usada para perforación y supresión de polvo y el agua contenida en el relleno de desechos cuando se emplea este método de relleno.

El volumen del agua de mina varía mucho de una mina a otra, como dentro de una

misma operación. El agua de mina se bombea a la superficie desde pozas de colección donde la mayoría de los sólidos en suspensión son decantados. Las características químicas del agua de mina varían según la mina. Una indicación de la variabilidad de la calidad del agua de mina es dada en el Cuadro 7a.

4.1.2. Aguas de desecho del beneficio

Los desechos de plantas de beneficio están compuestos, en la mayoría de los casos, de un lodo que contiene partículas de material molido (minerales ganga, una menor cantidad de minerales valorables) en suspensión en el agua. Básicamente, se utilizan dos métodos de depósito de desechos :

(a) Los desechos se descargan directamente en el entorno.

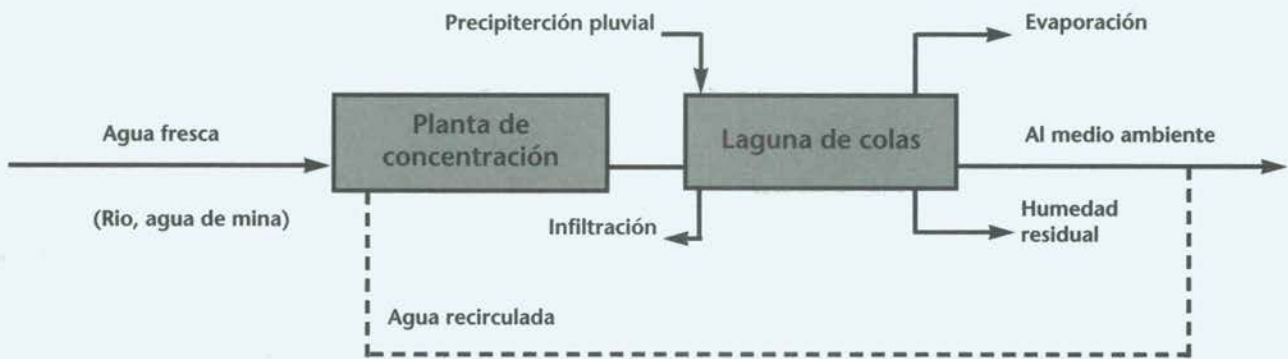
En general, la descarga de desechos en ríos no es muy práctica, ni recomendable desde un punto de vista ecológico.

La descarga directa subacuática en lagos o en aguas de la costa, presenta la ventaja de una gran reducción de la tasa de oxidación de desechos que generan ácido. Sin embargo, la descarga de desechos dentro de lagos o dentro del mar debería ser desaprobada dado el potencial de problemas ambientales relacionados con la presencia, a largo plazo, de contaminantes y de su impacto potencial en la flora y la fauna acuática. Esta debería ser empleada solamente en los casos donde puede ser demostrado que el impacto es insignificante.

Ejemplos de estos métodos se encuentran en Filipinas y en Canadá (16).

(b) Los desechos son depositados en estanques de desechos.

4. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINANTES



Más frecuentemente, los desechos de plantas concentradoras son descargados en una zona específicamente diseñada -estanco de desechos- donde los sólidos pueden asentarse. Según el balance entre la lluvia y el agua decantada, por un lado, y por otro la evaporación, la infiltración en la tierra del sitio y la mezcla residual de desechos, según también la posible influencia del agua recirculada en los procesos metalúrgicos de la planta, el agua superficial puede ser parcial o totalmente evacuada en el entorno. Métodos de construcción de estanques de desechos se examinan en el Apartado 4.3.

Según los métodos de minería usados en operaciones subterráneas, los materiales de desechos pueden usarse para relleno. Sin embargo, generalmente solo se emplea la fracción gruesa requiriéndose además un estanque de desechos para los materiales finos. Consecuentemente, el mayor desecho de líquidos de una planta de beneficio, es el agua decantada del estanque de desechos.

Los contaminantes en los efluentes del estanque de desechos incluyen sólidos en suspensión compuestos de elementos del mineral tratado en la planta, metales pesados en solución, tiosales y reactivos químicos usados para el tratamiento.

Las características de los efluentes son altamente dependientes de las operaciones

específicas, como se indica en el Cuadro 8a. Este cuadro muestra claramente que cada proyecto minero debería ser considerado como un caso separado. Un breve vistazo de los efluentes contaminantes del estanque de desechos se presenta más abajo. Siempre que sea posible, las aguas de los estanques de desechos deberían ser recicladas en lugar de ser descargadas.

Sólidos en suspensión

Cuando las instalaciones para el depósito de desechos son adecuadas, la cantidad de sólidos en suspensión en los efluentes permanece a muy bajo nivel (ver Cuadro 7). La turbiedad puede presentarse a causa de la fracción no asentable de la carga de sólidos en suspensión. Esta puede ser ya sea una verdadera dispersión coloidal, o bien una suspensión muy fina de partículas más gruesas. En todo caso, los efectos de turbiedad en la vida de los peces parecen ser relativamente leves.

Metales pesados en solución

Una fuente de metales en el agua de desechos puede ser el agua de mina, cuando se usa como agua de tratamiento, y/o cuando se emplean reactivos de flotación tales como sulfato de zinc, sulfato de cobre en el beneficio de plomo-zinc y dicromato de potasio en el tratamiento de minerales de cobre-plomo-zinc.

Cuadro 7a
Características Químicas del Agua Cruda de Mina
en Minas de Plomo y Zinc

Parámetro	Minas con Características Acidificantes Concentración mg/l	Minas sin Características Acidificantes Concentración mg/l
pH*	3.0 a 8.0*	7.4 a 8.1*
TSS (Total de sólidos en suspensión)	< 2 a 58	2 a 138
COD	15.9 a 95.3	< 10 a 631
Aceite y Grasa	0 a 3	3 < 29
P	0.002 a 0.075	0.03 a 0.15
Amonio	< 0.05 a 4.0	< 0.05 a 1.0
Hg	0.0001 a 0.0013	< 0.0001 a 0.0001
Zn	1.38 a 38.0	0.03 a 0.69
Cu	< 0.02 a 0.04	< 0.02
Cd	0.016 a 0.055	< 0.002 a 0.015
Cr	0.17 a 0.42	< 0.02
Mn	< 0.02 a 57.2	< 0.02 a 0.06
Fe	0.12 a 2.5	< 0.02 a 0.90
Sulfato	48 a 775	37 a 63
Cloruro	< 0.01 a 220	3 a 57
Fluoruro	0.06 a 0.80	0.3 a 1.2

* Valores en unidades de pH

Fuente: (17)

Cuadro 7b
Ejemplos de Calidad de Aguas de Desecho en Estanques de Desechos
en Plantas de Metales Básicos

Parámetro	(I) Ejemplos de Minas Suecas de Cu-Pb-Zn	(II) Ejemplos de Minas Canadienses de Cu-Pb-Zn
pH	7.5 a 8.1	6.5 a 9
Turbiedad (mg/l)	1	8
Conductividad (uS/cm)	600 - 1700	
Cu (mg/l)	0.01 - 0.003	< 0.1
Fe (mg/l)	0.11 - 0.23	< 1.0
Zn (mg/l)	0.14 - 0.32	< 0.5
Pb (mg/l)	0.013 - 0.026	< 0.1
SO ₄ (mg/l)	190 - 330	n. a.
Tiosales (mg/l S ₂ O ₃)	n. a.	< 50

Fuente: (21) (15)

Los procedimientos de flotación aplicados para el beneficio de metales no ferrosos, son generalmente llevados a cabo en valores de pH básicos: en tales condiciones, la solubilidad de metales pesados en agua es baja y una importante fracción de los metales pesados contenidos en el agua del proceso es precipitada con los sólidos de los desechos (ver Cuadro 7(b), I). Sin embargo, cuando los sulfuros de hierro son los mayores componentes de los desechos y una fracción de los desechos se usa para construir el dique de desechos, se pueden presentar efluentes de bajo pH (como agua que filtra), y puede ocurrir un fenómeno similar al drenaje ácido de mina (ver Cuadro 7b, II).

Tiosales

Las tiosales se originan principalmente en la molienda y en la flotación de numerosos sulfuros, bajo condiciones alcalinas. Las tiosales son interesantes porque generan ácido sulfúrico. Como futura oxidación, forman sulfatos de iones más estables.

La presencia de tiosales en los efluentes del estanque de desechos, en concentraciones de unos pocos cientos de miligramos por litro o menos, pueden crear serios problemas ambientales a través de

su oxidación en ácidos en aguas receptoras. Información sobre la generación de tiosales durante el proceso de minerales sulfurosos y la oxidación de tiosales, puede conseguirse en (15), (19).

Reactivos de proceso

Una información completa sobre los reactivos usados para beneficio de minerales metálicos no ferrosos, por flotación, es presentada en manuales de proceso de minerales, tales como (11), (12).

Los reactivos más frecuentemente utilizados en las plantas de flotación de metales básicos y en las plantas de cianuración de oro, están listados en el Cuadro 8. Se dan también ejemplos típicos de consumo de reactivos.

Cuando el procedimiento se ejecuta correctamente, la mayoría de los reactivos químicos usados en flotación, excepto los modificadores de pH, son adsorbidos en la superficie de minerales. Puede suceder que algunos de ellos, cuando se emplean en exceso, permanezcan en solución en los desechos de la planta. La mayoría de los compuestos químicos orgánicos, en solución en la pulpa de los desechos, son oxidados en los estanques de desechos y no son encontrados en los efluentes finales.

Cuadro 8a

Reactivos de Flotación Usados en Concentración de Metales Básicos

Ácidos:

Acido sulfúrico

Alcalis:

Cal
Carbonato de sodio
Hidróxido de sodio

Modificadores:

Sulfato de cobre
Cianuro de sodio
Sulfato de zinc
Sulfuro de sodio
Silicato de sodio
Dióxido de azufre
Almidón

Colectores:

Xantato amílico de potasio
Xantato etílico de potasio
Xantato isopropílico de potasio
Anilina Dicresilditiofosfato
Aceite diesel
Amina

Espumantes:

Dowfroth 250
Alcohol Hexílico
Aceite de pino
Espumante HBTA

Cuadro 8b
Consumo Típico de Reactivos de Flotación en Plantas de Metales No-ferrosos
(g/t de mena)

Concentrador	Pb-Zn (sulfuros) Les Malines (Francia)¥	Pb-Zn (óxidos + sulfuros) Zellidja (Morocco)	Cu-Pb-Zn Brunswick Mining and Smelting (Canadá)	Ni (sulfuro) Falconbridge (Canadá)	Cu (sulfuro) Lornex (Canadá)	Au (cianuración + CIP) Homestake (EE.UU.)	Cu-Zn pirita Pyhasalai (Finlandia)**
Acido : H ₂ SO ₄				500-600			5000 (2)
Alcalis : Sal	1000		2500	225-400	1100	1200	3150
Carbonato de sodio		550	3300				
Hidróxido de sodio		246					
Modificadores : Sulfato de cobre	200	120	815	35-60			330
Cianuro de sodio	10	13				550	28
Sulfato de zinc	60	91					1450
Sulfuro de sodio		2800					
Silicato de sodio		2700					
Dióxido de azufre			700				
Amidon			100				
Colectores : Xantato amílico	45	130	270	60-85	35		220
Xantato isopropílico					30		
Xantato etílico	5	20					
Diesel oil		69					
Amina		250					
R-242 (1)		60					
Espumantes : Lowfroth 250				20-25	14		
Alcohol hexílico	40						
Aceite de pino					20		
Espumante HBTA		85					
Carbón						30	

Fuente : (11) (8)

(1) R242 : Aniline Dicresyl dithiophosphate + thiocarbanilide

* Por cortesía de METALEUROP SA

** Outokwara documentation

(2) Acido sulfúrico usado para la recuperación de pirita.

4. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINANTES

La cinética de esta oxidación depende de la temperatura. La concentración de los reactivos químicos orgánicos, en los efluentes, puede ser preocupante en ciertas condiciones durante las estaciones frías.

El cianuro es un reactivo usado principalmente en la flotación de minerales de plomo-zinc y para el beneficio del oro.

La cantidad de cianuro empleada en las operaciones de flotación es suficientemente baja como para permitir su retiro de los desechos de flotación por degradación natural. El principal mecanismo implicado en la degradación natural del cianuro es la pérdida del ácido cianídrico volátil.

En plantas de oro, aunque el consumo de cianuro es mucho más grande (ver Cuadro 8b), la extracción del cianuro por degradación natural, es el método más comúnmente usado. Se requiere una exposición prolongada de las aguas de desecho en el estanque de desechos. Cuando esto no es económicamente factible y/o cuando no se obtiene una disminución aceptable de concentración de cianuro en los efluentes, es necesario un tratamiento adicional. El Cuadro 9 presenta algunos ejemplos de la composición final de los efluentes. Datos más completos sobre los procedimientos de tratamiento del oro en planta y sobre las características de los efluentes aparecen en (28).

Cuadro 9
Composición de Efluentes Finales de Doce Minas de Oro de Ontario y Quebec - 1978 y 1980

Constituyentes mg/l					
CN _T	Cu	Fe	Pb	Ni	Zn
0.30	0.3		0.005	0.40	0.19
0.87	0.1		0.10		0.06
1.2	0.5		0.03	0.02	0.13
2.8	1.4		0.02		0.05
3.3	3.6				3.04
4.8	1.0		0.04		1.32
6.8	2.3	0.3	0.10	0.10	0.20
13.0	2.4	0.6	0.02	0.04	0.82
21.0	0.3	0.02		2.54	
25.0	8.2				2.64
33.0	1.1	0.10	0.60	0.70	
61.0	16.5	0.04		16.60	

Fuente: (20)

4.1.3. Corrientes superficiales

Las corrientes que se producen después de lluvias o de caídas de nieve, pueden generar problemas de contaminación. Generalmente, el trastorno causado en la tierra por la explotación a cielo abierto puede provocar erosión y el resultado puede ser un derrame de cieno o lodo.

Las carreteras utilizadas para el transporte de minerales y de concentrados, las zonas de almacenamiento de minerales, los talleres no cubiertos o parcialmente cubiertos, cuando están expuestos a la lluvia, pueden llegar a ser una fuente sustancial de aguas contaminantes si no se toman medidas adecuadas de control.

De hecho, es recomendable que donde sea posible, las corrientes superficiales sean desviadas lejos de las zonas de la mina y de las instalaciones de superficie. Si las condiciones lo permiten, los diferentes flujos de aguas de desecho - agua de mina, corrientes superficiales, desechos de

plantas de beneficio, pueden ser colectadas en un solo punto para un posible tratamiento, antes de que sean evacuadas en el entorno.

Como un ejemplo, la Figura 10 muestra el diagrama de proceso de agua de Tara Mines en Irlanda.

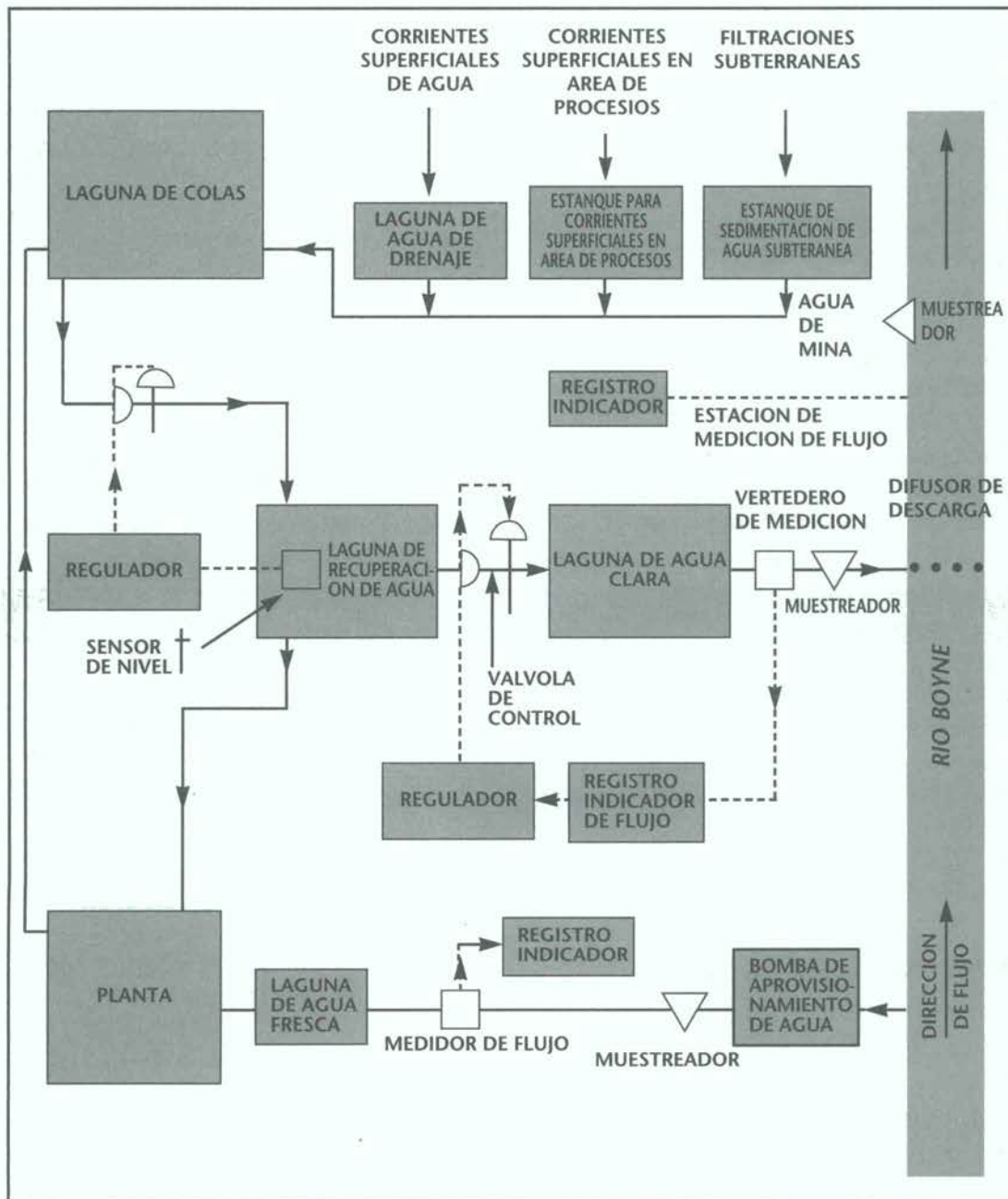


Figura 10. Diagrama de Proceso de Agua. Tara Mines

Fuente: (22)

4.2. Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica en las minas subterráneas es tratada en el Capítulo 8. Fuera de la mina y con la excepción de la relativamente alta producción de polvo en zonas específicas, que examinaremos más adelante, las industrias mineras y de beneficio de metales no ferrosos tienen problemas insignificantes de contaminación en comparación con las industrias metalúrgicas.

Los mayores contaminantes atmosféricos potenciales fueron consignados en el Apartado 3.1. La minería a cielo abierto produce, hasta cierto punto, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre (voladura, equipo operado con diesel). Solamente en muy raros casos estos contaminantes han sido conocidos como causa de problemas externos. Sin embargo, el ácido cianídrico puede acumularse sobre los diques de desechos de oro en condiciones de aire quieto. Esto puede ser

suficiente para causar la muerte de pájaros, por ejemplo.

Las partículas sujetas a permanecer en la atmósfera son usualmente clasificadas por tamaño, de la manera siguiente (ver 23)

- < 0.1 u : aerosoles resultantes de procesos de combustión.
- 0.1 u - 1.0 u : formadas por condensación de vapores.
- > 0.1 u : partículas de polvo formadas por pulverización.

Las partículas de polvo son la mayor preocupación en la contaminación atmosférica externa en relación con las minas y con las plantas de concentración. Estas vienen de dos tipos de fuentes: puntuales o fuentes fácilmente definidas y fugitivas, o fuentes dispersas.

Debería notarse que las fuentes dispersas pueden generar polvo ya sea que la mina esté en operación o después de su cierre.

Las principales fuentes de polvo en operaciones mineras están consignadas más abajo:

Fuentes Puntuales

Puntos de carga de mineral y desechos, en camiones, carros ferroviarios, etc.
 Tolvas de mineral en sistemas de transporte (recipientes, cintas transportadoras)
 Cribas en plantas de trituración exteriores
 Exhaustores de instalaciones despolvadoras
 Chimeneas de secado

Fuentes Dispersas

Dique de desechos
 Pilas de mineral
 Vías de transporte
 Depósito de desechos

4.3. Desechos Sólidos y Residuos

4.3.1. Recubrimiento en operaciones a cielo abierto

El material inerte localizado en el tope de un depósito de mineral, que está siendo explotado por métodos mineros superficiales, debe ser retirado primero. La relación de desencubrimiento, es decir la relación entre recubrimiento retirado y toneladas de mineral, depende de la geología del cuerpo mineralizado y de factores econó-

micos tales como los valores recuperables por tonelada de mineral, costos de producción por tonelada de mineral y costos de desencape por tonelada de desecho.

Un valor promedio es de 2/1 para metales no ferrosos en operaciones a cielo abierto. Sin embargo, valores mucho más altos, 5/1 por ejemplo, pueden darse en casos específicos.

La remoción de material de recubrimiento es generalmente llevada a cabo por métodos clásicos de minería de superficie: palas y camiones, dragas excavadoras, tractores.

Los desechos se almacenan en pilas localizadas en las cercanías del corte. Las características son las del material extraído de la mina, con bloques de hasta 1 m³.

Las consideraciones ambientales en la acumulación del material de desencape incluyen:

- el impacto visual
- la estabilidad de la pila
- el transporte de sólidos y la solubilidad de metales en aguas de corrientes (la generación de ácido en la acumulación de desechos es tratada en el Capítulo 5).
- la emisión de polvo
- los derrumbes de sólidos.

4.3.2. Desechos de operaciones mineras subterráneas

Los métodos de minería subterránea producen materiales que pueden primero ser usados como relleno y luego permanecer dentro de la mina. De otra manera, tienen que ser extraídos de la mina y acumulados por métodos similares al almacenamiento de desechos de una explotación a cielo abierto.

4.3.3. Embalse de desechos

Como ya se vió en el Apartado 4.1.2., los desechos de plantas de beneficio están compuestos por una pulpa, que es frecuentemente descargada en un zona de contención específicamente concebida. A continuación, pasamos brevemente en revista el depósito de desechos.

4.3.3.1. Métodos de depósito de desechos

Los métodos de depósito de desechos incluyen:

- La descarga subacuática dentro del estanque de desechos:

Aunque se producen in-situ densidades más bajas que con el método subzonal, se impide el paso de oxígeno a los desechos, lo que es una gran ventaja en lo que concierne la generación de ácido por los desechos.

- El método de depósito de desechos en capas (26):

Los desechos en pulpa son depositados en capas delgadas de un espesor uniforme (10 -150 mm). La pendiente de las capas depositadas depende de las características de la pulpa y varía entre 0.5 y 1.0%. Una vez que una parte del depósito ha sido cubierta con el espesor deseado de desechos frescos, comienza la descarga en otra parte del depósito y la nueva capa depositada se deja sedimentar y secar, de varias horas a algunos días.

La configuración final es una masa de desechos de suave pendiente, formada por capas uniformes con una permeabilidad vertical resultante de varios niveles de magnitud más baja que su permeabilidad horizontal.

La ventaja del método reside principalmente en que los desechos están bien drenados y enteramente consolidados, durante y después de la puesta fuera de servicio de la mina y de su desmantelamiento.

Pero éste requiere un alto costo de capital debido a la preparación del sitio.

- El depósito de desechos espesadas (27):

La pulpa de desechos es espesada antes de su descarga desde uno o más puntos, dentro de la zona de depósito de desechos. Los desechos forman un cono con una pendiente de entre 2 y 8 %. El porcentaje típico de sólidos requerido para obtener una pendiente de 6 % es de 55 a 75 %.

Este método permite una capacidad mayor de almacenamiento dentro de un zona de depósito dada, contrariamente a un método convencional, en la medida en que se puede obtener una alta concentración de sólidos después del espesamiento. Este no requiere grandes diques asociados con un esquema convencional de depósito, pero la necesidad de espesar la pulpa da como resultado un costo operacional más alto que los métodos convencionales

- El depósito de desechos detrás de un dique:

Una información completa relacionada con el diseño y el desarrollo de diques de desechos puede ser consultada en (15), (18), (24), (25), (28).

La fracción gruesa de los desechos se usa generalmente para construir el dique. La pulpa de desechos puede ser descargada desde un solo punto, a través de una serie de orificios desde un mismo punto de origen, a través de canales rociadores o a través de ciclones para la separación mecánica de arenas de desechos destinadas a la construcción del dique. Cuando los desechos son descargados desde la cresta de un dique de retención, el material grueso depositado cierra los puntos de descarga proporcionando una fuente de material para la elevación del dique.

Se prefiere la descarga de desechos a través de ciclones, porque se consigue un alto grado de control sobre la distribución por tamaño de la arena usada para la construcción del dique.

Cuando el proceso de beneficio requiere una molienda demasiado fina del mineral, puede no haber suficiente material grueso para construir un dique de desechos. En ese caso, el dique tiene que ser construido con material externo, lo cual es una ventaja puesto que pueden ser controladas la calidad del material y su colocación, pero con el resultado de un costo más elevado debido a la excavación y a la colocación del material en el dique. Algunos sitios pueden necesitar la construcción de un dique de tierra levantado con características apropiadas de núcleo y/o drenaje.

Presentamos a continuación un resumen de los principios de construcción de diques de desechos.

4.3.3.2. Métodos de construcción de diques de desechos

Habría que tener en cuenta el impacto ambiental del material usado para la construcción de un dique de desechos. La Figura 11 muestra los métodos estándar de construcción de diques de desechos en los que se emplean fracciones gruesas de desechos.

(a) Métodos ascendientes :

Estos fueron muy utilizados en el pasado. Actualmente se los evita por la dificultad para lograr su estabilidad, particularmente

en condiciones de inestabilidad sísmica. Como se muestra en la Figura 11, una sección típica de método ascendiente incorpora en la estructura la fracción finamente dividida de lamas de los desechos, dando como resultado un dique heterogéneo que puede fisurarse.

(b) Métodos descendientes :

El dique es construido con la fracción gruesa de los desechos. Este método proporciona un dique capaz de cumplir con especificaciones geotécnicas aceptables incluso cuando acontecen accidentes sísmicos. Cuando se emplea la fracción de arena clasificada por ciclón, la pendiente del dique es adecuada y la masa de arena es adecuadamente drenada.

La mayor desventaja de este método es el gran volumen de arena requerido.

(c) Método central

Como en el caso anterior, el dique es construido con la fracción gruesa de los desechos. La línea central del dique es mantenida en el mismo plano vertical según va aumentando la altura. En el plano descendiente de la línea central, el dique tiene las mismas características que el correspondiente al método descendiente; por lo tanto se puede lograr una estructura conveniente.

Cualquiera que sea el método de construcción de diques aplicado, las causas más comunes de fallas de la estructura de almacenamiento de desechos en estanques son aquellas relacionadas con los canales de desagüe, la decantación y las desviaciones. Si la capacidad hidráulica de estas instalaciones es sobrepasada durante los períodos de flujos mayores, puede presentarse una falla en la estructura del dique que conduciría a una licuefacción y liberación de los desechos almacenados.

Todos los almacenamientos de desechos en estanques deben ser evaluados en la etapa de diseño para obtener desagües de lluvias a través del depósito, desvíos o decantación de éstas alrededor de la instalación. Cuando se establezcan los criterios del diseño, habrá que tener en cuenta una estadística sobre la ocurrencia de infiltra-

ciones de agua. En algunos casos han sido tomados en cuenta sucesos que ocurren una vez por milenio.

Cuando una falla potencial de un sistema de almacenamiento de desechos constituye una amenaza vital, deberían aplicarse medidas muy superiores a los límites establecidos, aunque es altamente recomendado no instalar zonas de almacenamiento de desechos donde tales riesgos existan.

Los mecanismos aplicados para liberar el exceso de agua del depósito de desechos, incluyen torres de decantación, sistemas de sifón y bombas montadas en barcazas. En este último caso, el sistema de almacenamiento de desechos debe ser diseñado de tal forma que las grandes corrientes eventuales puedan ser almacenadas con seguridad dentro del estanque de depósito y liberadas subsecuentemente.

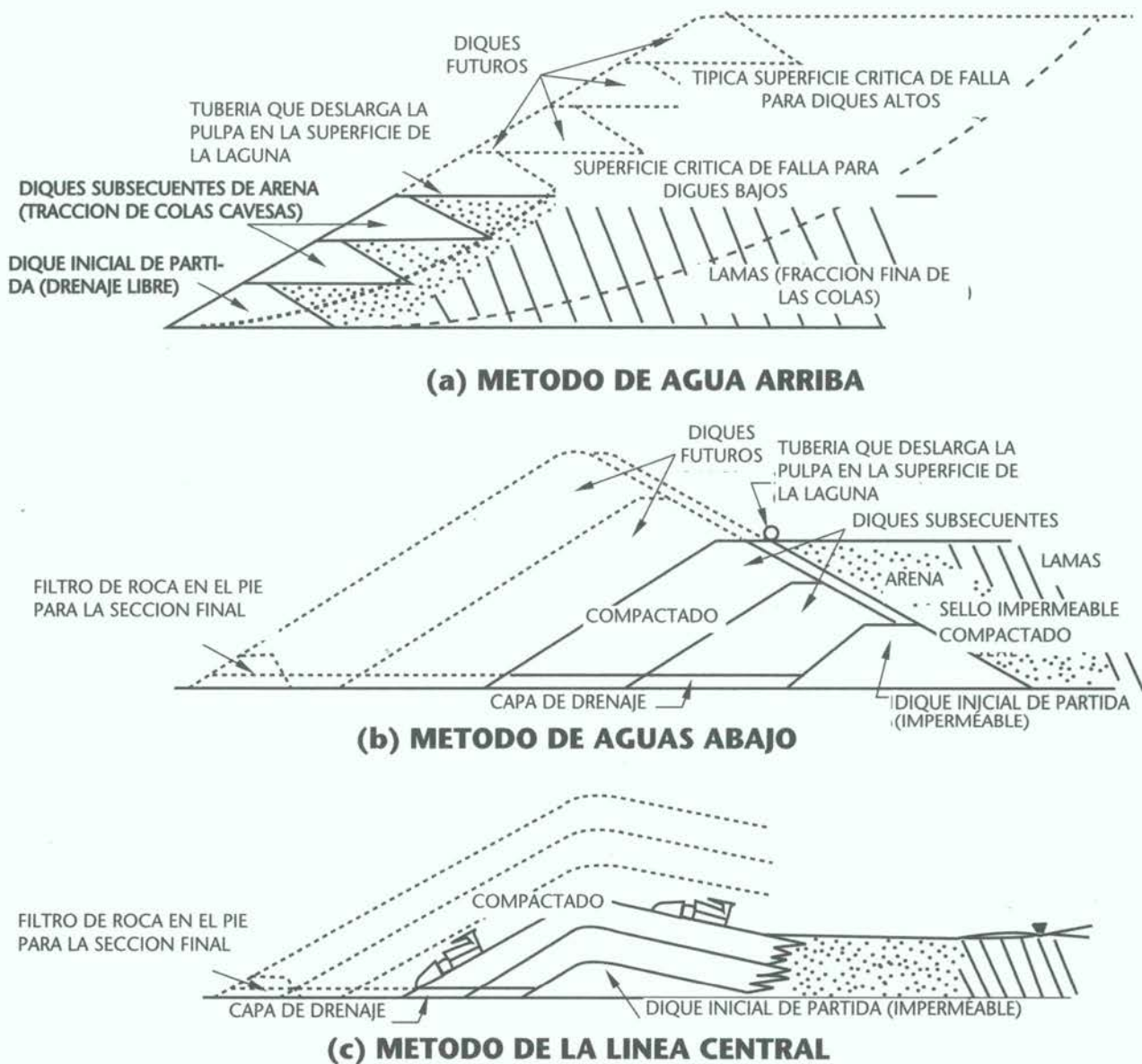


Figura 11. Métodos estándar de construcción de diques de desechos

Fuente: (25)

4.3.3.3. Aspectos ambientales del almacenamiento de desechos en estanques.

En el Apartado 4.1. se estudian las implicaciones ambientales del desagüe de los estanques de depósito de desechos.

Cuando se la considera como estructura de depósito de desechos sólidos, un estanque de almacenamiento de desechos presenta aspectos ambientales similares a los de depósitos de desechos. Sin embargo, debido a las propiedades físicas del material almacenado, los problemas de estabilidad son mucho más críticos en almacenamiento de desechos en estanques. Se recomienda, cuando se diseña una instalación de depósito de desechos, incluir en el equipo del proyecto un geotécnico, un hidrólogo y un buen especialista de diques de desechos.

