

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

**PRIMER SEMINARIO NACIONAL
MINERO - AMBIENTAL**

TOMO II

1991

**PRIMER SEMINARIO NACIONAL
MINERO - AMBIENTAL**

2114
(1114-213)

**MEMORIAS
TOMO II**

MARZO 13, 14 y 15 de 1.991

Lugar: Club de Empleados Oficiales (Bogotá)



**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
DIRECCION GENERAL DE MINAS
DIVISION DE SEGURIDAD E HIGIENE MINERA**



MINERALCO S.A.

**MINERALES DE COLOMBIA S.A.
SUBGERENCIA DE PLANEACION**

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
Y
MINERALES DE COLOMBIA S.A.



I SEMINARIO NACIONAL MINERO-AMBIENTAL
MARZO 13, 14 y 15 de 1.991
Bogotá, D.E. Colombia

ENTIDADES PATROCINADORAS

Asociación Colombiana de Mineros
Carbocol S.A.
Carbonorte
Cementos del Caribe
Cementos del Valle
Cementos Diamante S.A.
CEPAL
Corponariño
Corponariño - GTZ (Alemania)
Embajada de Canadá
Embajada de Francia
Empresa Nacional de Minería (Chile)
Instituto Colombiano de Energía Eléctrica
Intercor

PERSONAL DIRECTIVO

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

Ministro de Minas y Energía: Dr. Luis Fernando Vergara Munarriz
Viceministro: Dr. Amílkar Acosta Medina
Secretario General: Dr. Abraham Romero Ariza
Director General de Minas: Dr. Luis Fernando Tamayo T.

Alfredo Gil Vargas

NOTA: Las ponencias que se incluyen en las Memorias del Seminario son reproducción directa de los originales presentados por sus autores. El Comité Ejecutivo no asume responsabilidad, por las deficiencias que puedan presentar dichos documentos.

C O N T E N I D O

- 1.- **VERGARA MUNARRIZ, Luis Fernando**
Ministro de Minas y Energía . Palabras de Instalación del I Seminario Nacional Minero-Ambiental .
- 2.- **HENTSCHEL, Thomas y PRIESTER, Michael**
Problemas ambientales por la amalgamación y soluciones técnicas, para la pequeña minería .
- 3.- **HERMELIN, Michel**
Geomorfología, Medio Ambiente y Minería .
- 4.- **HILL, Patrick**
Environmental Aspects of Coal Handling and Storage at Coal Terminals .
- 5.- **LOPEZ JIMENO, Carlos**
Control de las vibraciones y onda aérea producidas por voladuras .
- 6.- **LOPEZ JIMENO, Carlos**
Diseño, construcción y restauración de escombreras y presas de residuos .
- 7.- **LOPEZ JIMENO, Carlos**
Restauración de canteras y minas a cielo abierto a través de un diseño mas racional .
- 8.- **O'BRIEN, John M.**
La estrategia chilena de conservación ambiental en el sector minero para la década de los 90 .
- 9.- **SAAVEDRA HOLGUIN, Eduardo León**
Estimativo de emisiones en una explotación de carbón a cielo abierto .
- 10.- **SANZ GUERRERO, Rolando**
Métodos modernos de beneficio del oro

INSTALACION DEL I SEMINARIO NACIONAL MINERO AMBIENTAL

PALABRAS DEL SEÑOR MINISTRO DE MINAS Y ENERGIA

DR. LUIS FERNANDO VERGARA MUNARRIZ

Bogotá, marzo 13 de 1991

A nombre del Gobierno Nacional quiero dar la más cordial bienvenida a todos los participantes en el "**Primer Seminario Nacional Minero-Ambiental**" y a la vez expresarles mis mejores votos para que de este trascendental evento surjan importantes recomendaciones para la minería. Esta actividad en los últimos tiempos ha generado valiosos recursos y ha contribuido significativamente al progreso de la Nación.

Colombia cuenta con un importante patrimonio minero y una larga tradición en la explotación de metales preciosos, carbón, calizas, hierro, ferroníquel, materiales de construcción y numerosos minerales industriales. En Colombia, de acuerdo con los resultados del Censo Nacional Minero de 1989, se explotan 36 minerales diferentes en 8.235 minas.

De las unidades de explotación minera con que cuenta el país, 4.733, un 57%, se encuentran concentradas alrededor del oro en los departamentos de Antioquia, Chocó y Nariño y 1.258 (el 15%) son de carbón en Boyacá y Cundinamarca, principalmente. Generan 90.278 empleos directos y más de 900.000 indirectos. La producción minera ha venido evolucionando vertiginosamente para satisfacer las necesidades de los mercados interno y externo. Es así como durante la pasada década el sector minero, que incluye hidrocarburos, creció más de 18% promedio anual, y constituye hoy el 4.7% del producto interno bruto y el 49% de las exportaciones del país. De esto cerca de la mitad corresponde al sector minero propiamente dicho. Estas cifras señalan en forma esquemática la importancia creciente del sector.

El sector minero-energético es el principal aportante en la diversificación

a respaldar la obtención de nuevos créditos externos, que en buena medida son requeridos para el mismo desarrollo sectorial.

Este tiene grandes perspectivas a mediano y largo plazo para competir en el mercado internacional, en especial en el campo de los energéticos. El potencial de reservas carboníferas asciende a 6.503 millones de toneladas, y su desarrollo en los últimos años se ha hecho notorio. La puesta en marcha de nuevos proyectos como los de La Loma, La Jagua de Ibirico, Calenturitas y El Descanso, en el departamento de Cesar y San Luis en Santander, requerirá mejorar y construir nueva infraestructura portuaria para afianzar así la posición del país en el mercado internacional de este producto que reportará a la economía nacional nuevos recursos. Esto implica que para fines del siglo se podría llegar a un volumen de exportaciones superior a los 40 millones de toneladas, triplicando las exportaciones actuales.

Si bien disponemos de información sobre las reservas de carbón y de hidrocarburos, no sucede lo mismo con las de otros minerales. El desconocimiento geológico de los recursos es un factor negativo para el desarrollo minero en la medida en que la capacidad de aprovechamiento de los recursos minerales depende del conocimiento logrado acerca de la conformación geológica y del cálculo de reservas de los depósitos. Según muchos expertos, en Colombia existe un gran potencial minero aún no descubierto.

Por otra parte, según datos del mismo Censo Nacional Minero, sólo el 10% de las minas en Colombia se pueden clasificar en la categoría de minería formal, y cerca del 70% son pequeñas explotaciones que se realizan con técnicas rudimentarias. Esto se traduce en aprovechamiento irracional de los recursos minerales y deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente.

Es preocupante observar la falta de conciencia sobre el significado que tiene para el país y para la humanidad misma la conservación del medio ambiente. Las explotaciones aluviales realizadas en forma antitécnica son la causa de uno de los mayores daños ecológicos que representan pérdidas

materiales para la economía del país.

Se estima, con base en la producción de oro, que se están procesando 70 millones de metros cúbicos de material al año, que directa o indirectamente llegan como sedimentos a los ríos. Se suma a esto las considerables cantidades de mercurio que se escapan en las aguas en los procesos de concentración del oro.

Igualmente, no son menos despreciables los efectos que sobre los asentamientos urbanos y el medio ambiente de las ciudades puede ocasionar la explotación de las canteras, que según el Censo Minero llegan a 1.047 unidades de explotación.

La conservación ambiental es una necesidad que se encuentra atendida sólo parcialmente: hay proyectos mineros en los cuales los efectos de las explotaciones sobre los componentes ambientales han sido previstos y realizan controles con el desarrollo del proyecto mismo; otros, de acuerdo con las disposiciones mineras empiezan a incorporar a su actividad la variable ambiental. Los más abundantes son las explotaciones mineras totalmente irracionales y cuyos efectos nocivos sobre los ecosistemas demandan grandes inversiones al Estado, y en algunos casos hasta con secuelas sobre la salud humana, y que constituyen motivo de especial preocupación para el Ministerio.

El Ministerio, a través de convenios con sus propias entidades, INGEOMINAS y MINERALCO S.A., promueve la implantación de nuevos modelos de aprovechamiento del oro, basados en un mejor conocimiento del yacimiento en cuanto a profundidad, forma del aluvión, tenores, áreas ricas y marginales, y características físicas de los terrenos.

Es así como se han iniciado proyectos de gran importancia, financiados con recursos del Fondo de Fomento de Metales Preciosos que comprenden, en primer lugar, la evaluación de áreas específicas para disminuir el riesgo de inversión normalmente asociado a este tipo de explotaciones, y en segundo, la prestación de la asistencia necesaria para armonizar los sistemas de explotación y de beneficio utilizados actualmente. Se evita así

la subutilización de las maquinarias de arranque y acarreo del material, normalmente sobredimensionadas y acopladas a deficientes sistemas de recuperación, que se traducen en pérdidas de hasta el 40% del mineral, y en excesivo uso del mercurio con la consecuente contaminación de ríos y lagunas, cuya concentración supera los límites permisibles en las zonas auríferas.

En este campo, el Ministerio ha alcanzado grandes logros en la descontaminación de cianuro y mercurio en las corrientes de agua que abastecen algunos acueductos llevando a cabo un control de las explotaciones y la divulgación de métodos de recuperación y amalgamación no contaminantes. Otros métodos que se han venido difundiendo son los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales con la construcción de presas de decantación, métodos de explotación como el retrolleado de excavaciones y la rehabilitación de los terrenos afectados.

Para el Bajo Cauca Antioqueño se han definido alternativas de manejo minero-ambiental y como producto de este trabajo se organizará el Centro Integrado de Asesoría Minera (CIAM) con sede en Cauca, que con una inversión de 170 millones de pesos se encargará de adelantar cuatro subprogramas básicos: asistencia técnica, protección de recursos naturales, formación empresarial y salud ocupacional. Será esta una experiencia fundamental para comprobar cómo la toma de conciencia sobre los problemas del país, unida a la decisión de la autoridad legítima de hacer respetar la Ley, tienen un efecto altamente positivo en el control de la degradación ambiental.

Paralelamente se ha diseñado un plan de control y manejo ambiental que incluye la asesoría del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Su objetivo fundamental es conseguir el apoyo económico de cerca de 10 millones de dólares para desarrollar e implementar tecnología minera económicamente atractiva y compatible con el medio ambiente. Así mismo, desarrollar programas de manejo ambiental concordantes con la actividad minera y restaurar y rehabilitar las zonas afectadas.

La histórica Conferencia de Estocolmo en 1972 sobre medio ambiente humano,

ha desempeñado un papel de enorme trascendencia para crear conciencia sobre este tema y llevó al Gobierno Nacional a establecer políticas ambientales, normas y disposiciones legales y la creación de organismos especializados para implementarlas.

Es así como el Ministerio de Minas y Energía, ante la imperiosa necesidad de preservar el medio ambiente, incorporó dentro de su estructura administrativa (Ley 1a. de 1984) la Sección de Protección del Medio Ambiente, dependiente de la Dirección General de Minas, con el fin de seguir más de cerca esta problemática y encontrar soluciones reales y factibles para contrarrestar los efectos negativos y potencializar aquellos denominados positivos que genera el proceso de actividades mineras.

Ha sido preocupación constante en los últimos gobiernos, y en especial del Ministerio de Minas y Energía, propender por la protección y conservación de los recursos naturales de Colombia. Desde años atrás han sido adoptadas medidas tendientes a minimizar las consecuencias ecológicas de las explotaciones mineras y las alteraciones ambientales que la misma pueda traer si éstas no se realizan en forma racional.

Para lograr este objetivo hemos venido coordinando, con los diferentes organismos que a nivel nacional y regional tienen competencia en materia ambiental, las acciones necesarias para desarrollar e implementar una gestión ambiental coherente.

La Junta del Acuerdo de Cartagena, consciente de realizar un esfuerzo permanente para lograr la implementación de políticas conjuntas que permitan contribuir a la solución de la problemática minera andina, ha estructurado el Programa Andino de Minería (PAM). Este considera, entre sus actividades principales, hacer un diagnóstico subregional sobre el daño ambiental causado por la minería, para la adopción de políticas conjuntas de protección al medio ambiente. Dicha acción demanda una amplia coordinación entre las autoridades de los países miembros, así como su participación en el proyecto diseñado por el Science Policy Research Unit (SPRU) de la Universidad de Sussex, Inglaterra, que tratará el tema de la contaminación ambiental derivada de la minería y del procesamiento de

minerales en los países en desarrollo. Dicho proyecto tiene como objetivo general investigar la magnitud de las influencias políticas, sociales y económicas de las regulaciones ambientales, así como determinar el comportamiento de las empresas y las respuestas políticas y de innovación tecnológica a dichas regulaciones, en la que participarán países del Grupo Andino, entre ellos Colombia.