4.3.4. Otros desechos

Entre otros desechos que pueden tener impacto en el medio ambiente tenemos :

- los compuestos químicos caducados, principalmente los reactivos de flotación;
- los PCBs del equipo eléctrico;

(Los PCBs son altamente persistentes en el medio ambiente y pueden afectar seriamente ciertas especies de animales y de pájaros. También presentan una cierta toxicidad para el hombre. Incendios del equipo eléctrico que contiene PCBs pueden generar productos altamente tóxicos; se requieren precauciones especiales para su almacenamiento y para su destrucción.

- Los pesticidas y herbicidas caducados y usados alrededor del sitio de una mina. También contenedores vacíos que aún contienen residuos de compuestos químicos adheridos a las paredes;
- Los desechos de operaciones de mantenimiento, tales como pinturas, aceites, agentes limpiadores.

4.4. Subsistencia

La remoción de material de minería subterránea crea un potencial de movimiento

del suelo y, por consiguiente, de una deformación de la superficie. Las circunstancias en las que esto puede producirse varían mucho; los principales parámetros son:

- la geometría del depósito mineral;
- el método de explotación de la mina;
- la naturaleza del depósito mineral y de los estratos que descansan en él.

En muchos casos, la aplicación de mecánica de rocas facilita una predicción cualitativa bastante fiable de subsidencia.

Los daños por subsidencia pueden incluir:

- una gran fractura de la superficie de la tierra que puede causar severos daños a las edificaciones y a las instalaciones. Las fracturas discontinuas pueden variar en magnitud de milímetros a metros.
- la deformación continua de la superficie, como por ejemplo un canal de superficie. Los desplazamientos uniformes rara vez causan daños mayores. Los desplazamientos diferenciales pueden causar interferencia con flujos de agua subterránea, cambios en las gradientes de las carreteras, de las vías férreas, de los oleoductos, acueductos, etc.

Las minas a cielo abierto abandonadas pueden ocasionar fallas importantes en las paredes del corte. Se recomienda que se determine una zona de seguridad alrededor de este corte abandonado.

Numerosas organizaciones han publicado directivas para esas zonas de seguridad y otro tipo de medidas, generalmente adaptadas a las condiciones geológicas y climáticas locales.

4.5. Ruido y Vibración

4.5.1. Ruido

Las mayores fuentes de ruido en la industria minera son plantas fijas, equipos en funcionamiento en operaciones mineras y movimientos de transporte. Los problemas de ruido en las minas subterráneas son repertoriados en el Capítulo 8, que trata del entorno laboral, mientras que los problemas ambientales relacionados con el

transporte de minerales y de concentrados se estudian en el Apartado 4.7.

Las plantas estacionarias tienen un amplio equipo que incluye trituradoras, cribas, molinos de planta, compresoras de aire, ventiladores, talleres e instalaciones de carga.

Las plantas estacionarias se cierran con frecuencia a fin de proteger a los trabajadores y al equipo de los elementos. En tales casos, no tiene sentido suministrar

niveles de ruido que emanen de la planta, puesto que dependen esencialmente del tipo y de la calidad de la construcción del edificio.

Sin embargo, en ciertos países donde las condiciones climáticas son aceptables, las plantas de beneficio son instaladas al aire libre. El Cuadro 10 indica la gama de niveles de ruido asociados con varias instalaciones de plantas fijas.

Cuadro 10
Niveles de Ruido de Instalaciones de Plantas

Equipo	Nivel de Ruido(dB(A))	Lugar de Medida
Ventilador eléctrico	90 - 100	A 5 m (16 ft)
Ventilador de aire comprimido	hasta 110	A 5 m (16 ft)
Trituradora de mandíbulas	90 - 100	Puesto del operador
Trituradora de cono	92 - 98	Puesto del operador
Taladro de aire comprimido	104 - 112	Puesto del operador
Aguzador de barreno	102 - 122	Puesto del operador
Molino de bolas	hasta 100	Puesto del operador
Equipo de flotación	63 - 91	Dentro del edificio de flotación

Fuente: (23)

El equipo móvil es asociado con operaciones de perforación, voladura, carga y

transporte. Algunos ejemplos de niveles de ruido son presentados en el Cuadro 11.

Cuadro 11
Niveles de Ruido de Equipo Móvil

Equipo	Nivel de Ruido (dB(A))	Lugar de Medida
Taladro de roca de aire comprimido	110 - 115	A 1 m (3 ft)
	98	A 15 m (50 ft)*
Compresor portátil grande	80	A 7 m (23 ft)
	81	A 15 m (50 ft)*
Draga excavadora 7m ³ (10yd ³)	90 - 92	Cabina del operador
Camión diésel	74 - 109	Cabina del conductor
	88	A 15 m (50 ft)*
Pala eléctrica	78 - 101	Cabina del operador
Niveladora	76 - 104	Puesto del operador
Tractor	84 - 107	Puesto del operador
	87	A 15 m (50 ft)*
Locomotoras	75 - 95	Puesto del conductor
Taladro rotativo	72 - 100	Puesto del operador
Cargador frontal	83 - 101	Puesto del operador
Arrastradores de carga	92 - 104	Puesto del operador
	88	A 15 m (23 ft)*

* Cifras usadas por la Agencia de Protección Ambiental, USA.

Fuente: (23)

Los niveles de ruido dados en el Cuadro más arriba fueron medidos en las cercanías del equipo. Considerando las molestias externas, debería tomarse en cuenta un factor de reducción. De la experiencia de diferentes minas se desprende que un nivel de ruido continuo que exceda los 75 dB(A) es poco habitual en el perímetro de la propiedad minera. Generalmente se acepta que 50 - 70 dB(A) es un nivel máximo.

4.5.2. Efecto de Voladura en el Aire

El término efecto de voladura en el aire (air blast), es usado para describir la vibración del aire generada por operaciones de voladura.

Los factores controlados por el operador de mina son:

- el tipo y la cantidad de explosivo;

- el grado de confinamiento;
- el método de iniciación.

Los factores fuera de control son:

- las condiciones climáticas;
- la geología y la topografía local;
- la distancia y las condiciones de la estructura.

Las ondas de aire de la explosión pueden ocasionar daño y molestia. El Cuadro 12 indica los efectos de sobrepresión del aire de voladuras en las estructuras.

Las voladuras normales de mina dan en general como resultado, sobrepresiones muy por debajo de las indicadas en el Cuadro 12. El daño potencial de la voladura en el aire se limita la mayoría de las veces a edificaciones estructuralmente poco firmes, a la práctica inadecuada de voladura y a efectos atmosféricos poco usuales.

Cuadro 12
Efectos de Sobrepresión en Estructuras

Sobrepresión		Efecto Estructural
lb/pulg2	g/cm2	
0.03 - 0.05	2 - 4	Aflojamiento y traqueteo de marcos de ventanas.
Sobre 0.1	7	Falla de paneles de ventanas, tensados o mal instalados.
Sobre 0.75	52	Comienza la falla de paneles de ventanas correctamente instalados.
2.0	140	Todos los paneles de las ventanas fallan.
Sobre 2.0	140	Comienza a agrietarse el enlucido y, a más altas presiones, el agrietamiento de muros puede ser evidente.

Fuente: (32)

4.5.3. Vibraciones de la Tierra por Voladura

En operaciones de voladura, un resultado indeseable de la detonación es que la superficie de la tierra, en las vecindades de la voladura, sufre de un desplazamiento cuya amplitud depende de la distancia de la voladura, de la energía liberada por los

explosivos y de las condiciones geológicas locales.

Entre los factores considerados para estimar los efectos de la vibración de la tierra, la velocidad pico de las partículas parece ser lo más directamente relacionado con el daño causado.

La frecuencia de la vibración también tiene un efecto sobre los daños resultantes de la voladura: cuanto más baja es la frecuencia, más grande es el daño para una

velocidad pico dada de las partículas. El Cuadro 13 presenta indicaciones del efecto de las vibraciones de la tierra en las estructuras.

Cuadro 13
Efecto de Vibraciones del Suelo en Estructuras
(Según Langefors)

Velocidad Pico de Partículas		Daño
(pulg/s)	(mm/s)	
2.8	70	Ninguno
4.3	110	Grietas finas y caída de enlucido
6.3	160	Grietas
9.1	230	Grietas graves

Fuente: (23)

4.6. Exploración

Las principales fuentes de contaminantes durante las operaciones de exploración son examinadas a continuación.

Lodos de perforación:

El agua es el medio de perforación usado en la exploración de metales básicos. El material de la tierra perforado por la broca de diamantes se lleva con agua hacia la superficie. Cuando no están completamente decantados, los lodos de perforación pueden tener consecuencias ambientales. Sin embargo, como el agua de perforación es en la mayoría de los casos reciclada, los lodos tienen que estar bien decantados.

Trastorno en la tierra; erosión

El efecto ambiental primario de la mayoría de las operaciones de exploración es el trastorno de la superficie, resultante de la construcción de caminos y sendas de perforación y del uso de los equipos. Estos trastornos son relativamente menores en el contexto de un proyecto minero global.

Conexión acuífera

Las operaciones de perforación que penetran múltiples acuíferos deberían contar con aislación acuífera para evitar un cruce de contaminación y de cambios en el nivel acuífero.

4.7. Transporte

Las operaciones de transporte están asociadas con el traslado de materiales de minerales y de desechos, de la mina a la planta de beneficio o con la acumulación y el transporte de concentrados.

Las fuentes potenciales de contaminación por diferentes métodos de transporte se muestran a continuación.

Método de Transporte	Contaminación del agua	Contaminación Atmosférica	Ruido y Vibración	Otros
Camino	Derramamiento	Polvo por carga del camión	Motores de vehículos	
	Corrientes de agua en caminos después de la lluvia	Polvo en el camino por el soplo del viento del movimiento del vehículo	Vibración del suelo	
Rieles		Pérdida de polvo en la carga	Motores de vehículos Vibraciones del suelo	
Mar	Ninguno excepto durante las operaciones de carga y descarga			
Cinta transportadora	Esparcimiento del polvo por el viento y el desparrame		Impacto visual	
Cinta transportadora aérea	id.			

5. DRENAJE ACIDO DE MINA

5.1. Introducción

El drenaje ácido de mina (AMD) se puede definir como la contaminación química inorgánica del agua, resultante de la oxidación de minerales que contienen sulfuros, principalmente piritita (FeS_2) y pirrotina (Fe_{1-x}S). En consecuencia, se producen efluentes ácidos que contienen niveles elevados de metales disueltos que incluyen hierro, zinc, cadmio, manganeso y plomo.

El AMD potencialmente afecta :

- las aguas de minas subterráneas y de superficie, de minerales sulfurosos;
- el drenaje de acumulaciones de rocas de desecho que contienen sulfuros;
- la filtración y el drenaje de desechos de concentración que contienen sulfuros.

Los minerales sulfurosos de metales básicos constituyen la preocupación principal. Los depósitos de carbón que contienen una significativa cantidad de piritita pueden también producir AMD. Las minas de carbón no están incluidas en el presente documen-

to. Sin embargo, trabajos importantes de investigación relacionados con la prevención y el tratamiento del AMD de minas de carbón piriticas tales como las minas de los Apalaches, han dado como resultado un número de publicaciones a las cuales también se puede útilmente referirse.

El AMD es un problema que no solamente tiene lugar en la mina en operaciones, sino también después de su cierre. Las medidas de control no son las mismas en ambos casos. En una mina cerrada el AMD puede afectar no solamente las aguas subterráneas, sino también las acumulaciones de rocas de desecho y de desechos de las plantas de tratamiento.

En Canadá se está emprendiendo un programa importante de investigación (El Programa de Drenaje Neutro Ambiental de Mina).

El mecanismo del AMD ha recibido considerable atención durante los pasados 20 años aproximadamente, y continúa siendo de interés en todo el mundo. Un resumen completo del AMD aparece en (15).

MECANISMO DEL DRENAJE ACIDO DE MINA

Etapa 1:



Etapa 2:



Etapa 3:



5.2. Mecanismo de formación del AMD

La formación del AMD implica fenómenos químicos y biológicos. No es el propósito de la presente sección dar una descripción del proceso completo, el cual es complejo

y no ha sido aún comprendido enteramente.

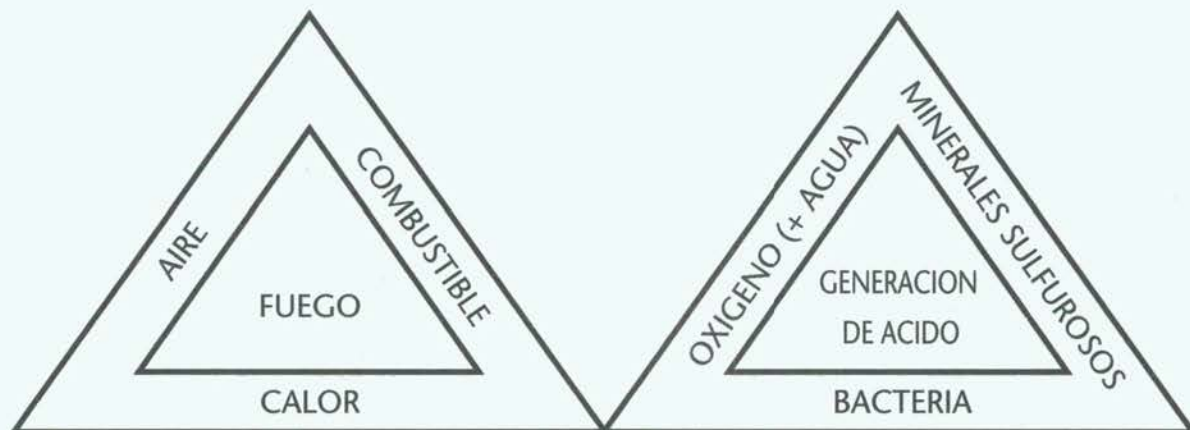
Sin embargo, el modelo desarrollado por Kleinman (29) es una buena aproximación. Se observan tres etapas en la generación del AMD (arriba se dan las ecuaciones químicas).

La etapa 1 implica la relativamente baja oxidación química o biológica de pirita y de otros minerales sulfurosos cerca del pH neutro, produciendo hierro ferroso y acidez. Este paso puede ser catalizado por la bacteria *Thiobacillus ferroxidans* a través de contacto directo con los minerales sulfurosos.

En la etapa 2 y en presencia de oxígeno, hierro ferroso se oxida y se transforma en hierro férrico, que se precipita como hidróxido férrico y produce mayor acidez. Como el pH cae aún más, aproximadamente por debajo de 3.5, el hierro férrico permanece en solución y oxida la pirita directamente.

En la etapa 3, la bacteria cataliza rápidamente el proceso por oxidación de hierro ferroso transformado en hierro férrico y es incrementada la velocidad total de producción de acidez en varios órdenes de magnitud. Se producen grandes cantidades de ácido asociadas con la liberación de metales pesados en solución. Se puede ver que, mientras la abundancia de minerales sulfurosos es un importante factor de AMD, tanto el oxígeno como el agua son reactantes necesarios, con la bacteria actuando como catalizador.

Una analogía entre los requisitos contra el fuego y contra la oxidación bacterial de metal es suministrada por el Dr. M. Silver (30).



El agua también juega un papel importante en la remoción de los productos de oxidación de la superficie de los minerales sulfurosos: ácidos y sales de sulfatos de metal pueden acumularse dentro de un depósito de desecho durante un período relativamente seco y pueden ser liberados en momentos de alta precipitación.

Los minerales carbonatos tales como calcita y dolomita son los principales componentes naturales de la neutralización de desechos de mina. Esos minerales pueden neutralizar la acidez producida por la oxidación de los sulfuros y prevenir el establecimiento del ambiente de bajo pH requerido por los micro-organismos. En

esas condiciones, el proceso del AMD no puede desarrollarse.

5.3. Características del Agua de Drenaje Acido de Mina

En el Cuadro 7a figura una gama de características químicas de las aguas crudas de mina, en minas de plomo y zinc, con condiciones acidificantes.

Sin embargo, en algunos casos, en que se experimenta un severo drenaje ácido de mina, las características químicas pueden ser mucho peores. El ejemplo mostrado en el Cuadro 14 puede ser considerado como un límite extremo.

Cuadro 14
Características del Drenaje de Agua Acida de Mina
en una Mina de Plomo y Zinc

Constituyente	Concentración(1)	Constituyente	Concentración(1)
pH	2.2	Magnesio	1,500.0
Sulfato	Calcio	31.6	
como SO ₄	63,000.0	Potasio	0.7
Hierro total	16,250.0	Sodio	0.5
Zinc	14,560.0	Cromo	0.3
Níquel	4.8	Cloruro	38.0
Cobre	13.4	Nitrato	
Manganeso	2,625.0	como NO ₃	77.5
Aluminio	347.0	Conductividad	48,000.0
Plomo	0.8	(Micromhos)	
Cadmio	22.5		

Nota : La muestra fue recogida y analizada por B. Trexler, College of Mines, University of Idaho.

(1) en mg/l (salvo el pH y la conductividad eléctrica).

Fuente : (39)

El Cuadro 14 presenta algunas de las características negativas del AMD : bajo pH, altos contenido de sulfato, de hierro y de metales pesados. Generalmente, el contenido de hierro ferroso es elevado y cuando se convierte en forma férrica precipita ocre de hidróxido férrico, que es considerado como inestético.

Los datos arriba mencionados aclaran la importancia que reviste lograr que el drenaje ácido de mina sea mínimo, así como verificar que cuando sucede, se tomen todas las medidas para impedir afectar el medio ambiente.

5.4. Predicción del Drenaje Acido de Mina

La predicción cualitativa del AMD es el paso esencial para determinar el impacto que una mina puede tener sobre el medio ambiente acuático.

Existe algunos métodos para predecir el AMD. En el Environment Canada Report EPS 2/ M M / 3, se encuentra una descripción de tests posibles. La predicción del AMD, en Canadá, es actualmente un programa por fases corriente que aplica la Contabilidad Acido-Base seguida, si procede, por celdas de humedad y, algunas veces, por columnas en planos de test para los experimentos especializados (15).

La prevención del AMD y sus técnicas de control aparecen en el Capítulo 7.

NOTA: Las iniciales en mayúsculas, entre paréntesis o no, corresponden al mismo texto de la versión en Inglés. Se han mantenido por la referencia que indican de unidades monetarias, literatura de referencia, materias, instituciones y repartos de instituciones.

6. CIERRE DE MINAS Y SITIOS DE MINAS ABANDONADAS

6.1 Restauración

Cuando se cesa la explotación de una mina, deberían tomarse medidas para restaurar el sitio y para garantizar la seguridad de las personas y de los animales domésticos. Demasiado a menudo fueron abandonadas viejas minas sin que se hayan emprendido a su debido tiempo medidas adecuadas de restauración.

La restauración del sitio de la mina, cuando una mina se cierra, puede ser enteramente diferente a la restauración de una mina que ha sido abandonada por muchos años. En el primer caso, las operaciones mineras podrían incorporar medidas tales como el depósito específico de desechos a fin de anticipar los trabajos de restauración.

En regla general, un programa de cierre de mina podría ser incorporado en cualquier nuevo plan propuesto e incluso dentro de las operaciones mineras durante su vida activa.

Un parámetro importante para determinar las medidas que deben adoptarse, es el posible carácter productor de ácido del sitio de la mina.

En minas que no producen ácidos, las medidas de restauración pueden ser instituidas de modo que no sean necesarias instalaciones de tratamiento a largo plazo de las aguas de desecho.

Por el contrario, en sitios productores de ácido, puede ocurrir un drenaje contaminado que exija un tratamiento a largo plazo, si el drenaje no es eficazmente controlado.

Control de drenaje

El drenaje de agua puede venir de la mina, de acumulaciones de desechos, y/o de instalaciones de depósito de desechos. En minas no ácidas, el agua de mina cumple,

generalmente, con las exigencias ambientales y solamente tienen que ser tratadas las superficies de acumulación y de estanque de desechos, de manera a impedir la erosión superficial causada por el agua.

En sitios que producen ácidos, el objetivo final de las medidas post operacionales es el de reducir el volumen y la fuerza corrosiva del drenaje ácido y llevarlo a niveles en el que las técnicas pasivas son suficientes para tratar el drenaje residual antes de la descarga. Sin embargo, en la mayoría de los casos, ese objetivo no se logra y tiene que ser emprendido un tratamiento a largo plazo del drenaje de agua ácida. El costo de esto puede ser muy elevado, en cuyo caso, el objetivo es desarrollar métodos para minimizar el costo. Algunos de ellos son estudiados en el Capítulo 7.

El tratamiento de agua ácida produce lodos, el depósito de los cuales puede causar a veces un problema, puesto que no se cuenta con un estanque activo de depósito de desechos.

Trabajos subterráneos abandonados

Por razones obvias de seguridad, todos los accesos a trabajos subterráneos se deben cerrar cuidadosamente. Cuando se trate de un sitio minero abandonado, la ubicación de los accesos de antiguos trabajos pueden plantear un problema.

Los socavones se sellaban generalmente con tapas de madera cubiertas con relleno, o más recientemente, con cobertura de concreto. Actualmente, se recomienda rellenar completamente el caserón con material inerte. Los socavones deberían taparse con concreto.

La subsidencia a largo plazo tiene que evaluarse de manera a determinar si la defor-

mación superficial podría causar daño a las edificaciones. Si se comprueba que así es, se puede necesitar el control de subsidencia, en la medida de lo posible.

Para uso posterior, existen varias posibilidades como en el caso de minas trabajadas por el método de cámaras y pilares. Tales minas han sido empleadas, generalmente, como depósitos de gran seguridad, almacenes, e incluso para el cultivo de hongos.

Minas a cielo abierto abandonadas

Muy a menudo, las minas a cielo abierto de metales básicos son muy grandes y el relleno con el desecho de recubrimiento previamente removido durante la operación minera no es factible económicamente. La rehabilitación de dichos sitios puede resultar difícil.

En algunos casos, cortes abandonados son empleados para almacenamiento de agua o como zonas de recreación.

Estabilidad de desechos amontonados y/o de embalses de desechos

Cuando prevalecen condiciones de generación no ácida, los principales aspectos durante la fase post operacional son:

- La estabilidad geotécnica del montón y/o del estanque de desechos;
- La estabilización - generalmente por vegetación - para impedir la erosión causada por el viento y el agua. Con desechos de generación ácida, hay que encontrar los medios para tratar los efectos de las filtraciones y de las corrientes ácidas resultantes de la oxidación de sulfuros en los materiales de desecho. Además, el desarrollo de la vegetación en tales condiciones puede no ser un éxito.

No obstante, acumulaciones y desechos supuestamente inertes son fuentes potenciales de problemas de DAM y habría que concebir planes para resolver estos problemas y los de estabilidad.

UNEP ha producido una directiva administrativa para la restauración y la rehabilitación de tierras y de suelos para después de las actividades mineras(32), en la que se encuentran recomendaciones para su rehabilitación.

La revegetación de desechos de desmontes y de embalses abandonados de depósito de desechos, cuenta con una abundante literatura (ver referencias en la bibliografía). N. A. Williamson y M. S. Johnson, en (33), presentan un aborde comprensivo digno de gran interés. Hay que destacar también que operaciones de revegetación muy bien logradas fueron emprendidas bajo diversas condiciones climáticas en G.B., en Australia, en las Montañas Rocallosas en los EE.UU., y en Zimbabwe, (34), (35), (36).

Edificaciones: instalaciones generales de mina

Las edificaciones e instalaciones de planta generalmente exigen una demolición y/o un rescate.

6.2. Legislación y Financiamiento

En muchos países, la restauración de sitios de minas abandonadas y cerradas es regulada por la ley; dicha práctica podría llegar a ser de uso general.

Los proyectos de rehabilitación deberían ser concebidos por personal preparado y deberían ser aprobados por las autoridades administrativas locales antes de su implementación.

Deberían haber incentivos financieros para asistir y animar la recuperación de sitios abandonados. El propietario de minas largo tiempo cerradas es algunas veces difícil de localizar, y el propietario actual puede no ser la compañía minera original.

Las condiciones bajo las cuales nuevos proyectos mineros son permitidos, deberían incluir providencias para la restauración. Los fondos requeridos para la restauración podrían ser depositados, a lo

largo de la explotación de las minas, en una cuenta especial, o podrían emplearse otros métodos tales como bonos o pólizas de seguro basados en pruebas de evaluación financiera.

6.3. Impacto Socio Económico

Las minas están muy a menudo localizadas en zonas en donde constituyen el mayor recurso económico; el cierre de dichas explotaciones tiene, por lo tanto, un impacto socio económico importante.

La reconversión de la fuerza de trabajo y de la industria local que dependen de la explotación de la mina, debe efectuarse en la medida en que lo permitan las condiciones locales. Se aconseja una estrecha cooperación entre las compañías mineras, las autoridades estatales y las comunidades locales, para resolver estos problemas de la mejor manera posible.

7. TECNOLOGIA DE CONTROL

7.1. Introducción

Hay numerosos métodos que pueden aplicarse para el control de las diferentes fuentes de contaminación en la industria minera de metales no ferrosos. Debería tenerse en cuenta que no existe una regla general, pero que en cada caso específico, las restricciones impuestas por el sitio y por las condiciones del procedimiento, limitan o dictan la opción que puede ser escogida. La flexibilidad en el diseño y las prestaciones de las instalaciones de proyectos son esenciales para ejecutar controles que sean tecnológica y económicamente factibles.

Las condiciones por integrar en la localización y en las decisiones de diseño incluyen : la geología, la hidrología, la topografía, el abastecimiento de agua, la infraestructura, la mineralogía, la metalurgia, los derechos de propiedad de tierras, el mercado y los proyectos económicos.

El propósito del Capítulo 7 es el de indicar algunas de las tecnologías de control más comunes y eficaces usadas para abordar los aspectos ambientales que se presentan en la industria minera de metales básicos. No es posible pasar en revista todas las tecnologías disponibles actualmente.

7.2. Contaminación del agua

7.2.1. Gestión

Un buen control de la contaminación de agua está basado en el conocimiento de las cantidades y de las calidades de todas las aguas que puedan ser afectadas por las actividades mineras; las cantidades de agua requeridas durante la explotación y el beneficio, y la calidad del agua de proceso después de su uso.

A menos que haya sido elaborada una concepción apropiada de un programa de

gestión, es poco probable que cualquier medida de control que se tome conduzca al resultado deseado con un costo óptimo.

Las principales características que debería tener un programa de gestión son :

- La definición de los objetivos : el estudio de los datos básicos (base line studies) previos a la explotación, la evaluación de eventuales daños en curso, las predicciones de los efectos de la explotación y de las posibilidades de recirculación de agua, son medidas clásicas.
- La selección de parámetros por medir : algunos de los factores más importantes por medir están resumidos en el Cuadro 15. Estos varían según la mina, y dependen de consideraciones específicas del sitio. Habría que examinar también las variaciones por estaciones.
- La selección de localizaciones de muestreo: las localizaciones deberían proporcionar una muestra representativa y deberían ser de acceso fácil para un muestreo de rutina. Debería haber suficientes localizaciones de muestreo como para permitir la gestión de todas las localizaciones importantes en las que la mina puede afectar la calidad del agua.
- Los procedimientos de muestreo : el muestreo no es una operación simple y debería contarse con un equipo adecuado. Tomar una muestra a una determinada profundidad en un lago o en la descarga de varios cientos de metros cúbicos por hora de una estación de bombeo de agua de mina, requiere diferentes equipos. La frecuencia de muestreo depende del carácter intermitente posible del flujo por mostrear. Muy a menudo se requiere personal entrenado.
- El análisis : para algunos parámetros, el análisis puede ser llevado a cabo en una estación de muestreo. Generalmente, las

muestras son transportadas a un laboratorio calificado. La preparación de las muestras puede resultar necesaria antes de su entrega al laboratorio y los procedimientos de preparación tienen que ser cuida-

dosamente especificados. Debería escogerse y seguir estrictamente los métodos analíticos estándar ya que diferentes métodos de análisis dan con frecuencia resultados diferentes.

Cuadro 15
Principales Componentes de un Programa de Gestión

Físico	Químico	Biológico
Temperatura Turbiedad TDS Flujos de agua	Conductividad Alcalinidad pH Dureza Color COD/BOD Nitrógeno Fósforo Metales	Fitoplancton Zooplancton Organismos bénticos Peces Aves de agua

Fuente: Adaptada de (31)

7.2.2. Principales técnicas de control del agua

El control físico de volúmenes y de vías de agua en el sitio de una mina, es una tarea fundamental. El volumen de agua empleado en las instalaciones de minería y de beneficio debería ser minimizado para prevenir la contaminación del agua no contaminada. Cualquier flujo de agua contaminada debería ser interceptado y desviado a un lugar apropiado para su posible tratamiento. El procedimiento implementado en Tara Mines, que se presenta en la Figura 10, es un ejemplo de una práctica adecuada.

Tara Mines combina todos los flujos en un solo punto para su tratamiento. En muchos casos es preferible segregar flujos para su tratamiento separado, ya que esto reduce la complejidad de la operación de tratamiento.

7.2.2.1. Minas subterráneas

Cuando sea posible, es recomendado coleccionar toda el agua de mina en un solo

punto desde donde puede ser dirigida a: (a) una planta de concentración, como agua de proceso, (b) a una instalación, para su tratamiento - sabiendo que el estanque de depósito de desechos de la planta es generalmente la mejor, o (c) al medio ambiente, si sus características químicas lo permiten.

Las oportunidades de reducir el volumen de agua subterránea de mina son limitadas : los principales métodos son sellar y cementar viejos barrenos sondeados y reducir la penetración del agua a través de revestimientos de pozos.

7.2.2.2. Minería de superficie

El control del agua en operaciones de minería de superficie depende de la topografía del sitio.

Cuando una mina a cielo abierto es desarrollada debajo de la topografía superficial, las corrientes de agua deberían ser coleccionadas en el punto más bajo y tratadas como se ha indicado en el apartado precedente. Cuando las operaciones mineras

superficiales son realizadas en laderas de colinas, el objetivo del control de aguas es de limitar la cantidad de corriente de agua (de lluvia) que desciende. A menudo se emplean zanjas de intercepción. Las corrientes de agua de lluvia que caen sobre las operaciones mineras son colectadas aguas abajo en zanjas y conducidas a estanques de decantación instaladas detrás de diques de desagüe. Esa técnica está siendo exitosamente aplicada en minas de níquel laterítico (46).

7.2.2.3. Planta de beneficio

El control de los efluentes líquidos en las plantas de beneficio consiste principalmente en colectar cualquier

derrame líquido dentro de la planta en uno o varios tanques y conducir este efluente, con los desechos, hacia el sistema de depósito de desechos.

Los reactivos usados en el proceso, incluyendo los reactivos de flotación y de cianuración en plantas de tratamiento de oro, requieren especial cuidado dentro de la planta y en las instalaciones de almacenaje. Los tanques de acumulación y las tuberías de distribución tienen que ser diseñados en forma adecuada para prevenir todo derrame. El almacenamiento de reactivos y las plantas de preparación deberían estar equipados con un depósito de concreto, de suficiente capacidad como para contener la cantidad total de reactivos almacenados, por lo menos para

los productos altamente tóxicos tales como el cianuro, para evitar la liberación al medio ambiente en caso de derrame.

Cuando se transportan grandes cantidades de cianuro, los accidentes pueden ocasionar un desastre en el medio ambiente. Por lo tanto, se recomienda establecer un plan de emergencia para prevenir consecuencias perjudiciales.

7.2.2.4. Sitio de la mina

Siempre que sea posible, las corrientes superficiales de agua de la zona de la mina deberían ser desviadas a una zanja.

Las corrientes superficiales de agua de la zona de proceso, deberían ser colectadas para su tratamiento donde proceda: los depósitos de desechos pueden utilizarse con ese fin.

Los efluentes y los derrames de los talleres mecánicos a menudo contienen aceite, combustibles, e hidrocarburos, los que son generalmente dañinos para el proceso de flotación. Por lo tanto, debería evitarse enviarlos a un estanque de depósito de desechos donde el agua superficial es reciclada. Estos deberían ser colectados separadamente y conducidos a unidades específicas de tratamiento.

7.2.2.5. Estanque de depósito de desechos

Los flujos de agua que deben tomarse en cuenta en un estanque de depósito de desechos, son esquemáticamente descritos en el diagrama más abajo:



Debería prepararse un balance de agua para cada estanque de depósito de desechos. Este dependerá de:

- los volúmenes del agua de mina;

- las condiciones climáticas y la configuración del sitio que influenciará la lluvia y la evaporación;
- la naturaleza del mineral;

- las características geológicas de la tierra subyacente.

Las cantidades de agua implicadas en la evaporación y el reciclaje, pueden dar lugar a que no se evacúen efluentes de los estanques de desechos. Por el contrario, en algunos casos, las condiciones climáticas son tales que la lluvia es excesiva y hay que evacuar los efluentes de la instalación, ya sea continua o periódicamente. La composición y el volumen de un efluente tiene que ser tal que no vaya a ocasionar un daño en el medio ambiente, tanto a corto o como a largo plazo.

Una vez más, cada proyecto minero específico es un caso particular que debe estudiarse como tal.