Con lo anterior se pretende obtener un diagnóstico subregional sobre la problemática ambiental relacionada con la actividad minera, que permitirá diseñar alternativas tanto técnicas como institucionales y elaborar las propuestas para adopción de políticas y diseño de estrategias, con el fin de preservar el medio ambiente y los recursos naturales.

El Ministerio requiere de la colaboración de las autoridades municipales, centros educativos y empresas mineras, con el fin de encontrar el equilibrio entre el desarrollo y medio ambiente que satisfaga las necesidades económicas de nuestra generación sin poner en peligro las mismas necesidades de las futuras.

De acuerdo al Código de Minas, el Ministerio obrará en permanente consulta y coordinación con las autoridades que por su competencia general o por delegación, tienen a su cargo la administración y preservación de dichos recursos.

A los Alcaldes Municipales les corresponde un papel fundamental en la preservación del medio ambiente minero, y yo diría que ellos son el primer eslabón del control ecológico. No dudo que la atención y vigilancia permanentes por parte de la autoridad local harán que, en el mediano plazo, el barequeo, la pequeña minería y en general toda la minería estén encauzados dentro de parámetros regionales de explotación. Por el contrario, su conducta omisiva estimulará el surgimiento ilegal, desordenado y anacrónico de tales actividades mineras. Con este propósito, el Nuevo Código de Minas les ha asignado atribuciones y responsabilidades en el ordenamiento minero de sus municipios y en la aplicación de los reglamentos.

El control de la contaminación exige de todos una actitud positiva. Es necesario crear una conciencia colectiva sobre la importancia de preservar el medio ambiente. El peor contaminante es la ignorancia. Por esta razón consideramos fundamental la realización de seminarios como éste que muestren a los mineros y en general al país, las múltiples alternativas para el manejo adecuado de las explotaciones.

En mi calidad de Ministro de Minas y Energía deseo expresar mis agradecimientos a la Junta del Acuerdo de Cartagena y a los Gobiernos de Canadá, Francia, España, Alemania, Chile, quienes a través de sus Embajadas y entidades gubernamentales se han vinculado con su aporte científico a este Seminario. Hago extensivo este agradecimiento a las entidades que han patrocinado diversas actividades y a los profesionales que de una u otra forma han contribuido científicamente y económicamente en la realización de este evento.

Para finalizar, declaro oficialmente instalado el Primer Seminario Minero Ambiental con la certeza de que sus ponencias y deliberaciones serán base para seguir adelante en la concertación de acciones de gestión ambiental en beneficio del país. Queremos promover activamente el desarrollo de la minería y seremos estrictos en la vigilancia del cumplimiento de las normas sobre conservación ambiental.

Muchas gracias.

Primer Seminario Nacional Minero-Ambiental, Bogotá, Colombia
Marzo 13 - 15, 1991

PROBLEMAS AMBIENTALES POR LA AMALGAMACION Y SOLUCIONES TÉCNICAS
PARA LA PEQUEÑA MINERÍA

Ponencia encargado por GTZ-CORPONARIÑO

Autores: Thomas Hentschel, Michael Priester

Ambos de la Firma: Projekt-Consult GmbH, Limburger Straße 28,
D-6240 Königstein (Taunus), R.F.A.

La amalgamación corresponde a uno de los más importantes procedimientos en la obtención del oro en la pequeña minería en los países en vía de desarrollo. En este proceso el oro es amalgamado mediante el mercurio. El oro es luego separado del mercurio mediante destilación en vapor del mercurio. El mercurio volatiliza con una temperatura de 350° C.

Debido a la utilización errada del proceso de la amalgamación se recibe cada vez más noticias sobre envenenamientos masivos por mercurio en los países en vía de desarrollo. Un ejemplo muy grave es Brasil, donde se estima las pérdidas del mercurio por lo menos a 200 t anuales. Estas emisiones resultan casi sin excepción de la pequeña minería o la minería artesanal. Otros países también tienen problemas parecidos, en América Latina por ej. Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Honduras, Nicaragua, Perú, Surinam y Venezuela, en Asia Las Filipinas, Indonesia, Nueva Guinea y en África entre otros Ghana, Kenia y Tansania.

Cifras exactas sobre la cantidad de emisiones del mercurio no se encuentran disponibles, ya que no existen estadísticas sobre las compras de mercurio y de la producción exacta del oro - la cual eventualmente permitiría deducciones.

Según nuestras experiencias hay que calcular que por cada kg de oro producido por la minería artesanal se pierde hasta 5 kg de mercurio al medio ambiente.

La sencillez de la amalgamación, su poca inversión de capital y su alta recuperación especialmente del oro fino favorecen la amalgamación por parte de los mineros artesanales. Sin embargo no se tienen en cuenta los riesgos para la salud y el medio ambiente, que están explicados siguiente.

1. TOXICOLOGIA DEL MERCURIO Y DE SUS COMPUESTOS

La toxicidad del mercurio es muy grande y depende de la clase de sus compuestos y del estado de oxidación del mercurio.

El mercurio en forma de vapores, como se produce en la destilación de la amalgama en circulación abierta, es absorbido por el organismo humano en cerca del 75 - 80 % por los pulmones. Este llega a través de la sangre a los riñones y es eliminado de nuevo por el cuerpo después de cerca dos meses. Los efectos tóxicos se derivan de los iones Hg^{2+} .

Los envenenamientos agudos por el Hg, debido a su inhalación del vapor del mercurio, pasa en forma de fases:

1. Cólicos, vómitos e inflamaciones del estómago y de los intestinos.
2. Molestias en los riñones y en las vías urinarias.
3. Inflamación aguda de los intestinos.
4. Ulceras en la mucosa dental (Stomatitis mercurialis), en conjunto con alta sensibilidad a la luz (Fotofobia).

Si se inhalan por tiempo prolongado los vapores del Hg, se forman envenenamientos crónicos (Mercurialismo).

Los síntomas son:

- Formación de úlceras
- Depósitos de HgS en el cuerpo
- Tremores de intensión
- Dificultades en el hablar, debilidad para concentrarse y otras

Los compuestos orgánicos mercuriales, sobre todo el mercurio metílico (CH_3Hg^+) son altamente tóxicos para el hombre. Al ingerir estos, a través de los alimentos y el agua potable llevan a daños en las extremidades de los nervios.

El mercurio metálico no es absorbido por el cuerpo humano y es en esta forma inocuo.

2. LA CIRCULACION DEL MERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE

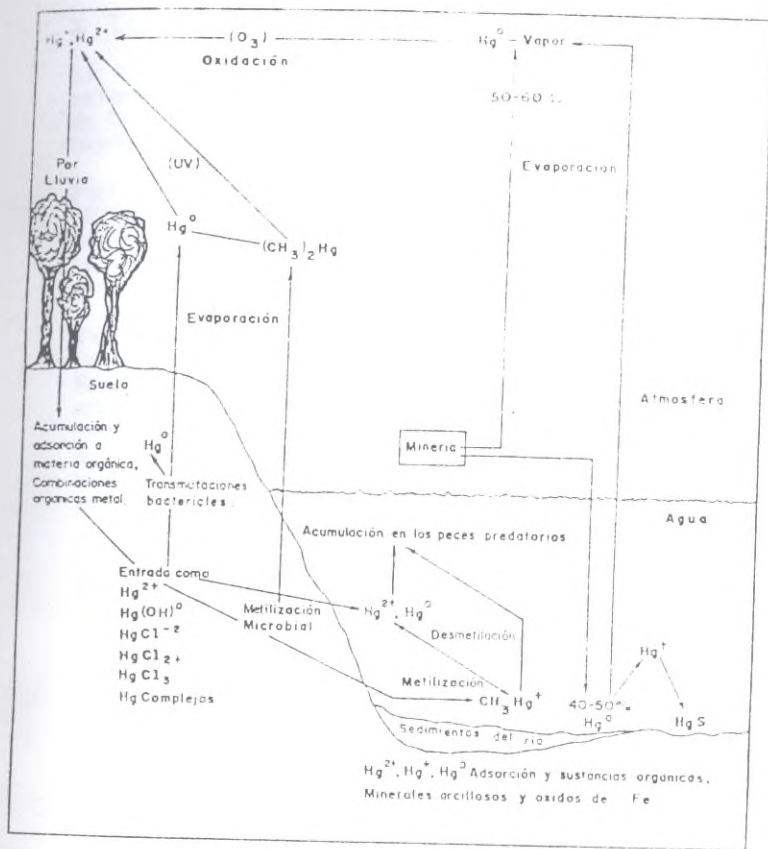


Ilustración 1: Entrada y Circulación del mercurio en el sistema ecológico a través de la minería del oro.

El mercurio que ha llegado a la atmósfera por evaporación se oxida con el tiempo por la influencia del ozono, de la humedad del aire y de los rayos ultravioletas. La lluvia transporta estos iones de Hg^{2+} y Hg^+ al suelo. De la ilustración No. 1 se podrán tomar más detalles sobre la circulación del Hg en la biósfera y del ingreso de mercurio metálico debido a la minería. Transformaciones microbiales anaeróbicas pueden llevar a una metilización del mercurio, sobre todo en el sistema ecológico acuático y en los suelos.

Los arriba citados compuestos inorgánicos y orgánicos del Hg pasan a través del agua potable, de los alimentos y del aire de respiración al cuerpo humano. Un punto especialmente crítico es el enriquecimiento del Hg en la cadena de alimentos de los peces, los cuales pueden concentrar este elemento en forma muy elevada comparado a las concentraciones del ambiente. Este efecto se aumenta aún por el hecho de la transformación del mercurio en mercurio metílico y cuya recepción es especialmente alta en las aguas de mayor temperatura y tropicales (con dependencia de la temperatura y del E_p -pH).

Las recientes investigaciones de los sistemas ecológicos brasileños han demostrado muy marcados excesos de los límites permitidos de los valores MAK y WHO para el Hg y de sus compuestos. (Véase tabla 1).

En el agua potable se encontraron hasta	11 $\mu\text{g}/\text{l}$
En los peces hasta	2,7 $\mu\text{g}/\text{g}$
	en el peso fresco
En los huevos de los peces hasta	3,8 $\mu\text{g}/\text{g}$
En el aire de respirar hasta	0,3 mg/g^3

(Lo último en los alrededores de las plantas de destilación de amalgama).

Estos valores extremos que se han medido sobrepasan cada vez la medición de referencia en el agua por el factor 250, en los peces en cerca de 300 veces y en el aire de respirar por el factor 14.000. Desafortunadamente se tuvo que constatar que las contaminaciones por Hg no se encontraban limitadas localmente, sino de que aún en una circunferencia de cerca de 200 km de los lugares mineros se constata anomalías significantes del Hg.

Tabla 1: Valores limite para WHO y MAK para el mercurio

Agua Potable	Máximo 4 $\mu\text{g}/\text{l}$
Peces	Máximo 0,5 $\mu\text{g}/\text{g}$ de peso fresco resp. máximo 0,2 mg de metilo-Hg por persona y por semana o máximo 0,3 mg de Hg inorgánico
Vegetales y frutas del campo	Máximo 0,03 mg/kg del peso fresco
Aire que se respira	Para Hg^0 Máximo 0,1 mg/m^3 (MAK) para los compuestos org. Hg máximo 0,01 mg/m^3 (MAK).
MAK: Unidad de medida de Alemania, que significa la concentración máxima de puestos de trabajo en un lugar.	

Las anomalías del Hg se expresan también en los valores de medición en la sangre humana, en la orina y en el cabello, comparándolos con los valores normales que se dan en las cifras en paréntesis en la relación a continuación:

<u>En la Sangre</u>	<u>En la Orina</u>	<u>En el Cabello</u>
ppb Hg Hasta 175 (10-13)	ppb Hg Hasta 225 (0,5-8)	µg/g Hasta 40,0 (0,7-3)

En Brasil la población indígena es la más afectada, ya que esta se nutre casi exclusivamente de productos del área más cercana. Son así quizás los peces de los ríos la fuente más importante de albumina animal para este grupo étnico haciéndose para ellos más pesada aún la competencia de los mineros que han inmigrado a su área vital.

3. LA AMALGAMACION EN LA MINERIA PEQUEÑA DEL ORO

La primera utilización de la amalgamación para la recuperación del oro se remonta quizás a la minería en Bosnia Herzegovina del Emperador Nero (54-68 de la era Cristiana), y hasta ahora la pequeña minería utiliza esta técnica muy intensivamente.

Para la amalgamación se presta el oro libre, granulado entre 2 mm y 20 - 60 µm y que no se encuentra, por ejemplo: incrustado de finos Fe-Oxidos. Los tamaños inferiores se definen por la tensión que se produce en la superficie límite entre el mercurio y el agua con relación a la forma de las partículas de oro.

Tanto para *aluviones*, como también para oro de filón se utiliza la amalgamación. En la minería de sedimentos se junta solamente el oro ya liberado con el Hg. Para esto se utilizan principalmente canalones con enfilado cuyos espacios se encuentran llenos de mercurio. Los espacios entre los rifles son inundados por los lodos auríferos pero durante el proceso los lodos arrancan cerca del 5 - 30 % del mercurio de estos espacios, no habiendo generalmente un dispositivo para recuperar éste. La adición de grandes cantidades de jabón o tensadores parecidos parece disminuir las pérdidas de Hg y aumenta el éxito del proceso.

Los *minerales primarios* requieren que el mineral valioso sea liberado. El minero por lo tanto amalgama directamente durante la trituración o en un procedimiento aparte después de la molienda. Para amalgamar y triturar a la vez el minero utiliza unos trapiches (molino chileno), baterías de pisones (bocartes, molinos californianos o antioqueños), molinos de bola o dispositivos manuales de trituración (quimbaleta o maray). Para la amalgamación subsiguiente se utilizan tambores o barriles de amalgamación, mesas amalgamadoras y la amalgamación manual en bateas.

En promedio las pérdidas de Hg metálico en las instalaciones de separación por amalgamación participan de un 40 - 50 % de las pérdidas totales del mercurio (Véase ilustración 1).

La mezcla así obtenida de amalgama - Hg se separa mediante prensado a través de cueros o lienzos en la amalgama altamente viscosa (Au₂Hg y Au₃Hg) y de mercurio líquido.

La obtención del oro se obtiene calentando la bola de la amalgama (la que tiene cerca del 50 - 60 % por peso de Hg y 40 - 50 % de Au), envuelta en papel, en una vasija abierta de cerámica con ayuda de una lámpara de soplete a temperatura de 350 - 600 grados centígrados. El mercurio evaporado pasa directamente a la atmósfera, lo cual corresponde a un 50 - 60 % de las emisiones totales del Hg.

Normalmente la minería artesanal no usa retortas, a veces, y especialmente cuando el mercurio se encuentra escaso, sirve la postura de una hoja fresca de banano sobre el plato de evaporación para la parcial recuperación del Hg mediante condensación en la superficie de la hoja.

4. CAMINOS PARA LA DISMINUCION DE LA EMISION DEL MERCURIO DURANTE LA AMALGAMACION

Como ya se ha mostrado, la emisión del Hg puede producirse tanto en forma metálica durante la amalgamación como también en forma de vapor mediante la separación del amalgama en mercurio y oro. Este capítulo muestra caminos para evitar ambas fuentes de contaminación y los analiza.

4.1 Para Evitar la Liberación del Mercurio Metálico

El mercurio metálico es sacado de los dispositivos de amalgamación casi exclusivamente en forma de mercurio triturado en pequeñísimas perlas, las llamadas "harinas de mercurio" o "floured mercury" en inglés. Las superficies de estas bolitas tan pequeñas generalmente se encuentran sucias por partículas mecánicas, por residuos de aceite y grasa o por compuestos químicos (p. ej.: cubrimientos de amalgama de antimonio) y tienen su propia tensión superficial inactiva, lo que quiere decir que son incapaces en amalgamar el oro ni de fusionarse. Estas bolitas de mercurio escapan mediante la alta velocidad de lavado en las canaletas.

Una fuente de altas pérdidas del mercurio en *la minería sobre yacimientos primarios de oro* es la trituración y amalgamación a la vez, por ejemplo, en los trituradores, como en Ecuador y Colombia. Los altos picos de energía llevan aquí a la formación de "floured mercury" y su escape por la alta velocidad del líquido turbio en el proceso. Se puede evitar esta pérdida efectuando la amalgamación y la trituración en dos procedimientos separados.

En *la minería del oro aluvial*, se debe evitar poner mercurio dentro de las ranuras, ya que este procedimiento deja escapar grandes cantidades de Hg al medio ambiente. Se recomienda en ambos sistemas de la minería producir primeramente unos preconcentrados valiosos. Como máquinas adecuadas para la separación gravimétrica hidromecánica con gran rendimiento específico sirven las llamadas centrífugas p. ej.: Knelson, separadores en espiral, separadores de cono, jigs especiales, mesas y canalones mejorados. Mediante el postenriquecimiento por medio de separación de minerales acompañantes, p. ej.: mediante de imanes, es posible mejorar aún más los preconcentrados.

Subsiguientemente se pueden procesar las pequeñas cantidades de amalgama en máquinas adecuadas de amalgamación, como en tambores cerrados (llamados en el Ecuador, Chanchó) o en molinos amalgamadores, (p. ej.: Berdan pan). Estas máquinas permiten también la adición de reactivos para mejorar la actividad tensional de superficie del mercurio, como son el NaOH, la amalgama de Natrium, Clorito de Amonio, Cianuro, Acido Nítrico o Tenside.

Una disposición mínima en las plantas en las cuales no es posible cambiar los procedimientos, sería la planeación de trampas por gravedad, las cuales pudiesen recoger el "floured mercury" (vease Ilustración 5).

4.2 Disminución de la Emisión del Mercurio en forma de vapor

Para evitar la emisión del Hg en vapor, el que se destila la amalgama, el operador (en Brazil: 'queimador') consecuentemente tiene que trabajar en circulación del Hg cerrada. Las prensas de amalgama (Ilustración 4) y las retortas de destilación (Ilustración 3) bajan las pérdidas del Hg fácilmente a menos del 5 %.

Como una alternativa la amalgama puede ser separada químicamente. Para esto el ácido nítrico caliente y diluido descompone el Hg, desintegrandose así en lodos auríferos. De la solución de nitrato de mercurio se saca el mercurio mediante metales no valiosos. Los minerales que contienen plata llevarán a un enriquecimiento sucesivo de Ag en el mercurio, el cual necesitará luego una destilación para su limpieza.

En general se considera que la centralización de la amalgamación y/o destilación es aconsejable, en la cual los mineros podran hacer terminar los preconcentrados o amalgamas para recuperar el oro.

5. ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA LA SUSTITUCION DE LA AMALGAMACION

Como alternativas a la amalgamación hay varios métodos para la recuperación del oro. Sin embargo, la mayoría de estos no se han aplicado a fondo en la minería. Se puede nombrar la "gold-coal agglomeration", la cual no ha tenido desde su invención hace unos 70 años aplicación en la técnica de preparación. Otros, como p. ej.: la cianuración, han desplazado en la minería grande la amalgamación. Pero debido a sus procedimientos complicados, de procesamiento difícil, de la necesidad de grandes cantidades de reactivos, se considera que éstas son menos apropiadas para la minería pequeña. El desarrollo técnico de la concentración gravimétrica, como la clasificación con fuerzas centrifugales, el uso mayor de los aparatos de vibración o la combinación de la separación gravimétrica con otros procesos físicos lo que correspondería más a las necesidades de la pequeña minería. Maquinaria como la centrifuga Knelson, permite la producción de preconcentrados muy valiosos, cuya transferencia en productos finales listos para el mercado se hace en un último paso de procedimiento. Este puede consistir en la separación mediante la fundición de los preconcentrados de oro en oro y escoria con boraz como medio de fluid, un proceso, el cual generalmente los mineros pueden realizar por cuenta de ellos mismos. En la tabla 2 se encuentra una selección de procedimientos para la producción de los preconcentrados. La tabla 3 muestra los diferentes procesos de la preparación, los cuales permiten una transformación de los preconcentrados en valioso oro. Los procesos adaptables a la pequeña minería se encuentran subrayados en las tablas 2 y 3.

Tabla 2: Metodos para la preparación de los minerales de oro a preconcentrados

Forma de la Recuperación	Nombre	Pasos requeridos	Dispositivos	Reactivos
Mecánica	<u>PREPARACION GRAVIMETRICA</u>	Clasificación gravimétrica	Bateas Jigs Canalones (hidro y aeromecánico) Mesas (húmedas + aéreas) Pielas Clasificador med. centrifuga CBC-Cyklon Trampas a base de gravedad	
	<u>SEPARACION MED. LIQUIDOS PESADOS</u>	Preparación med. hundimiento-sostenimiento	Separador de hundimiento sostenimiento	Metavolframatos P= 3,1 g/cm ³
Eléctrico	<u>PREPARACION ELECTROSTATICA</u>		Separador electrostático	
Mecánica de Areas superficiales	<u>FLOTACION</u> - Indirecta	Condicionar, lavar separar	Taque acondicionador. Celda de flotación	Espumante Colector Activador Reactivos al pH Depresante
		Condicionar, lavar separar		
Mediante Imanes	<u>SEPARACION AL IMAN</u>	Separar	Separación al imán	

*Solamente como método analítico

Lo subrayado es entera o parcialmente apropiado para la pequeña minería

Tabla 3: Metodos para la preparación de los preconcentrados del oro a concentrados valiosos

Forma de la separación	Nombre	Fases requeridas	Dispositivos	Reactivos
Mecánica	<u>MANUALMENTE</u>			
	COAL GILD AGGLOMERATION	Aglomeración Desprendeamiento Stripping	Aparato reactivo	Aceite Carbón activado
	<u>CALCINACION</u> <u>Y PURIFICACION</u>	Calcinación y Purificación	Horno de Calcinación	
	<u>VOLATILIZACION DEL</u> <u>ORO</u>	Calcinación mediante Cloroación Volatilización	Horno de Volatilización	Sal de cocina Gas del cloro
Térmica	<u>SEPARACION POR</u> <u>FUSION</u>	Fusión, desprende- amiento del oro	Horno de (fundición, crisol)	Borax, Soda, Potasa
	<u>EXIMASION</u> * <u>FIRE ASSAY</u>	Fusión con el reced- edor del oro desprendeamiento, murgalesto		Borax, Soda, Potasa Plomo como colector
	<u>ANALOGACION</u>	Ligar Separar Destilar	Trituradora trapeche, tambor de amalgamación, escuela, mese amalgamación, centrifuga, prensa de amalgamación, retorta de destilla- ción.	Mercuro, eventual- mente, agua corrodi- va, amalgama de natrium, Cloruro de acobio, cloruro o ácido nítrico para fusión de las perlas en flujos de Hg, teonidos
Química	<u>CIANURACION</u> Lixiviación mediante agitación y en tanques con pro- cedimiento Merrill- Crowe CIP, CIC, CIL, o precipitación al sicc.	Solución química del compuesto, absorción, separación	Tanques de lixiviación aparatos de absorción	Na-Cianuro, CaO para la fijación del valor pH, Zn (eventual + PbNO) carbón activado
	<u>LIXIVIACION A LA</u> <u>TIQUEIRA</u>	Solución Química como complejo, Absorción Separación	Tanques de lixiviación Aparatos de absorción.	Thioresas Reactivos al pH Polvos de Al- o Fe, SO ₂
	<u>CLORINACION, PROCESO</u> <u>BIO-D-</u> <u>LEACHANT</u>	Formación de com- puestos halógenos (p. Ej., complejos de Tetracloruros)	Tanques de reacción Tanques para lixi- viación	Gas de cloro, Hidración al Erodietilo (com- plejos orgánicos del Bromuro
	<u>LEACHING A LA</u> <u>SALMUERA</u>			Soluciones de sal, Bisulfato, Acido Sulfúrico
	<u>OTROS TIPOS DE LA</u> <u>LIXIVIACION</u>			Trosulfatos Podanatos Polisulfidos o Soluciones alías
	Biológico	<u>LIXIVIACION</u> <u>MICROBIALES</u>		

* Solamente como método analítico

Lo subrayado es entera o parcialmente apropiado para la Pequeña Minería

La minería artesanal en los países en vía de desarrollo tiene muchos problemas técnicos y causa daño al medio ambiente. Por eso inició la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) el proyecto "Tools for Mining" con el destino de elaborar un manual técnico para la pequeña minería con el título "Técnicas y procedimientos para la pequeña minería en países en vía de desarrollo". Este proyecto estaba ejecutado por la empresa "Projekt-Consult". El manual se publicará en Español.

Para explicar la idea del manual sirve Ilustración 2.