Las corrientes superficiales de agua de la zona alrededor del estanque de desechos deberían ser desviadas por dos razones principales :

- la excesiva corriente puede arruinar el dique de desechos por sumersión (ver 4.3.3.2.);
- las corrientes de aguas no contaminadas podrían ser guardadas separadamente de las aguas contaminadas. Las técnicas de control para las corrientes de aguas de los diques de desechos y para las filtraciones que generan ácido son repertoriadas en los Apartados 7.1.3. y 7.4.

7.2.3. Control del drenaje ácido de mina

Aunque las aguas contaminadas que resultan del drenaje ácido de mina pueden ser tratadas (ver Apartado 7.2.4.), se deberían tomar medidas para reducir el volumen y mejorar la calidad de las aguas contaminadas. Deberían preferirse los métodos pasivos de tratamiento, siempre que sean técnicamente factibles, por razones de costo obvias. Deberían tomarse en cuenta todas las técnicas que tratan de controlar uno o más de los elementos básicos de generación ácida - el oxígeno, el agua, las bacterias, los minerales sulfurosos.

7.2.3.1. Mina en operación

La prevención y el control del drenaje ácido de mina, en una mina en operación, es muy a menudo difícil debido a la evolución constante de los trabajos subterráneos (o superficiales), al depósito de desechos y de desechos.

Las aguas ácidas de minas subterráneas y/o de cielo abierto, deben ser neutralizadas y sus metales removidos. Esto puede lograrse en una planta específica de tratamiento para el drenaje de mina, o más comúnmente, en el estanque de desechos. La remoción de metales de soluciones diluidas en una planta de tratamiento da como resultado la producción de lodos concentrados de metales pesados que deberían ser manejados con esmero para impedir su introducción en del medio ambiente.

Deberían examinarse cuidadosamente las condiciones hidrogeológicas: en algunas condiciones específicas, es posible minimizar la recarga de agua subterránea y su flujo en la vecindad de la mina, de tal manera que la producción del drenaje ácido de mina pueda ser minimizado (47).

Las precauciones que se pueden tomar para un depósito de sólidos incluyen :

- la colocación selectiva/el cubrimiento de material generador de ácido;
- evitar o minimizar la exposición de minerales sulfurosos cuando sea posible;
- evitar el uso de materiales que tengan sulfuros para la construcción de diques, caminos u otros requerimientos de relleno;
- la colocación de desechos productores de ácidos en zonas donde las filtraciones puedan ser controladas;
- la separación del drenaje limpio del contaminado al máximo grado posible;
- el diseño y la construcción de instalaciones de control de drenaje, con criterios adecuados para la intensidad y la duración de las corrientes superficiales de lluvias;

- el diseño de instalaciones de drenaje superficial como parte integrante de un sistema de control operacional y post-operacional.

Un depósito de desechos bajo agua previene la oxidación de sulfuros contenidos en los desechos del concentrador. Sin embargo, actualmente pocos datos son disponibles sobre el impacto a largo plazo de dicha práctica y sobre la calidad de la masa de agua empleada para el depósito. En todo caso, se recomienda la evaluación del sitio específico si se considera la construcción de ese tipo de depósito.

7.2.3.2. Mina cerrada

Cuando una mina ha cesado sus operaciones, se pueden tomar medidas complementarias.

La minimización del acceso de aire a los sulfuros en minas subterráneas cerradas, que es la medida más eficaz para reducir la causa de generación de ácido, puede ser ejecutada por inundación y/o sellado de la mina.

Las técnicas de control post-operacional del drenaje ácido que pueden aplicarse en los depósitos de desechos y de desechos, incluyen:

- tapar los desechos con arcilla, plástico, cemento y cascajo, asfalto, etc...;
- colocar en la superficie tierra de la parte superior de suelos, y proceder a una revegetación;
- combinar los dos métodos precedentes (39) (40).

La mayor desventaja de estas técnicas es un costo que puede ser prohibitivo cuando tienen que ser tratados grandes montones de desecho.

Otras técnicas de control están en investigación pero no han sido aún convalidadas. Estas incluyen el cubrimiento superficial del desecho colocando cal o piedra caliza, el uso de bactericidas para matar las bacterias responsables de la generación ácida y la neutralización in situ por adición

de carbonato mezclado con el desecho (41) (42).

Los estudios de sistemas de tratamiento pasivo de bajo costo, como alternativa al sistema químico convencional, han aumentado en los últimos años (43) (48). Habría que considerar seriamente estos sistemas porque el tratamiento del drenaje ácido de mina puede continuar por muchos años después que las operaciones mineras hayan cesado.

7.2.4. Tratamiento de aguas de desecho

Una información completa sobre el tratamiento de aguas de desecho en la minería de metales básicos y de oro, figura en : Environment Canada EPS2 / M M / 3 publicación (15). Los principales procedimientos utilizados y algunos ejemplos de aplicaciones aparecen brevemente más adelante.

7.2.4.1. Remoción de ácido libre y metales pesados

El método más común de tratamiento químico del drenaje del agua ácida de mina consiste en la neutralización del ácido libre y en la precipitación de los metales como hidróxidos en condiciones alcalinas. Como el hidróxido férrico es mucho menos soluble que el hidróxido ferroso, las aguas de desecho son aireadas para oxidar el hierro ferroso que normalmente se presenta en las aguas ácidas de mina. Por razones de costo, se emplean raramente otros oxidantes químicos (ozono, peróxido de hidrógeno, cloruro, permanganatos).

El Cuadro 16 presenta el costo relativo de los reactivos neutralizantes en Canadá. El carbonato de calcio, que parecería ser el más barato, no es adecuado en la mayoría de las situaciones porque el pH que puede obtenerse es inferior a 7, un valor en el cual la mayoría de los hidróxidos metálicos no precipitan completamente. La cal hidratada es el reactivo más frecuentemente empleado.

Cuadro 16
Costos Relativos de Reactivos de Neutralización en Canadá

Alcali	Costo de Reactivo/Costo de Equivalente Ca(OH) ₂
Carbonato de calcio	0.3
Oxido de calcio	0.8
Hidróxido de calcio	1.0
Carbonato de sodio	4.7
Hidróxido de sodio	16.0

Fuente: (15)

Una consecuencia del uso de cal es la posible precipitación de yeso (sulfato hidratado de calcio). La precipitación de yeso aumenta la cantidad de lodo generado por el tratamiento de aguas de desecho y forma una corteza tipo concreto que puede trabar el equipo, si no se retira periódicamente.

La separación de hidróxidos de metal precipitados en una fase líquida, es posiblemente el aspecto más difícil del tratamiento de aguas ácidas de desechos. Los hidróxidos metálicos se precipitan como sólidos amorfos con baja velocidad de sedimentación y difícil espesamiento. Se utilizan varios métodos para mejorar el desagüe de hidróxidos precipitados. Entre éstos, del reciclaje de lodos al sistema de neutralización y al uso de floculantes polímeros. Los floculantes son reactivos onerosos y la cantidad exacta por emplear hay que determinarla lo más precisamente posible. Esto requiere estudios de casos pilotos.

Los lodos de tratamiento contienen metales retirados de aguas de desecho. Generalmente, se dispone de ellos, junto con los desechos de planta, en estanques de depósito separados, enterrándolos como rellenos de tierra en el sitio y, en

algunos casos, en obras mineras subterráneas y a cielo abierto. Según la situación particular, para que los lodos sean mecánicamente desagüados, ya sea antes o después de su depósito; sea cual fuere el caso, ese procedimiento de desagüe es caro.

Todos los depósitos de ese tipo de lodos o residuos representan una fuente potencial de contaminación debido al procedimiento hidrológico. Su diseño, su operación y su eventual abandono, requieren un estudio detenido.

Para reducir los costos, se han ensayado los sistemas de tratamiento pasivo que requieren bajos costos de capital y de operación y poco mantenimiento, y que todavía están en fase de investigación (ver Apartado 7.2.3.2.).

La Figura 12 muestra el sistema de tratamiento de aguas ácidas de una mina en operaciones en Brunswick Mining (New Brunswick, Canadá) para tratar aguas ácidas de mina que contienen metales. La precipitación del hidróxido metálico tiene lugar en el estanque de desechos. El costo financiero del sistema fue de aproximadamente CDN \$ 800,000 (1985) y el costo anual de operación fue de aproximadamente CDN \$ 550,000 (1985).

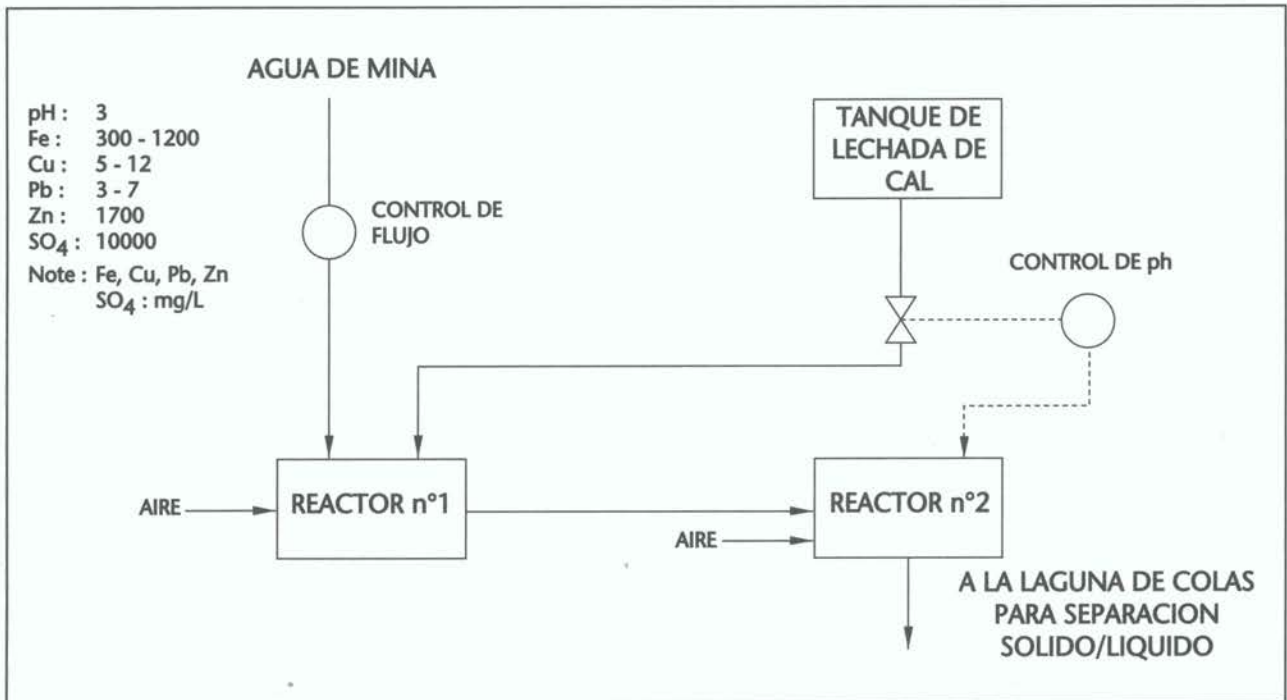


Figura 12. Sistema de Tratamiento de Aguas Acidas de Mina en Brunswick Mining

La Figura 13 muestra el diagrama de flujo para el tratamiento de filtraciones acidificantes en la mina inactiva Waite Amulet de Noranda. El lodo del clarificador (aproximadamente 4% de sólidos por peso) es dispuesto en permanencia en lechos de drenaje sobre arena.

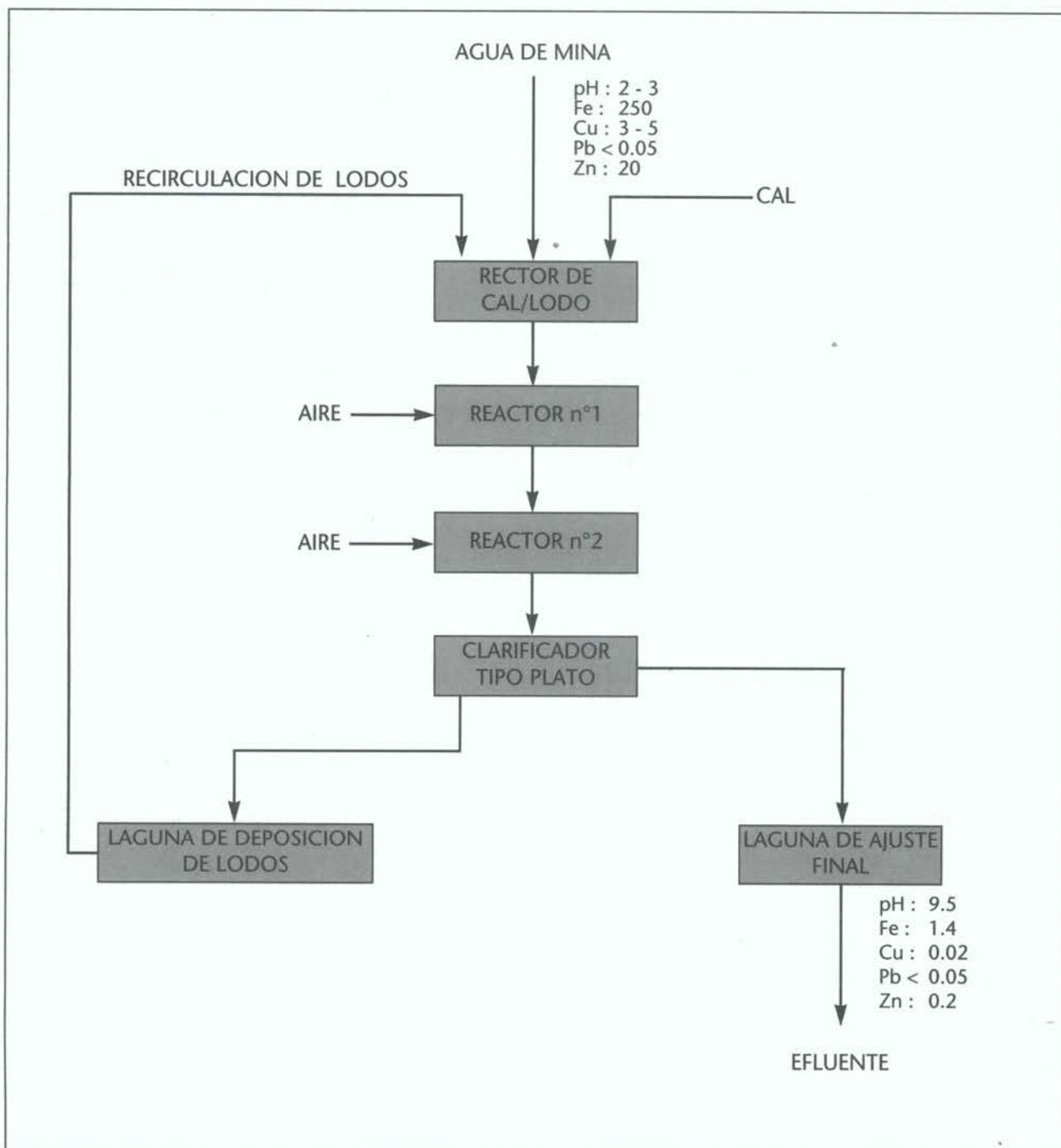


Figura 13. Waite Amulet Mine Proceso de Tratamiento de Agua Ácida de Mina con una Alta Densidad de Lodos

7.2.4.2. Remoción de cianuros

Las aguas de desecho de operaciones mineras de oro pueden contener cianuro en una proporción de 100 a 400 mg/l y deberían ser tratadas.

Un análisis exhaustivo del tratamiento de aguas de desecho con cianuro en la industria minera del oro fue realizado en 1987 por Ingles y Scott y actualizado por Scott en 1989 (20).

7.2.4.3. Eliminación de tiosales

Los métodos potenciales para la eliminación de tiosales son pasados en revista en (49) y (50). Costos de operación prohibitivos limitan el uso de métodos de oxidación química en la industria minera.

La oxidación bioquímica y la neutralización, previa a la descarga en el medio ambiente, es el más prometedor de los procesos y puede lograrse con una larga estadía de las aguas de desecho en los estanques. La experiencia de varias operaciones mineras en el Canadá puede ser consultada en (51).

7.2.4.4. Eliminación de arsénico

Las aguas de desecho de operaciones mineras de oro - arsenopirita, pueden requerir la eliminación de arsénico. El arsénico puede ser eliminado de manera muy eficaz mediante precipitación, ya sea en forma de arseniados de calcio o de arseniatos férricos; los arseniuros contenidos en el agua podrían ser oxidados antes de la precipitación del arsénico.

También se usa la coprecipitación del arsénico con el hidróxido férrico en condiciones alcalinas. Información sobre la materia puede encontrarse en (52) y (53).

7.3. Contaminación Atmosférica

7.3.1. Mediciones y gestión

Una revista de los muchos métodos que han sido concebidos para la medición de

los niveles de contaminación atmosférica, es presentada en (54).

En la industria minera de metales básicos, la mayor parte de la contaminación atmosférica se debe principalmente al polvo. La cantidad de polvo en un punto específico puede ser medida con diferentes equipos:

- con medidores estándar de depósito de polvo que proporcionan un registro integrado del total caído en un período de exposición;
- con medidores direccionales para controlar el polvo transportado horizontalmente;
- con filtros de humo.

También existen métodos para medir el total de partículas realmente suspendidas en el aire.

Se puede medir la cantidad de polvo recogida; también se pueden hacer análisis químicos de las muestras de polvo recolectadas. Detalles sobre el equipo de muestreo del polvo recogido pueden consultarse en (54), pero también en diferentes publicaciones estándar tales como British Standar 1747, por ejemplo.

Los programas de gestión incluyen medidores de reconocimiento geoquímico y de depósito de polvo en zonas sensibles.

Mediciones de ciertos gases tóxicos tales como cianuro pueden ser efectuadas con uso de un equipo especial, ya sea portátil o fijo.

7.3.2. Control de polvo de fuentes puntuales

La manera más eficaz de controlar la emisión de polvo es prevenir su formación mediante el control de la humedad de los productos manejados.

La humedad del mineral de la mina depende de la hidrogeología del depósito. Los concentrados producidos en una planta son generalmente filtrados; el control del filtrado proporciona medios para

controlar la humedad de los concentrados y, por lo tanto, su potencial para emitir polvo. Básicamente, un 8 - 10 % de humedad impide la emisión de polvo de los concentrados de minerales sulfurados.

Si procede, se usa agua que normalmente contiene un agente de humidificación, para aumentar la superficie húmeda en lugares donde se puede producir polvo: en trituradoras, cribas, canaletas inclinadas, etc... Los rociadores de agua son mucho más eficaces para evitar la producción de polvo que tratar de hacer depositar el polvo del aire. Un sistema eficaz de supresión de polvo requiere una selección y localización cuidadosa del equipo de rociado para permitir un premojado con agua.

Una alternativa eficaz es limitar la altura de caída del producto en los puntos de transferencia o encerrarlo durante su caída.

El uso de zonas de almacenamiento totalmente cerradas es con frecuencia necesario para evitar el transporte por el viento de polvo de productos finamente molidos tales como concentrados de planta.

En algunos casos remojar el mineral no es práctico; la eliminación del polvo se obtiene gracias a un sistema de extracción forzada, que extrae aire cargado de polvo de su punto de origen y lo lleva a un separador.

Los separadores más comúnmente usados son :

- los colectores mecánicos: cámaras de depósito gravimétrico, ciclones;
- los filtros de bolsa;
- los desincrustadores húmedos;
- la precipitación electroestática (cara, rara vez empleada en la industria minera).

7.3.3. Control de polvo de fuentes dispersas

Excavaciones mineras superficiales, pilas de rocas de desecho

Estas fuentes producen generalmente polvo tanto tiempo como estén en actividad.

La emisión de polvo normalmente disminuye rápidamente al ser abandonadas, porque la fuente de partículas finas ha sido agotada. En localizaciones activas de este tipo, se ha encontrado apropiados los rociadores de agua, que pueden ser automatizados.

Dique de desechos

Mientras se está en operaciones, los problemas de emisión de polvos son similares a los discutidos previamente. Pueden utilizarse fijadores químicos para un control temporal del polvo en un dique de desechos. Tras su abandono, la emisión de polvo llega a ser un problema más significativo debido al material fino que contiene el dique de desechos, que seca rápidamente en la superficie. Como el rociado en un dique de desechos abandonado no es económicamente factible, la manera más eficaz de controlar la emisión de polvo es generalmente la revegetación (ver Apartado 6.1.).

Caminos de transporte

Los caminos de transporte, donde la emisión de polvo tiene lugar por derrame de los camiones y por abrasión por sus ruedas, son fuentes mayores e intermitentes de polvo. El método más usual es rociar con agua los caminos por medio de camiones cisterna. El control se facilita en caminos de transporte adecuadamente compactados y nivelados. Los caminos de transporte pavimentados y cubiertos posibilitan un control muy eficaz de polvo; sin embargo, dichas medidas son rara vez aplicadas por razones de costo.

Transporte de concentrado

Los concentrados de flotación son materiales muy finos, generalmente de gran valor. Si no se toman medidas, las pérdidas debido a derrame pueden ser significativas y costosas independientemente de la preocupación ambiental.

Se deberían evitar los camiones o los vagones ferroviarios abiertos. Los contenedores enteramente sellados son más comúnmente utilizados.

7.4. Depósito de Desecho Sólido

Todo lo que se relaciona con la contaminación del agua y la contaminación atmosférica resultante del depósito de desechos sólidos, se pasa en revista en los apartados precedentes. Las tecnologías de control relativas a la estabilidad de depósitos de desechos y de desechos de rocas, se estudian en este apartado.

7.4.1. Depósito de desechos

Para la selección de un sitio, hay que tomar en cuenta los siguientes puntos para lograr la estabilidad del depósito de desechos :

- la capacidad adecuada para almacenar las cantidades de desechos estimadas durante la vida esperada de la mina, con un cierto potencial de expansión en la eventualidad de que se descubran nuevas reservas;
- las condiciones geotécnicas adecuadas de las rocas sub-yacentes.

Cuando se usa material diferente a los desechos para construir el dique contenedor de desechos, deben aplicarse las reglas destinadas a la construcción de diques de tierra (55),(56).

Los métodos de construcción de estanques de depósito de desechos con uso de fracción gruesa de desechos para construir el dique fueron presentados en el Apartado 4.3.3.2. Como ya ha sido indicado, el método de línea central descendiente es generalmente preferible al método de ascendeinte, especialmente cuando prevalecen condiciones sísmicas peligrosas.

Las características más importantes de estabilidad de los diques de desechos, incluyen:

- la homogeneidad en la construcción del dique con la fracción más gruesa de los desechos;
- el control total de la separación entre las fracciones gruesas y finas de los desechos. Los ciclones deberían ser preferidos para esta separación;

- la instalación de canales de desagüe bien dimensionados, en donde el dique será construido;
- el control permanente del nivel freático dentro del dique;
- el control de posibles filtraciones en la pendiente del dique, mediante un dispositivo complementario de desagüe o alguna otra medida adecuada;
- el control seguro de la pendiente del dique. El máximo valor admisible de la pendiente depende del material empleado para construir el dique, de la posible sismicidad de la zona, etc. Generalmente una pendiente de 0.25 asegura una buena estabilidad del dique;
- las corrientes superficiales de agua de lluvia en la pendiente del dique pueden llevar hacia abajo material arenoso. Para prevenir que este material sea evacuado hacia el entorno, se recomienda la construcción de un dique de rocas filtrantes.

El agua superficial debería ser desviada alrededor del estanque de depósito por túneles, por canales de desviación, etc., apropiadamente diseñados y que correspondan a criterios estadísticos ya aceptados de intensidad y de duración. El espacio libre proporcionado por encima del nivel más alto del estanque, debería determinarse en función de la cantidad máxima de agua de lluvia que pueda entrar en el estanque en los casos críticos. Cada caso tiene que ser evaluado individualmente.

7.4.2. Depósito de desechos de desechos

Las consideraciones geotécnicas aplicadas en el depósito de desechos de rocas son:

- buenas condiciones geotécnicas de las rocas subyacentes;
- desviación del agua estructural alrededor de la zona de almacenamiento;
- buen drenaje del montón de rocas de desecho;
- diseño de la pendiente del montón como función de las propiedades geotécnicas del material almacenado.

En algunos casos, como cuando hay limonitas en minas de minerales lateríticos de níquel, se necesita una compactación.

La Figura 14 muestra un ejemplo de material laterítico de desecho, en la mina de níquel de Nueva Caledonia.



Figura 14. Almacenamiento de Desechos de Limonita en la Mina de Níquel de Kongouhaou (Nueva Caledonia)

Fuente: Société Métallurgique le Nickel

7.4.3. Revegetación de depósitos de desechos sólidos

La revegetación de depósitos de desechos sólidos abandonados fue estudiada en el Apartado 6.1.

7.4.4. Utilización de desechos

La utilización de desechos podría reducir los problemas ambientales que plantea un depósito clásico. Sin embargo, la gran cantidad de material implicado, la ubicación frecuentemente remota de las minas, la presencia de elementos indeseables (por ejemplo, los minerales generadores de ácidos), son graves desventajas cuando se trata de un uso externo significativo de los desechos de mina y de los residuos.

El uso más corriente de desechos es el relleno hidráulico con fines de soporte en minas subterráneas. En general, solo se emplea la fracción más gruesa, mientras que el material fino tiene que ser depositado en un embalse en la superficie.

7.5. Subsistencia

El subsanamiento de los daños producidos por la subsistencia puede ser emprendido ya sea con medidas de precaución en superficie para proteger las instalaciones o por modificación de los métodos mineros que conduzcan a minimizar la deformación de la superficie.

Las medidas de precaución en superficie incluyen:

- evitar nuevas instalaciones en zonas de discontinuidad geológica tales como afloramientos de fallas;
- diseñar nuevas edificaciones en zonas de subsistencia, ya sea completamente rígidas o completamente flexibles;
- tuberías y juntas flexibles para líneas de tubería (agua, desagües, etc.).

Las precauciones por tomar varían mucho y dependen de muchos parámetros tales como la geometría y la naturaleza de los depósitos minerales. Entre éstas, dejar pilares de seguridad de mineral y/o rellenar con material de retorno las zonas excavadas.

7.6. Ruido y Vibración

7.6.1. Ruido

Las técnicas básicas disponibles para controlar el ruido en la industria minera incluyen:

- cambiar por equipos de marcha más lenta, alterando el diseño, la construcción o la instalación;
- mejorar el mantenimiento;
- reemplazar el equipo impulsado por aire comprimido, por dispositivos eléctricos;
- usar buenos diseños de silenciadores de aire, montados elásticamente;
- aislar la fuente mediante confinamiento del equipo fijo ruidoso;
- aumentar la absorción de ruido entre la fuente y el auditor, instalando las actividades ruidosas tan lejos como sea posible de las zonas de molestia potencial, y por construcción de algún tipo de estructura de pantalla entre la fuente y el auditor, teniendo en cuenta el efecto directo e indirecto (o difractado) del sonido, como se indica en la referencia (23).

- las pantallas utilizadas en la práctica incluyen paredes, bancos de desechos y árboles.

7.6.2. Vibración

Los controles de que dispone el operador de mina para minimizar la sobrepresión atmosférica causada por explosión y las molestias de vibración por voladura, incluyen:

- evitar la sobrecarga
- concebir modelos de voladura en conformidad con la máxima carga instantánea permisible;
- limitar al máximo la carga instantánea detonada, con uso de retardadores;
- usar fusibles detonantes de baja energía en lugar de alta energía;
- evitar voladuras cuando las condiciones atmosféricas sean desfavorables (inversión de la temperatura, dirección contraria del viento, nubes bajas en el cielo).

Puede ser necesaria la determinación de leyes de propagación de vibración en las condiciones específicas de la mina. Se recomienda el empleo de expertos en este campo.

8. ENTORNO LABORAL

8.1. Principales Peligros Ocupacionales y Efectos en la salud

Los aspectos de seguridad y de salubridad en las operaciones mineras son similares de distintas maneras a los de cualquier complejo industrial. Sin embargo, debido a la naturaleza de las operaciones mineras, hay ciertas zonas que requieren especial consideración.

Por ejemplo, por su naturaleza intrínseca, la minería implica el manejo, el transporte y el proceso de grandes cantidades de material. Es por ello que la composición química del material, su grado de concentración en el entorno laboral y el control de algunos parámetros, son esenciales para asegurar la salud de los trabajadores.

8.1.1. Contaminantes transportados por el aire

8.1.1.1. Partículas transportadas por el aire

El polvo transportado por el aire es un riesgo en la explotación de minas subterráneas y de superficie; también puede ser preocupante en las plantas de beneficio, especialmente en las operaciones de trituración.

Esencialmente, el polvo tiene la misma composición que el material que está siendo explotado, ya sea: (a) el mineral mismo; (b) las rocas de desecho evacuadas de las galerías, de los socavones, etc., que son excavados para dar acceso al mineral, y (c) cierto material superficial que es evacuado.

En las minas de metales básicos, tratados en este documento, dos metales son muy tóxicos: el plomo y el níquel. Además, otros componentes peligrosos combinados con los minerales de metales básicos incluyen el silicio (cuarzo), la cristalina libre, el plomo (también combinado con otros minerales), el cadmio (muy tóxico,

pero que generalmente se presenta como sulfuro insoluble), y, en mucho menor grado, el arsénico combinado con el oro en minerales sulfurosos. Una cierta cantidad de minerales polimetálicos contienen mercurio, cuya presencia debe ser examinada imperativamente debido a su alta toxicidad. Un alto contenido de cuarzo se encuentra generalmente en polvos procedentes de la explotación en roca dura, en los minerales de plomo y de zinc.

Los peligros para la salud resultantes de una exposición al polvo están relacionados con su composición química y, en ciertos casos, con su composición mineralógica. Por ejemplo, el silicio libre puede causar silicosis solamente si está en forma cristalina. Hay que decir que, aunque es importante conocer la composición química y mineralógica de las minerales y de las rocas por explotar, también hay que conocer la composición del polvo mismo ya que la proporción de los distintos componentes no son necesariamente las mismas en el polvo que en la roca matriz.

Los riesgos para la salud dependen también del lugar en donde se depositan los polvos en el sistema respiratorio. Para partículas solubles que pueden pasar dentro del torrente sanguíneo después de su depósito en el sistema respiratorio, cualquier partícula inhalada importa en la evaluación del riesgo para la salud. Por otro lado, para partículas insolubles como por ejemplo el polvo de silicio, cuya acción ataca las partes más internas del pulmón tales como los alvéolos, las partículas que importan para la evaluación del riesgo de salud son solamente aquellas cuyas características de tamaño permiten su penetración y su depósito en los espacios pulmonares (por ejemplo, de los bronquiolos respiratorios a los alvéolos). La fracción "respirable" del polvo (la caracterización de polvo respirable en términos de

tamaño), es presentada en el Apartado 8.2.1.

Por consiguiente, la evaluación de los riesgos de salud resultantes de una exposición al polvo, obliga a determinar su composición, química y mineralógica, el tamaño de las partículas, la concentración de partículas en el aire, así como las condiciones y el tiempo de exposición.

Una exposición crónica al polvo de silicio libre cristalino, a ciertos grados de concentración, el tamaño de las partículas y el tiempo de exposición, pueden conducir a una silicosis, a una pneumoconiosis, que es una enfermedad (fibrosis del pulmón) seria, progresiva e irreversible. (ILO, 1983; WHO, 1984b y 1986a).

El mayor efecto para la salud relacionado con la exposición a metales tóxicos, tales como plomo, níquel, cadmio, mercurio y arsénico, es la intoxicación sistemática (NIOSH, 1977, 1985, 1981-88; Patty, 1981; WHO, 1980, WHO EHC 1, 3, 18 y 101). El efecto está relacionado con la absorción del metal por el organismo; esto tiene que ver con su solubilidad. El plomo puede presentarse con grados diversos de solubilidad, mientras que el arsénico y el cadmio se presentan más frecuentemente como sulfuros insolubles. El níquel puede causar sensibilización de la piel y dermatitis.

Dado que la composición de los minerales y de las rocas circundantes varía, pueden aparecer otros agentes de riesgo (además de los aquí mencionados); por lo tanto, es importante que para cada caso, se determinen los constituyentes y se examine su toxicología en fuentes de referencia.

8.1.1.2. Contaminantes gaseosos

El mayor riesgo en las minas subterráneas viene de los gases de escape liberados por los motores diésel y de los humos de voladura. Los componentes que es preciso controlar cuidadosamente son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno.

En motores diésel los gases de escape,

además del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno, pueden también contener cantidades importantes de hidrocarburos pesados, de dióxido de azufre, y de dióxido de carbono (Enjalbert, 1988). Los sistemas de espuma de uretano empleados para tapar goteos pueden liberar disocianato difenil metano (Burgess, 1981).

El óxido de nitrógeno y el ozono pueden acumularse cuando se procede a soldadura eléctrica en espacios confinados. Esto puede suceder, por ejemplo, en trabajos de mantenimiento en las minas.

El metano no es común en las minas de metales básicos, pero el dióxido de carbono resultante del pudrimiento del maderamen en las minas abandonadas o de las emanaciones de estratos de rocas, no es raro.