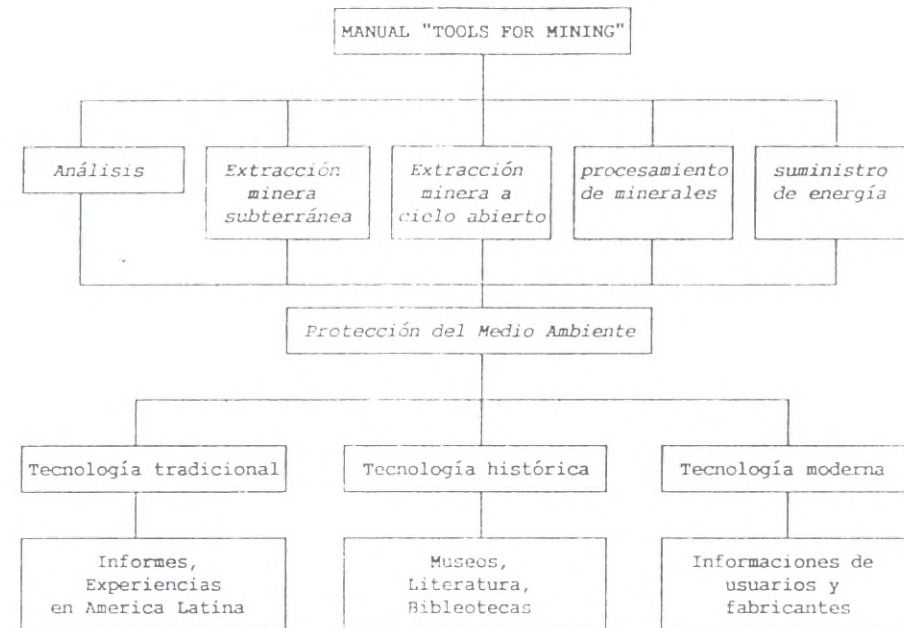


Ilustración 2: Principio para elaborar el manual "Tools for Mining"

La fusión de elementos históricas, modernas y tradicionales es aquí la base para el desarrollo de una tecnología apropiada.

El manual tiene el objetivo de proponer alternativas técnicas a las personas que trabajan en la pequeña minería. Estas innovaciones técnicas deben ayudar en múltiples aspectos a resolver los problemas de la pequeña minería y del medio ambiente. El manual contiene mas ó menos 125 técnicas con sus respectivos datos técnicos, condiciones y limitaciones de la aplicación, costos, formas de empleo, evaluación de la aptitud e infraestructura necesaria para la autoconstrucción, experiencias, planos de construcción y fotos. La recopilación está acompañada con propuestas para la organización del trabajo buscando una económica y segura ejecución por parte de los mineros.

En una etapa piloto de este proyecto se construyeron e implementaron técnicas y máquinas seleccionadas que pueden prevenir y reducir la contaminación ambiental producida por el mercurio. Estas investigaciones fueron realizadas junto con el Departamento de Minería de CORPONARIÑO en la minería aurífera primaria en la Zona Andina del Departamento de Nariño. Los equipos fueron construidos por talleres locales.

Entre los equipos producidos, se puede diferenciar dos tipos:

- Los que hacen posible una amalgamación menos dañina al medio ambiente (retorta, prensa de amalgama y trampa de gravedad).
- Otros pueden sustituir la amalgamación (mesa de golpe, jig).

Los resultados prácticos del proyecto son los siguientes:

La *retorta*, que fue hecha de dos formas diferentes, en las primeras pruebas dió una recuperación de mercurio de aproximadamente 90 %. Por medio de pequeñas mejoras constructivas, que aumentaron la conductibilidad del calor y minimizaron las pérdidas de mercurio condensado en las paredes de la retorta, se obtuvo finalmente un modelo apto para ser difundido.

Además se construyó una retorta de vidrio resistente a fuego. Esta retorta fue utilizada para fines de demostración y debe ayudar a mejorar la aceptación de retortas metálicas en la minería pequeña.

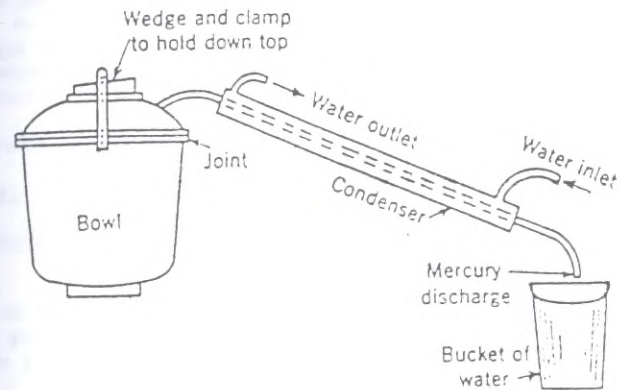


Ilustración 3: Dibujo de una retorta para la destilación de amalgama, Fuente: Bernewitz

La *prensa de amalgama* muestra más eficacia en la separación de amalgama y mercurio, que la separación manual en trapos. Para mejorar el prototipo fue necesario un recubrimiento anticorrosivo de la superficie mediante el niquelado de la prensa.

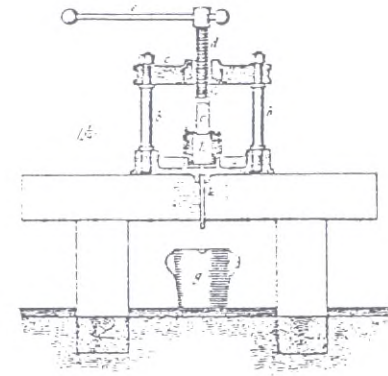


Ilustración 4: Dibujo de una prensa de amalgama, Fuente: Rittinger

La *trampa gravimétrica* dió en pruebas prácticas una recuperación de aproximadamente 85 %, a pesar que faltaron las pruebas de calibración para la alimentación de agua en contracorriente. Las mejoras resultaron respecto al ángulo del cono, el tipo de grifos y la geometría de distribución aguas abajo.

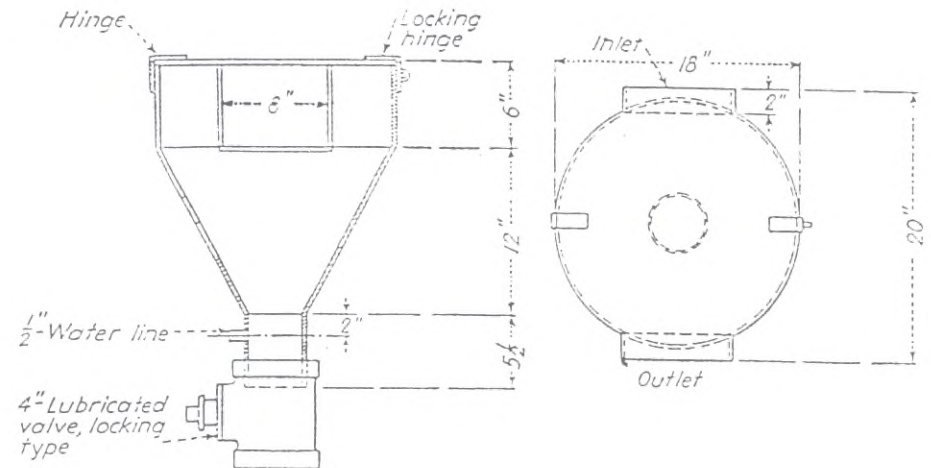


Ilustración 5: Dibujo de una trampa gravimétrica para recuperar oro, amalgama y mercurio, Fuente: Bernewitz

En pruebas de campo la *mesa de golpe*, accionada por una rueda hidráulica, dió una separación precisa. Del concentrado fue extraído oro fino en partículas menores que 20 μm . De esta forma se rescatan partículas residuales de oro contenidas en material varias veces tratado. Con alguna experiencia se puede calibrar el aparato para que funcione de forma muy precisa.

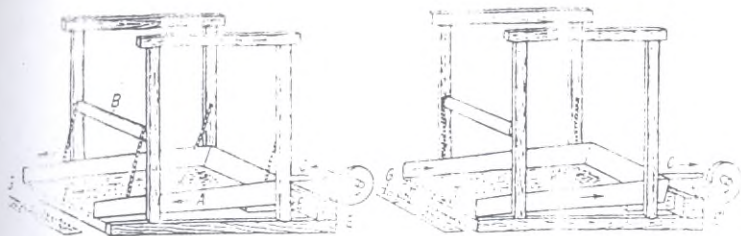


Ilustración 6: Funcionamiento de una mesa de golpe, Fuente: Wagenbreth

El *jig para material fino*, con capa filtrante de partículas de plomo, pudo ser probado por poco tiempo debido a las interrupciones en el suministro de energía, ya que éste es accionado por un motor trifásico de corriente alterna 220 V. A pesar que su funcionamiento mecánico está comprobado, el aparato necesita aún un examen técnico detallado para determinar sus datos característicos y de calibración.

Los precios de los equipos se ve en la tabla siguiente.

Tabla 4: Lista de precios para los equipos producidos (Diciembre 1990):

En Colombia:

retorta	50.000 \$col.
prensa de amalgama	40.000 \$col.
trampa gravimétrica	24.000 - 50.000 \$col.
mesa de golpe	80.000 \$col.

en Ecuador:

retorta para demostración hecho de pyrex	75.000 \$col.
jig para material fino con motor eléctrico con un engranaje reductor	1.400.000 \$col.

Bibliografía

Barros, C.
Garimpo, O perigo do mercurio
Brazil Mineral No. 55, 1988

Bernewitz, M.W. von
Handbook for Prospectors and Operators of Small Mines
New York/London 1943

Hentschel, T./Priester, M.
Quecksilberbelastungen in Entwicklungsländern durch Goldamalgamation im Kleinbergbau und aufbereitungstechnische Alternativen
In: Erzmetall 7/8, Weinheim 1990

Malm, O. et al
Mercury Pollution Due to Gold Mining in the Madeira River Basin, Brazil
Ambio Vol. 19 (1990) No. 1, page 11 ff

Martinelli, L.A. et al
Mercury Contamination in the Amazon; A Gold Rush Consequence
Ambio Vol. 17 (1988) No. 4, page 252 ff

Rittinger, P. Ritter v.
Lehrbuch der Aufbereitungskunde
Berlin 1867

Wagenbreth, O./Wächtler, E. (Hrsg.)
Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte
Leipzig o.J.

GEOMORFOLOGIA, MEDIO AMBIENTE Y MINERIA

MICHEL HERMELIN
U. NACIONAL, U. EAFIT, Medellín.
Marzo de 1991

M. Hermelin
U. Nacional, U EAFIT, Medellín

RESUMEN

La geología y sus disciplinas afines nacieron como respaldo a la actividad minera. Hoy en día deben además contribuir en la preservación del medio ambiente ante la explotación de recursos no renovables. La mejor manera de conjugar estas dos necesidades es por medio de la planificación ambiental.

La geomorfología puede desempeñar un papel importante en la prospección de recursos minerales pero su aporte en la elaboración de declaraciones y estudios de impacto ambiental es fundamental, particularmente pero no únicamente para el caso de explotaciones a cielo abierto. El conocimiento de la dinámica de los principales procesos superficiales (erosión superficial o por movimientos de masa, modificación de cauces, sedimentación, etc), al ser aplicado en el diseño de los diferentes métodos de la minería de superficie, puede solucionar graves problemas tanto durante el período de explotación como en el de recuperación de los terrenos.

Se presentan varios ejemplos que ilustran el mito de la recuperación espontánea de terrenos explotados por minería en el trópico húmedo. Se recalca la necesidad del componente geomorfológico en los estudios de efecto ambiental y se propone una modificación al sistema matricial que permita incluir las amenazas naturales. Se plantean finalmente temas específicos de investigación básica que permitirían predecir el comportamiento de formaciones superficiales representativas del país ante los procesos erosivos generados por minería, la formación de suelos al utilizarlos como rellenos y la dinámica de las aguas superficiales; la adquisición de esta información haría posible una mayor efectividad y un menor costo en las labores de recuperación de tierras perturbadas por actividades mineras.

Abstract

Geology and related activities originated to support mining activities. Nowadays, they are also needed in the preservation of the environment particularly during exploitation of non renewable resources. The best way to conjugate these aims is through environmental planning. Geomorphology can play an important role in mineral prospecting, but its contribution in the preparation of declarations and studies of environmental impact is fundamental, particularly (but not only) in case of open pit and strip mining. A good knowledge of the dynamics of main surface processes (surface and mass movement erosion, stream channel changes, sedimentation, etc) will be very useful for the selection and design of mining procedures and will help to solve problems during both mining and terrain reclamation. Several examples are presented to illustrate the myth of spontaneous recuperation of mined areas in humid tropical climates. The need is stressed for a strong geomorphological component in environmental studies and a modification is suggested in the matrix system in order to include natural hazards which may affect the project. Finally several topics are discussed which would deserve basic research: behavior of specific surface formation exposed to processes generated during mining; evolution of regoliths as soil parent materials when used as fillings; and surface water dynamics. This knowledge should permit higher efficiency and lower costs in reclamation of mined lands.

Este trabajo intenta revisar y discutir en forma resumida las relaciones entre la geomorfología y las actividades mineras, particularmente en lo que atañe a impacto ambiental y a su mitigación con énfasis en la realidad colombiana.

La geomorfología pertenece a las ciencias de la tierra y es erróneo considerarla como una simple rama de la geología; su ejercicio implica conocimientos de edafología, de meteorología, de hidrología y de fitogeografía además de un buen bagaje de geología. De una interpretación simplista del origen de los paisajes que sigue predominando en Colombia, siguiendo una sólida tradición davisiana, se ha transformado en los últimos tres décadas en una vigorosa disciplina dedicada al estudio cuantitativo de los procesos de la superficie de la tierra. Esa orientación ha llevado a los geomorfólogos a ser mucho más medidos en sus interpretaciones de las geoformas y a refinar sus técnicas con uso de dataciones, de métodos estadísticos de experimentos y de modelos.

La geología nació en el siglo XVI como actividad de apoyo a la prospección de minerales (Agricola, 1556). La geomorfología en cambio sólo empieza a aplicarse en forma importante en la década de 1950. Una de esas aplicaciones es la prospección de recursos minerales, particularmente con la utilización de las fotografías aéreas (Cuadro No 1).

Por otra parte las materias primas de origen mineral son indispensables para las necesidades de la industria moderna. Su importancia relativa en cuanto a su valor aparece en la figura 1 y en cuanto a su volumen en la figura 2.

En el curso de este siglo, particularmente a partir de la década de 1970, se va abriendo paso la necesidad de proteger el medio ambiente contra las actividades humanas que lo destruyen o lo contaminan. Nacen entonces las reglamentaciones y las restricciones, expresadas en Colombia en el Código de Recursos Naturales y del Medio Ambiente (1974) y, en el caso de los recursos minerales por el Código Minero (1988).

Esta situación ha creado para las geociencias una doble obligación: por una parte deben seguir contribuyendo a la prospección y al desarrollo de los recursos minerales. Por otra parte deben participar en la tarea de evitar el deterioro ambiental. Para llevar a cabo estas tareas en forma racional debe intervenir la planificación, cuyo objetivo debe incluir no solamente el desarrollo integral de los proyectos de minería sino sus consecuencias en la región circundante, debidamente identificadas por medio de estudios de impacto ambiental.

Es importante recalcar que otra tarea de la planificación es evitar la pérdida de recursos minerales por aprovechamiento

Características Geomorfológicas Relevantes	Tipo de depósitos minerales																					
	Pizares (continentales)	Pizares (litorales, marinos y lacustres)	Turba	Arcillas	Gravas y arenas	Lignito	Carbón	Bauxita y arcillas refractarias	Depósitos residuales de meteorización (Ni, Co, Fe, etc.)	Depósitos infiltrados de meteorización (S, U, etc.)	Depósitos de costras de meteorización transportados. (Fe, Co, etc.)	Sales (K, Na, etc.)	Sedimentares, ferromag.	Menas magmáticas.	Pegmatitas	Carbonatos	Hidrotermales	Metamórficas	Aguas subterráneas.	Aguas de fisuras.	Petróleo, gas	
Tectónico estructural.	*	+	+	+	+	*	*	*	*	*	*	+	+	*	+	+	*	+	*	*	*	*
Expresión en el relieve de intrusiones profundas.	+							*	*		+			*	*	+	*	*				*
Estructuras en rocas.	+	+				+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	*
Sedimentares y metamórficas																						
Patrón de vallas que refleja																						
- Plegamientos.	+	+				+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
- Estructuras de domos.	+	+				+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
- Bloques fallados.	*	+				+	*	*	*	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
Antiguos sistemas de valles con cambios inducidos por:																						
- Tectónica											+											*
- Factores exógenos.	*	+	+	+	+	+											*	*	*	*	*	*
Perfiles longitudinales de valles.	*									+												*
Pendientes empinadas.	*											+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Terrazas fluviales y sus	*																					*
Llanuras aluviales	sedi-*	*	*	*	*																	+
Lechos fluviales	mentos.*	*	*	*	*																	*
Superficies de planación.	*	*	*	*	*	+	+	*	*	*	*	+	+									*
Costras eólicas y de meteorización.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
Karst actual.	*	+	+	+				*	*	*	+	*	+						*	*	*	+
Karst fósil.	*	+	+					*	*	*	*	*	*						*	*	*	*
Cuenas lacustres, acumulaciones de lagos y pantanos																						
- Regiones húmedas	+	+	+	+	+			+	+	+	*	+										*
- Regiones áridas y semiáridas.		+	+	+	+	+					*											*
Formas litorales marinas y lacustres.		*	+	+	+						+	+										*
Formas glaciares y periglaciares de glaciares de montaña.	+		+	*				*														*
Relieves enterrados por piroclastos.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

+ Asociación posible : Cartografía útil.
 * Asociación probable: Cartografía indispensable.
 (Adaptado de Cooke & Doornkamp, 1974).

Cuadro N.º 1. Posibles asociaciones entre características geomorfológicas y depósitos minerales.

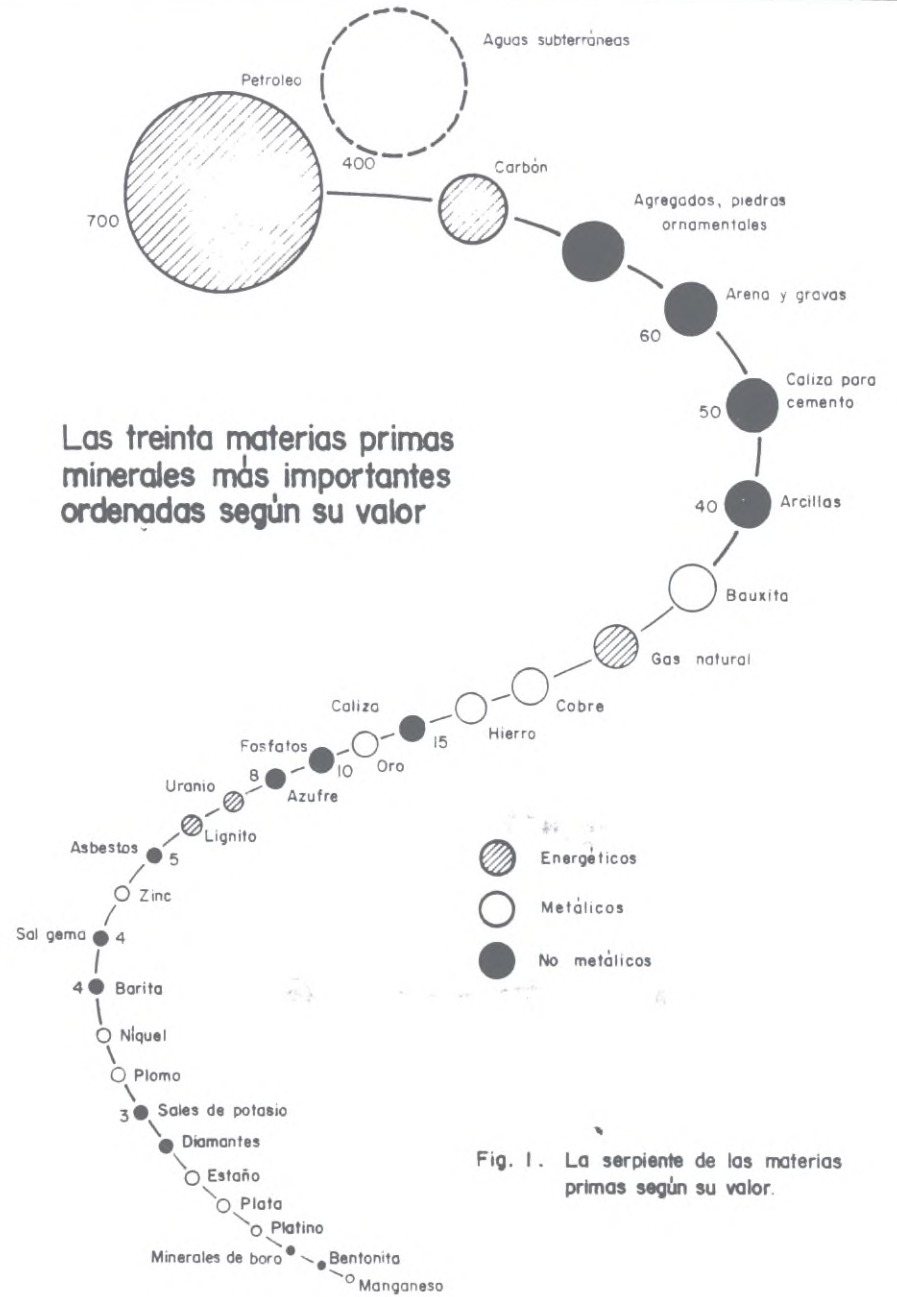
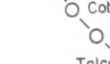
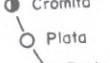
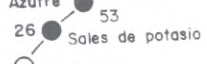
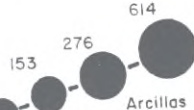
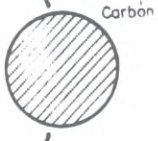
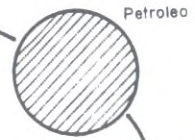
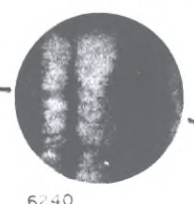


Fig. 1. La serpiente de las materias primas según su valor.

800.000 Aguas subterráneas

Agregados Piedras ornamentales

Arena y grava



- Energéticos
- Metálicos
- No metálicos

Las treinta materias primas minerales más importantes ordenadas según volumen de producción. (Adaptado de Lüttig, 1979)

Fig. 2. La serpiente de las materias primas según su volumen de producción.

AMENAZAS GEOLOGICAS DE CALIFORNIA CALCULADAS POR EL PERIODO DE 1970 - 2000 EN MILES DE MILLONES DE DOLARES

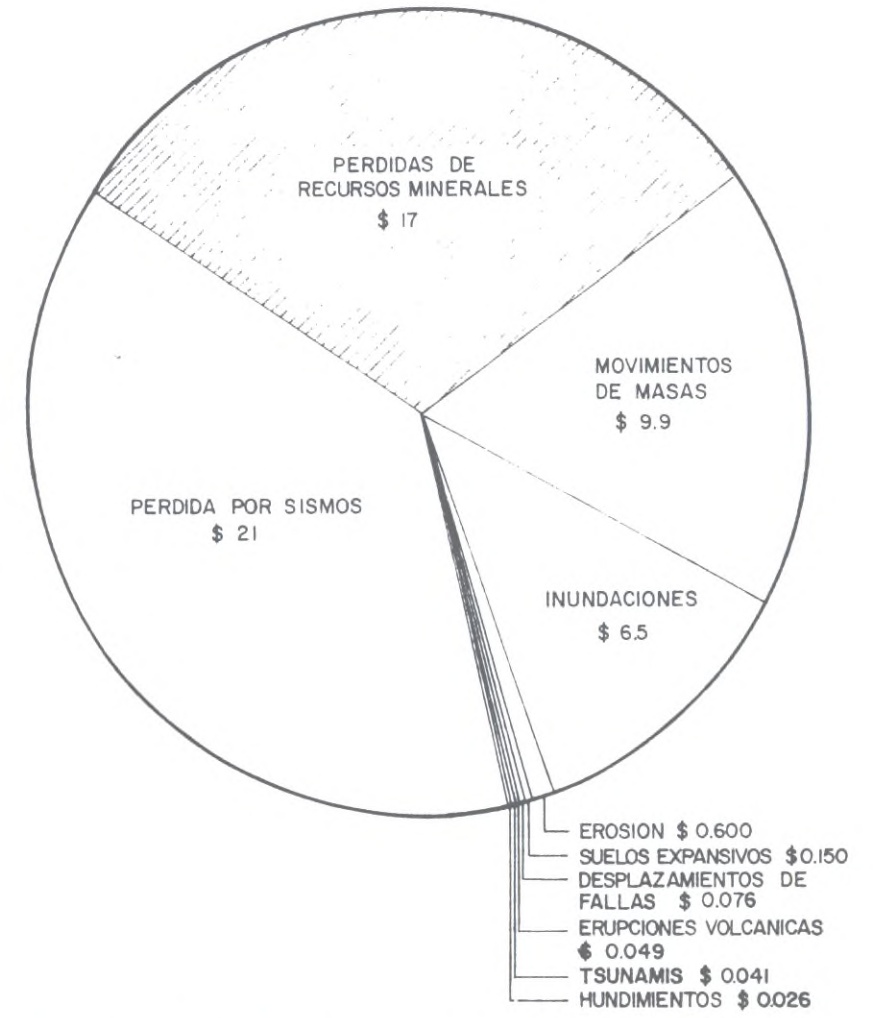


Fig. 3. Amenazas geológicas en California calculadas en 1970 por un periodo de 30 años (1970-2000), con la magnitud de las pérdidas calculadas en miles de millones de dólares. (Alfors et al, 1973)

inadecuado del terreno: la fig 3 muestra la magnitud de las pérdidas previstas por ese concepto en California para las tres últimas décadas del siglo. Se trata en este caso de pérdidas producidas en su mayoría por urbanización de terrenos explotables sin haber extraído el recurso previamente. En Colombia los casos similares son numerosos, aunque no cuantificados. Para Alemania y Francia, Lüttig (1987) calcula que por estas restricciones, sólo el 30% de las reservas de arena y de gravas están en condiciones de ser aprovechadas.