También habría que tener cuidado con el pudrimiento del material orgánico que puede conducir a la formación de ácido sulfídrico y también a una deficiencia de oxígeno. La falta de oxígeno puede ser un serio peligro en las minas subterráneas: cuando hay presencia de mineral reductor, la falta de oxígeno puede agravarse.

Los efectos de asfixia por monóxido de carbono (WHO EHC No 4) son bien conocidos y su alarmante característica es que, debido a su baja solubilidad en el agua, puede penetrar insospechadamente (con poca reacción del aparato respiratorio superior) en los alvéolos y causar un edema pulmonar tardío.

Los aldehídos y el dióxido de azufre (WHO EHC No 8) irritan el aparato respiratorio superior; los hidrocarburos pesados, por ejemplo, benzo - d - pireno (aerosol fino) pueden ser carcinógenos (IARC).

8.1.3. Riesgos específicos en plantas de beneficio

Además de algunos contaminantes transportados por el aire tales como el polvo de trituración, ya mencionado, pueden

encontrarse algunos compuestos químicos tóxicos en las plantas de beneficio. Entre otros agentes dañinos se encuentran los colectores orgánicos (xantatos, etc.) utilizados en polvo.

Cianuro

El cianuro es extremadamente tóxico cuando es ingerido. Una característica particularmente peligrosa es que penetra a través de la piel; por lo tanto hay que evitar por todos los medios los contactos con la piel así como las inhalaciones.

Mercurio

El método general para la recuperación del oro de concentrados gravimétricos de placeres ha sido la amalgamación con mercurio. Sin embargo, está bastante claro que el uso del mercurio en procesos

metalúrgicos está siendo reducido.

Las planchas de cobre amalgamadas fueron empleadas en todo el mundo como dispositivo de concentración gravimétrica para láminas con oro fino, hasta que la amalgamación fue remplazada para evitar el uso de mercurio. Desgraciadamente, el mercurio aún se utiliza en algunas partes del mundo.

8.1.1.4. Límites de exposición ocupacional

Los límites de exposición ocupacional en Francia, EE.UU. y la URSS, para los principales contaminantes transportados por el aire en la industria minera de metales básicos, son presentados en el Cuadro 17. En ciertos casos, los límites de exposición pueden definirse también para los agentes químicos, el calor, el ruido y la radiactividad.

Cuadro 17
Límites de Exposición Ocupacional en Varios Países

Contaminantes	Francia mg/m ³ (1)	EE.UU. mg/m ³ (2)	U.S.S.R. mg/m ³ (3)
Polvo con silicio libre	10* x + 2	0.1	-
Plomo	0.15	0.15	0.01 - 0.07
Cadmio (polvo y sales)	-	0.05	-
Níquel + Cobre (minerales)	-	-	4
Zinc (sulfuro)	-	-	5
CO	55	55	20
NO ₂	6	6	2

Fuente : (66)

(1) Promedio de límites de exposición.

(2) Valores límite - AGGIH - 1984 - 1985.

(3) Valores límite - GOST 12.1.005 - 1976.

* La cantidad de polvo respirable como función de x = porcentaje de cuarzo en el polvo respirable.

8.1.2. Ruido y vibración

8.1.2.1. Ruido

Los trabajadores en minas subterráneas y superficiales suelen estar expuestos a altos niveles de ruido emitidos, por ejemplo, por equipos de perforación, cargadoras, cucharas, locomotoras diésel, camiones.

En plantas de beneficio, los molinos y las compresoras de aire son los equipos más ruidosos.

La exposición continua a un ruido intenso puede causar la pérdida de la audición. Las pérdidas temporales, también llamadas fatiga auditiva, son reducciones de la capacidad de escuchar que duran sola-

mente un período limitado de tiempo. Con una exposición prolongada y repetida a altos niveles de ruido, la pérdida de audición puede llegar a ser permanente e irreversible. El hecho de ver trabajadores con pérdidas de audición como resultado de la exposición al ruido, muestra que tales pérdidas comienzan y son más graves alrededor de una frecuencia de 4000 Hz. A medida que la pérdida auditiva progresa, otras frecuencias entran en juego al punto que la persona llega a quedar permanentemente sorda. Ya que existe un cierto riesgo de pérdida de audición a 75dB(A), muchos países han impuesto una norma de 85dB(A) en base a un "riesgo aceptable".

El ruido también puede tener efectos extra auditivos como, por ejemplo, los cambios cardiovasculares y la fatiga.

Los efectos del ruido en la salud han sido tratados en un documento WHO Criterio de Salubridad Ambiental (WHO EHC 12, 1980a) y discutidos en la literatura especializada (ILO, 1983; ISO, 1973; Kryter, 1970; NIOSH, 1973a; 1977a; Burns, 1973; Patty, 1978).

Los niveles de ruido especificados por la normativa de la CEE son : 85 dB(A), para niveles de exposición diaria sin ninguna presión de sonido máximo de más de 200 PA (o 140 dB(A)). Las normas varían en diferentes países, pero se sitúan generalmente entre 85 dB(A) y 90 dB(A) por 8 horas de trabajo por día, con niveles más altos tolerados en períodos más cortos.

8.1.2.2. Vibración

Los mayores problemas de vibración en las minas resultan del uso de herramientas neumáticas manuales. La vibración localizada puede conducir a:

- alteraciones neurovasculares en las manos, como el síndrome de Raynaud (es decir, "mano muerta", "dedos blancos");
- alteraciones de los huesos, como quistes en algunos de los huesos de la mano;

- debilitamiento y atrofia muscular;
- alteraciones degenerativas, primariamente en el cúbito y en los nervios medios;
- tenosinovitis.

Los efectos de la vibración en la salud han sido ampliamente discutidos en la literatura especializada (NIOHS, 1977a y 1983a; ILO, 1983).

8.1.3. Entorno térmico

Los problemas de salud debido al exceso de calor, son muy comunes en las minas subterráneas profundas. Las mayores fuentes de calor en las minas son las paredes de rocas adyacentes (el incremento de la temperatura en las rocas varía con la profundidad, tanto como 1 grado C° cada 150 m), la auto-compresión adiabática del aire entrante y de la maquinaria y la ocupación humana.

Los cuatro factores ambientales que determinan el estrés provocado por el calor son: la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y la radiación de calor. En muchas operaciones de la industria minera, la combinación de estos factores puede dar como resultado un estrés por calor para los trabajadores, quienes pueden estar efectuando un trabajo pesado y produciendo grandes cantidades de calor corporal, aumentando así apreciablemente el problema de la intensidad del calor. La temperatura atmosférica y la humedad relativa afectan el bienestar térmico en proporción inversa. Por ejemplo, 100% de humedad a una temperatura de 30 grados C° son prácticamente condiciones insostenibles.

En minas a cielo abierto con rocas ligeramente coloreadas (como por ejemplo cuarcitas), se produce un incremento de la radiación del calor debido al sol y a las radiaciones infrarrojas reflejadas. Esto no solamente aumenta la intensidad del calor sino que también afecta los ojos si no están adecuadamente protegidos. Cuando las rocas son coloreadas de oscuro (como los basaltos), hay absorción de calor y la

roca caliente actúa entonces como una fuente adicional de calor.

Los tipos más usuales de disturbios provocados por el calor (WHO, 1969; 1977; Patty, 1978; NIOSH, 1977a, 1980b; ILO, 1983; Desoille et al, 1978), acaloramiento, calambres de calor, pérdida de agua, agotamiento por calor (deshidratación).

Además, los cambios abruptos en la temperatura cuando se sale de una mina caliente, en condiciones climáticas exteriores frías, puede agravar las enfermedades respiratorias existentes.

8.1.4. Presión atmosférica

En minas ubicadas en alturas muy elevadas, la pérdida de oxígeno puede ser considerable cuando no es posible un período de aclimatación.

8.1.5. Alumbrado

La falta de alumbrado puede presentar problemas de seguridad porque los obstáculos pueden no ser fácilmente identificados cuando hay poca visibilidad.

8.1.6. Agentes biológicos

Las condiciones climáticas de la mina (temperatura y humedad), la presencia de agua estancada, de sobras de alimentos y la carencia de higiene, pueden contribuir a la transmisión de parásitos y otros agentes biológicos; por ejemplo, la anquilostomiasis y la micosis existen aún en algunos países. También pueden haber roedores e insectos que pueden actuar como vectores en la transmisión de enfermedades (ILO, 1983; NIOSH, 1977).

8.2. Gestión del Medio Ambiente

Se recomienda establecer programas de control de rutina para determinar la extensión de la exposición a riesgos ocupacionales en las zonas de trabajo subterráneas y superficiales. Estos programas pueden abarcar la medición de los impactos fuera del sitio, en las poblaciones vecinas y en los animales y plantas.

8.2.1. Contaminantes transportados por el aire

La presencia de contaminantes atmosféricos en los lugares de trabajo puede evaluarse mediante técnicas de muestreo y análisis del aire. La concentración de contaminantes transportados por el aire en los lugares de trabajo varía con respecto al tiempo y a la localización, por lo tanto un aspecto importante de evaluación del peligro consiste en obtener la "representatividad" de algún procedimiento de muestreo. Para esto, hay que concebir y seguir una estrategia adecuada de muestreo. Las principales decisiones cuando se concibe una estrategia de muestreo se refieren a "cómo", "dónde", "cuándo" y "por cuánto tiempo" efectuar el muestreo, así como la "cantidad" de muestras que se necesita (Valic, 1983; WHO, 1984b; Linch, 1981; Patty, 1978, 1979).

8.2.1.1. Partículas transportadas por el aire

Las partículas transportadas por el aire pueden ser evaluadas por medio de dispositivos de muestreo continuo o con instrumentos de lectura directa. Estos últimos no se aconsejan cuando hay polvos que producen efectos crónicos ya que los resultados no son acumulativos.

El muestreo de partículas transportadas por el aire en el ENTORNO LABORAL ha sido examinado en la publicación WHO (WHO, 1984b) y ha sido bien discutido en la literatura especializada (ACGIH, 1983, 1985; Linch, 1981).

También es útil consultar (58).

En lo que se refiere a los polvos transportados por el aire que pueden causar neumoconiosis, es importante evaluar la fracción "respirable", es decir, la porción de polvo transportada por el aire que puede penetrar en los espacios pulmonares.

Hay diferentes criterios para la separación por tamaño de la fracción "respirable" del polvo (WHO, 1984b). Los más ampliamente aceptados son aquellos recomen-

dados por el Consejo Médico de Investigación de Gran Bretaña (Great Britain, 1952) y por la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos (USAEC, 1962), este último ligeramente modificado y adoptado por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH, 1988).

La frecuencia del muestreo depende de la situación. Debería efectuarse un reconocimiento inicial y, si se encuentra que la concentración en el aire excede las normas adoptadas, habría que implementar medidas de control. La evaluación debería hacerse inmediatamente tras la implementación de las medidas de control, a fin de evaluar su eficacia y transformarla después en rutina con intervalos de aproximadamente un año.

También es necesario analizar el polvo transportado por el aire para determinar su composición química y mineralógica. Para apreciar el riesgo de silicosis, es necesario evaluar el contenido de silicio cristalino libre.

De manera similar, habría que evaluar la proporción de plomo, níquel, cadmio y arsénico contenidos en el polvo. No obstante, cuando se está trabajando con un compuesto soluble, debería medirse también el total de polvo.

8.2.1.2. Gases y vapores

Los procedimientos de muestreo para contaminantes en estado gaseoso transportados por el aire son básicamente los siguientes:

- (a) utilización de instrumentos de lectura directa;
- (b) recolección de una muestra de aire para futuros análisis; (c) separación de una muestra de aire de los contaminantes que éste transporta, para análisis posteriores; (d) utilización de dispositivos de control pasivo (o muestreo), también llamados "dosímetros pasivos", "mostrarios pasivos" o "mostrario difuso".

A menos de utilizar un dispositivo de lectura directa, la muestra recogida tiene que pasar por un análisis posterior efectuado en un laboratorio de análisis especializado. Hay técnicas analíticas particularmente empleadas para aplicaciones de higiene ocupacional. El Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y de Salud (EE.UU.) lleva a cabo un amplio programa basado en esos métodos de muestreo y de análisis que son periódicamente publicados (NIOSH, 1984a); El Ministerio de Salud y de Seguridad del Reino Unido publica métodos para la identificación de materiales peligrosos, por ej., HSE, 1981 y 1983.

Hay dispositivos de lectura directa que cuentan con un sistema incorporado de alarma. Este tipo de instrumento es muy útil para atmósferas que pueden ser inmediatamente peligrosas para la vida, por ejemplo, cuando hay riesgo de concentración excesiva de monóxido de carbono o de falta notable de oxígeno. En efecto, hay instrumentos que combinan alarmas para señalar la falta de oxígeno y para señalar el exceso de monóxido de carbono. El ácido cianídrico es otra sustancia para la que dichos instrumentos son también muy útiles.

8.2.2. Agentes físicos

8.2.2.1. Ruido

Para determinar la extensión de la exposición de los trabajadores al ruido, se deben efectuar mediciones cuyos resultados deben compararse con las normas adoptadas. También es necesario observar el tiempo de exposición.

Fundamentos de acústica, conceptos básicos y definiciones así como mediciones del nivel del ruido, con detalles sobre los medidores de niveles de sonido y sobre otros equipos de medición, han sido ampliamente discutidos en la literatura especializada (AIHA, 1975b; Darabont, 1983; Hassall & Zaveri, 1979; ILO, 1976, 1980a, 1983a & b; INRS, 1980; NBS, 1976; NIOSH, 1973, 1978a; Peterson y

Groos, 1974; WHO, 1980b). Una fuente esencial de información son las normas internacionales y recomendaciones de la Organización Internacional de Normas *(ISO) - " Technical Committee 43 - Acoustics " (ISO, 1973, 1974, 1975a & b, 1979a & b, 1982b), y la Comisión Internacional de Electrotécnica **(IEC) (IEC, 1979, 1982, 1984).

Los instrumentos básicos para medición del ruido son:

- el medidor de nivel de sonido;
- el dosímetro de ruido;
- el analizador de frecuencia;
- el medidor de impacto o de impulso del ruido;
- el calibrador.

La Oficina de Salud Ocupacional, WHO, Ginebra, está preparando una directiva práctica para la evaluación y el control del ruido.

8.2.2.2. Vibración

La evaluación de la exposición a la vibración es difícil; sin embargo, existe una norma internacional (ISO, 1986). En la literatura especializada se encuentran indicaciones sobre la materia (NIOSH, 1983a; ILO, 1980; ACGIH, 1988).

8.2.2.3. Estrés por Calor

Los principales parámetros ambientales que influyen en el estrés causado por el calor son : la temperatura, la humedad, el movimiento del aire y el calor irradiado. Estos son los parámetros que se toman en cuenta, además del tipo de actividad y, en algunos casos, la ropa llevada, para determinar los índices de evaluación del estrés causado por el calor.

El Índice de Termómetro Húmedo Bulbo Globo (W.B.G.T.) es muy simple de determinar, mediante un equipo que no es caro y fácil de obtener. El índice toma en cuenta los factores que influyen en el aumento del calor en el entorno (por ej. : la temperatura del aire, su grado de humedad y su movi-

miento, así como también la radiación de calor) y su interpretación considera los principales factores que influyen en la carga metabólica de calor (por ej. : el tipo de actividad desarrollada por los trabajadores). La metodología ha sido ampliamente discutida en la literatura especializada (ACGIH, 1988; Goelzer, 1983a; ILO, 1983; NIOSH, 1973; WHO, 1977).

* La lista de normas disponibles en el campo de la acústica puede conseguirse en :

ISO - Case Postale 56, 1211 Geneva 20, Switzerland,

IEC - 3, rue de Varembe, 1202 Geneva, Switzerland.

8.3. Gestión de los Parámetros de Salud de los Trabajadores

Las técnicas para controlar los parámetros de salud incluyen : el control biológico, para detectar la sobreexposición y para determinar si el ambiente de trabajo está bajo control adecuado así como también una detección precoz del empeoramiento causado por la exposición ocupacional con el fin de identificar a los trabajadores hipersensibles y poder proceder a la evaluación de la estrategia de control.

Estas técnicas no reemplazan las medidas de control, pero ayudan a detectar una falla que de otra manera no sería examinada en la estrategia de control de exposición.

Existen exámenes biológicos muy eficaces para la evaluación de exposiciones al plomo, al cadmio, al arsénico, al mercurio (WHO, 1980 y 1986c; ILO, 1983), que comprenden, entre otros, el análisis de sangre y de orina.

Los rayos X del tórax, para el diagnóstico precoz de la silicosis, deberían ser interpretados a la luz de la Clasificación Internacional ILO (ILO, 1983). La frecuencia depende del nivel del polvo. Si hay un buen control del polvo, el examen de rayos X debería efectuarse cada 3 años (WHO 1986c). Sin embargo, la normativa difiere entre los países.

Hay que subrayar que no hay que esperar la aparición de cambios radiográficos antes de actuar. En efecto, cuando ya hay cambios radiográficos puede ser demasiado tarde puesto que los cambios son irreversibles y progresivos. Lo que hay que hacer es controlar el polvo en el entorno laboral y servirse de los análisis para dominar la situación y detectar las fallas en la estrategia de control.

Los exámenes de funcionamiento pulmonar son especialmente útiles para diagnosticar las enfermedades pulmonares en ausencia de indicaciones radiográficas.

Un rasgo característico de la pérdida de audición inducida por el ruido es que ésta comienza a una frecuencia de aproximadamente 4000 Hz. Por lo tanto, un examen audiométrico de evaluación de la capacidad auditiva puede detectar cambios precoces antes de que el defecto sea notado por el paciente.

Para los trabajadores de instalaciones ruidosas, se debería proceder a una audiometría durante el examen médico previo al empleo, con miras a determinar el estado de auditivo del trabajador. La audiometría está bien estudiada en la literatura (ILO, 1980 y 1983).

8.4. Estrategias de Control

8.4.1. Consideraciones generales

Las medidas para proteger el entorno laboral incluyen controles de ingeniería, prácticas adecuadas de trabajo y medidas personales. La tecnología de control está analizada en la literatura especializada (Burgess, 1981; Corn, 1983; Goelzer, 1983b; ILO, 1977, 1983; NIOSH, 1973).

Las medidas de control ambiental consisten en cambios en los procesos de trabajo y/o entorno de trabajo con el objetivo de eliminar los agentes de riesgo o reducirlos a niveles aceptables para impedir los daños a la salud. Entre otras medidas, podemos mencionar :

- la sustitución de los materiales dañinos;
- los cambios en el proceso o en el equipo;
- la ventilación, que puede ser de extracción local, o, una ventilación general (dilución);
- el encierro, métodos húmedos (para polvo solamente);
- un buen mantenimiento y un almacenaje adecuado;
- la colocación de etiquetas con advertencias.

Las prácticas adecuadas de trabajo consisten en procedimientos específicos de trabajo concebidos para minimizar la generación y la liberación de agentes peligrosos, así como la exposición a ellos, en el entorno laboral. Los factores ergonómicos son también de gran importancia en la industria minera e incluyen malas posturas de trabajo y el manejo inadecuado de cargas (NIOSH, 1981).

Las medidas de control personal son medidas relacionadas solamente con los trabajadores. Entre otras :

- un equipo personal de protección;
- la limitación del tiempo de exposición;
- la higiene personal (la ropa y la protección personal);
- la educación sanitaria.

En cuanto al equipo de protección personal, habría que distinguir entre dos tipos: (a) el que debería usarse independientemente de los controles ambientales para protegerse de accidentes, por ejemplo : cascos, guantes, botas de seguridad, etc., y (b) el de protección personal contra riesgos que pueden ser controlados por métodos de ingeniería, como por ejemplo, la protección respiratoria y auditiva. La categoría (b) debería considerarse como un último recurso, mientras se preparan y se implementan las medidas de control ambiental (solución temporal), cuando las medidas de control ambiental no son técnicamente factibles, porque las operaciones son esporádicas o de corta

duración o para operaciones que impliquen muy pocos trabajadores.

Como no siempre es posible controlar la exposición a peligros, es necesaria la protección personal. En cada caso habría que proceder a un entrenamiento para su uso.

En el apartado más adelante, se examinan las medidas de naturaleza médica tales como los exámenes médicos, previos al empleo y periódicos. Sin embargo, todas las medidas, incluso aquellas para prevenir accidentes (medidas de seguridad), deberían estar integradas y bien coordinadas.

8.4.2. Aplicación de tecnología de control a operaciones específicas y a peligros específicos

8.4.2.1. Operaciones en presencia de polvo

Los métodos húmedos pueden reducir de manera importante el polvo generado. Por ejemplo, la perforación hidráulica puede reducir de manera significativa la emisión de polvo durante la perforación de barrenos para voladura (burgess, 1981; ILO, 1977 y 1983) (59).

El uso de rociadores de agua es muy eficaz en operaciones tales como el traslado de material pulverulento y de trituración (Grenier, 1988; ILO, 1983; Jayaraman y Jankowski, 1988).

Para aumentar la eficacia de los métodos de humedecimiento para la supresión del polvo, pueden emplearse agentes de humedecimiento (Le Bouffant et al. 1975; Metrico y Pelizza, 1974; Bolstol et al. 1981; Breuer, 1980). Uno de los agentes de humedecimiento es el agua con detergente (Burgess, 1981).

El buen diseño de un sistema de ventilación es el elemento más importante de control de la calidad del aire en una mina subterránea. Este es un campo muy especializado y debería consultarse ingenieros especialistas en ventilación (ILO, 1983; Burgess, 1981).

Si reducir el polvo a niveles aceptables no

es posible, deberían emplearse máscaras antipolvo y en situaciones críticas, respiradores.

8.4.2.2. Voladura

La voladura puede generar polvo y gases contaminantes. Las medidas para controlar las exposiciones resultantes de las operaciones de voladura incluyen:

- la división en el tiempo, es decir, esperar suficiente tiempo antes de la volver a entrar;
- la humidificación con agua, antes de la voladura;
- la ventilación.

Habría que destacar que los respiradores antipartículas no protegen contra los contaminantes en estado gaseoso.

8.4.2.3. Ruido

Habría que hacer todos los esfuerzos posibles para reducir el ruido a niveles aceptables, por ejemplo mediante utilización del equipo que produzca menos ruido. Cuando no se pueda lograr la reducción necesaria, deberían implementarse programas de conservación auditiva con inclusión de limitaciones de exposición, de protección personal y de exámenes audiométricos periódicos.

Los trabajadores de las zonas de ruido deberían someterse a exámenes audiométricos sistemáticos, no solamente para detectar aquellos más sensibles sino también para verificar la eficacia de la protección auditiva cuando éste es el método de control utilizado.

El control del ruido está bien examinado en la literatura especializada (ILO, 1983). El ILO tiene una publicación (ILO, 1980b) específicamente dedicada a los problemas provocados por el ruido y por la vibración.

8.4.2.4. Estrés por calor

En las minas, la prevención del estrés producido por el calor reside principalmente en una ventilación general y en medidas de orden personal :

- el aire acondicionado;
- un esquema de trabajo - descanso satisfactorio;
- ropa adecuada;
- la ingestión de agua y de sal;
- prácticas convenientes de trabajo;
- la vigilancia médica.

En ciertos casos, la mecanización de las operaciones puede contribuir a reducir el estrés provocado por el calor, ya que a más bajos niveles de actividad decrece la generación de calor interno y en consecuencia disminuye el calor interno que hay que soportar.

8.4.2.5. Reactivos usados en plantas de beneficio

Algunos reactivos químicos empleados para la flotación de minerales de metales básicos se muestran en el Cuadro 5. Algunos de ellos tienen una gran toxicidad, ya sea en estado líquido como en estado de polvo. Por ejemplo, debería evitarse la inhalación de colectores orgánicos (Xantatos, etc.) en polvo. Se aconseja el uso de máscaras contra el polvo cuando se manejan estos productos.

Habría que tener especial cuidado con el cianuro empleado para la flotación espumante de minerales de metales básicos y en el proceso de minerales de oro, así como con el mercurio, todavía en uso en algunas plantas de tratamiento de oro.

Cianuro

Habría que colocar un cartel en la planta en que se emplea cianuro y en la enfermería, con una lista de los síntomas de envenenamiento con cianuro y con detalles de procedimientos de socorro y de primeros auxilios en casos de envenenamiento. Se aconseja instalar un botiquín de urgencia en todos los lugares donde haya riesgo de envenenamiento con cianuro.

Los principales vendedores de cianuro se preocupan por que sus clientes apliquen buenas normas de seguridad cuando empleen cianuro y por que protejan bien el lugar de trabajo así como el medio

ambiente. Algunos de ellos preparan seminarios para usuarios potenciales.

Un examen exhaustivo e información sobre el empleo del cianuro y de los riesgos que su uso implica aparece en una publicación del Departamento de Minas de Australia Oeste (Dept. of Mines, 1986) (60). Cuando se maneja cianuro sólido, es necesario utilizar una buena protección respiratoria, así como una protección para la piel y guantes.

Mercurio

Se recomienda el uso de una protección respiratoria eficaz cuando se maneja mercurio, teniendo en cuenta que el mercurio también se presenta en forma de vapor y penetra por la piel.

8.5. Vigilancia Médica

Los mineros deberían someterse a exámenes médicos previos al empleo y periódicos, con una frecuencia que depende del riesgo potencial o de la ocupación.

El exámen previo al empleo es de gran importancia para asegurarse que la salud de los trabajadores y sus capacidades físicas sean compatibles con las demandas de su ocupación.

Los exámenes médicos periódicos deberían detectar los trabajadores más sensibles y también contribuir a la evaluación de la eficacia de la estrategia de control adoptada. La supervisión médica debería incluir el control biológico y la detección precoz de un posible empeoramiento de la salud debido a la exposición ocupacional (WHO, 1986c) y al riesgo potencial en cuestión (previamente analizado).

El papel del médico laboral debería ser esencialmente preventivo. Cuando las minas están en un sitio aislado, el servicio médico minero debería asumir una amplia responsabilidad en el campo de la protección de la salud, así como prestar un servicio médico curativo a los mineros, a sus familias y, frecuentemente, a la población

circundante. Puede también incluirse la prevención y el tratamiento de enfermedades endémicas (por ej.: la malaria)

8.6. Primeros Auxilios y Procedimientos de Urgencia

Una tarea particularmente importante en el servicio médico de las minas es el de organizar y/o supervisar el servicio de primeros auxilios. Considerado formalmente, el primer auxilio es la asistencia proporcionada a una persona herida antes de que reciba atención médica y, en la práctica, no se trata de una asistencia médica profesional. Es muy importante la formación de los que presten los primeros auxilios y habría que tratar de lograr la capacidad de enfrentar situaciones que requieren inmediato tratamiento para salvar vidas o para prevenir que se complique un caso debido a un cuidado inapropiado. Las organizaciones internacionales tales como la Cruz Roja, proporcionan una formación de primeros auxilios en muchos campos en que se les requiere.

Aunque muchos proveedores venden botiquines estandarizados de primeros auxilios, el servicio médico minero tiene que tomar la responsabilidad de preparar botiquines adaptados al entorno de la mina. Se puede obtener información sobre botiquines de primeros auxilios para mineros en las agencias especializadas, por ej. el US Bureau of Mines. Según la localización de la mina, puede ser necesario emplear personal médico a tiempo completo y mantener, si es posible, instalaciones hospitalarias.

En cuanto a los procedimientos de urgencia en caso de accidente, se necesitan instalaciones en cada sitio de la mina para la evacuación de urgencia. Según de la situación de la mina, dichas instalaciones pueden incluir un camino de buena calidad para comunicar con el hospital más próximo, una pista aérea o una zona de aterrizaje para helicópteros. Se requieren también medios eficaces de comunicación (teléfono, radio, etc.).

8.7. Seguridad y Prevención de Accidentes

Para proteger el entorno laboral, la prevención de accidentes y de enfermedades ocupacionales debe considerarse como una necesidad. Esto implica que los trabajadores se sometan a las normas generales de seguridad y a un Código General de la Industria Minera - Minas y Canteras - por redactar, así como también a las reglas internas de trabajo establecidas ya sea por la compañía o por las propias entidades gubernamentales, tras consulta de los representantes de los trabajadores.

Habría que proporcionar a los trabajadores una formación específica habilitándolos a una total comprensión de los textos aplicables y de las directivas; el menor incumplimiento de éstas debería dar lugar a penalidades disciplinarias. Se deberían sancionar las administraciones que no adhieran a la normativa destinada a proporcionar un entorno laboral seguro.

8.7.1. Recomendaciones para un Código Específico de Seguridad de la Industria Minera.

Este conjunto de medidas debería ser instituido con el mismo espíritu que la normativa aplicada actualmente o que está siendo reactualizada en otros países, tales como Francia y otros miembros de la CEE. Se aconseja la redacción conjunta del texto por los miembros del gobierno y por los representantes de la compañía minera, consultando a los representantes de los trabajadores; de modo que se tome en cuenta la evolución de las condiciones locales: enfermedades ocupacionales, equipo existente o futuro, estadísticas de accidentes y de calamidades, etc.

Este código debería incluir reglas relacionadas con :

- el transporte, el manejo y el almacenamiento de explosivos;
- los métodos de explotación;
- la ventilación;
- las bancadas calientes;

- el polvo;
- las molestias causadas por el ruido
- la circulación de vehículos para el personal y del equipo móvil en operaciones subterráneas o de superficie, incluyendo los trenes subterráneos de transporte;
- los pozos y rampas de acceso a las bancadas de trabajo;
- la protección contra el fuego;
- el almacenamiento de combustibles;
- las cintas transportadoras;
- la profundización de pozos;
- los motores de combustión interna;
- el trabajo personal aislado en las bancadas de la mina;
- el trabajo en zonas elevadas;
- la electricidad.

8.7.2. Creación de un Comité de Seguridad y de Salubridad de la Compañía

El Comité de Seguridad y de Salubridad (SHC) complementa la acción de los representantes del personal que tienen a su cargo la vigilancia de las condiciones de seguridad y de higiene en las instalaciones subterráneas y de superficie; éstos intervienen cuando tienen buenas razones para pensar que existen condiciones de riesgo.

Se aconseja la siguiente composición para el SHC:

- el jefe superior de la unidad minera o su delegado, como presidente;
- miembros de la fuerza laboral;
- el médico de la compañía, el jefe del Departamento de Seguridad y la persona a cargo del Departamento de Formación.

Entre otras, las obligaciones del SHC comprenderán:

- en general: la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores, el mejoramiento de las condiciones de trabajo, el análisis de los riesgos potenciales;
- específicamente : el establecimiento de reglas internas, las nuevas providencias, la investigación de los accidentes, la formación para la aplicación de las medidas de seguridad.

8.8. Fuentes de Información

Informaciones sobre los riesgos ocupacionales en la industria minera se encuentran en los manuales de minería (Cummins 1973; Hustralid, 1982; Dowon y Stocks, 1988).

En el Apéndice 1 se suministra una lista de referencias.

9 MINERÍA DE ORO A PEQUEÑA ESCALA

9.1. Definición

La minería a pequeña escala se refiere a la minería artesanal de oro llevada a cabo por trabajadores solos o por pequeños grupos de trabajadores. Algunos gobiernos en África o en América Latina han intentado organizar esos explotantes en cooperativas, para un mejor manejo y control de sus actividades, para mejorar su viabilidad económica, y para minimizar las pérdidas de ingresos debido al contrabando de oro a través de las fronteras con los países vecinos.

La minería de oro a pequeña escala se lleva a cabo en muchos países, especialmente en naciones en vías de desarrollo tales como Filipinas, Brasil, Venezuela, África Oeste o Central, etc. Este fenómeno no es nuevo y ha existido durante siglos en algunos de ellos donde periódica o esporádicamente es renueva según los ciclos de precio elevado del oro y, en menor medida, según los descubrimientos de nuevas fuentes.

9.2. Procesos

Por naturaleza, la minería a pequeña escala puede tener lugar solamente donde la mineralización del oro ocurre cerca de la superficie y en rocas no consolidadas. Los más frecuentes son los depósitos de aluviones en lechos de ríos, eluviones y coluviones, y en las partes superiores alteradas de las vetas de cuarzo.

Los procesos de extracción empleados por los trabajadores son en su mayor parte bastante imperfectos y dependen casi únicamente de la energía humana. Estos pueden consistir, según las condiciones locales, en aventamiento (ventilando con viento) y en bateado con agua o lavado en canaletas. El concentrado producido puede ser escogido a mano o amalgamado con mercurio o fundido.

9.3. Impactos en el Medio Ambiente

La actividad minera tiene muchos impactos potenciales en el medio ambiente tales como:

- La minería puede por si misma ser riesgosa cuando los trabajadores intentan excavar en profundidad sin ningún soporte de techo o con solamente uno primitivo. Las calamidades son frecuentes, pero no desalientan a otros trabajadores : los cuerpos son abandonados en los parajes y la explotación continúa alrededor e incluso por debajo del lugar de trabajo fatal.
- El polvo emitido por el aventamiento crea serios riesgos que ocasionan lesiones pulmonares y otras enfermedades respiratorias (las nubes de polvo de cuarzo o arcilla pueden ser vistas a distancias de varios kilómetros); en los procesos de amalgamación, el envenenamiento de los trabajadores puede ser inducido por el uso inapropiado de mercurio.
- Las molestias ambientales incluyen la destrucción anárquica del entorno, tales como la deforestación (Brasil), el reemplazo de tierras de pastoreo o agrícolas por vastas y caóticas zonas de lodo removido. El uso intensivo de la amalgamación con mercurio en algunas zonas ocasiona una contaminación de la tierra y el agua.
- El disturbio social es a menudo una consecuencia de la "impetuosa fiebre del oro" que algunas veces da como resultado pequeñas zonas sin ninguna infraestructura, con una población en condiciones humanas y de trabajo precarias. En esas circunstancias las epidemias podrían ser imposibles de controlar y los beneficios de la minería son sólo para unos pocos.

- Nuevas enfermedades pueden llegar a la zona transportadas por mineros inmigrantes.

9.4. Medidas por Implementar

Las recomendaciones para el control de la minería a pequeña escala tienen que hacerse con precaución, debido al importante papel del gobierno local que suele prohibir las actividades mineras de las compañías para conservar la tierra para la minería "tradicional", con el fin de obtener una distribución equitativa de los recursos no renovables.

Sin embargo, algunas medidas necesarias pueden tomarse si se las fundamenta en una racionalización de la minería tradicional existente. Estas podrían comprender :

- verificar que haya una legislación aplicable a la minería a pequeña escala y que sea obligatoria;
- suministrar asistencia técnica a través de la creación de cooperativas de trabajadores individuales con una supervisión apropiada de la minería y del proceso;

- suministrar equipo mecánico simple de minería y de proceso que sustituya las técnicas arriesgadas y perjudiciales, así como también desarrollar una infraestructura (vivienda, servicios médicos, seguridad). El uso de la amalgamación con mercurio debería prohibirse;
- establecer un circuito comercial para la recolección del oro a través del cual los trabajadores sean remunerados a un precio justo por su producción, con una mínima demora para desalentar la actividad de comerciantes ilegales;
- implementar reconocimientos geológicos y técnicos sistemáticos en las zonas de la mina para determinar la viabilidad económica de su explotación por métodos industriales, en cuyo caso los operadores individuales recibirían incentivos para unir la fuerza de trabajo de la mina.

Muchos países están prosiguiendo esta acción y su ejemplo podría servir como modelo para su implementación en otros.

10. PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL AMBIENTAL

10.1. Políticas y Enfoques del Control Ambiental

Generalmente, resolver los aspectos ambientales uno por uno no es una política eficaz en lo que al costo se refiere. Una política de control de la contaminación en un solo medio, a menudo transfiere simplemente el problema a otros sectores en donde se ejerce un impacto diferente pero igualmente dañino. Un ejemplo de esto es la extracción de los contaminantes tóxicos de aguas de desecho y el depósito en tierra de los peligrosos lodos resultantes.

Actualmente, se reconoce que la política ambiental de mejor relación costo/eficacia es:

- la integración sistemática de los aspectos ambientales en la fase de planificación del proyecto;
- la inclusión de todos los parámetros ambientales (aire, agua, suelo);
- la reducción de los desechos en su fuente en lugar de instaurar tratamientos posteriores onerosos;
- reutilizar al máximo los componentes de desecho.

Esta política depende de una movilización eficaz de los recursos técnicos y humanos. Dos acciones que pueden ayudar a que la compañía logre tal organización son:

- (I) una política corporativa ambiental con objetivos, responsabilidades, acciones y metas perfectamente claros.
- (II) el establecimiento de una estructura administrativa ambiental apropiada para la implementación de la política, para una adecuada localización de recursos y para la gestión (y la información) de los resultados.

Dicha acción debería iniciarse en los más altos niveles de la compañía. Generalmente no tiene éxito asignar responsabilidades ambientales a personal de bajo nivel sin respaldo del nivel superior.

Las asociaciones industriales pueden asistir a sus miembros mediante informes sobre aspectos ambientales, publicando directivas ambientales, proporcionando información de respaldo y organizando una labor de concientización sobre el medio ambiente así como seminarios de formación. Algunas asociaciones nacionales ya han producido políticas como una guía para sus compañías miembro. La reciente política sobre el medio ambiente adoptada por la Asociación Minera del Canadá se reproduce más abajo.

El gobierno, por su parte, debe proporcionar una estructura reguladora que defina objetivos ambientales por lograr y las medidas de control por aplicar. Esta estructura reguladora puede ser complementada con acciones destinadas a proporcionar una infraestructura técnica, facilidades para formación y la información sobre opciones mineras de menor impacto. El control y la supervisión ambiental del gobierno puede complementar el control ambiental interno llevado a cabo por las compañías. La evaluación ambiental es una función importante de la planificación. Para la minería a pequeña escala, las cooperativas o el gobierno deben asumir papeles de administración del medio ambiente normalmente atribuidos a las empresas.

Las siguientes directivas de acción reflejan el resultado de recientes reuniones de consulta entre el gobierno y la industria.

Directivas Ambientales para Actividades Mineras

1. Se debería dar preponderancia a la gestión del medio ambiente durante la planificación de minas, durante los trámites de solicitud de licencias y a través del desarrollo y la implementación de sistemas de gestión del medio ambiente. La gestión ambiental incluye la evaluación precoz y comprensiva del impacto en el medio ambiente, el control de la contaminación y otras medidas preventivas y atenuantes, las actividades de control y auditoría así como los procedimientos de acción de urgencia.
2. La responsabilidad ambiental dentro de la industria y del gobierno descansa en los más altos niveles de administración y de decisión política.
3. Los empleados a todos los niveles tienen una responsabilidad individual en la gestión del medio ambiente. La administración debe asegurar que recursos adecuados, personal y formación estén disponibles para implementar los planes ambientales.
4. Una gestión eficaz requiere la participación y el diálogo con la comunidad afectada y con otras partes directamente interesadas en los aspectos ambientales de todas las fases de la actividad minera.
5. Tecnologías y prácticas ambientalmente sólidas deberían adoptarse en todas las fases de las actividades mineras. Hay que incrementar la transferencia de tecnologías apropiadas para atenuar los impactos en el medio ambiente, incluyendo las de operaciones minera a pequeña escala.
6. Las mejores prácticas habituales deberían adoptarse en todos los proyectos mineros para minimizar la degradación ambiental, principalmente en ausencia de normativa ambiental específica.
7. Hay que reforzar la infraestructura, los sistemas de información, los servicios, la formación y las capacidades para la gestión del medio ambiente, en relación con las actividades mineras.

Adaptado de las conclusiones de la UNDTCD/DSE Mesa Redonda Internacional sobre Minería y Medio Ambiente, Berlín, 24 - 28 de Junio de 1991,

10.2. Estructura Reguladora para la Protección del Medio Ambiente Durante la explotación

La minería, como la mayoría de las actividades industriales, está sujeta a leyes, regulaciones y normativas para cada aspecto de su operación. Entre estas leyes, existen las que tienden directamente a una regulación del impacto en el medio ambiente. En algunos casos, el impacto ambiental puede ser atenuado por cláusulas insertadas en otras leyes, incluyendo las mismas leyes mineras.

Una característica notable de los requisitos

ambientales es que pocos de ellos pueden ser cumplidos completamente mediante cambios de último momento en una explotación ya establecida. El cumplimiento con las normas ambientales debe planificarse en el proyecto y no ser añadido después.

Con el fin de cumplir con las normas ambientales, se ha vuelto corriente efectuar una revisión de la propuesta de proyecto a la luz de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA). En muchos países, dicha evaluación se ha convertido en un requisito legal. Evidentemente, mucho dependerá de cómo se desarrollan día a día las operaciones eventuales. Por

consiguiente, para las minas existentes, se empieza a difundir el uso de herramientas de gestión tales como la auditoría ambiental. Dichas herramientas no son todavía un obligación legal, sin embargo, numerosos países y administraciones internacionales examinan la posibilidad de hacer de dicha auditoría, un requisito estatutario para el futuro.

La evaluación y la auditoría son esencialmente instrumentos de revisión. El verda-

dero desempeño ambiental que hay que lograr lo establecen normalmente instrumentos reguladores tales como normativas y licencias establecidas bajo diferentes leyes. Este apartado contempla esos instrumentos en tres campos principales :

- las leyes mineras;
- la legislación sobre el medio ambiente;
- otras legislaciones de salubridad, de seguridad, y sobre productos químicos.

Asociación Minera del Canadá - Política Ambiental

Las compañías miembros de la Asociación Minera del Canadá están comprometidas con la idea de que un desarrollo sostenido debe equilibrar un buen manejo de la protección de la salud humana y del medio ambiente natural y la necesidad de un crecimiento económico. Se procederá a una aplicación diligente de las medidas de protección ambiental, tecnológicamente comprobadas y económicamente factibles, a través de la exploración, la explotación, el proceso, y el cese de actividades para cumplir con los requisitos legislativos y para asegurar la adopción de las mejores prácticas de gestión.

Para implementar esta política, ya sea en el Canadá o en el exterior, las compañías miembros de La Asociación Minera del Canadá resuelven:

- *evaluar, planificar, construir y operar sus instalaciones cumpliendo con toda la legislación aplicable a la protección del medio ambiente y de la salud pública;*
- *en ausencia de legislación, aplicar las prácticas de gestión de mejor relación costo-eficacia para progresar en la protección del medio ambiente y para minimizar los riesgos ambientales;*
- *mantener un programa de control propio activo y continuo para asegurar el cumplimiento con los requisitos del gobierno y de la compañía;*
- *fomentar la investigación tendiente a la expansión del conocimiento científico del impacto de las actividades de la industria en el medio ambiente, de la relación ambiente/economía y de mejores tecnologías de tratamiento;*
- *trabajar activamente con el gobierno y con la opinión pública para el desarrollo de leyes equitativas y realistas y de buena relación costo-eficacia para la protección del medio ambiente; e*
- *impulsar las comunicaciones y el buen entendimiento con gobiernos, empleados y opinión pública en general.*

10.2.1. Leyes mineras

En muchos países existen leyes mineras específicas que tienden a regir el sector en varios de sus aspectos importantes. Requisitos ambientales tales como el depósito de desechos, la seguridad ocupacional, el control de la contaminación del agua, son algunas veces incorporados en

dichas leyes. Las leyes mineras son rara vez suficientemente específicas como para aportar una base sólida para un amplio programa de control ambiental. No obstante, esta política es un primer paso útil hacia el control de la contaminación en países donde no existe todavía normativa de descarga, etc.

Por ejemplo, el Acta Minera de Uganda establece que:

"Cualquier persona que en el curso de operaciones de prospección o de explotación o de trabajos relacionados con éstas, permita que se descargue cualquier material venenoso o nocivo en cualquier fuente natural de abastecimiento de agua estará sujeta a una multa de (...10,000 chelines). ..."

Es preciso notar que esta ley no define qué es "venenoso" o "nocivo", tampoco permite el control de factores puramente ambientales tales como la descarga de material altamente nutriente, etc.

Algunas medidas ambientales que las leyes mineras pueden incorporar en un documento específico o en una normativa son:

- la seguridad de las estructuras y de las operaciones, gracias a normas técnicas presentadas en forma de anexo. Pueden incluirse las limitaciones de exposición a riesgos químicos y a explosivos;
- la retención de aguas de desecho y técnicas de tratamiento y manejo seguro de los desechos contaminados;
- el control de la erosión del suelo y procedimientos de revegetación durante la operación, así como después de ella;
- normas para preparar planes de desechos sólidos y depósitos en el suelo antes de la aprobación de las operaciones;
- recuperación y restauración obligatoria de sitios y zonas alteradas, y remoción de todas las estructuras y maquinaria en desuso;
- el transporte, el almacenaje, la manutención y la disposición de sustancias químicas, incluyendo programas detallados para materiales químicos peligrosos específicos, tales como pesticidas, aceites, combustibles, reactivos de extracción;

Hay que imponer el cumplimiento con estas providencias para darles un sentido práctico. Habría que proceder a una formación ambiental especial del personal encargado del cumplimiento, puesto que

los problemas ecológicos son a menudo mal comprendidos por los inspectores de la industria.

10.2.2. Legislación ambiental

Las consideraciones ambientales cubren comúnmente un amplia gama de aspectos ecológicos, de conservación, de contaminación y de salubridad. Cada uno de estos suele estar cubierto por leyes separadas y probablemente controladas por diferentes administraciones.

Entre las materias incluidas en una legislación ambiental están:

- la evaluación del impacto en el medio ambiente (EIA) u otra planificación ambiental. La normativa puede exigir que solamente se prepare un informe formal de evaluación para aprobación o exigir alguna forma de autorización del proyecto. En el Apartado 10.3. se discute la estructura de un informe EIA.
- la conservación de la naturaleza, de los parques nacionales, la protección de la flora y de la fauna, de las especies en peligro y de sitios científicos especiales. La minería y sus actividades auxiliares pueden ser limitadas, en ciertas zonas, o requerir medidas especiales para evitar su impacto en las especies naturales o en el medio ambiente;
- la protección de la herencia cultural y del paisaje. Puede también someterse a reglamentación el impacto en las culturas indígenas;

- la calidad del agua. Las Leyes de Aguas o las normas de contaminación pueden limitar las descargas en las vías naturales de aguas, del drenaje ácido de mina, de aguas usadas y también de corrientes contaminadas. El apéndice 2 presenta ejemplos de normativa para efluentes en los Estados Unidos y Canadá;
- las emisiones en el aire pueden ser reglamentadas con leyes de "aire limpio" para reducir la incidencia de los gases tóxicos o de los polvos de las operaciones mineras y de refinamiento de metales;
- el control de la contaminación del suelo por desechos y sustancias químicas. La introducción de hierbas y especies nocivas para animales y plantas puede ser una preocupación particularmente importante en regiones sensibles tales como las zonas desiertas o las islas ecológicas. La protección de especies comerciales locales (por ej. los peces) puede también ser un factor que debería ser considerado;
- otros aspectos, tales como el ruido, el depósito de desechos y el control de productos químicos, son a veces reglamentados por leyes ambientales separadas cuando no aparecen en la rúbrica salubridad o en otra ley.

Aspectos como los mencionados más arriba pueden ser establecidos como reglamentaciones ambientales específicas en otras leyes o pueden combinarse en una sola ley básica ambiental. El apéndice 2 muestra ejemplos de reglamentaciones sobre el agua y el aire adoptadas en los EE.UU. y Canadá. Sin embargo, la forma y el contenido de las regulaciones difieren según el país.

10.2.3. Criterios y Normas de Calidad Ambiental

El criterio ambiental y sus normas son una forma particular de legislación subordinada que puede aparecer en casi cualquier ley básica, aunque está a menudo asocia-

da con reglamentaciones ambientales. En efecto, éstas indican los límites cifrados con los que las operaciones industriales deben ser diseñadas y administradas. Entre estos :

- la calidad del agua en las corrientes o normas de descarga de efluentes;
- las emisiones a la atmósfera y/o la calidad del aire en el lugar de trabajo;
- las emisiones de ruido o la exposición a éste;
- el depósito de desechos, especialmente los desechos cuya descarga está autorizada;
- la exposición humana al polvo, a las sustancias químicas tóxicas o a la radioactividad;
- las cantidades de sustancias químicas o combustibles y de explosivos almacenados en condiciones específicas.

No hay normas ambientales internacionales que se apliquen en todo el mundo; cada región tiene sus propias necesidades y de acuerdo a ello deben establecer sus propias normas. La excepción se encuentra cuando se han sugerido normas internacionales para la salud humana, como por ejemplo el agua para beber. Estas son a menudo transformadas en leyes nacionales. Las grandes compañías algunas veces desarrollan sus propias normas internas como guía para sus conceptores de proyectos. Algunos ejemplos de normas de Canadá y EE.UU. aparecen en el Apéndice 2.

En el pasado, las normas sobre descargas de efluentes industriales fueron a menudo establecidos en base a lo que se puede obtener técnicamente en una planta. Esto depende de la tecnología de tratamiento disponible y puede ser mayor o menor que la capacidad asimilativa del medio ambiente local. Mientras que esto puede parecer una solución práctica para el ingeniero, no presenta ningún interés particular para las necesidades del medio ambiente. Cada vez que sea posible, la especificación de objetivos de calidad ambiental es una solución más satisfactoria.

Obtener el cumplimiento con la normativa cuando se presenta todo un juego de normas ambientales puede ser una tarea compleja. Los conceptores de proyectos deberían estar íntimamente implicados, puesto que si el cumplimiento no está incorporado en un proyecto desde el principio, puede ser difícil hacer los cambios más tarde.

Por consiguiente, se requiere una buena coordinación a nivel operacional para asegurar el cumplimiento sistemático de la normativa en todos los aspectos.

En muchos países aún no existe un sistema exhaustivo de reglamentos y de normas ambientales. En esos casos la compañía minera debe asegurar por sí misma que todos los problemas ambientales que pudiesen plantearse sean encarados eficazmente. Esto fue por ejemplo explícitamente establecido en la política de MAC presentada en el Apartado 10.2. Determinar el equilibrio preciso entre los objetivos, los costos, y los beneficios, no es siempre fácil, sin embargo, el sentido común y la asesoría informal pueden suministrar una buena pauta.

10.2.4. Otra legislación

Aspectos que actualmente suelen ser considerados como ambientales, pueden también encontrarse en otras Leyes tales como las de salud, de bienestar, de seguridad, de agricultura, de transporte, de gestión de terrenos públicos y de industria. Cada país tiene su propio sistema legal y solamente se puede dar una pauta general de lo que hay que observar. Como regla general, otras de las leyes principales que se pueden aplicar son:

- las normas de salud (salubridad pública y de entorno laboral). Estas tienen ciertas variaciones. Sanidad básica en sitios mineros remotos y prevención de enfermedades transmitidas por insectos en el trópico y en otros ambientes, pueden requerir medidas especiales de las empresas mineras. Esto se debe hacer de manera compa-

tible con otros objetivos ambientales, por ejemplo, la descarga segura para el tratamiento de aguas usadas, el impacto de pesticidas en la vida silvestre;

- la seguridad y la salud ocupacional son aspectos de gran importancia en la ingeniería de las operaciones e incluyen limitaciones de la exposición al ruido, a los peligros ambientales (como fue discutido anteriormente), la seguridad física de los trabajadores en sus puestos, y la seguridad en el manejo de combustibles y de sustancias químicas. La provisión en sí de condiciones seguras de trabajo fue discutida en otras partes de este documento. La legislación sanitaria puede limitar la exposición humana a ciertas sustancias químicas tales como solventes, polvo o elementos radioactivos en la atmósfera;
- las leyes sobre sustancias químicas, especialmente en países industrializados, pueden cubrir el rotulado y el uso de ciertas sustancias químicas específicas o puede prohibir el uso de biocidas específicos, solventes, aceites (por ej. PCB's) en sitios industriales. El transporte y el almacenamiento de sustancias químicas puede ser especificado por la legislación, así como también las precauciones para la manutención en el sitio de materiales tóxicos, inflamables o cáusticos. El almacenamiento de combustible puede estar sujeto a ciertas precauciones;
- el depósito de desechos, especialmente de residuos químicos. Esto puede estar sujeto a ciertas restricciones o puede requerir permisos especiales. Los residuos de metales pesados, aceites lubricantes, aceites de transformadores (PCBs), contenedores de pesticidas (y los mismos pesticidas sobrantes), residuos de solventes y de pinturas, limpiadores cáusticos e inhibidores de corrosión, están entre las sustancias químicas usadas en cantidad considerable en las operaciones auxiliares y su depósito puede ser difí-

cil. Puede haber limitaciones en el empleo de aceite usado para supresión de polvo en las carreteras.

10.2.5. Cumplimiento

El cumplimiento efectivo de la ley sobre el medio ambiente y de la legislación sobre seguridad es uno de los aspectos más difíciles del control ambiental. En regla general, esto debería ser llevado a cabo por personal no relacionado con los departamentos implicados en el fomento de la producción industrial, aunque por supuesto debería mantenerse con ellos una estrecha relación de trabajo. Cuando más de un departamento gubernamental está implicado en el cumplimiento de las normas, la cooperación con la inspección puede reducir la carga de trabajo individual de los inspectores, especialmente en sitios remotos como los de las minas. Esto requiere, en general, una cierta formación adicional para el personal en el terreno. Para sitios remotos, un régimen convenido de control propio puede también establecerse a través del sistema de permisos.

Un cumplimiento efectivo de la ley requiere que se cuente con personal adecuado y con recursos. Con este fin, la licencia industrial y el pago de permisos se aplica en muchos países para cubrir algunos de estos gastos.

10.3. Evaluación Ambiental

10.3.1. El objetivo de EIA

El papel de EIA es el de contribuir al proceso de toma de decisiones mediante el enfoque de los aspectos ambientales que rodean la mayoría de los proyectos. El enfoque de EIA sirve como entrada en materia para la adopción de decisiones, de modo a permitir que consideraciones ambientales acompañen los factores económicos, sociales y políticos. No obstante, la consideración de los impactos ambientales suele conducir a la identificación de opciones alternativas y de medidas atenuantes y, como resultado, puede

tener una mayor influencia en la elaboración de un proyecto.

10.3.2. Métodos y técnicas de EIA

Clasificación y Alcance

El EIA se aplica a proyectos que potencialmente tienen un gran impacto ambiental. De acuerdo con esto, primero se procede a clasificar los proyectos según sus probables consecuencias, y para identificar los principales aspectos que habría que examinar (el alcance). En la práctica, la clasificación y el alcance se sobreponen hasta un cierto punto. Numerosas ayudas tales como matrices de interacción, listas de chequeo, etc. han sido desarrolladas para facilitar la clasificación y el alcance. Un ejemplo de una matriz desarrollada por el Instituto de Ingenieros de Australia aparece en el Cuadro 18.

Evaluación de Impactos Directos e Indirectos

Muchos efectos ambientales surgen directamente de la liberación de un contaminante, de la alteración de un hábitat, o de otros cambios en los alrededores. Debido a que los factores ambientales suelen estar en relación, un cambio en cierto componente ambiental a menudo causa también cambios indirectos en otros. El EIA debe, por consiguiente, explorar la interrelación entre los sistemas ambientales, así como también prever simples efectos de estímulo.

Pasos Claves hacia el EIA

El EIA es un enfoque dinámico de examen, de revisión, y de reformulación de opciones de proyectos hasta que surja una visión consistente del probable impacto de las diferentes opciones. Los pasos en este proceso cíclico son:

- la identificación, es decir, ¿qué resultados tendrá el proyecto?
- la previsión, es decir, ¿cuál será la magnitud de los cambios?
- la evaluación, es decir, ¿serán los cambios significativos?
- la reducción, es decir, ¿qué se puede hacer para reducir el impacto?

El último paso en el enfoque de EIA es la documentación de los parámetros y de las conclusiones. Algunas veces esto se hace mediante una Declaración de Impacto Ambiental (EIS) formal, pero también pueden convenir otras formas de informes. Una muestra de un bosquejo de un Informe de Evaluación Ambiental adaptada por el Banco Mundial se encuentra al final de este Capítulo.

10.3.3. El EIA como un Requisito Normativo

Muchos países han vuelto obligatorio el planteamiento de EIA para ciertas actividades entre las que se cuentan grandes proyectos mineros. La legislación define

comúnmente el tipo de proyecto para el cual se requiere el EIA, el tipo de estudio o de informe por presentar, su calendario y los medios de revisión pública. Normalmente, los proyectos no pueden comenzar antes de que una decisión formal haya sido adoptada por las autoridades responsables o por el ministro.

Actualmente, muchas instituciones de desarrollo y de fomento requieren también una evaluación ambiental antes de la aprobación de fondos para proyectos mineros. El Cuadro que sigue a continuación muestra el criterio de evaluación de proyectos requerido por la Agencia Noruega de Cooperación para el Desarrollo (NORAD).

Ejemplo de Criterios de Evaluación de Proyectos

Los proyectos mineros deberían someterse a una evaluación más detallada, cuando deben cumplir con uno o más de los criterios indicados más adelante, o si se dispone de insuficiente información para responder "no" con un razonable grado de certidumbre.

El proyecto:

- ¿ creará problemas importantes de contaminación y un riesgo de contaminación del suelo fuera del sector de la mina?
- ¿ creará problemas importantes de depósito de desechos?
- ¿ creará un riesgo de accidentes que puedan tener serias consecuencias para la población local y para el medio ambiente natural?
- ¿ afectará zonas de mantenimiento de la vida animal y de plantas dignas de conservación o zonas con ecosistemas particularmente vulnerables?
- ¿ conducirá a cambios mayores en el paisaje?
- ¿ afectará zonas con vestigios históricos o elementos del paisaje que son importantes para la población?
- ¿ cambiará el modo de vida de la población local al punto de provocar un considerable incremento de presión en la base de recursos naturales?
- ¿ conducirá a mayores conflictos con relación a las costumbres existentes y a los propietarios del suelo?
- ¿ obstruirá o conducirá a cambios sustanciales en la explotación o en el uso de recursos naturales por la población local, distintos de los directamente afectados por el proyecto?

Fuente: NORAD, 1989

10.3.4. Preparación de un EIA

El llevar a cabo un EIA supone una actividad especializada que requiere pericia ambiental y una visión profunda, además del conocimiento técnico sobre el proyecto mismo. Por consiguiente, se convoca un equipo multidisciplinario para investigar la información suplementaria, para evaluar los impactos y para proponer alternativas prácticas. Se recurre abundantemente a la información ambiental básica (base line). Cuando no la hay, un primer paso necesario será un control y un reconocimiento de datos básicos (base line). Es muy importante que el reconocimiento se efectúe durante los estudios técnicos de factibilidad de la mina ya que así se ahorrará considerable tiempo más tarde.

En la preparación de un EIA para un proyecto minero, habría que incluir una descripción del proyecto, incluyendo la secuencia de desarrollo de la zona y de los sitios de depósito. En la descripción del proceso, el EIA debería prestar particular atención a los estanques de desechos, rebalses y evacuaciones de aguas de lluvia. Debería discutirse la duración de la mina, incluyendo las medidas restauradoras progresivas de revegetación, el control del AMD y el cierre.

10.4. Control y Auditoría Ambiental

El control es necesario por muchas razones. Por ejemplo, es necesario tener una información básica (base line), sobre la calidad ambiental antes de que comiencen las operaciones, y controlar periódicamente el impacto de la operación en la calidad del agua (superficial y subterránea), en las especies nativas, en la contaminación química de suelos y en la salud humana.

Continuando con el control de la operación misma, se pueden señalar con precisión los aspectos vulnerables de la operación, por ej. almacenamiento químico incierto, depósito de desechos poco seguro, pobre desempeño de la planta de tra-

tamiento, pobre mantenimiento del equipo de seguridad.

El control no solamente sirve para fines ambientales. Una excesiva contaminación de las aguas usadas puede indicar pérdidas económicas de materia prima o refinada y deficiencias generales de la operación.

Cuando se controlan también los factores administrativos y de dirección, el proceso se llama auditoría ambiental. Esta examina por ejemplo la eficacia del personal de control ambiental, lo adecuado de las políticas y de las directivas de la compañía, la consistencia de los procedimientos de compra y la eficacia de los servicios de laboratorio.

Una auditoría da una visión de conjunto de la capacidad y de la eficacia de la compañía en el control del medio ambiente.

10.5. Gestión Ambiental dentro de una Compañía

Como se indica en el Apartado 10.1., es esencial adoptar una política sistemática de control ambiental para que los impactos claves sean efectivamente minimizados. Esto se facilita mucho con una política ambiental formal que guíe tanto al personal del medio ambiente como al personal de producción.

Es importante para la compañía establecer una línea formal de responsabilidades para lograr objetivos ambientales y para mantenerse dentro de normas reglamentarias. Esa responsabilidad debería descansar en un personal superior de experiencia y, en la medida de lo posible, estar separada de la supervisión diaria de producción. El personal debería tener experiencia y pericia ambiental. Deberían elaborarse informes regulares a la dirección superior y llevarse a cabo auditorías periódicas. Debería haber financiamiento y personal adecuado para realizar las acciones necesarias.

El establecimiento de un sistema de control y de información eficaz es una de las primeras tareas de un gerente ambiental. Esto implicará tanto al personal como

al equipo. La interpretación de los datos de control puede requerir personal especializado si se tiene una gran cantidad de muestras o parámetros críticos.

La colaboración eficaz con el personal de producción será siempre necesaria para que las normas de desempeño sean conocidas y respetadas y adoptar las medidas operacionales apropiadas para evitar o reducir el impacto ambiental. Para facilitar esa colaboración es útil una política explícita de la compañía sobre el medio ambiente.

También se impondrá la comunicación con el público y con las entidades gubernamentales. Muchas compañías tienen incorporadas en su política las modalidades para dicha comunicación.

10.6 Planes de Urgencia

Las operaciones mineras rara vez generan accidentes mayores que pongan en peligro las poblaciones locales. Este no es siempre el caso en lo que se refiere al almacenamiento de desechos en las instalaciones de

depósito de desechos de un concentrador en particular. Muchos sitios de antiguos depósitos no fueron construidos teniendo en cuenta un factor de seguridad elevado. Algunos viejos esquemas de depósito continúan operando aún si las condiciones en la mina han sido mejoradas.

El depósito de desechos, especialmente, puede presentar riesgos en algunas circunstancias, principalmente en áreas de alta sismicidad o de precipitación pluvial. En tales casos, se aconseja establecer planes de urgencia complementarios a los planes de urgencia generales para accidentes naturales y tecnológicos, existentes en todos los países. Estos planes de urgencia deberían ser elaborados por la industria minera específica, en cooperación con la administración gubernamental y con la comunidad local:

El Centro del Programa de Actividades de la Industria y del Medio Ambiente de PNUMA ha desarrollado un Manual de Concientización y de Preparación para Urgencias a Nivel Local (APELL), al cual uno puede referirse (61).

Las Evaluaciones Ambientales Deberían Concentrarse en los Sigüientes Aspectos

Peligros naturales. Es probable que el proyecto propuesto sea afectado por peligros naturales, tales como terremotos, inundaciones o actividad volcánica. Si así fuere, ¿qué medidas específicas tomar?

Diversidad biológica. ¿Aumentará el proyecto la amenaza sobre especies de plantas y animales en peligro de extinción, sobre los hábitat críticos o sobre las zonas protegidas?

Bosques tropicales. ¿Tendrá el proyecto un impacto negativo en los bosques tropicales? ¿Incluirá el diseño del proyecto arreglos para proteger y administrar las tierras silvestres o efectuará arreglos mediante medidas compensatorias?

Tierras húmedas. ¿Tendrá el proyecto un impacto en las tierras húmedas, incluidos los estuarios, los lagos, la vegetación siempre verde y otros pantanos o ciénagas?

Gestión de recursos marinos y de la costa. ¿Tiene incluido el diseño de proyecto la protección de recursos de la costa, incluyendo arrecifes de coral, vegetación siempre verde y tierras húmedas?

Cuencas de agua. Si el proyecto comprende diques, tanques de reserva o sistemas de irrigación, ¿promoverá la protección y la gestión de las cuencas?

Diques y tanques de reserva. ¿Ha considerado el proyecto los aspectos ambientales específicos implicados en la planificación, en la implementación y en la operación de diques y de proyectos de tanques de reserva?

Colonización de tierras. ¿Han estudiado los analistas los complejos aspectos físicobiológicos, socioeconómicos y culturales implicados en los asentamientos humanos?

Agronómico. ¿Tiene el proyecto convenientemente controlada la selección y el uso de fertilizantes, de herbicidas, de insecticidas, de fungicidas y de nematocidas, incluyendo procedimientos de aplicación y de depósito y de sus efectos en aguas superficiales y subterráneas?

Peligros industriales. ¿Incluye el diseño de proyecto medidas para la prevención y el control de peligros industriales?

Materiales peligrosos y tóxicos. ¿Propone el proyecto el uso, el transporte, el almacenamiento y el depósito de materiales peligrosos y tóxicos, de manera segura?

Propiedades culturales. ¿Está el proyecto comprometido a proteger los sitios arqueológicos, monumentos históricos y asentamientos históricos?

Pueblos tribales. ¿Afecta el proyecto los derechos de los pueblos tribales, incluyendo los derechos tradicionales de tierra y de aguas? ¿Son importantes el desarrollo inducido y otros aspectos sociológicos? ¿Resultará el proyecto en un desarrollo inducido (crecimiento secundario de asentamientos y de demanda para infraestructura)?

Impactos externos. ¿Tiene el proyecto algún potencial de impactos externos, por ejemplo, en la pureza atmósfera y del agua?

Tratados internacionales y acuerdos sobre el medio ambiente y recursos naturales. ¿Estará el proyecto sujeto a tratados en curso y pendientes y a acuerdos sobre recursos ambientales y naturales?

Vías de aguas internacionales. ¿Cambiará la calidad o la cantidad de los flujos de agua?