ACTIVIDADES MINERAS Y GEOMORFOLOGIA

Dentro de las actividades industriales, las mineras y asociadas están entre las que más afectan al medio ambiente. La figura 4 es un ejemplo típico de las consecuencias de la minería y metalurgia: muestra las etapas necesarias para producir una tonelada de cobre refinado, así como los residuos producidos en cada una de ellas. (Ellis, 1989; Turner & Coffman, 1973).

¿Qué puede ofrecer la geomorfología en apoyo a la minería, particularmente en el caso de la minería a cielo abierto?

En la fase de planeación del proyecto, la metodología utilizada en el levantamiento de mapas geomorfológicos, debidamente seleccionados puede arrojar resultados de gran interés para el área del proyecto (cuadro No 2).

Cuadro No 2
Aplicación de los mapas geomorfológicos
(adaptado de Fleischer, 1984)

- A. Mapas de primer orden
Topográfico, morfométrico, de profundidad de la roca fresca, suelos, vegetación, drenaje, aguas subterráneas.
- B. Mapas de segundo orden.
estabilidad de pendientes, dificultades de excavación, permeabilidad, escorrentía, textura de suelos, suelos (ing.), recursos minerales.
- C. Mapas de tercer orden.
recursos explotables, zonas aptas para rellenos, para edificaciones, para recarga de acuíferos, para vías, etc; amenazas geológicas.
- D. Uso recomendable.



Fig. 4. Etapas y residuos para producir una tonelada de cobre. (Adaptado de Snezhko, 1985).

Todo proyecto minero debería incluir para su diseño las siguientes consideraciones (Toy & Hadley, 1987).

- máxima recuperación del recurso.
- mínimo impacto (perturbación) ambiental.
- recuperación posterior del terreno

La combinación de las tres consideraciones anteriores debe naturalmente permitir resultados que sean económicamente atractivos. La selección del diseño dependerá del tipo de mineral, distribución geométrica, concentración, topografía del terreno, etc. El cuadro No 3 presenta las principales técnicas de minería de superficie.

Cuadro No 3.
Técnicas de minería de superficie
(adoptado de Toy & Hadley, 1987).

Técnica	Comentarios
Dragas	Suele producir inundación y sedimentación; arroja gravas difíciles de recuperar.
Minería hidráulica (monitores)	Produce sedimentación; gravas difíciles de recuperar.
Pozo abierto (open pit)	Estériles insuficientes para rellenar la depresión excavada.
Minería por franjas en curvas de nivel (contour stripping)	Cambios permanentes de topografía, produce grandes planicies.
Corte y relleno (area stripping)	Para áreas planas; grandes áreas perturbadas; corte final problemático.

La figura 4 esquematiza métodos de minería por franjas en curvas de nivel y por corte y relleno para explotación de carbón y la figura 5 el aspecto final de una explotación en franjas con las debidas medidas ambientales: trinchera superior para evitar la penetración al corte de las aguas de escorrentía y sistema de evacuación de aguas.

Con el fin de minimizar la perturbación ambiental, se requiere tener en cuenta los siguientes aspectos:

A - extensión: área del terreno perturbado, explotado o

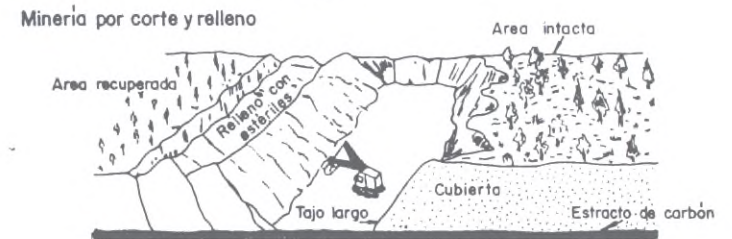
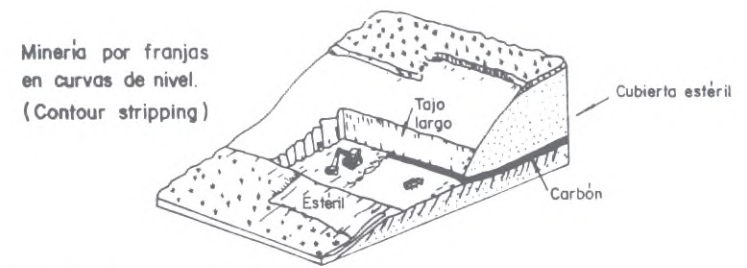


Fig. 5. Esquemas de minería por franjas en curvas de nivel y por corte y relleno. (Adaptado de Keller, 1976)

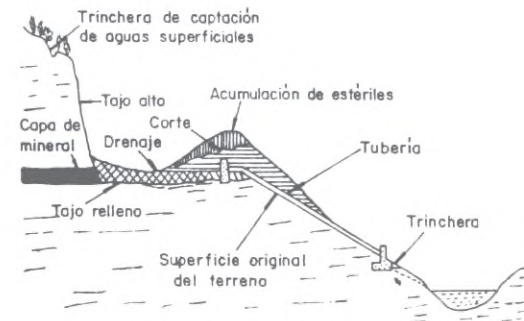


Fig. 6. Aspecto de una explotación por franjas en curvas de nivel una vez completada la minería. (Adaptado de Keller, 1976)

recubierto. En realidad la EPA (Environmental Protection Agency de los USA) considera que el área total afectada es aproximadamente el doble de la superficie directamente explotada o recubierta.

B - intensidad: la intensidad de la perturbación se puede obtener por medio de:

- observación directa de efectos, por experiencia previa adquirida por comparación entre terrenos afectados e intactos en explotaciones similares.
- modelos físicos o matemáticos.
- observación durante el proceso de explotación

Aunque para un país como Estados Unidos, con una tradición de varias décadas en minería de superficie, los encargados de manejar el efecto ambiental de las explotaciones se quejan de la carencia de información adecuada (Hadley & Toy, 1987).

El cuadro No 4, a título de ejemplo, da tasas de erosión representativas para varios usos de la tierra en los Estados Unidos. Aún no se conocen datos similares para Colombia o países con condiciones naturales equivalentes.

Cuadro No 4
Tasas de erosión representativas para varios usos de la tierra en USA. Fuente US EPA (1973).

USO	Mg/km/año	Con respecto al bosque
Bosque	8.5	1
Pastos	85.0	10
Minas a cielo abierto abandonadas	850.0	100
Cultivos	1700.0	200
Bosques explotados	4250.0	500
Minería a cielo abierto activa	17000.0	2000
Construcción	17000.0	2000

C - duración: es fundamental el tiempo durante el cual durará la perturbación y conocer además el tiempo que el ecosistema, una vez suspendida la actividad minera, demorará en recuperar una situación de equilibrio. La creencia generalizada de que "el tiempo sana las heridas" es muchas veces falsa. A título de ejemplo, se han observado en el municipio de Guarne (Antioquia) zonas perturbadas por minería que después de varios siglos no

habían regresado a su equilibrio natural (Arango et al, 1990; Hermelin, en prensa).

D. naturaleza de la perturbación: Además de consecuencias como el ruido, las vibraciones, las explosiones, las emisiones de líquidos y sólidos (Archer et al, 1987), existen otros más relacionados con la geomorfología:

- perturbación de la superficie del terreno: modificación o destrucción de la vegetación del suelo y por ende de su erodibilidad, capacidad de infiltración, etc.
- perturbación del sistema de drenaje: interrupción, desvío, aumento artificial de caudal, suministro de sedimentos, etc.
- perturbación de cauces
- perturbación estética del paisaje (fig 7)

Las consecuencias secundarias de las perturbaciones pueden ser numerosas; por ejemplo, según la EPA, la producción de sedimentos produce los siguientes efectos:

- disminución de la capacidad de los estanques de almacenamiento
- llenado de lagos y estanques
- colmatación de cauces
- depósito sobre tierras productivas
- destrucción de habitats acuáticos
- generación de turbidez, inconveniente para recreación y para fotosíntesis.
- degradación de agua por consumo
- aumento de los costos de tratamiento
- daño a los sistemas de distribución
- transporte de contaminantes, de bacterias y de virus.

El cuadro 5 ilustra los efectos combinados de una modificación en la escorrentía (Moore & Mills, 1977) sobre el ecosistema.

En el aspecto de la recuperación de los terrenos perturbados, la geomorfología puede ser útil en varias actividades:

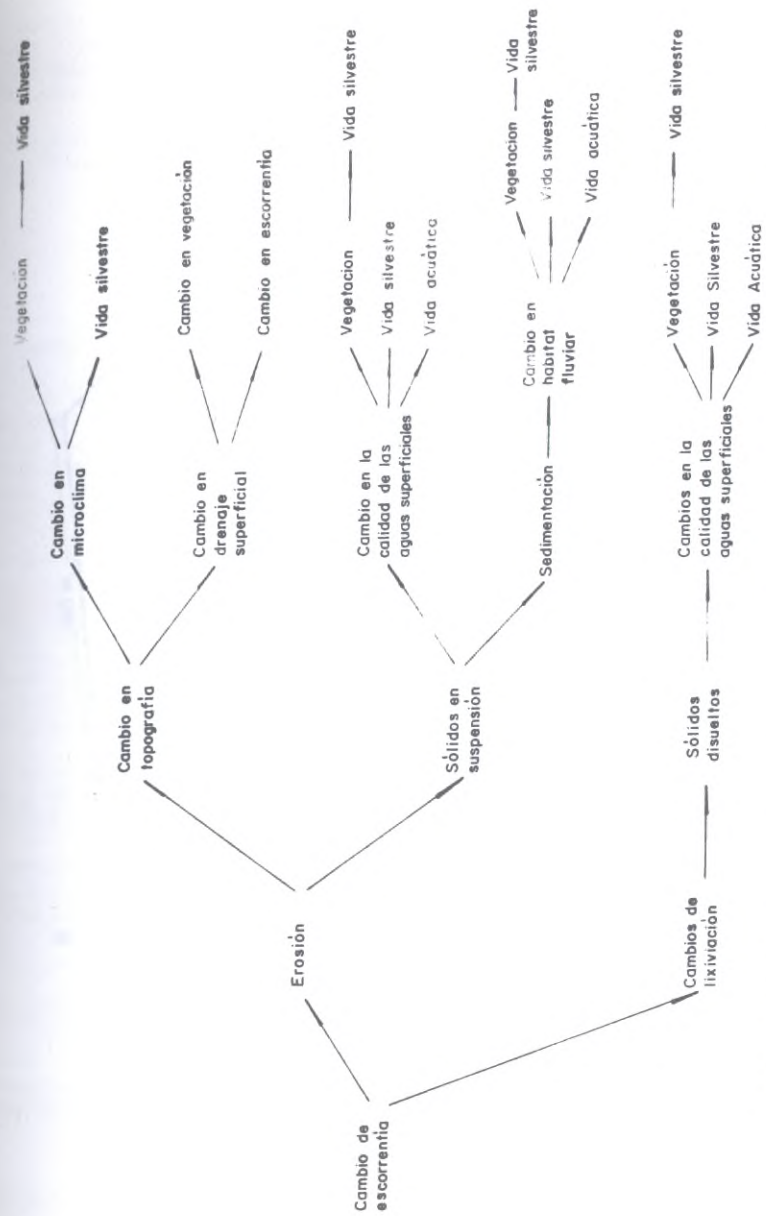
- diseño de pendientes.