Muestra de Bosquejo de un Informe de Evaluación Ambiental

Los informes de evaluación ambiental deberían ser concisos, limitados a aspectos ambientales significativos y dirigidos a conceptores de proyectos y a los decididores de los proyectos, incluyendo a los financiadores. El nivel de detalle debería estar en proporción con el grado de impacto potencial. El informe debería incluir las siguientes secciones:

1. *Resumen ejecutivo.* Un resumen de los hallazgos significativos y de las acciones recomendadas.
2. *Regulaciones ambientales.* La estructura política, legal y administrativa relacionada con el proyecto. Esto es especialmente importante en el caso de proyectos cofinanciados, cuando deben ser acomodados los requisitos de varias organizaciones.
3. *Descripción del proyecto.* Una detallada descripción del proyecto, incluyendo su contexto técnico, geográfico, ecológico, económico, social y temporal. Incluyendo cualquier inversión necesaria fuera del sitio como parte del proyecto, como por ejemplo, las tuberías, los caminos, las plantas de energía, el abastecimiento de agua, los campamentos, las instalaciones de almacenamiento.
4. *Datos básicos (base line).* El estudio de las dimensiones de la zona y una descripción de las condiciones físicas, biológicas y socio-económicas más importantes, incluyendo cualquier cambio anticipado antes del comienzo del proyecto.
5. *Análisis de alternativas.* Las alternativas al proyecto propuesto incluyen la opción de "no acción". Esta sección examina los impactos ambientales potenciales, el capital y los costos recurrentes, la capacidad institucional, la formación y los requisitos de control para el diseño, el sitio, la tecnología y las alternativas operacionales.
6. *Impactos ambientales.* Los probables impactos positivos y negativos de los proyectos propuestos y la comparación con alternativas. Esta sección revisa la magnitud y la calidad de los datos disponibles, identifica los vacíos claves en los datos, estima las incertidumbres asociadas con las previsiones y los tópicos específicos que no requieren atención especial.
7. *Plan de reducción.* Medidas factibles, relación costo-eficacia de reducción que pueden limitar los impactos adversos en el medio ambiente a niveles aceptables. El plan debería considerar medidas compensatorias si la reducción no puede ser implementada eficazmente.
8. *Plan de control.* Esta sección recomienda un plan de control y su implementación por una agencia de control determinada o individual e incluye estimaciones de costo y otras informaciones pertinentes tales como la formación.
9. *Apéndices:*
 - Personal y organizaciones implicadas en la evaluación ambiental.
 - Personas y organizaciones contactadas, incluyendo sus direcciones y sus números de teléfono.
 - Referencias. Material escrito usado en los estudios de preparación. Esto es especialmente importante dada la gran cantidad de documentación no publicada que suele emplearse.
 - Registros de reuniones de interagencia/foro. Esto incluye listas tanto de los invitados y de los que realmente asisten como también un resumen de las discusiones.

Cuadro 18 - Matriz de Impacto por Minería

AMBIENTE BIOLÓGICO	forestal Campo de arbusto Campo de pastoreo campo de hierba (alpina) Arena/Laja/Roca Campo de cosecha Area urbana Lagos Ríos Estuarios Entre-marea Marino Tierras húmedas					
AMBIENTE FÍSICO	Régimen de río Erosión/Estabilidad de la tierra Sedimentación Agua superficial Agua subterránea Suelo agrícola Materiales de fundamentos Clima/Atmósfera Molestias (ruido, polvo, hedor) Forma superficial de la tierra					
AMBIENTE SOCIAL	Participación Pública Empleo Asentamientos Valor de la tierra Usos existentes de la tierra Riesgos e Inquietudes Valores personales y sociales Histórico/Cultural Paisaje/Visual Recreación					
Efectos ambientales Desarrollo		<ul style="list-style-type: none"> - Exploración - Prospección - Reconocimientos - Perforación - Muestreo 	Minería a Cielo Abierto <ul style="list-style-type: none"> - Desencape - Voladura - Desagüe - Trituración Minería Subterránea <ul style="list-style-type: none"> - Metodos usados - Sistemas de Ventilación - Desagüe Dragado <ul style="list-style-type: none"> - Planta flotante - Formación de la laguna 	Procesamiento de mineral <ul style="list-style-type: none"> - Aprovisionamiento de Agua - Planta de lavado - Proceso usado - Acumulación Tratamiento de agua de desecho <ul style="list-style-type: none"> - Colas - Dique de colas - Control de corrientes superficiales de agua 	Rehabilitación <ul style="list-style-type: none"> - Forma del contorno - Plantación - Uso del material de desencape 	General <ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura superficial - Caminos de acceso - Fuente de energía

Fuente : (62)

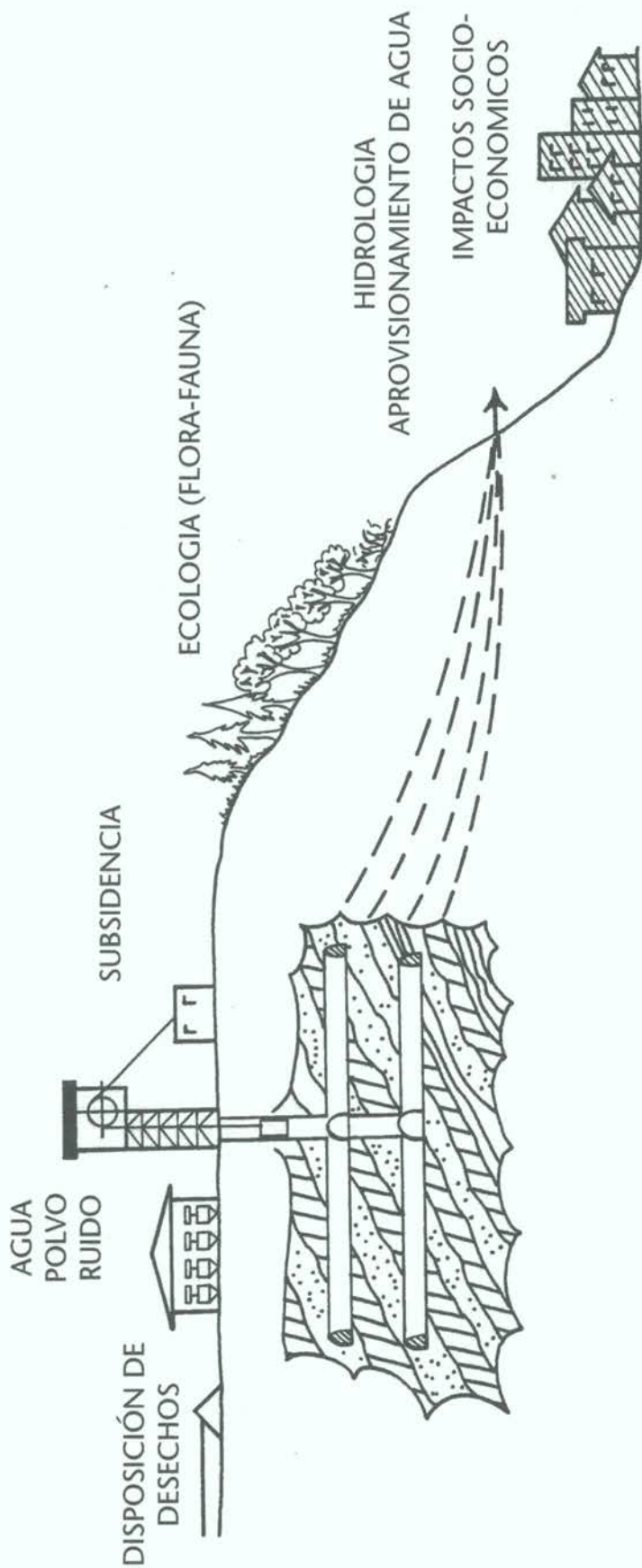


Figura 15 Proyecto minero -Aspectos principales del medio ambiente

APENDICE I

LITERATURA ADICIONAL

I. MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

Consejo de la Industria Minera Australiana. (1989). Manual de Rehabilitación de Mina AMIC.

Centro para la Gestión y la Planificación Ambiental (CEMP). (1987).

Desarrollo Ambientalmente Sólido en las Industrias de Energía y de Minas.

Actas de un seminario del Centro de Gestión Ambiental y de Planificación. Aberdeen, UK.

Dhar, B.B. (1990). Gestión Ambiental de las Operaciones Mineras. Nueva Delhi: Ashishi Publishing House.

Agencia de Protección Ambiental. (1979). Evaluación del Impacto Ambiental de la Industria Minera. Washington DC: US EPA

Asociación Minera del Canadá. (1990). Guía para Práctica Ambiental. MAC.

Programa del Medio Ambiente de Naciones Unidas. (1983). La Restauración y Rehabilitación de Tierras y Suelos después de las Actividades Mineras (Directivas de Gestión Ambiental). UNEP.

Programa del Medio Ambiente de Naciones Unidas. (1988). Evaluación de Impactos Ambientales - Procedimientos Básicos para Países en Vías de Desarrollo. UNEP.

Universidad de Manchester Departamento de Planificación de la Ciudad y del País. Guía de Materiales de Instrucción para Evaluación de Impactos Ambientales (Artículo Ocasional No 14). Manchester, UK.

Vartanyan, G.S. (Ed.). (1989). Minería y Geoambiente. La Geología y el Medio Ambiente, Volumen II: UNESCO/UNEP.

II. DRENAJE ACIDO DE MINA

Ackman, T.E. (1982). Depósito de Lodos del Tratamiento del Drenaje Acido de

Mina (Informe R 18672): U.S. Bureau of Mines Investigations.

Ahmad, M.U. (1970). Una Política Hidrológica de Control de la Contaminación del Agua Acida de Mina del Lago Hope. Agua Subterránea, 8(6).

Broman, P.G. (1988) Aspectos de Gestión Ambiental en la Minería Sueca, Pasado, Presente y Futuro. Actas de la Catorceava Conferencia Internacional de Procesos Generales, Estocolmo, Suecia.

Broman, P.G. (1989). Planes de Recuperación para Dos Estanques de Desechos en Suecia: Ejemplos de Soluciones de Sitios Específicos. Simposio Internacional sobre Gestión de Desechos y Efluentes, Halifax, Canadá.

Bruynesteyn, A. & Hackl, R.P. (1984). Evaluación del Potencial de la Producción Acida de Materiales de Desecho de Minería. Minerales y el Medio Ambiente, 4, 5-8.

Caruccio, F.T. La Ocurrencia Natural y la Previsión del Drenaje Acido de Mina en Minas de Carbón en Mantos; Un Estudio para un Minicurso. Actas del Simposio Nacional sobre Hidrología de Minería de Superficie, Sedimentología y Recuperación, Lexington, KY.

Caruccio, F.T. & Geidel, G (1983). El Efecto del Cubrimiento Plástico en Cargas Acidas: Sitio DLM. En Actas de Minería Superficial y Calidad de Agua del 4^o Simposio de la Fuerza de Trabajo del Drenaje de Mina de Superficie de West Virginia, Clarksburg, MV.

Caruccio, F.T. & Geidel, G (1985). Drenaje Acido de Mina: Tratamiento en Mina de Superficie y Tecnología de Disminución In Situ. En Aspectos Rurales: Minería del Carbón y Recuperación de Tierras Abandonadas (EPA 440/5-85-001, pp.

307-310). Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency.

Charmbury, H.B., Maneval, D.R. & Girard, L. (1967). Operación Yellowboy - Diseño y Economía de una de Planta de Tratamiento de Neutralización con Cal, del Drenaje de Mina. SME, AIME. Reprint 67F35.

Crance, R.C., Kardos, L.T. & Ciollcosa E.J. (1980). Los Efectos en el Suelo de la Renovación del Agua del Drenaje Acido de Mina de Carbón. *Journal of Environmental Quality*, 9, No 4, 621 - 626.

Davis G.B. & Ritchie, A.I.M. (1983). Un Modelo de Oxidación Pirítica en Rocas de Desecho. En *Actas de Minería, Plantas y Tratamiento de Desechos, Incluyendo Rehabilitación con Énfasis en Minería de Uranio, Darwin, Australia.*

Agencia de Protección Ambiental. (1983). *Manual de Diseño: Neutralización del Drenaje Acido de Mina (EPA-600: 2-83-001).*

Servicio de Protección Ambiental. (1977). *Tiosales y sus Mediciones en Efluentes de Planta/Mina en el Noreste de New Brunswick (Informe EPS-5-AR-77-8). Medio Ambiente Canadá, Ottawa, Ontario.*

Ferguson, K.D. & Erickson, P.M. (1986). *Previsión Preexplotación del Drenaje Acido de Mina. In Salomans, W. & Forstner, U. (Eds.), Impacto Ambiental y Manejo de Desechos de Mina y Materiales Dragados. Springer Verlag, Heilderberg, W. Germany.*

Gersberg, R.H., Lion, S.R., Elkins, B.V. & Goldman, C.R. (1984). *La Remoción de Metales Pesados por Pantanos Artificiales (EPA-600/D-84-258).*

Halliburton Company. (1970) *Nuevas Técnicas de Sellado de Minas para la Disminución de la Contaminación del Agua (Doc. 14010 DMO 03/70). Washington, DC; U.S. Government Printing Office.*

Harries, J.R. and Ritchie, A.I.M. (1985). *El Impacto de Medidas de Rehabilitación en las Condiciones Físicoquímicas dentro de los Desechos de Mina que están Experimentando una Oxidación Pirítica. Artículo presentado al Simposio Internacional sobre Biohidrometalurgia, Vancouver, British Columbia, Canadá.*

Hoffman, M.R., Faust, B.C., Panda, F.A., Kuo, H.H., & Hsychiga, H.M. (1981). *Cinética de la Remoción del Hierro Pirítico del Carbón por Catálisis Microbial. Revista de Microbiología Aplicada y Ambiental, 42(2), 259-271.*

Holland, C.T., Corsaro, J.L. & Ladish, D.L. (1968). *Factores en el Diseño de una Planta de Tratamiento para el Drenaje Acido de mina. Actas del Segundo Simposio de Investigación del Drenaje de Minas de Carbón. Instituto Mellon, Pittsburgh, Monroeville, PA.: Bureau of Coal Research.*

Inganger, M. & Good, W.C. (1980). *Colocación un Recubrimiento que Produce Acido para obtener una Mínima Contaminación. En Actas del Simposio Nacional sobre Hidrología de Minería de Superficie, Sedimentología y Recuperación. Lexington, KY. EE.UU.*

Kleinman, R.L.P., Crerar, D.A. & Pacelli, R.R. (1981). *Biogeoquímica del Drenaje Acido de Mina y un Método para Controlar la Formación de Acido, Mining Engineering Journal.*

Kuit, W.J. (1980). *Tratamiento de Efluentes de Mina y Desechos en Kimberley, B.C. Operaciones de Cominco Ltd. CIM Bulletin, Dic., 105 - 112.*

Monenco. (1984). *Estudio del Manejo de Desechos Sulfurosos. Centro para la Tecnología de Minerales y Energía, Ottawa, Canadá.*

Nicholas, G.D. & Foree, E.G. (1982). *La Aplicación de Tecnología de Sellado de Superficies para la Prevención del Drenaje Acido de Mina. Commonwealth Technology Inc., Lexington, KY.*

Estado de Ohio (1971). *Formación y*

Reducción del Drenaje Acido de Mina. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Parizek, R.R. (1971) Prevención de la Formación del Drenaje de Minas de Carbón por Drenaje de Pozos (Informe No SR-82 Investigación Especial). Commonwealth of Pennsylvania: Departamento de Recursos Ambientales.

Parizek, R.R. & Tarrn, E.G. (1972). Prevención de la Contaminación por Drenaje de Mina y su Reducción por Sistemas Hidrogeológicos y Geoquímicos.

En Actas del 4^o Simposio sobre Investigación de Drenaje de Minas de Carbón. Instituto Mellon, Pittsburgh, Monroeville, PA: Bureau of Coal Research.

Ricca, V.T. & Schutz, R.R. (1979). Modelo de Drenaje Acido de Mina en Minería de Superficie. En Actas del Primer Simposio Internacional de Drenaje de Mina (pp. 651 - 670).

Silverman, M.P. (1987). Mecanismo de Oxidación Bacterial de Pirita. Revista de Bacteriología, 94(4), 1046 - 1051.

Smith, A.C.S. & Van Zil, D. (1983). Criterio de Diseño del Depósito de Desechos de Minas Generadores de Acido. En Actas de la 7a Conferencia Panamericana sobre Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones.

USBM. (1985). Control del Drenaje Acido de Mina (Circular No 9027): U.S. Bureau of Mines Information.

Wasserlauf, M.A. (1985). Descripción de Plantas de Tratamiento de Aguas de Desecho en Siete Operaciones Mineras y Metalúrgicas en el Este del Canadá (Informe EC/85). Ottawa, Ontario: Medio Ambiente Canadá.

Watkin, E.M. & Watkin, J. (1983). La Inhibición de la Oxidación de la Pirita Puede Disminuir los Costos de Recuperación. Canadian Mining Journal, 29 - 31.

Fuerza de Trabajo de Drenaje de Minería

Superficial de West Virginia. (1979). Directivas Sugeridas para Métodos de Operación en Zonas en Minería de Superficie con Materiales Potencialmente Productores de Acido. Charleston, MV: Departamento de Recursos Naturales.

Williams. E.G., Rose, A.W., Parizek, R.R. & Waters, S.A. (1982). Factores que Controlan la Generación del Drenaje Acido de Mina. (UBM Research Grant No G 5105086): U.S. Bureau of Mines.

III. ENTORNO LABORAL²

Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno. (1985). Muestreo de Tamaño Selectivo de Partículas en el lugar de Trabajo. (Informe de la ACGIH Comité Técnico en Procedimientos de Muestreo del Aire) Cincinnati, OH.

Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno. (1988) Valores Límite e Indices de Exposición Biológica para 1988-89 (Informe Preparado y Actualizado anualmente) Cincinnati, OH.

AIHA Series. Series de Directivas de Higiene. Asociación Americana de Higiene Industrial. Akron, OH.

Bell, A.V. (1974). Manejo de Desechos de Mina de Metales Básicos en Canadá. Minerales y el Medio Ambiente, Junio. Londres.

Corn, M. (1981). Estrategias del Muestreo de Aire. En J.C. MacDonald (Ed.), Recientes Avances en Salud Ocupacional. Londres: Churchill Livingston.

Corn, M (1983). Evaluación y Control de la Exposición Ambiental. Revista de Alergia e Inmunología Clínica, 72, 321.

Cumming, A.C., Given, I.A. (1973). Manual de Ingeniería de Minas. New York: SME.

Desoille, H., Scherrer, J. & Truhaut, R. (1978). Précis de Médecine du Travail. París: Masson.

- Enjalbert, P. (1988). Moteurs Diesel et Pollution Atmosphérique en Espace Confiné (Cahiers de notes documentaires No 133). París, France: Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).
- Finkel, A.J. & Wright, J. (Eds.). (1983). Toxicología Industrial de Hamilton y Hardy (ed. rev.) Grupo Editor de Ciencias.
- Goelzer, B. (1983). Evaluación de la Fatiga por Calor. En la Enciclopedia de Salud Ocupacional y Seguridad: Volumen 2 de la Organización Internacional del Trabajo. Ginebra: ILO.
- Goelzer, B. (1983). Tecnología de Control para Salud Ocupacional. En la Enciclopedia de Salud Ocupacional y Seguridad: Volumen 1 (pp. 538-546) de la Organización Internacional del Trabajo. Ginebra: ILO.
- Consejo Médico de Investigación de Gran Bretaña (1952, Marzo 4). Recomendaciones de los Paneles del MRC con Relación al Muestreo Selectivo. Minutas de una reunión conjunta del Subcomité del Polvo, Comité de Enfermedades Pulmonares Industriales. Londres, H.M. Stationery Office.
- Grenier, M.G. & Bigu, J. (1988). Supresión del Polvo Transportado por el Aire en Minas de Roca Dura por Medio de Rociadores Electroestáticos de Agua. Higiene Industrial Aplicada, 3(9), 251. Pittsburgh, PA: Departamento Norteamericano del Interior, Bureau of Mines.
- Herve-Bazin, B. (1989). Guide d'Evaluation de l'exposition du risque toxique sur les lieux de travail par Echantillonnage de l'atmosphère (Cahiers de notes documentaires No 135). París, France : Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).
- Hofmann, G.W. (1982). El Impacto Ambiental de la Minería en Australia. Revista de Minería del Gobierno de Queensland. Junio 1981, 276-283.
- HSE. (1983) Métodos Generales para la Determinación Gravimétrica del Polvo Respirable y el Polvo Total. (MDHS Publicación No 14). Londres, UK: H.M. Stationary Office.
- Huer, H.H. (1983) Iluminación. En la Enciclopedia de Salud Ocupacional y Seguridad, Volumen 2 (L-Z) de la Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra: ILO.
- Hustrulid W.A. (Ed.). (1982). Manual de Métodos de Minería Subterránea. SME, AIME. New York.
- Institut National de Recherche et Sécurité. Fiches toxicologiques [Microfiche cards]. París, Francia: INRS.
- Institut National de Recherche et Sécurité. (1988). Valeurs limites d'exposition professionnelles aux substances dangereuses en France (Cahiers de notes documentaires No 133, p. 691) París, France : INRS.
- Institut National de Recherche et Sécurité. (1988). Valeurs limites d'exposition professionnelles aux substances dangereuses de l'ACGIH, de la RFA et de l'URSS (Cahiers de notes documentaires No 133, p. 707). París, France : INRS.
- Institut National de Recherche et Sécurité. (1989). Indices biologiques d'exposition (Cahiers de notes documentaires No 134, p.51). París, France : INRS.
- Institut National de Recherche et Sécurité. (1989). Surveillance medicale des travailleurs exposés au plomb et à ses composés (Cahiers de notes documentaires No 134, p. 107). París, France : INRS.
- Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. (1980). La Evaluación del Riesgo Carcinógeno de las Sustancias Químicas para los Humanos: Algunos Metales y Compuestos Metálicos. IARC Monografías, Volumen 23. Lyon, Francia: WHO.
- Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. (1984). La Evaluación del Riesgo Carcinógeno de las Sustancias Químicas para los Humanos: Compuestos Aromáticos Polinucleares (Parte 3), Exposición Industrial en la Producción de

Aluminio, Gasificación de Carbón, Producción de Coke y Fundición de Hierro Acero. IARC Monografías, Volumen 24. Lyon, Francia: WHO.

Oficina Internacional del Trabajo. (1977). Control del Polvo en el Ambiente de Trabajo (Silicosis) (Series de Salud Ocupacional y Seguridad, No 36). Ginebra: ILO.

Oficina Internacional del Trabajo. (1980). Directivas para el Uso de Clasificación Internacional ILO de Radiografías de neumoconiosis (ed. rev.) (Series de Salud Ocupacional y Seguridad, No 22). Ginebra: ILO.

Oficina Internacional del Trabajo. (1980). Protección de los Trabajadores Contra el Ruido y la Vibración en el Ambiente de Trabajo (ILO Códigos de Práctica). Ginebra: ILO.

Jayaraman, N.I. & Jankowski, R.A. (1988). Atomización de Vaporizadores de Agua para el Control de Polvo de Cuarzo. *Higiene Industrial Aplicada*, 3(12), 327. Pittsburgh Pa.: Departamento Norte Americano del Interior, Bureau of Mines.

Johnson, M.S. & Eaton, J.W. (1980). Contaminación Ambiental a Través de Trazas Residuales de Metales Dispersas de una Mina Abandonada de Pb - Zn. *Journal of Environmental Quality*, Volumen 9, Abril - Junio.

Linch, A.L. (1981). Evaluación de la Calidad del Aire en el Ambiente por el Personal de Control (2a Ed., Volúmenes I y II). Cleveland Ohio: CRC Press.

Limasset, J.C. & Ducos. P. (1988). Utilisation des indicateurs biologiques pour l'évaluation des expositions professionnelles: un point de vue (Cahiers de notes documentaires No 133, p 667). París, Francia: INRS.

Lippmann, M. et al. (1980). Depósito, Retención y Despeje de Partículas Inhaladas. *Revista Británica de Medicina Industrial*, 37, 337.

Muller, J. & Guenier, J.P. (1984). Echantillonnage des polluants gazeux: 2. Le point sur les échantillonneurs passifs (badges) (Cahiers de notes documentaires No 166). París, Francia: INRS.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1973). El Medio Ambiente Industrial - Su Evaluación y Control (Publicación No 74 - 117): Departamento Norte Americano de Salud Nacional, Educación y Bienestar.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1977). Enfermedades Ocupacionales - Un Guía para su Reconocimiento (Publicación No 77 - 181): Departamento Norte Americano de Salud Nacional, Educación y Bienestar.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1978). Un Informe del Funcionamiento de Dosímetros Personales de Ruido (Publicación No 78 - 186): Departamento Norte Americano de Salud Nacional, Educación y Bienestar.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1981). Guía Práctica de Trabajo para el Levantamiento Manual (Publicación No 81 - 122): Departamento Norte Americano de Salud y Servicios Humanos.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1981 - 1988). Directivas de Salud Ocupacional para Peligros Químicos (vol. 3, publicación No 81 - 123, Suplementos en 1988): Departamento Norte Americano de Salud y Servicios Humanos.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1983). Síndrome de Vibración. (Current intelligence Bulletin 38, No 83 - 110): Departamento Norte Americano de Salud y Servicios Humanos.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1983). Registro de los Efectos Tóxicos de Sustancias Químicas (Vol. 3, Publicación No 83 - 107):

Departamento Norte Americano de Salud y Servicios Humanos.

Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y la Salud. (1985). Guía de Bolsillo de Peligros Químicos (Publicación No 84 - 114):. Departamento Norte Americano de Salud y Servicios Humanos.

Panwitz, K.H. (1984) Tubos de Difusión de Lectura Directa. *Drager Review*, 53(10).

Patty, F.A. (1978). Higiene Industrial y Toxicología. En Clayton & Clayton (Eds.) (3a rev. ed.) Higiene Industrial y Toxicología, Vol. 1. New York: John Wiley & Sons.

Patty, F.A. (1979). Teoría y Razones de la Práctica de la Higiene Industrial. En Cralley & Cralley (Eds.) (3a rev. ed.) Higiene Industrial y Toxicología, Vol 3 . New York: John Wiley & Sons.

Pecache, G.A. (1985). Control de la Contaminación en la Industria Minera del Cobre de Filipinas. *Industry and Environment Review*, 8(1) 5 - 9.

Phalen, R., Hinds, W.C., John, W., Lloy, P.J., Lippman, M., McCawley, M.A., Raape, O.G., Doderholm, S.C. & Stuart. B.O. (1986). Razones y Recomendaciones para Muestreo Selectivo por Tamaño de Partícula en el Lugar de Trabajo. *Higiene Industrial Aplicada*, Volumen 1, 3. Cincinnati: ACGIH.

Pietruszynsky, M. & Bossut, T. (1989). Périodicité des visites médicales en médecine du travail (Cahier de notes documentaires No 135). París, Francia: INRS.

Rausch, D.O. & Mariacher, B.C. (Eds.). (1970). *Minería y Concentración de Plomo y Zinc*. AIME.

Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. (1962). Memorandum Interno del 30 de Marzo de 1962, (Resumiendo criterios basados en un borrador desarrollado en una reunión el 18-19 de Enero de 1961, sostenida en el Laboratorio Científico de los Alamos): USAEC.

Valic, F.R. (1983). Detección y Análisis de Contaminantes Transportados por el Aire

(métodos de campo). *Enciclopedia de Salud Ocupacional y Seguridad*, Volumen 1, pp 607 - 611. Ginebra: ILO.

Organización Mundial de la Salud. (1977). Evaluación del Estrés causado por el Calor en el Entorno laboral (OCH/77.1/rev. 1). Ginebra: WHO.

Organización Mundial de la Salud. (1980). Límites Recomendados - por razones de Salud - para la Exposición Ocupacional a Metales Pesados (Series de Informes Técnicos No 647). Ginebra: WHO.

Organización Mundial de la Salud. (1984). Límites Ocupacionales - por razones de Salud - Recomendados para Irritantes Respiratorios (Series de Informes Técnicos No 707). Ginebra: WHO.

Organización Mundial de la Salud. (1984). Evaluación de la Exposición a Partículas Transportadas por el Aire en el Entorno laboral (Publicación Offset No 80). Ginebra WHO.

Organización Mundial de la Salud. (1986). Límites Recomendados - por razones de Salud - para la Exposición Ocupacional a Determinados Polvos de Mineral (Sílice, Carbón) (Series de Informes Técnicos No 734): WHO.

Organización Mundial de la Salud. (1986). Instrumentos de Lectura Directa para Contaminantes Transportados por el Aire en el Entorno laboral (OCH/86.2.). Ginebra: WHO.

Organización Mundial de la Salud. Series de Criterios de Salud Ambiental en el Mundo. Ginebra: WHO.

Criterio de Salud Ambiental No.3 - Plomo

Criterio de Salud Ambiental No.4 - Oxidos de nitrógeno

Criterio de Salud Ambiental No.8 - Oxidos de azufre y partículas de materia suspendidas.

Criterio de Salud Ambiental No.12 - Ruido.

Criterio de Salud Ambiental No.13 - Monóxido de carbono.

Criterio de Salud Ambiental No.18 - Arsénico.

Criterio de Salud Ambiental No.101 - Cadmio.

Zenz, C. (Ed.). (1980). Desarrollo en Medicina Ocupacional. Publicadores del Anuario Médico.

Zenz, C. (Ed.). (1984). Medicina Ocupacional - Principios y Aplicaciones Prácticas. Publicadores del Anuario Médico.

IV. REFERENCIAS INDICADAS EN EL TEXTO

1. Oficina Americana de Estadísticas Médicas. (1987). Datos de metales no ferrosos.

2. Minemet Annuaire. (1988). París.

3. Fischesser, R. (1987). Données des principales espèces minérales. Saint Etienne: SIM

4. Prain, R. (1975). Cobre: La Anatomía de una Industria. Mining Journal Books. Londres.

5. Boldt, J., Jr & Queneau, P. El depósito de Níquel. Princeton, NJ.

6. Lheraud, M. (1974). Le Plomb. París: Presses Universitaires de France.

7. Duchaussoy, J. (1965). Le Zinc. París: Presses Universitaires de France.

8. McQuiston, P.W. & Shoemaker, R.S. (1975 - 1980). Cianuración de Oro y Plata Práctica de Planta, Vol.1 (1975), Vol.2 (1980). New York: SME.

9. Cummins, A.B. & Given, I.A. (1973). Manual de Ingeniería de Minas. New York: SME.

10. Comentario Editorial, p.28. Mining Journal, Julio (1987).

11. Weiss, N.L. (Ed.). (1985). Manual de Proceso de Minerales. New York: SME.

12. Blazy, P. (1970). La valorisation des minerales: París: Presses Universitaires de France.

13. Dayton, S.H. (1988). HECLA's Republic Unit. Engineering and Mining Journal, Diciembre, 38.

14. Rausch, D.O. & Mariacher, H.B. (Eds.). (1970). Minería y Concentración de Plomo y Zinc. AIME.

15. Medio Ambiente Canadá. (Diciembre 1987). Tratamiento de Aguas usadas de Mina y Planta (Informe EPS/2/MM/3): DOE.

16. Pecache, G.A. (1985). Control de la Contaminación en la Industria Minera del Cobre en Filipinas. Industry and Environment Review, 8 (1), 5-9.

17. Hustrulid, W.A. (Ed.). (1982). Manual de Métodos de Minería Subterránea New York: SME.

18. Aplin, C.L. & Argall, G.O. (1973). El depósito de Desechos en Estos Días, 477 - 552.

19. Rolia, E & Tan, K.G. (1985) Oxidación Química de las Tiosales Contenidas en los Efluentes de Plantas. Ottawa: Centro Canadiense de Tecnología de Minerales y Energía.

20. Ingles, J. & Scott, J.S. (1987). State of the art of Process for the Treatment of Gold Mill Effluents. Ottawa: Environment Canada.

21. Broman, P.G. (1980). Recirculación de Agua en Concentradores de Minerales Sulfurosos en Suecia: práctica, experiencia y desarrollo corriente. Conferencia sobre Minerales de Complejos Sulfurosos. Roma: IMM.

22. Tara Mines Limited. La Cuestión del Medio Ambiente: Desarrollo.

23. Dowon, C.G. & Stocks, H. (1977). Impacto Ambiental de la Minería. Londres: Applied Science Publishers.

24. Lebeque, Y. (1972). Accidents des bassins de retenues des rejets industriels.

Revue de l'Industrie Minière, novembre, 153 -169.

25. Lebegue, Y. (1985). Exemples de bassins de decantation construits avec la fraction sableuse des rejets. *Revue de l'Industrie Minière*, fevrier, 129 - 136.

26. Knight, R.B. & Haile, J.P. (1983). Depósito en Subzona de Desechos. Montreal: Sociedad Geotécnica del Canadá.

27. Robinsky. (1975). Descarga de Pulpa Espesada: Una Nueva Política del Depósito de Desechos (CIMM Bulletin No 68 (755)).

28. Klohn. (1980). El Desarrollo del Diseño Corriente de Diques de Desechos y Métodos de Construcción. Actas del Simposio de la Escuela de Minas de Colorado sobre Diseño y Construcción de Diques de Desechos. Colorado.

29. Kleinmann, D.A., Crerar, R.R. Pacelli. (1987). Biogeoquímica del Drenaje Acido de Mina y un Método para Controlar la Formación Acida. *Journal of Mining and Engineering*, Marzo, 300 -304.

30. Silver, M. (1987). Plantas Acuáticas y Cobertura de Ciénaga para Prevenir la Generación Acida en Desechos de Metales Básicos. Seminario de Drenaje Acido de Mina, Marzo 1987. Halifax, Canadá.

31. Williams, R.E. (1975). Producción y Depósito de Desechos en las Industrias Mineras, de Concentración y Metalúrgicas. EE.UU.: Publicadores Miller Freeman.

32. Programa Ambiental de Naciones Unidas. (1983) Directivas Ambientales para la Restauración y la Rehabilitación de Tierras y de Suelos Después de las Actividades Mineras. UNEP Directivas de Manejo Ambiental No 8. Nairobi.

33. Williamson, N.A., Johnson, M.S. & Bradshaw, A.D. Mine Wastes Reclamation.

34. Coppin, N.J., Johnson, M.S. & Richard, I.G. (1987). Recuperación de Tierras para Reducir los Problemas de Contaminación

de Minas Metalíferas Abandonadas en el Reino Unido. Actas de la Segunda Conferencia Internacional de Medio Ambiente y Seguridad. Wembley, UK.

35. Hore - Lacy, I. & Thorne, G. (1979) Revegetación de Diques de Desechos en Broken Hill, NSW Australia. Rehabilitación de Minas, Australia Oeste: Consejo de la Industria Minera de Australia.

36. Farmer, E.E., Richardson, B.Z. & Brown, R.W. Revegetación de Desechos Acidos de Mina en Idaho Central, EE.UU. (USDA Forest Service Research Note No INI/178). Utah: Intermountain Forest and Range Experimental Station.

37. Societé Metallurgique Le Nickel-SN. (1985). Thio - Kongouhaou: huit ans d'efforts.

38. Ralston, D.R. et al. (1973). Soluciones para los Problemas de Contaminación Asociados con la Minería en el Norte de Idaho (Informe No 40122070). Washington, DC: US Bureau of Mines.

39. Carrucio, F.T. & Geidel, G. (1983). El Efecto de la Cobertura Plástica en Cargas Acidas: Sitio DLM. Actas del 4o Foro de Minería de Superficie y de Calidad del Agua de la Fuerza de Trabajo de Drenaje de Mina de Superficie de West Virginia. Clarksburg.

40. Harries, J.R. Ritchie, A.I.M. (1985). El Impacto de Medidas de Rehabilitación sobre las Condiciones Fisicoquímicas dentro de Desechos de Minas que Experimentan Oxidación de Pirita. Simposio Internacional en Bio-Hidrometalurgia. Bancouver, BC.

41. Jowes, M.M. & Wangen, L.E. (1984). La Atenuación de Elementos Químicos en Lixiviación de Acidos de Desechos Minerales de Carbón por Suelos. *Environmental Geological Water Science*, 8(3)

42. Crance, R.C., Kardos, L.T. & Ciollosa. E.J. (1980). El Efecto del Suelo sobre la Renovación del Agua del Drenaje Acido de Mina. *Journal of environmental Quality*, 9(4).

43. Gersberg, R.H. et al. (1984). La Remoción de Metales Pesados por Pantanos Artificiales (EPA 600/D84). Washington, DC: Agencia de Protección Ambiental.
44. Kleinmann, R.L.P. (1985). Tratamiento del Agua Acida de Mina (Información Circular 9027). Pittsburgh, Pa.: US Bureau of Mines.
45. Chan, E. et al. (1982). El Uso de Pantanos para el Control de la Contaminación (EPA 600/2/82/086). Washington, DC: Agencia de Protección Ambiental.
46. Holms, J.D. & Jones, S. (1985). Tratamiento Pasivo del Drenaje de Mina - Una Alternativa Eficaz de Bajo Costo. Actas del Simposio de Minería de Superficie, Hidrología, Sedimentología y Recuperación. Lexington, KY.
47. Burris, J.E. (1984). Tratamiento del Drenaje de Mina por Pantanos. Universidad del Estado de Pensilvania, University Park, Pa.
48. Weider, R.K. & Sang. (1984). Influencia de Pantanos y la Minería del Carbón en la Química de las Corrientes de Agua. *Water, Air and Soil Pollution*, 23.
49. Wasserlauf, M.A. & Dutrizac, J.E. (1982). La Química, la Generación y el Tratamiento de Tiosales en Efluentes de Plantas. (Informe Cammet 82/4E). Ottawa, Canadá.
50. Wasserlauf, M.A. (1985). Descripción de Plantas de Tratamiento de Aguas usadas en Siete Operaciones Mineras y Metalúrgicas en el Este del Canadá. Ottawa, Canadá.
51. Norman, G.E. & Michelutti, R.E. (1984). Mejoras Ambientales en Falconbridge Limited (CIM Bulletin No 77, 866).
52. Krause, E. & Ettel, V.A. (1985). Compuestos de Arseniatos Férricos; ¿ Son Ambientalmente Seguros? Artículo Presentado en la Conferencia de la Sociedad Metalúrgica CIM sobre Control de Impurezas y Depósito. Vancouver, BC. Canadá.
53. Robbins, R.G. & Tozawa, K. (1982). Remoción del Arsénico de las Aguas usadas del Proceso de Oro. La Ineficacia Potencial de la Cal (CIM Bulletin, April).
54. Asociación Americana de Higiene Industrial. (1960). Manual de Contaminación del Aire. Detroit, Michigan.
55. Mallet, C. & Bacquant, J. (1951). Les Barrages en terre. París: Eyrolles.
56. Ministère de l'Agriculture de France. (1974). Techniques des Barrages en aménagement rural. París.
57. Institut National de Recherche et Sécurité. (1984). Valeurs limites pour les concentrations des substances dangereuses dans l'air des lieux de travail [Umbral de Valores Límites para Agentes Físicos en el Entorno laboral adoptado por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno]. (ND 1505/117/84). París: INRS.
58. Yourt, G.R. & Bloomer, J.C. (1957). Pruebas en Polvos de Perforación. Transactions, LX, 1-4 Instituto Canadiense de Minería y Metalurgia (CIMM).
59. Oficina Internacional del Trabajo. Guía para la Prevención y Supresión del Polvo en la Construcción de Túneles en Minería y Canteras. Ginebra: ILO.
60. Departamento de Minas de Australia del Oeste. (1986). Seminario de Cianuración - 1986. Perth, Australia: División de Ingeniería de Minas.
61. Programa del Medio Ambiente de Naciones Unidas. (1988). Concientización y Preparación para Urgencias a Nivel Local (APELL). París: UNEP/IEO.
62. The Institution of Engineers, Australia: Código de Práctica Ambiental.

APENDICE II

EJEMPLOS DE REGULACIONES AMBIENTALES

Presentamos aquí dos normativas específicas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), que se aplican a la industria minera de los Estados Unidos y una normativa del Gobierno del Canadá. Estas están relacionadas con los efluentes de desechos de minas de

metales básicos y con las partículas contaminantes del aire en plantas de proceso de minerales metálicos.

Presentamos estas normativas a título puramente ilustrativo y no deben ser consideradas en ningún caso como de aplicación universal en la industria minera.

I. EE.UU.: EJEMPLO 1

Subsección J- Subcategoría de Minerales de Cobre, Plomo, Zinc, Oro, Plata y Molibdeno

§ 140.100 Aplicabilidad: descripción de la subcategoría de minerales de cobre, plomo, zinc, oro, plata y molibdeno.

(a) Las providencias de esta Subsección son aplicables a la descarga de (1) Minas que producen minerales que contienen cobre, plomo, zinc, oro, plata o molibdeno o alguna combinación de estos minerales provenientes de operaciones a cielo abierto o subterráneas que no sean depósitos de placeres;

(2) Plantas que emplean el proceso de flotación espumante solamente o junto con otros procesos para el beneficio de minerales de cobre, plomo, zinc, oro, plata o molibdeno o de una combinación de estos minerales;

(3) Minas y plantas que emplean procesos de lixiviación en diques, pilas, in situ o lixiviación en tina, para extraer el cobre de minerales o de materiales de desecho de minerales; y

(4) Plantas que emplean el proceso de cianuración para extraer oro o plata.

(b) La descarga de minas o de minas y plantas que emplean métodos gravimétricos de separación (incluyendo la minería de placeres o de dragado, las operaciones de concentración y las operaciones hidráulicas de explotación) para extraer oro de sus minerales, se desglosan en la Subsección M.

(c) La descarga de minas (incluyendo las operaciones de placeres o de dragado minero y de explotación hidráulica) o las minas y las plantas que aplican métodos gravimétricos de separación para extraer la plata de minerales de placeres, no están comprendidas en esta sección.

(d) Las providencias de esta subsección no se aplicarán a descargas del Proyecto Quartz Hill Molybdenum the Tongass National Forest, Alaska.

§ 440.101 (Reservado)

§ 440.102 Las limitaciones de efluente, que representan el grado de reducción de efluente que se puede lograr mediante aplicación de la mejor tecnología practicable de control (BPT).

Salvo lo previsto en la Subsección L de esta sección y 40 CFR 125.30 hasta 125.32, cualquier fuente puntual existente dependiente de esta subsección, debe obtener las siguientes limitaciones de efluente que representan el grado de reducción de efluente que se puede lograr mediante aplicación de la mejor tecnología practicable de control, normalmente disponible (BPT):

(a) La concentración de contaminantes descargados por el drenaje de mina en minas explotadas para obtener minerales de cobre, minerales de plomo, minerales de zinc, minerales de oro o minerales de plata o una combinación de estos minerales en operaciones a cielo abierto o subterráneas, salvo los depósitos de placer, no deberán exceder:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
TSS	30	20
Cu.....	30	15
Zn.....	15	75

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Pb.....	6	3
Hg.....	002	001
pH.....	(*)	(*)

* De 6.0 a 9.0

(b) La concentración de contaminantes descargados de plantas que emplean el proceso de flotación espumante solamente o junto con otros procesos, para el beneficio de minerales de cobre, minerales de plomo, minerales de zinc, minerales de oro o minerales de plata o cualquier combinación de estos minerales no deberán exceder:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
TSS	30	20
Cu.....	30	15
Zn.....	10	5
Pb.....	6	3
Hg.....	002	001
Cd.....	10	05
pH.....	(*)	(*)

(*) De 6.0 a 9.0

(c)(1) Salvo lo previsto en el párrafo (c) de esta sección, no habrá descarga en aguas navegables de aguas usadas de procesos de minas y de plantas que empleen procesos de lixiviación en diques, en montones, in situ o lixiviación en tina para la extracción de cobre de minerales o de materiales de desecho de minerales. La Agencia reconoce que la eliminación de contaminantes que se descargan en aguas navegables puede dar como resultado un incremento de descargas de algunos contaminantes en otras partes del medio ambiente. La Agencia ha considerado esos impactos y se ha referido a ellos en un preámbulo publicado el 3 de Diciembre de 1982.

(2) si la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento, exceden la evaporación anual, un volumen de agua equivalente a la diferencia entre la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento y la evaporación anual, se puede evacuar si se cumple con las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de esta sección.

(d)(1) Salvo lo previsto en el párrafo (d) de esta sección, no habrá descarga en aguas navegables de aguas usadas de procesos de plantas que extraigan oro o plata por medio de procesos de cianuración. La

Agencia reconoce que la eliminación de contaminantes que descargados en aguas navegables puede dar como resultado un incremento de descargas de algunos contaminantes en otras partes del medio ambiente. La Agencia ha considerado esos impactos y se ha referido a ellos en un preámbulo publicado el 3 de Diciembre de 1982.

(2) si la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento exceden la evaporación anual, un volumen de agua equivalente a la diferencia entre la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento y la evaporación anual, puede descargarse si cumple con las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de esta sección.

(e) La concentración de contaminantes descargados en el drenaje de mina en minas que producen 5.000 o más toneladas métricas (5,512 toneladas cortas) de minerales de molibdeno por año, no excederá:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
TSS	30	20
Cd.....	10	05
Cu.....	3	15
Zn.....	10	5
Pb.....	6	3
As.....	10	5
pH	(*)	(*)

(*) Dentro del rango de 6.0 a 9.0

(f) La concentración de contaminantes descargados en el drenaje de mina, en minas que producen menos de 5,000 toneladas métricas (5,512 toneladas cortas) o evacuados de plantas que procesan menos de 5,000 toneladas métricas (5,512 toneladas cortas) de minerales de

molibdeno por año, con métodos que no sean la lixiviación de minerales, no excederá:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
TSS	50	30
pH	(*)	(*)

(*) Dentro del rango 6.0 a 9.0

(g) La concentración de contaminantes descargados de plantas que procesan 5,000 toneladas métricas (5,512 toneladas cortas) o más, de minerales de molibdeno por año, con métodos puramente físicos que incluyen la trituración del mineral, el lavado, la concentración en separadores, la separación en medio pesado, no deberá exceder:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
TSS	30	20

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
Cd.....	10	05
Cu.....	30	15
Zn.....	10	5
As.....	10	5
pH	(*)	(*)

(*) Dentro del rango 6.0 a 9.0

(h) La concentración de contaminantes descargados de plantas que procesan 5,000 toneladas métricas (5,512 toneladas cortas) o más, de minerales de molibdeno por año, con métodos de flotación espumante, no excederá:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
TSS	30	20
Cd.....	10	05
Cu.....	30	15
Zn.....	1.0	5
As.....	1.0	5
pH	(*)	(*)

(*) Dentro del rango de 6.0 a 9.0.

§ 440.103 Las limitaciones de efluente, que representan el grado de reducción de efluente alcanzable si se aplica la mejor tecnología disponible, factible económicamente (BAT).

Salvo lo previsto en la Subsección L de esta sección y 40 CFR 125.30 hasta 125.32, cualquier fuente puntual existente que dependa de esta subsección, debe obtener las siguientes limitaciones de efluente, que representan el grado de reducción de efluente alcanzable si se aplica la mejor tecnología disponible, factible económicamente (BAT):

(a) La concentración de contaminantes descargados por el drenaje de mina, en minas que producen minerales de cobre, de plomo, de zinc, de oro, de plata o de molibdeno o una combinación de estos minerales, en operaciones a cielo abierto o subterráneas y que no sean depósitos de placer, no deberá exceder:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
Cu.....	030	015
Zn.....	15	075
Pb.....	06	03
Hg.....	0002	000
Cd.....	010	005

(b) La concentración de contaminantes descargados de plantas que emplean el proceso de flotación espumante solamente o junto con otros procesos, para el beneficio de minerales de cobre, de plomo, de zinc, de oro, de plata, de molibdeno o una combinación de estos minerales, no deberá exceder:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
Cu.....	030	015
Zn.....	10	05
Pb.....	06	03
Hg.....	0002	000
Cd.....	010	005

(c)(1) Salvo lo previsto en el párrafo (c) de esta sección, no habrá descarga en aguas navegables de aguas usadas de procesos de zonas de mina y procesos de plantas y zonas que aplican procesos de lixiviación en diques, en montones, in situ o de lixiviación en tina, para extraer el cobre de minerales o de materiales de desecho de minerales. La Agencia reconoce que la eliminación de contaminantes que se descargan en aguas navegables, puede dar como resultado un incremento de la descarga de algunos contaminantes en otras partes del medio ambiente. La Agencia ha considerado esos impactos y se ha referido a ellos en el preámbulo publicado el 3 de Diciembre de 1982.

(2) si la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento exceden la evaporación anual, un volumen de agua equivalente a la diferencia entre la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento y la evapora-

ción anual, puede descargarse si se cumple con las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de esta sección.

(d)(1) Salvo lo previsto en el párrafo (d) de esta sección, no habrá descarga en aguas navegables de aguas usadas de procesos de plantas que extraen oro o plata mediante procesos de cianuración. La Agencia reconoce que la eliminación de contaminantes que se descargan en aguas navegables puede dar como resultado un incremento de descargas de algunos contaminantes en otras partes del medio ambiente. La Agencia ha considerado esos impactos y se ha referido a ellos en un preámbulo publicado el 3 de Diciembre de 1982.

(2) si la precipitación anual que cae en las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento exceden la evaporación anual, un volumen de agua igual a la diferencia entre la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento y la evaporación anual, puede descargarse si cumple con las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de esta sección.

(e) Remoción y Reserva

§ 440.104 Normas de desempeño para nuevas fuentes (NSPS).

Salvo lo previsto en la Subsección L de esta sección, cualquier fuente nueva dependiente de esta subsección debe alcanzar las siguientes NSPS que representan el grado de reducción de efluente alcanzable mediante aplicación de la mejor tecnología disponible. (BADT):

(a) La concentración de contaminantes descargados en el drenaje de mina en minas que producen minerales de cobre, de plomo, de zinc, de oro, de plata, de molibdeno o una combinación de estos

minerales, de operaciones a cielo abierto o subterráneas que no sean de depósitos de placer, no deberá exceder:

Características del Efluente	Limitaciones del Efluente	
	Máximo en cualquier día	Promedio de valores diarios en 30 días consecutivos
Miligramos por litro		
Cu.....	030	015
Zn.....	15	075
Pb.....	06	03
Hg.....	0002	0001
Cd.....	010	005
pH.....	(*)	(*)
TSS.....	300	200

(*) Dentro del rango de 6.0 a 9.0.

(b)(1) Salvo lo previsto en el párrafo (b) de esta sección, no habrá descarga de aguas usadas de procesos en aguas navegables, procedentes de plantas que emplean el proceso de flotación espumante solo o junto con otros procesos para el beneficio de minerales de cobre, de plomo, de zinc, de oro, de plata, de molibdeno o una combinación de estos minerales. La Agencia reconoce que la eliminación de los contaminantes descargados en aguas navegables puede dar como resultado un incremento en la descarga de algunos contaminantes en otras partes del medio ambiente. La Agencia ha considerado esos impactos y se ha referido a ellos en el preámbulo publicado el 3 de Diciembre de 1982.

(2)(i) si la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento y las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento exceden la evaporación anual, un volumen de agua igual a la diferencia entre la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento, las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento y la evaporación anual, puede descargarse si se cumple con las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de esta sección.

(ii) Si hubiere un aumento de contaminantes en el agua reciclada que interfiera de manera importante con el proceso de recuperación en el mineral y que esta interferencia no pueda ser eliminada a través de un tratamiento apropiado del agua reciclada, la autoridad que otorga los permisos puede conceder que se efectúe una descarga del agua usada del proceso en cantidad necesaria como para corregir el problema de interferencia después de la instalación de un tratamiento apropiado. Esta descarga estará sujeta a las limitaciones del párrafo (a) de esta sección. Los responsables de las instalaciones tendrán la obligación de demostrar a la autoridad que otorga los permisos que la descarga es necesaria para eliminar la interferencia en el proceso de recuperación en el mineral y que la interferencia no podría ser eliminada a través de un tratamiento apropiado del agua reciclada.

(c)(1) Salvo lo previsto en el párrafo (c) de esta sección, no habrá descarga en aguas navegables de aguas usadas de procesos de zonas de mina y de procesos de plantas y de zonas que emplean procesos de lixiviación en diques, en montones, in situ o de lixiviación en tina, para extraer el cobre de minerales o de materiales de desecho de minerales. La Agencia reconoce que la eliminación de contaminantes descargados en aguas navegables puede dar como resultado un incremento en la descarga de algunos contaminantes en otras partes del medio ambiente. La Agencia ha considerado esos impactos y se ha referido a ellos en el preámbulo publicado el 3 de Diciembre de 1982.

(2) si la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento, las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento, exceden la evaporación anual, un volumen de agua igual a la diferencia entre la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento más las corrientes superficiales en el sector de

la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento y la evaporación anual, puede descargarse si se cumple con las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de esta sección.

(d)(1) Salvo lo previsto en el párrafo (d) de esta sección, no habrá descarga en aguas navegables de aguas usadas de procesos de plantas que extraen oro o plata mediante procesos de cianuración. La agencia reconoce que la eliminación de contaminantes que se descargan en aguas navegables puede dar como resultado un incremento de algunos contaminantes descargados en otras partes del medio ambiente. La Agencia ha considerado esos impactos y se ha referido a ellos en un preámbulo publicado el 3 de Diciembre de 1982.

(2) si la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento más las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento excedan la evaporación anual, un volumen de agua igual a la diferencia entre la precipitación anual que cae sobre las instalaciones de tratamiento más las corrientes superficiales en el sector de la cuenca de recepción de las instalaciones de tratamiento y la evaporación anual, puede descargarse si se cumple con las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de esta sección.

(e) Remoción y Reserva

NOTA EDITORIAL: El párrafo (b)(2) (ii) de # 440.104 publicado en 47 FR 54609, 3 de Dic. de 1982, contiene requisitos de recolección de informaciones que no serán efectivos mientras la aprobación OMB no se haya logrado.

§ 440.105 *Las limitaciones de efluente que representan el grado de reducción de efluente alcanzable mediante aplicación de la mejor tecnología convencional de control de contaminantes (BCT). (Reserva).*

EE.UU.: EJEMPLO 2.**Subsección LL - Normas de Funcionamiento para Plantas de Proceso de Minerales Metálicos**

Fuente: 49 FR 6464. Feb. 21, 1984, a menos que se anote de otra manera.

§ 60.380 Aplicabilidad y designación de la instalación afectada.

(a) Las providencias de esta subsección son aplicables a las siguientes instalaciones de plantas de proceso de minerales metálicos: cada trituradora y criba, en minas a cielo abierto; cada trituradora, criba, elevador de cangilones, punto de transferencia de cinta transportadora, secadores térmicos, estación de empaque de productos, contenedor de almacenamiento, zona cerrada de almacenamiento, estación de carga de camión, estación de descarga de camión, estación de carga de vagones ferroviarios y estación de descarga de vagones ferroviarios en la planta o en el concentrador con las siguientes excepciones: todas las instalaciones ubicadas en minas subterráneas están exentas de las providencias de esta subsección. En plantas de proceso de minerales de uranio, todas las instalaciones subsecuentes incluyendo el beneficio de mineral de uranio, están asimismo exentas de las providencias de esta subsección.

(b) Una instalación afectada por el párrafo (a) de esta sección, que inicie su construcción o su modificación después del 24 de Agosto de 1982, está sujeta a los requisitos de esta sección.

§ 60.381 Definiciones.

Todos los términos usados en esta subsección, pero no específicamente definidos en esta sección, tendrán el significado que les da la Ley y por la Subsección A de esta sección.

"Elevador de cangilones" es un dispositivo de transporte para minerales metálicos, que consiste en un cabezal y una armadu-

ra de pié que soporta y maneja una sola o una doble cadena cable sin fin o cinta a la que los cangilones van adheridos.

"Sistema de captura" es el equipo utilizado para captar y transportar materia en partículas generada por una o más instalaciones afectadas, hacia un dispositivo de control.

"Dispositivo de control" es el equipo de control de contaminación atmosférica empleado para reducir las emisiones de materia en partículas evacuada en la atmósfera por una o más instalaciones afectadas, hacia una planta de proceso de minerales metálicos.

"Punto de transferencia de cinta transportadora" es un punto en la operación de transporte donde el mineral metálico o el concentrado de mineral metálico es transferido hacia o de una cinta transportadora, excepto cuando el mineral metálico es transferido a un montón de acumulación.

"Trituradora" es una máquina utilizada para quebrar cualquier mineral metálico e incluye alimentadores o transportadores localizados inmediatamente por debajo de las superficies de trituración. Entre los tipos de trituradoras se pueden citar los siguientes, sin que la lista sea limitativa: de mandíbulas, giratorias, cónicas y molinos de martillo.

"Zona cerrada de almacenamiento" es cualquier zona cubierta por un techo bajo el cual los minerales metálicos son almacenados antes de un futuro proceso o carga.

"Concentrado de mineral metálico" es un material que contiene compuestos metálicos en concentraciones más altas que las que naturalmente se encuentran en un mineral pero que requiere un proceso adicional si se debe separar un metal puro. Un concentrado de mineral metálico contiene por lo menos uno de los siguientes metales en alguno de sus estados de oxidación y en una concentración que contribuye al valor comercial del concentrado: Aluminio, cobre, oro, hierro, plomo, molibdeno, plata, titanio, tungsteno, uranio, zinc y zircón. Esta definición no deberá ser interpretada como indicando que el material que contiene compues-

tos metálicos debe refinarse hasta llegar a un metal puro, para que el material sea considerado como concentrado de mineral metálico comprendido en las normas.

"Planta de proceso de minerales metálicos" es cualquier combinación de equipos que produce concentrados de mineral metálico a partir de mineral. El proceso de los minerales metálicos comienza con la explotación del mineral e incluye todas las operaciones ya sea hasta la obtención de concentrados húmedos o secos o de soluciones de minerales metálicos, incluyendo la carga para el transporte a instalaciones en localizaciones no adyacentes que, subsecuentemente, procesarán los concentrados metálicos en metales purificados (u otros productos) o hasta incluir todas las operaciones de transporte y de almacenamiento del material que preceden a las operaciones que producen metales refinados (u otros productos) de concentrados de minerales metálicos en instalaciones adyacentes a las plantas de proceso de minerales metálicos. Esta definición no deberá ser interpretada como indicando que la explotación del mineral se realiza para que la combinación de equipos sea considerada como una planta de proceso de minerales metálicos. (Ver también la definición de "concentrado de mineral metálico").

"Emisiones fugitivas del proceso" son emisiones de materia en partículas de una instalación afectada, que no son recolectadas por un sistema de captura.

"Estación de embalaje de productos" es el equipo usado para llenar contenedores con compuestos metálicos o con concentrados de minerales metálicos.

"Estación de carga de vagones ferroviarios" es la parte de una planta de proceso de minerales metálicos, donde los minerales metálicos o concentrados de minerales metálicos son cargados, por un sistema de transporte, en los vagones ferroviarios.

"Estación de descarga de vagones ferroviarios" es la parte de una planta de proceso de minerales metálicos donde el mineral se descarga de un vagón ferroviario a una tolva, criba o trituradora.

"Criba" es un dispositivo para la separación de material según el tamaño mediante el paso del material de tamaño inferior a través de una o más superficies de malla (tamices) en series y que retienen el material de tamaño superior en las superficies de la malla (tamices).

"Emisiones de chimenea" es la materia en partículas capturada y evacuada en la atmosfera, a través de una chimenea, tubo o conducto.

"Contenedor de almacenamiento" es una instalación para almacenamiento de minerales metálicos (incluyendo alimentadores y tolvas), antes del proceso o de la carga.

"Humedad superficial" es el agua que no está químicamente unida a un mineral metálico o a un concentrado de mineral metálico.

"Secador térmico" es una unidad en la cual el contenido de humedad superficial de un mineral metálico o de un concentrado de mineral metálico, se reduce mediante contacto directo o indirecto con una corriente de gas caliente.

"Estación de carga de camión" es la parte de una planta de proceso de minerales metálicos donde los minerales metálicos o los concentrados de minerales metálicos se cargan en el camión por un sistema de transporte.

"Estación de descarga de camión" es la parte de una planta de proceso de minerales metálicos donde el mineral metálico es se descarga de un camión en una tolva, criba o trituradora.

§ 60.382 Normas para materia en partículas.

(a) Durante y después de la fecha en la cual la ejecución de la prueba exigida por § 60.8 es llevada a cabo, ningún propietario u operador sujeto a las providencias de esta subsección provocará la descarga en la atmósfera, desde una instalación afectada, de ninguna emisión de chimenea que :

- (1) Contengan materia en partículas con un exceso de 0.05 gramos por metro cúbico seco estándar.
- (2) Presente más de 7 por ciento de opacidad, a menos que las emisiones de

chimenea sean descargadas de una instalación afectada mediante un dispositivo de control de emisión con frotadores húmedos. (b) Durante y después del sexagésimo día tras la obtención de la máxima producción de la instalación afectada, pero no después de 180 días tras el arranque inicial, ningún propietario u operador sujeto a las providencias de esta subsección ocasionará la descarga en la atmósfera, desde una instalación afectada, de ninguna emisión fugitiva de proceso que presente más de 10 por ciento de opacidad.

§ 60.383 Reconstrucción

(a) El costo del reemplazo de las superficies en contacto con el material del equipo de proceso no será considerado al calcular el "costo de capital fijo de los nuevos componentes" ni el "costo de capital fijo necesario para construir una nueva instalación comparable" en § 60.15. Las superficies de contacto con el mineral son : las placas de trituración, las mallas de cribas o tamices, las barras y las soleras, las cintas transportadoras, los baldes de elevadores y los alimentadores.

(b) En § 60.15, el "costo de capital fijo de los nuevos componentes" incluye el costo de capital fijo de todos los componentes depreciables (excepto los componentes especificados en el párrafo (a) de esta sección que son o serán reemplazados, de acuerdo con todos los programas de reemplazo de componentes comenzados en los 2 años después del 24 de Agosto de 1982.

§ 60.384 Operaciones de control

(a) El propietario o el operador contemplado en las providencias de esta subsección instalará, calibrará, mantendrá y operará un dispositivo de control para la medición continua del cambio de la presión de la corriente del gas a través del frotador, para cualquier instalación afectada que emplee un dispositivo de control de emisión de frotador húmedo. El dispositivo de control debe estar certificado por los fabricantes, que deben garantizar que es preciso entre + y - 250 pascales (+ y - 1

pulgada de agua) de medición de presión y deberá calibrarse anualmente de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes.

(b) El propietario o el operador contemplado por las providencias de esta subsección instalará, calibrará, mantendrá y operará un dispositivo de control para la medición continua de la velocidad del flujo del líquido de frotador hacia un frotador húmedo para cualquier instalación afectada que emplee cualquier tipo de dispositivo de control de emisión de frotador húmedo. El dispositivo de control debe ir certificado por los fabricantes que deben garantizar que es preciso entre + y - 5 % de la velocidad de flujo líquido del frotador diseñado y que debe calibrarse por lo menos anualmente de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes.

§ 60.385 Archivo y requisitos de informe.

(a) El propietario o el operador contemplado por las providencias de esta subsección debe realizar una prueba de funcionamiento y deberá presentar al Administrador un informe escrito de los resultados de la prueba, como se especifica en § 60.8 (a).

(b) Durante la ejecución de la prueba inicial de un frotador húmedo y por lo menos semanalmente después de ésta, el propietario o el operador deberá registrar las medidas de cambio de la presión de la corriente de gas a través del frotador y la velocidad de flujo líquido en el frotador.

(c) Después de la ejecución de la prueba inicial de un frotador húmedo, el propietario o el operador someterá informes semestrales al Administrador y cuando las medidas de pérdidas (o aumentos) de presión del frotador y la velocidad de flujo líquido difieran de más de + y - 30 % del promedio obtenido durante la prueba de funcionamiento más reciente.

(d) Los informes requeridos en el párrafo (c) serán enviados por correo en los 30 días siguientes, tras el fin del segundo y cuarto trimestre.

(e) Los requisitos de esta subsección permanecen en vigencia hasta que la Agencia apruebe las indicaciones del informe o los

medios alternativos de vigilancia de cumplimiento adoptados por tal Estado, a menos que la Agencia delegue su autoridad a un Estado de conformidad con la sección 111 (c) de la Ley. En esa caso, las fuentes afectadas en el Estado estarán exentas de la obligación de cumplir con esta subsección, a condición de que cumplan con el requisito establecido por el Estado.

(Aprobado por la Oficina de Administración y Presupuesto, bajo el número de control 2060 - 0016).

§ 60.386 Métodos de prueba y procesos.

(a) Al ejecutar las pruebas requeridas en § 60.8, el propietario u operador deberá usar como métodos de referencia y como procesos los métodos de pruebas del Apéndice A de esta sección u otros métodos y procesos como se ha especificado en esta sección, salvo lo previsto en § 60.8 (b).

(b) El propietario u operador deberá determinar el cumplimiento con las normas sobre materia en partículas § 60.382 como sigue:

(1) Deberán emplearse los métodos 5 ó 17 para determinar la concentración de materia en partículas.

El volumen de muestra para cada ronda

deberá ser de por lo menos de 1.70 dscm (60 dscf). La probeta de ensayo y el sostenedor del filtro del Método 5 pueden ser operados sin calentador si la corriente de gas por probar está a temperatura ambiente. Para corrientes de gas por encima de la temperatura ambiente, el tren de muestreo del Método 5 será operado con una probeta de ensayo y con un filtro a una temperatura ligeramente superior a la temperatura del efluente (hasta una temperatura máxima de filtrado de 121 °C (250 °F)) para impedir la condensación de agua en el filtro.

(2) Se deberán emplear el Método 9 y los procedimientos en § 60.11 para determinar la opacidad de las emisiones de chimeneas y de las emisiones fugitivas de procesos. El observador deberá leer la opacidad solamente cuando esté claro que las emisiones emanan solamente de la instalación afectada que está siendo observada.