La selección de la pendiente y de la longitud óptimas para las pendientes puede realizarse con base en experimentación a partir de los materiales que se van a utilizar. Un diseño óptimo, además de minimizar la erosión superficial, también debe tener en cuenta el volumen de suelo necesario para recubrir la superficie (fig 8 y cuadro 5).

El diseño final de la pendiente requiere de determinación experimental de valores para el cálculo de erosión superficial.

- diseño de caudales.

Debe tener en cuenta no sólo el caudal sino los sedimentos transportados, tanto en cuanto a su tamaño como en cuanto a su volumen.



Cuadro Nº 5. Consecuencias de cambios en escorrentía. (Adaptado de Moore & Mill, 1977)

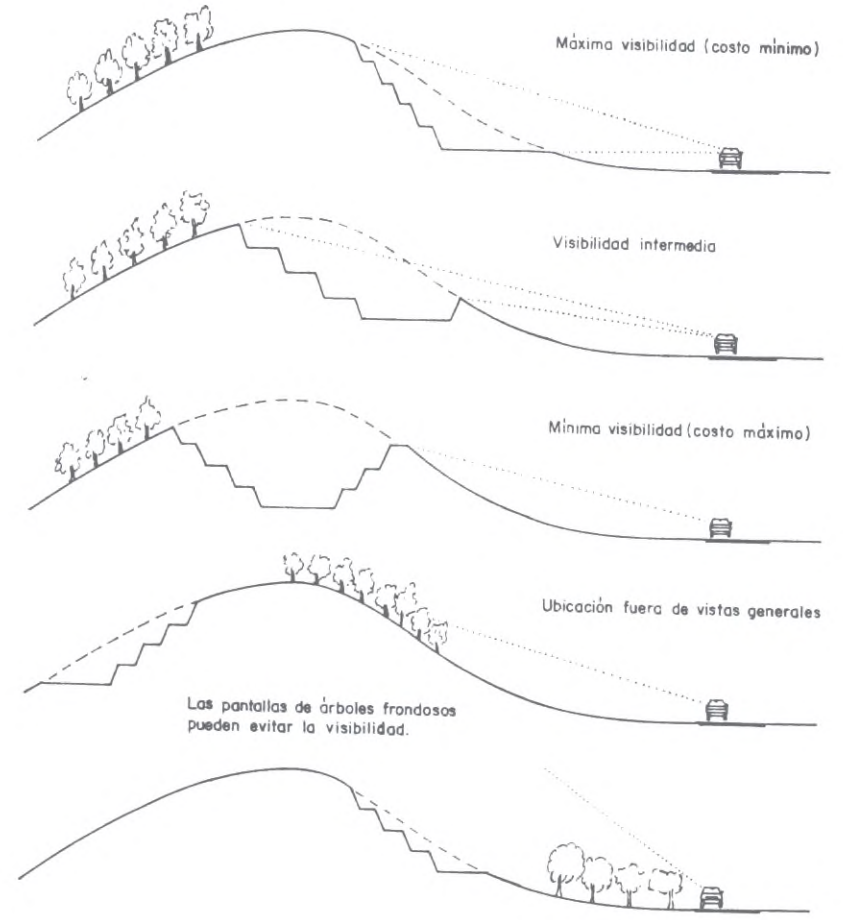
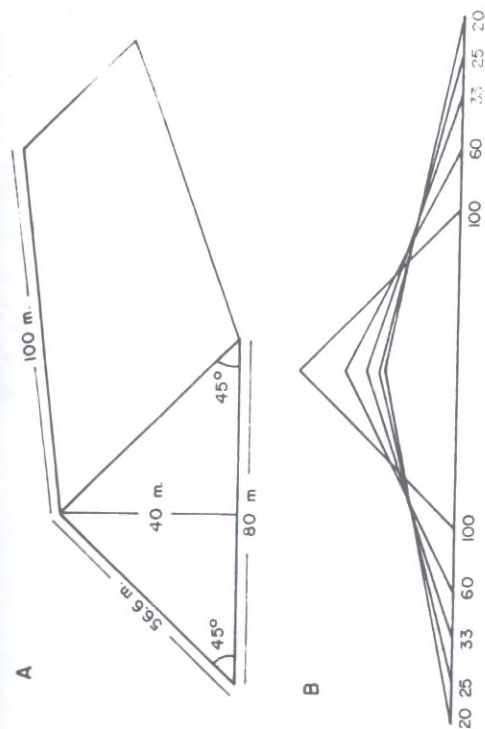


Fig. 7. Distintas posibilidades de explotación en función de la incidencia visual (IGME, 1988).



A. Características iniciales
B. Efectos de la disminución de la pendiente (en %)

Fig. 8. Efecto de la variación de la pendiente.
(Adaptado de Toy & Hadley, 1987)

CUADRO No 6
CARACTERISTICAS DE VERTIENTES ARTIFICIALES

RELACION	% (a)	GRADOS aprox (a)	BASE m (a)	ALTURA m (a)	LONGITUD m (a)	VALOR LS aproxim (b)	AREA m (c)	VOLUMEN cubieta m (d)
1:1	100	45	80	40	113	32	11.300	5650
1:2	50	26	113	28	126	14	12.600	6300
1:3	33.3	18	139	23	146	8	14.600	7300
1:4	25	14	160	20	165	5	16.500	8250
1:5	20	11	179	18	182	4	18.200	9100

a). valores aproximados.
b). valores de tablas de USLE
c). suponiendo ancho de 100 m
d). para cubrir la superficie con 0.5m de suelo
(Adaptado de Toy & Hadley, 1987).

Los puntos anteriores deben evidenciar la importancia de los aportes que pueden hacer la geomorfología en cada una de las etapas de una explotación minera. No se trata de presentar a esa rama de las ciencias de la tierra como una panacea, ya que muchos de los conocimientos necesarios aun no estan disponibles, particularmente para condiciones tropicales.

Se puede para terminar el tema citar a Coates (1984):
"El geomorfólogo esta entrenado para reconocer el equilibrio de los paisajes y los procesos responsables de su formación. Cuando el balance natural se distorsiona, es capaz de predecir el tipo y cantidad de modificación que las actividades humanas producen. Asesorando a los planificadores del medio ambiente, el geomorfólogo puede:

1. Sugerir maneras de minimizar la degradación del terreno
2. Proveer información para ayudar a mantener la seguridad, la salud y el bienestar del público.
3. Actuar con un sustituto de la naturaleza cuando las circunstancias requieren que se conserve la estabilidad".

El crecimiento de la minería en Colombia ha sido espectacular durante la última década: de 1% del PIB que ocupaba 1980 pasó al 5% en 1990. Los principales responsables de este incremento son el petróleo, el carbón, el oro y el ferroníquel, que totalizaban en 1989 unos 2500 millones de dólares en exportaciones.

La distribución porcentual de valores de la producción minera es como sigue para 1989:

Metales preciosos	45
Carbón	34
Esmeraldas	12
No metales	8
Metalicos	1

El tamaño de las explotaciones incluye desde la gran minería (carbón, níquel, algunas minas de oro, cemento) hasta la minería semi-mecanizada y artesanal (oro, esmeraldas, carbón). Las pequeñas explotaciones siempre han presentado problemas tanto en cuanto a la técnica de extracción, que muchas veces impide un aprovechamiento racional de los yacimientos, como en el beneficio de los minerales, que solo permite una recuperación parcial del producto.

Un aspecto particularmente importante de la extracción minera es la de materias primas para la construcción, que naturalmente tiene lugar cerca de sus centros de consumo. El gigantesco crecimiento de las ciudades colombianas (de 25% de población urbana en 1950, el país ha pasado a aproximadamente 75%) ha significado una gran demanda de materias primas. En algunos casos como Medellín, el espacio mismo para la expansión de las ciudades está llegando a su límite mínimo (Bustamante & Hermelin, 1990).

Este es el tipo de situación en el cual la minería debe enmarcarse dentro de una planificación local muy estricta que se discutirá más adelante (Cabral, 1988; Lemos et al, 1990).

En Colombia el requisito de impacto ambiental está muy avanzado desde el punto de vista conceptual (Gutierrez, 1986; Fonseca & Astralaga, 1986). La forma como se ha tratado es generalmente el calco de la matriz de Leopold (Leopold et al, 1971) o eventualmente el método de Battelle (Duek, 1979).

La exigencia de una evaluación exhaustiva del estado previo del medio ambiente puede justificarse en caso de proyectos mineros grandes (ver cuadro No 7, que se refiere únicamente a los aspectos geomorfológicos considerados para minería superficial de carbón). Sin embargo el costo de estos estudios puede llegar a ser muy alto proporcionalmente para proyectos medianos y pequeños. La siguientes cifras (Ahmad & Sammy, 1985) acerca de costos de estudios de impacto ambiental para plantas de tratamiento de aguas son interesantes:

CUADRO No 7
DATOS BASICOS RELACIONADOS CON GEOMORFOLOGIA QUE REQUIERE UNA
EXPLOTACION MINERA SUPERFICIAL EN CARBON

(Adaptado de la compilación de Toy & Hadley (187) del "Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977, Section 507, 508 and 515)

1. Tipo y método de minería a cielo abierto
2. Cantidad de terreno afectado (mapa)
3. Datos hidrológicos
 - 3.1. nombre de la cuenca
 - 3.2. localización de la corriente donde se descargarán aguas de la explotación
 - 3.3. régimen hidrológico del área
 - 3.3.1. cantidad y calidad de agua en sistema superficiales y subterráneos
 - 3.3.2. sólidos disueltos o suspendidos bajo condiciones estacionales de flujo.
4. Datos climatológicos
 - 4.1. precipitación estacional promedia
 - 4.2. rangos de temperatura
 - 4.3. dirección y velocidad promedias de vientos predominantes
5. Información geológica
 - 5.1. mapas y cortes verticales de los terrenos afectados mostrando:
 - 5.1.1. elevación
 - 5.1.2. localización de perforaciones de ensayo y muestreo
 - 5.1.3. naturaleza y profundidad de los estratos estériles
 - 5.1.4. localización y calidad de aguas sub-superficiales
 - 5.1.5. naturaleza y espesor de capa de carbón localizada sobre la capa explotable
 - 5.1.6. naturaleza de los estratos inmediatamente debajo de la capa explotable
 - 5.1.7. dirección y buzamiento del estrato explotable.
 - 5.1.8. localización del acuífero
 - 5.1.9. elevación estimada del nivel freático
 - 5.1.10. redes de drenaje naturales y artificiales y localización de cualquier descarga
 - 5.2. perfiles en cortes apropiados con la configuración superficial final prevista una vez recuperado el terreno.
 - 5.3. resultados de las perforaciones de ensayo y muestreo que incluyen:
 - 5.3.1. perfiles de los pozos
 - 5.3.2. espesor del estrato de carbón explotable
 - 5.3.3. análisis de las propiedades químicas del carbón
 - 5.3.4. contenido en azufre
 - 5.3.5. análisis químico y secciones potencialmente ácidas o tóxicas del descapote

- 5.3.6. análisis químico del estrato subyacente a la carga explotable.
- 5.4. si el terreno perturbado tiene buenas cualidades agrícolas, un estudio de suelos debe obtenerse o llevarse a cabo
6. Plan de recuperación
 - 6.1. identificación de la tierra expuesta a operaciones mineras
 - 6.2. condiciones de las tierras cubiertas por el permiso, anteriores a la explotación incluyendo:
 - 6.2.1. Usos de la tierra anteriores
 - 6.2.2. aptitud de las tierras anterior a la explotación, incluyendo:
 - 6.2.2.1. características del suelo y subyacente
 - 6.2.2.2. topografía
 - 6.2.2.3. cubierta vegetal
 - 6.2.3. productividad de las tierras
 - 6.3. uso propuesto de las tierras después de la explotación incluyendo alternativas
 - 6.4. técnicas de ingeniería propuestas para la explotación, recuperación y descripción del equipo mayor
 - 6.5. plan de control del drenaje y de la acumulación de las aguas superficiales
 - 6.6. plan para rellenos, estabilización, compactación, gradación y recubrimiento vegetacional
 - 6.7. plan para reconstrucción y estabilización del suelo
 - 6.8. descripción detallada de las medidas tomadas durante la explotación y la recuperación para asegurar la protección de:
 - calidad de los sistemas de aguas superficiales y subterráneas
 - cantidad de los mismos.
7. otra información (Environmental Protection Performance Standards)
 - 7.1. topografía del terreno antes de la explotación
 - 7.2. profundidad del suelo orgánico
 - 7.3. análisis químico y físico del suelo
 - 7.4. características de recarga del descapote vuelto a colocar
 - 7.5. geometría del cauce de las corrientes
 - 7.6. existencia y características de los valles aluviales
 - 7.7. diversidad de vegetación
 - 7.8. propiedades mecánicas de los esteriles

1. USA
 Plantas grandes (inversión total superior a 10 millones de US\$): Costo del EIA = 0.08%
 Plantas pequeñas (inversión inferior a 2 millones de US\$): costo del EIA = 5.4%.