(c) Para cumplir con § 60.385 (c), el propietario u operador deberá usar el dispositivo de control de § 60.3284 (a) y (b) para determinar la pérdida de presión de la corriente de gas a través del frotador y la velocidad de flujo líquido de frote en cualquier momento durante cada ronda de materia en partículas y deberá calcularse el promedio de tres observaciones.

II. CANADA: EJEMPLO 1

REGISTRO

SOR/77-178 25 Febrero, 1977

LEY DE PESQUERIA

Regulaciones de Efluentes Líquidos de Minería de Metales

P.C. 1977-388 24 Febrero, 1977

Su Excelencia el Gobernador General en el Concejo, por recomendación del Ministro de Pesquería y del Medio Ambiente, de acuerdo con los artículos 33 y 34 de la Ley de Pesquería, ha tenido a bien, por la presente, presentar las Normas anexadas referentes a sustancias deletereas en efluentes líquidos procedentes de minas metálicas.

NORMAS REFERENTES A SUSTANCIAS DELETEREAS EN EFLUENTES LIQUIDOS DE MINAS DE METALES

Título Abreviado

1. Estas Normas pueden ser citadas como las Normas de Efluentes Líquidos de Minería de Metales.

Interpretación

2. En estas Normas,

"Ley" es la Ley de Pesquería; (Loi)

"media aritmética" es el valor promedio de las concentraciones en muestras compuestas o simples recolectadas en el período de tiempo requerido por el artículo 7 (*moyenne arithmétique*)

"muestra compuesta" es

(a) una cantidad de efluente no diluido que consiste en un mínimo de tres volúmenes iguales de efluente o tres volúmenes proporcionales al flujo que ha sido recolectado en aproximadamente iguales intervalos de tiempo en un período de muestreo de no menos de 7 horas y no más de 24 horas o

(b) una cantidad de efluente no diluido recolectado continuamente a una velocidad igual o proporcional al flujo en un período de muestreo de no menos de 7 horas y no más de 24 horas (*échantillon composite*)

"depósito" es depositar o permitir la entrada en aguas frecuentadas por peces; (*rejeter*)

"efluente" incluye el efluente de agua de mina, el efluente de procesos de planta, el efluente de la zona de estanque de depósito de desechos, el efluente de instalaciones de tratamiento, de filtraciones y de drenaje superficial; (*effluent*)

"mina existente" es una mina que entró en producción comercial antes de la fecha de entrada en

vigencia de estas Normas y que operaba comercialmente por lo menos durante dos meses en los doce meses inmediatamente anteriores a esa fecha; (*mine existante*)

"mina en expansión" es una mina existente que ha incrementado su ritmo de producción, (*mine á production accrue*)

"punto de descarga final" es el punto mas allá del cual el operador de una mina no ejerce un control ulterior sobre un efluente; (*point de rejet final*)

"mina de oro" es una mina donde el oro producido por la mina se recupera en la zona de operación, mediante el proceso de cianuración y aporta más de 50 % del valor de la producción de la mina, (*mine d'or*)

"muestra simple" es una cantidad de efluente no diluido colectado en cualquier tiempo dado; (*échantillon pris au hasard*)

"metal" incluye antimonio, bismuto, cadmio, cobalto, cobre, cromo, oro, hierro, plomo, magnesio, mercurio, molibdeno, níquel, niobio, plata, tantalio, estaño, torio, titanio, tungsteno, uranio y zinc, (*métal*)

"efluente de planta de proceso" incluye lodos de desechos y todos los otros efluentes evacuados de una operación de planta; (*effluents des installations de préparation du minerai*)

"mina" incluye todas las minas de metal y las instalaciones utilizadas para producir o que puede producir un concentrado de metal y todas las fundiciones asociadas, las plantas de paletización, las plantas de sinterización, las refineries, las plantas de ácido y cualquier operación similar donde un efluente de la operación se combina con los efluentes de la mina y de la planta de concentración; (*mine*)

"efluente de agua de mina" es el agua bombeada o que fluye hacia el exterior de cualquier trabajo subterráneo o a cielo abierto; (*effluents d'eau minière*)

"Ministro" es Ministro del Medio Ambiente; (*Ministre*)

"mina nueva" es una mina que no ha empezado la producción comercial antes de la fecha de entrada en vigencia de estas Normas y que comienza la producción comercial en o después de esa fecha; (*mine nouvelle*)

"zona de operación" incluye toda la tierra y las obras utilizadas o que han sido empleadas en la actividad minera o de la planta y que, sin limitar la generalidad de lo anterior, incluye minas a cielo abierto, minas subterráneas, edificaciones, zonas de almacenamiento, montones activos y abandonados de rocas de desecho, zonas de estanques de depósito de desechos activos y abandonadas y

estanques de tratamiento, zonas despejadas o alteradas adyacentes a esos lugares, estructuras y zanjas, corrientes de agua o masas de agua cuyas características han sido alteradas por la actividad minera; (*chantier*)

“ritmo de producción minera de referencia” es la máxima capacidad nominal de producción diseñada y el máximo promedio anual de ritmo de producción obtenido durante la vida de operación de una mina, antes de la fecha de entrada en vigencia de estas Normas; (*rythme de production de référence*)

“mina reabierta” es una mina que reanuda su producción en o después de la fecha de entrada en vigencia de estas normas y que no ha estado en operación por más de dos meses en el período de los doce meses inmediatamente anteriores a la fecha de entrada en vigencia de estas normas (*mine remise en exploitation*)

“drenaje superficial” incluye todas las corrientes superficiales que fluyen sobre, a través o hacia afuera de la zona de operación de una mina y que están contaminadas como resultado del flujo sobre, a través o hacia afuera de la zona, (*eau de drainage superficial*)

“zona de embalse de desechos” es una zona limitada de depósito que está confinada por una construcción humana o natural o por ambas; (*dépot de steriles*)

“materia total en suspensión” es el residuo no filtrable que resulta de la operación de una mina y que está contenido en el efluente líquido de la mina; (*matière total en suspension*)

“estanque de tratamiento” es un estanque, tanque u otra zona confinada, diferente de la zona de embalse de desechos, usada para tratar un efluente; (*étang de traitement*)

“no diluido” es no tener agua añadida principalmente con fines de alcanzar los límites de depósito autorizados prescritos en el Artículo 5. (*non dilué*)

Aplicación

3. Estas Normas se aplican a cada nueva mina, mina en expansión y mina reabierta, que no sea una mina de oro.

Sustancias Prescritas como Sustancias Deletéreas

4. Para los fines del párrafo (c) de definición de “sustancia deletérea” en la subsección 33(11) de la Ley, las siguientes sustancias de la operación o de los procesos de una mina a la cual estas Normas se aplican, mediante la presente quedan prescritas como sustancias deletéreas;

- (a) arsénico;
- (b) cobre;
- (c) plomo;

- (d) níquel;
- (e) zinc;
- (f) materia total en suspensión; y
- (g) radio 226.

Depósito Autorizado de Sustancias Deletéreas

5. (1) Sujeto a estas Normas, el operador de una mina puede depositar una sustancia deletérea prescrita por el Artículo 4, si:

- (a) la media aritmética mensual de la concentración en cada efluente no diluido de la sustancia descrita en un ítem de la Parte 1 del Cuadro 1 no debe exceder la concentración en la columna I de aquel ítem y la media aritmética mensual del pH de aquel efluente, no es inferior al valor mostrado en la columna I de la Parte 2 de ese cuadro;
- (b) la concentración en una muestra compuesta de cada efluente no diluido de aquella sustancia descrita en un ítem de la Parte 1 del Cuadro 1, no excede la concentración en la columna II de ese ítem y el pH de la muestra compuesta no es inferior al valor mostrado en la columna II de la parte 2 de ese cuadro; y
- (c) la concentración en una muestra simple de cada efluente no diluido de la sustancia descrita en un ítem de la Parte 1 del Cuadro 1, no excede la concentración en la columna III de ese ítem y el pH de la muestra simple no es inferior al valor mostrado en la columna III de la Parte 2 de ese cuadro.

(2) No obstante, la subsección (1), el operador de una mina puede depositar la sustancia deletérea prescrita por el Artículo 4 en cualquier cantidad o concentración dentro de la zona de embalse de desechos designada por escrito por el Ministro.

CONDICIONES ADICIONALES DE AUTORIZACION

General

6. El operador de una mina deberá
- (a) instalar y mantener instalaciones de una calidad que permitan al Ministro dar su aprobación por escrito para muestreo y análisis de efluentes y para permitir al Ministro determinar si el operador está cumpliendo o no con los límites de depósitos autorizados prescritos por el Artículo 5;
 - (b) tomar muestras simples o muestras compuestas de cada efluente no diluido en su punto final de descarga sobre las bases regulares prescritas por el Artículo 7;
 - (c) analizar las muestras a las que se refiere el párrafo (b) en las bases regulares prescritas por el Artículo 7;
 - (d) cuando sea posible medir o en cualquier otro caso estimar el volumen de cada efluente no diluido depositado por mes en su punto de

descarga final sobre las bases regulares prescritas por el Artículo 9; y

(e) en de los 30 días después del fin de cada mes, enviar al Ministro un informe con la información prescrita por el Artículo 10, en tal forma que el Ministro pueda aprobar por escrito.

Frecuencia de Muestreo y Análisis

7. (1) Sujeto a la subsección (2), el muestreo y el análisis a que se refiere el párrafo 6 (b) y (c), deberá hacerse :

(a) una vez por semana, cuando la media aritmética de la concentración en un efluente no diluido de una sustancia descrita en un ítem del Cuadro 2 en los seis meses inmediatos precedentes, fue igual o superior a la media aritmética establecida en la columna I de ese ítem;

(b) una vez cada dos semanas, cuando la media aritmética de la concentración en un efluente no diluido de una sustancia descrita en un ítem del Cuadro 2 en los seis meses inmediatos precedentes, fue igual o superior a la media aritmética establecida en la columna II de aquel ítem, pero inferior a la establecida en la columna I de aquel ítem;

(c) una vez al mes, cuando la media aritmética de la concentración en un efluente no diluido de una sustancia descrita en un ítem del Cuadro 2 en los seis meses inmediatos precedentes, fue igual o superior a la media aritmética establecida en la columna III de aquel ítem, pero inferior a la establecida en la columna II de aquel ítem;

(c) una vez cada seis meses, cuando la media aritmética de la concentración en un efluente no diluido de una sustancia descrita en un ítem del Cuadro 2 en los seis meses inmediatos precedentes, fue inferior a la media aritmética establecida en la columna III de aquel ítem; y

(e) una vez por semana durante los primeros seis meses de la operación de una mina.

(2) El muestreo y el análisis de un efluente no diluido para determinar su nivel de pH deberá hacerse :

(a) una vez por semana, cuando el pH del efluente no diluido sea inferior a 5.0 en cualquier momento, en los seis meses inmediatos precedentes;

(b) una vez cada dos semanas, cuando el pH del efluente no diluido se sitúe entre 5.0 y 5.5 en cualquier momento, en los seis meses inmediatos precedentes;

(c) una vez al mes, cuando los párrafos (a) o (b) no se aplican; o

(d) una vez por semana durante los primeros seis meses de operación de una mina.

Métodos Analíticos de Prueba

8. (1) Para los fines del Artículo 5, la concentración en el efluente no diluido de una sustancia descrita

en la columna I de un ítem de la Cláusula 3, deberá ser determinado usando:

(a) el método de prueba a que se refiere la columna II de ese ítem modificado por las instrucciones de las columnas III y IV, para proceso y preservación de muestra respectivamente; o
(b) cualquier otro método aprobado por escrito por el Ministro cuyos resultados puedan ser confirmados por el método a que se refiere el párrafo (a).

(2) Para los fines del Artículo 5, el pH del efluente no diluido deberá ser determinado usando:

(a) el método de prueba prescrito por la sección 221 de la publicación "Métodos Estándar para el Examen del Agua y de Aguas usadas", 13ava Edición (1971), publicado conjuntamente por la Asociación Americana de Salud Pública, American Water Works Association y la Federación de Control de Contaminación del Agua; o

(b) cualquier otro método, aprobado por escrito por el Ministro, cuyos resultados puedan ser confirmados por el método a que se refiere el párrafo (a).

Medida de Flujo

9. La medida o la estimación del volumen del efluente no diluido a que se refiere el párrafo 6(d) se hará mensualmente, a menos que la más baja frecuencia de muestreo y de análisis prescrita por la subsección 7(1) sea cada seis meses, en cuyo caso la medida o estimación se hará cada seis meses.

Informe

10. El informe al que se refiere el párrafo 6(e), deberá contener la siguiente información con respecto al mes sobre cual es hecho el informe:

(a) la media aritmética de la concentración (en miligramos por litro o picocuries por litro), de las sustancias deletéreas en cada efluente no diluido depositado y la media aritmética del pH del efluente no diluido depositado;

(b) la concentración de las sustancias deletéreas en todas las muestras usadas para determinar la media aritmética de las concentraciones a que se refiere el párrafo (a);

(c) el pH de todas las muestras usadas para determinar la media aritmética del pH a que se refiere el párrafo (a);

(d) el volumen (en galones Imperiales por mes) de cada efluente no diluido depositado; y

(e) el tipo de colección de muestra (compuesta o simple) usado para cada efluente depositado.

Derogaciones a las Condiciones Adicionales

11. Cuando el operador de una mina establece, a la satisfacción del Ministro, que por razones científicas y técnicas un esquema de muestreo y un aná-

lisis, una medición o una estimación o un informe a intervalos que no correspondan a los que se refieren las secciones 7, 8, 9 y 10, son suficientes para permitir al Ministro determinar si el operador está cumpliendo o no con los límites de depósitos autorizados prescritos por el Artículo 5, el Ministro puede permitir por escrito al operador :

(a) tomar y analizar muestras de cada efluente no diluido, de acuerdo con el esquema, sobre

una base regular especificada en el permiso.
 (b) medir o estimar el volumen de cada efluente, de acuerdo con el esquema, sobre una base regular especificada en el permiso o
 (c) informar al Ministro, en concordancia con el esquema, sobre una base regular especificada en el permiso, no se aplican al operador las secciones 7, 8, 9 y 10 si él cumple con el esquema sobre la base regular especificada en el permiso.

CUADRO 1
PARTE 1

NIVELES AUTORIZADOS DE SUSTANCIAS

Item	Sustancia	Columna I Concentración Máxima Autorizada Media Aritmética Mensual	Columna II Concentración Máxima Autorizada en una Muestra Compuesta	Columna III Concentración Máxima Autorizada en una Muestra Tomada al Azar
1	Arsénico	0.5 mg/L	0.75 mg/L	1.0 mg/L
2	Cobre	0.3 mg/L	0.45 mg/L	0.6 mg/L
3	Plomo	0.2 mg/L	0.3 mg/L	0.4 mg/L
4	Níquel	0.5 mg/L	0.75 mg/L	1.0 mg/L
5	Zinc	0.5 mg/l	0.75 mg/L	1.0 mg/L
6	Total de Materia en Suspensión	25.0 mg/L	37.5 mg/L	50.0 mg/L
7	Radio 226	10.0 pCi/L	20.0 pCi/L	30.0 pCi/L

NOTA: Las concentraciones se dan como valores totales, con la excepción del radio 226, que es un valor disuelto después de la filtración de la muestra a través de un filtro de 3 micrones.

PARTE 2

NIVELES AUTORIZADOS DE pH

Parámetro	Columna I pH Mínimo Autorizado Media Aritmética Mensual	columna II pH Mínimo Autorizado en una Muestra Compuesta	Columna III pH Mínimo Autorizado en una Muestra Tomada al Azar
pH	6.0	5.5	5.0

CUADRO 2

DETERMINACION DE LA FRECUENCIA CON LA CUAL EFLUENTES NO DILUIDOS SERAN MUESTREADOS Y ANALIZADOS POR SUSTANCIAS PARTICULARES

Item	Sustancia	Columna I Por lo Menos Semanalmente si la Concentración es Igual o Superior a	Columna II Por lo Menos Cada dos Semanas si la Concentración es Igual o Superior a	Columna III Por lo Menos Mensualmente si la Concentración es Igual o Superior a
1	Arsénico	0.5 mg/L	0.2 mg/L	0.10 mg/L
2	Cobre	0.3 mg/L	0.1 mg/L	0.05 mg/L
3	Plomo	0.2 mg/L	0.1 mg/L	0.05 mg/L
4	Níquel	0.5 mg/L	0.2 mg/L	0.10 mg/L
5	Zinc	0.5 mg/L	0.2 mg/L	0.10 mg/L
6	Total de Materia en Suspensión	25.0 mg/L	20.0 mg/L	15.0 mg/L
7	Radio 226	10 pCi/L	5.0 pCi/L	2.5 pCi/L

NOTA: Todas las concentraciones dadas son valores totales con la excepción del Radio 226, que es un valor disuelto después de filtrar la muestra a través de un filtro de 3 micrones. El radio 226 debe medirse solamente cuando haya mineral radioactivo.

CUADRO 3

METODOS ANALITICOS DE PRUEBA PARA LA DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE SUSTANCIAS EN EFLUENTES LIQUIDOS

Item	Columna I Sustancia	Columna II Método de Prueba	Columna III Procedimiento	Columna IV Preservación de Muestra	Columna V Referencias *
1.	Arsénico	Colorimétrico	HNO3 - H2SO4 digestión seguida por la reacción con AsH3 con dietilditiocarbato de plata	A pH 1 con HNO3	1
2.	Cobre	Absorción Atómica Espectrofotometría	La muestra es digerida con HCL-HNO3 antes del análisis	A pH 1 con HNO3	2, 3, 4
3.	Plomo	"	"	"	2, 3, 4
4.	Níquel	"	"	"	2, 3, 4
5.	Zinc	"	"	"	2, 3, 4
6.	Radio 226	Emanación de Radón	Contando para Ra 222 Filtrado a través de Whatman GF/C o equivalente. Secado en horno a 105°C para no perder más peso		5
7.	Total de materia en suspensión	Gravimétrica			1

* 1. Asociación Americana de Salud Pública (APHA), "Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas usadas". 13ava Edición (1971).
 2. Métodos en Geoquímica y Geofísica: Absorción Atómica, Espectrofotometría en Geología. E. A. Angino y G. Billings, American Elsevier Publishing Company Inc. 1967.

3. Espectrofotometría de Absorción Atómica, 2a Edición W. T. Elwell y J.A.F. Gidley, Pergamon Press 1966.
 4. Espectroscopia de Absorción Atómica, Walter Slavia, John Wiley & Sons Inc. 1968.
 5. Lucas H.F. Review of Scientific Instruments 28 page 680 (1957).

CANADA: EJEMPLO 2.

DEPARTAMENTO DEL MEDIO AMBIENTE

Las siguientes directivas son expedidas bajo la autoridad del Ministro de Pesquería y del Medio Ambiente. La intención de estas directivas es de controlar la descarga de los efluentes líquidos de las minas existentes de minerales de metales básicos, uranio y hierro de manera similar a las "Normas de Efluentes Líquidos de Minería de Metales", SOR/77 - 178 que se aplica a minas nuevas, expandidas y reabiertas, de minerales de metales básicos, uranio y hierro, tal como han sido publicadas en la Parte II de la edición del 9 de Marzo de la Gaceta de Canadá.

DIRECTIVAS PARA LA MEDICION DE LETALIDAD AGUDA EN EFLUENTES LIQUIDOS DE MINAS DE METALES

Introducción

1. Estas Directivas pueden considerarse como las Directivas para la Medición de Letalidad Aguda en Efluentes Líquidos de Minas de Metales.

Estas Directivas no deben ser interpretadas como normas hechas bajo la autoridad de el Artículo 33 de la Ley de Pesquería.

Interpretación

2. En estas Directivas, "Muestra Compuesta", "Efluente", "Depósito", "Mina de Oro", "Metal", "Mina", "Ministro" y "No Diluido" tienen el significado definido en las "Normas de Efluentes Líquidos de Minería de Metales".

Aplicación

3. Estas Directivas se aplican a cada Mina de Metal excepto a minas de oro.

Objetivo

4. Para los fines de estas Directivas, el objetivo para cada efluente, no diluido, depositado es que no más del 50 % de los peces mueran dentro de las 96 horas en una muestra compuesta cuando es sometida a prueba, de acuerdo al procedimiento descrito como el Procedimiento de Prueba de Evaluación Final para Letalidad Aguda, llamada Prueba a Través de Flujo (Flow Through Test), establecido en la Cláusula I.

Control

5. Un Operador de Mina debe llevar a cabo una prueba de letalidad aguda en una muestra compuesta de cada efluente, no diluido, depositado o hacer que estas pruebas sean llevadas a cabo bajo su patrocinio, cada tres meses, de acuerdo con el

procedimiento de prueba descrito como Procedimiento de la Prueba de Precontrol para Letalidad Aguda (Prueba Estática) establecido en la Cláusula II.

Informe

6. Un operador de mina deberá enviar puntualmente al Ministro, después del final del período de cada tres meses, un informe indicando:

(i) los siguientes resultados de las pruebas de letalidad aguda de cada efluente depositado:

(a) la fecha y el período de tiempo de recolección de la muestra compuesta;

(b) los detalles de transporte y de almacenamiento de la muestra;

(c) la fecha y la hora en que comenzó la prueba;

(d) el número de peces muertos observados en los recipientes de la prueba y de control para los tiempos de exposición detallados en el procedimiento de prueba usado;

(e) el porcentaje de mortalidad de los peces expuestos a la muestra de la prueba y al agua de control al terminar la prueba;

(f) cualquiera otra información que el propietario pueda considerar de utilidad para la interpretación de los resultados de la prueba;

(ii) Cualquiera otra información que el Ministro pueda requerir.

Modificación Aceptable del Control e Informe

7. Cuando el operador de una mina establece, a satisfacción del Ministro que, por razones científicas y técnicas un esquema de muestreo y de prueba o un informe a frecuencias que no correspondan a las consideradas en los Artículos 5 y 6, es suficiente para permitir al Ministro determinar si el operador está cumpliendo con los objetivos trazados en el Artículo 4, el Ministro puede indicar por escrito que es aceptable que el operador

(a) tome o haga pruebas con muestras de cada efluente no diluido de acuerdo con el esquema;

(b) informe al Ministro de acuerdo con el esquema.

CLAUSULA 1

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE EVALUACION FINAL PARA LETALIDAD AGUDA PRUEBA A TRAVES DE UN FLUJO DE 96 HORAS (96-HOUR FLOW THROUGH TEST)

(Ordinariamente llevado a cabo por el Ministro para los fines del Artículo 4)

1. Para los fines de esta Cláusula, las partes aplicables de APHA (Métodos Estándar para el Examen de Agua y de Aguas usadas, 13ava Edición (1971),

publicada conjuntamente por la Asociación Americana de Salud Pública, American Water Works Association y la Federación de Control de Contaminación de Aguas), sección 231, deberían utilizarse como base para este procedimiento de prueba excepto lo modificado en esta cláusula.

2. Las truchas irisadas (*Salmo gairdneri* Richardson) serán empleadas como especies de prueba.

3. Solamente se usarán lotes saludables, estandarizados de truchas irisadas.

4. Cada prueba debe emplear 3 recipientes de prueba de peces expuestos al efluente y 3 recipientes de prueba de peces de control. Deben utilizarse treinta peces en cada uno de los efluentes por exponer y en los del grupo de control.

5. Una evaluación final de letalidad aguda es invalidada si ocurre mortalidad en el grupo de control durante la prueba. La mortalidad en el lote de peces empleado para la prueba no debe exceder el uno por ciento por día en los siete días que preceden la prueba.

6. Por cada gramo de pez, debe haber por lo menos dos litros de solución fresca de prueba cada 24 horas. La profundidad mínima de agua en cualquier recipiente de prueba debe ser de 10 centímetros. El volumen mínimo de solución en el recipiente de prueba debe ser de 200 centímetros cúbicos por gramo de pez.

7. Se necesitan flujos a través de las pruebas de letalidad aguda. Se requiere un mínimo de 90 % de reemplazo molecular de la solución en los recipientes de prueba en cada período de 8 horas durante la prueba.

8. En cualquier prueba, los peces individuales deben pesar entre 0.5 y 10 gramos y la longitud de los peces más grandes no debería ser más de dos veces la de los más pequeños.

9. La prueba debe ser conducida a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10. Cuando los contenedores de los efluentes deben ser retenidos o transportados, deben estar completamente llenos para eliminar el aire y guardados herméticamente cerrados hasta el momento de la prueba. Una muestra de efluente puede ser retenida hasta 5 días después del momento de su recolección antes que la prueba se inicie.

11. Solamente puede aplicarse la cantidad de oxigenación o de aeración requerida para mantener un nivel de oxígeno disuelto de 8 mg/L o superior, medido en el efluente y en los tanques de control. La aeración o la oxigenación debe ser llevada a cabo en un punto entre los recipientes de prueba y el contenedor de almacenamiento.

12. El efluente de las operaciones que descargan solamente agua fresca en sus efluentes, ya sea que estos descarguen tierra adentro o en aguas marinas, debe ser puesto a prueba con trucha irisada de agua fresca. Para efluentes que contienen agua de mar, la Agencia Normativa determinará una

especie apropiada de pez de prueba. Cualquier pez de prueba debe ser mantenido en agua de mar de la misma salinidad que el efluente por probar. La solución de control debe tener la misma salinidad que la del efluente.

13. Inmediatamente antes del comienzo de la prueba, debería medirse el pH del efluente. Si se encuentra que está fuera de la gama de 6.0 - 9.5, el pH puede ser ajustado. Los efluentes ácidos serán ajustados en un pH inicial de 6 - 7; los efluentes básicos serán ajustados en un pH inicial de 8 - 9.

14. Las muestras de efluente deben ser puestas a prueba en su concentración total, sin ninguna dilución.

15. El número de peces muertos en cada recipiente de prueba deberá ser observado y registrado aproximadamente a 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 24, 72 y 96 horas después del comienzo del bioensayo. Los peces son considerados muertos cuando, con un leve empuje mecánico con una varilla de vidrio no hay movimiento visible de respiración o algún otro movimiento manifiesto. Tan pronto como el pez es considerado muerto, habría que retirarlo del recipiente de prueba con una red de inmersión.

CLAUSULA II

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE PRECONTROL PARA LETALIDAD AGUDA (PRUEBA ESTÁTICA DE 96 HORAS)

(Para ser llevado a cabo por o para, el Operador de Mina para los fines del Artículo 5)

1. Para los fines de esta Cláusula, las partes aplicables de APHA (Métodos Estándar para la Examen de Agua y Aguas usadas, 13ava Edición (1971), publicada conjuntamente por la Asociación Americana de Salud Pública, American Water Works Association y la Federación de Control de Contaminación de Agua), sección 231, deberían utilizarse como base para este procedimiento de prueba excepto lo modificado en esta cláusula.

2. La trucha irisada (*Salmo gairdneri* Richardson) se recomienda como el organismo estándar de prueba.

3. Solamente se emplearán lotes saludables de peces.

4. Cada prueba de precontrol debería emplear un mínimo de diez peces expuestos al efluente y diez peces de control.

5. Una prueba de precontrol es invalidada si ocurre mortalidad en el grupo de control durante la prueba. La mortalidad en el lote de peces empleado para la prueba no debería exceder el uno por ciento por día en los siete días que preceden a la prueba.

6. Por cada gramo de pez, debe haber por lo menos dos litros de solución de prueba por ensayo. La profundidad mínima de agua en cual-

quier recipiente de prueba debe ser de 10 centímetros.

7. Las pruebas de precontrol de letalidad aguda deberían realizarse de manera estática. La solución en el efluente y en los tanques de control no debería cambiarse durante el curso de la prueba.

8. En cualquier prueba, los peces individuales deben pesar entre 0.5 y 10 gramos y la longitud de los peces más grandes no debe ser más del doble de los más pequeños.

9. La prueba debe ser realizada a 15 ± 0.5 °C.

10. Cuando los contenedores de los efluentes deben ser retenidos o transportados deben estar completamente llenos para eliminar el aire y guardados herméticamente cerrados hasta el momento de la prueba. Una muestra de efluente puede ser retenida hasta 5 días después del momento de recolección, antes que la prueba se inicie.

11. Solamente tiene que aplicarse la cantidad de oxigenación o de aereación requerida para mantener un nivel de oxígeno disuelto de 8 mg/L o superior, medido en el efluente y en los tanques de control. La aereación o la oxigenación debe llevarse a cabo en los recipientes de la prueba.

12. El efluente de las operaciones que descargan en tierra adentro o en aguas marinas, deber ser ensayado con peces de agua fresca. Para efluentes que contienen agua de mar, deberían emplearse peces de agua de mar de la misma salinidad, que

en la prueba. La solución de control debería tener la misma salinidad que la que se debe usar para la prueba. La solución de control debe tener la misma salinidad que el efluente. La Agencia Normativa debe ser consultada para determinar una especie apropiada de pez de prueba para efluentes que contengan agua de mar.

13. Inmediatamente antes del comienzo de la prueba, debería medirse el pH del efluente. Si se encuentra que está fuera de la gama de 6.0 - 9.5, deberían efectuarse dos pruebas: una en el efluente como fue recibido y otra con el efluente ajustado a neutro como sigue: los efluentes ácidos serán regulados en un pH inicial de 6 - 7, los efluentes básicos serán regulados en un pH inicial de 8 - 9.

14. Las muestras de efluente deben ser puestas a prueba a su concentración total sin ninguna dilución.

15. El número de peces muertos en cada recipiente de prueba debe ser observado y registrado aproximadamente a 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 24, 72 y 96 horas después del comienzo del bioensayo. Los peces son considerados muertos cuando con un leve empuje mecánico con una varilla de vidrio no se produce movimiento visible de respiración o algún otro movimiento manifiesto. Tan pronto como el pez es considerado muerto, habría que retirarlo del recipiente de prueba con una red de inmersión.

CENTRO DE ACTIVIDADES DEL PROGRAMA DE INDUSTRIA Y MEDIO AMBIENTE DEL PNUMA

Acerca del CAP/IMA del PNUMA

Se estableció en París en 1975 con el propósito de reunir a la industria y al gobierno para que promuevan un desarrollo industrial atinado. Sus objetivos son : 1) estimular la incorporación de criterios ambientales en los planes de desarrollo industrial, 2) facilitar la implantación de procedimientos i principios para la protección del medio ambiente, 3) promover el uso de tecnologías seguras y "limpias" y 4) estimular el intercambio de información y experiencias en todo el mundo.

El CAP/IMA proporciona acceso a información práctica y prepara la adopción de medidas cooperativas en el lugar de producción y el intercambio de información con el apoyo de seguimiento y evaluación periódicos. Para promover la transferencia de información el CAP/IMA ha creado tres instrumentos complementarios : pautas y análisis técnicos ; análisis de "Industria y medio ambiente", y un servicio de preguntas y respuestas técnicas. De conformidad con la importancia que da a la cooperación, el CAP/IMA facilita la transferencia de tecnología y el uso de prácticas para salvaguardar el medio ambiente, merced al fomento de la toma de conciencia y la interacción, actividades de capacitación y estudios de diagnóstico.

Algunas publicaciones recientes

Industry and Environment Review (trimestral), ISSN 0378-9993. Trata temas como : la gestión de los residuos peligrosos, los accidentes tecnológicos, la auditoría

ambiental, problemas específicos en función de las industrias, noticias sobre el medio ambiente.

Environmental Aspects of the Metal Finishing Industry : A Technical Guide (Technical Report Series N°. 1), ISBN 92 807 12160, 91 p., 1989.

Environmental Auditing (Technical Report Series N°.2), ISBN 92 807 12535, 125P., 1990.

Storage of Hazardous Materials : A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials (Tecnical Report Series N°.3) ISBN 92 807 12381, 80p., 1990.

Directory of Information Sources on Air and Water Pollution - INFOTERRA/CAP/IMA, ISBN 92 807 12330, 387p., 1989.

Manual de Auditoría y de Reducción de Emisiones Industriales y de Desechos Series de Informes Técnicos N° 7, ISBN 92 807 1303 5, 127p, 1991.

APELL - Concientización y Preparación para Responder a los Accidentes Tecnológicos, ISBN 92 807 11830, 62p,1988.

Principios y estrategias sobre residuos peligrosos : manual de formacion - Informe tecnico N° 10. ISBN 92 807 1316 7, 1992.

Directrices : ordenacion de los parques nacionales y zonas protegidas para el turismo - Informe tecnico N° 13 (Publicacion conjunta OMT/PNUMA "Turismo y medio ambiente"). ISBN 92 844 0025 2, 53 p., 1992.

Achévé d'imprimer le 18 août 1994
sur les presses de l'Imprimerie ROSAY
47, avenue de Paris 94300 VINCENNES
Tél. : 43.28.18.63
Dépôt légal N° 24012



PNUMA

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS
PAR EL MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ACTIVIDAD DEL PROGRAMA
INDUSTRIA Y MEDIO AMBIENTE
(CAP/IMA)

39-43 QUAI ANDRÉ CITROËN
75739 PARIS CEDEX 15 - FRANCE
TEL : 33 (1) 44 37 14 50
TLX : 204997F
FAX 33 (1) 44 37 14 74