2. Tailandia

Plantas grandes (inversión mayor de 250 millones US\$): EIA = 0.1%
 Plantas pequeñas (inversión menor de millón US\$): EIA = 1.1%

Los costos de estos estudios no son insignificantes y deben ser manejados con precaución. Sería interesante obtener este tipo de estadísticas para Colombia. Los formularios elaborados por el Ministerio de Minas y Energía para la presentación del estudio de declaración de efecto ambiental (mediana minería, pequeña minería) constituyen un buen intento para racionalizar las exigencias a los mineros. En este caso específico valdría la pena que el Ministerio se pusiera a hacerle un seguimiento a los costos que implica tanto el estudio como la aplicación de las medidas de protección.

El hecho preocupante sigue siendo la cantidad de pequeñas explotaciones que funcionan sin mayor control ambiental tanto en áreas rurales (Bajo Cauca, Marmato) como en las áreas urbanas (Canteras, areneras, chircales, etc). La pregunta más común que puede formular un observador desprevenido del aspecto ambiental de la minería es acerca de la coherencia que puede existir entre las exigencias rigurosas que deben cumplirse al solicitar la concesión y la capacidad de los organismos oficiales para hacer cumplir los reglamentos correspondientes durante el proceso de explotación.

CONCLUSIONES

Las reflexiones que siguen son totalmente personales y no comprometen a ninguna institución. Se dividen en tres aspectos, todos relacionados con la geomorfología y la minería.

A. Riesgo Geológico.

El concepto actual de medio ambiente es muy unilateral, en el sentido de que en su análisis se consideran las consecuencias nocivas que pueden tener las acciones humanas sobre la naturaleza. Siendo importante este aspecto, es necesario adicionar a los estudios de impacto ambiental el de las amenazas geológicas a las que puede estar sometido el proyecto (Hermelin, en prensa). Aunque en la mayoría de los grandes proyectos mineros se realiza con antelación el estudio de riesgos naturales, esto no siempre es cierto para proyectos medianos y pequeños. La carencia de este tipo de prevención en otros aspectos de la vida económica del país (urbanización, obras civiles) le cuesta al país cada año numerosas víctimas y daños cuantiosos.

B. Recuperación de terrenos.

1. Inventario de las tierras afectadas por minería sin control. Se

puede realizar periódicamente a un costo razonable por medio de imágenes de satélites, que además de localización y extensión permitirían obtener otras informaciones valiosas sobre el tipo de procesos que afectan estos terrenos.

2. Estudios de procesos geomorfológicos básicos en diferentes zonas del país: tasas de formación de suelos de acumulación de materia orgánica de crecimiento de especies vegetales, de erosión superficial sobre materiales seleccionados, etc). Los resultados de dichos estudios deberían ponerse a disposición de los mineros para que al aprovecharlos pudieran bajar los costos de recuperación de terrenos.

3. Fomentar la publicación de resultados obtenidos en procesos de recuperación (metodología, rendimiento, costos). La difusión de estos conocimientos a través de entidades como la Asociación Colombiana de Mineros prestaría grandes servicios.

C. Preservación de recursos minerales.

Muchos recursos minerales, particularmente los que están localizados alrededor de las grandes ciudades, se pierden para siempre cuando las áreas que ocupan son urbanizadas (ver Fig. 3). Tratándose muchas veces de materiales de construcción indispensables para el crecimiento mismo de la ciudad más cercana, podría el Ministerio de Minas tomar la iniciativa de identificar las zonas con potencial, señalarlas a las autoridades locales correspondientes (Distrito Especial, Áreas Metropolitanas, Alcaldías) y solicitar que los permisos de ocupación urbana solo fueran otorgados con base en la realización de un estudio de prefactibilidad de explotación minera para las áreas más prometedoras. Obviamente se puede diseñar cualquier otro mecanismo, pero la finalidad es clara: evitar la pérdida de los recursos.

D. Nuevos diseños ambientales

Los materiales de construcción tendrán que seguir explotándose en zonas cercanas a las ciudades o en su perímetro mismo, ya que el factor transporte incide en forma importante en su costo. Los frecuentes abusos cometidos por los productores han llevado a las entidades locales a una gran reticencia en la concesión de permisos de funcionamiento. Una acción del Ministerio en el sentido de un control adecuado acompañado de una asesoría técnica para recuperación y para diseño de sistemas de explotación que no sean perjudiciales para el entorno natural y las zonas pobladas circundantes permitiría solucionar ese problema. El ejemplo de las medidas tomadas en ese sentido en varias ciudades brasileñas es muy aleccionador (Cabral, 1988; Lemos et al, 1990; Yazbeck, 1990).

BIBLIOGRAFIA

- Agrícola, G., 1980
Vom Berg-und Huttenwesen (1556)
Dünndruck-Ausgabem dtv bibliothek
München: Deutscher Taschenbuch Verlag
GmbH & Co, 610p.
- Ahmad, Y. J. & Sammy. G.K., 1985
Guidelines to Environmental Impact Assessment in Developing Countries
London: Hodder & Stoughton, 52p.
- AICA, 1986
Seminario impacto ambiente en proyectos de carreteras. Memorias.
Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Alfors, J.J., Bruer, W.G., Burnett, J.L & Gay Jr., T.E., 1973
Urban Geology Master Plan For California
California División of Mines and Geology, Bulletin 198, 112p.
- Almonacid, J.E., 1990
Metodología para la calificación ambiental de un plan de expansión de proyectos hidroeléctricos.
Revista AINSA, V. 10, No 1, p. 21-62.
- Arango, M., Aristizabal, O., Betancur, J., Vasquez, C. & Hermelin, Mosca.
Estudio preliminar de la parte alta de la Cuenca de la Quebrada La
AGID Report 13: Environmental Geology and Natural Hazards in the
Andean Region, p. 1-12.
- Arboleda, J.A., 1989
Una propuesta metodológica para la identificación y evaluación de impactos ambientales.
Revista AINSA v. 9 No 2, p. 5-13.
- Archer, A.A., Luttig, G.W. & Snezhko, I.I., Editors, 1987.
Man's dependence on the Earth, the role of the Geosciences in the Environment UNEP, Nairobi; UNESCO, Paris; Schweizerbarts'sche Verlagbuchhandlung, Stuttgart, 216p.
- Banco Mundial, 1974.
Consideraciones ambientales, de salud y de ecología humana en proyectos de desarrollo económico. Washington: Banco Mundial, 172p.
- Bedoya, J., 1985.
El hombre y su ambiente
Medellín: Anales Facultad Nacional de Minas, 168p.

Bustamante, M., & Hermelin, M., 1990
Geología ambiental del área urbana de Medellín, Colombia
I Simposio Latinoamericano de Risco Geológico Urbano, Sao Paulo,
Memorias, p. 471-481

Cabral, S., 1988
Extracción mineral e os impactos ambientais
in Ciclo de Mesas Redondas: Grande Rio: impropriedades no uso
do solo.
UFRJ, ADGE, CE & ABMS, Rio de Janeiro, p45-88

C.L.E.C.S.A./I.G.M.E., 1988
Minería y medio ambiente
Madrid: Instituto Geológico y Minero de España

Coates, D.R., 1981.
Environmental Geology
New York, John Wiley & Sons, 701p

Coates, D.R., 1984.
Geomorphology and public policy
in: Costa J.E & Fleischer, P.J. Editors,
Developments and Applications of Geomorphology
New York, Springer-Verlag, p.97-132

Day, D.G., 1987
Surface coal mining and the geomorphic environment in Eastern
Australia.
International Geomorphology 1986, Part I
E. Gardiner, Ed.
Chichester: John Wiley & Sons, p. 359-380.

Duek, J.J., 1979
Métodos para la evaluación del impacto ambiental
Mérida, Editorial UPB, 91

Ellis, D., 1989
Environments at Risk
Case histories of impact assessments
Berlin: Springer-Verlag, 329p.

Fleisher, P.J., 1984.
Maps in applied geomorphology
in Developments and Applications of Geomorphology
Edited by J.E. Costa & P.J. Fleisher
Berlin: Springer-Verlag, p.171-202.

Fonseca, C. & Astralaga, M., 1986
Políticas y objetivos de los estudios ambientales.
in Memorias Seminario Impacto Ambiental
en Proyectos de Carreteras. Bogotá, Universidad Católica de
Colombia/AICA, 12p.

Gallego, V., E. & Vadillo F., L., en prensa
Reclaiming areas degraded by mining operations.
International Meeting on Earth Sciences for Environmental
Planning: a Three-sided Advanced Workshop (Santander, Spain (1989)
Berlin: Springer-Verlag.

Giraldo, S., J.R., 1986
Estudios de impacto ambiental: un modelo metodológico para
proyectos del sector industrial.
Monografía mecanografiada. Medellín, Universidad Pontificia
Bolívariana, 172p.

Gobernación de Antioquia, DNP, INDERENA, 1986.
Manual del Minero, Guía No 1, Explotación Aurífera y Medio
Ambiente.
Medellín: Banco de la República, 56p.

Gutierrez, C., I., 1986
Esquema conceptual de la legislación ambiental en Colombia.
in Memorias Seminario Impacto Ambiental en Proyectos de
Carreteras. Bogotá, Universidad Católica de Colombia/ AICA.

Hart, P.B., August, J.A. & West, A.W., 1989.
Long-term consequences of topsoil mining on select biological and
physical characteristics of two New Zealand loessial soil under
grazed pasture.
Land Degradation and Rehabilitation v. 1, p.77-88.

Hermelin, M., en prensa
Environmental Geology in Latin America: the Colombian experience
International Meeting on Earth Sciences for Environmental
Planning: a three-sided Advanced Workshop, Santander, Spain (1989)
Berlin: Springer-Verlag.

Hermelin, M., en prensa
Los suelos del Oriente Antioqueño: un recurso natural no
renovable.
Bull. Institut Francais Etudes Andines Lima, Peru (1990)

Hermelin, M., en prensa.
Riesgos geológicos en Colombia: situación actual desde los puntos
de vista institucional y de la metodología.
I Simposio Latinoamericano de Risco Geológico Urbano, Sao Paulo,
Memorias, p. 482-492, (1990).

Hermelin, M., en prensa
El olvido de la tierra: Reflexiones sobre el actual concepto de
impacto ambiental.
Revista Dyna.

Moore, R. & Mills, T., 1977.
An environmental guide to Western surface mining, Part II: impacts, mitigation and monitoring
Western Energy and Land Use Team, Office of Biological Services, Fish and Wildlife Service, U.S., Department of the Interior.

Narten, P.F., Lintner, S.F., Allingham, J.W., Foster, L., Larsen, D.M. & McWreath III, H.C. 1983.
Reclamation of Mined Land in the Western Coal Region.
U.S. Geological Survey Circular 872, 56p

Ortolano, L., 1984
Environmental planning and decision making
New York: J. Wiley & Sons, p.43.

Patino P., M., 1985.
Legislación Ambiental Colombiana
Bogotá: Universidad Santo Tomas, 355p.

República de Colombia
Código Minero
Decreto 2655, 2656 y 2657 de 1988
Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

República de Colombia (1990)
Ministerio de Minas y Energía
Registro Minero Nacional: Formularios para la presentación del estudio de declaración de efecto ambiental (Mediana Minería, Pequeña Minería).

Simonds, J.), 1978.
Earthscape, a manual of environmental planning New York:
McGraw-Hill Book Co, 340 p.

Sivadas, K.M., 1987.
Geomorphology and ore characteristic-gems of Kerala, India
International Geomorphology 1986, Part I. E. Gardner, Ed.
Chichester: John Wiley & Sons, p. 263-272.

Sytchev, K.I., 1988
Water Management and the Geoenvironment Vol. 1, Geology and the Environment an International Manual, Paris: UNESCO, 179p.

Toy, T.J., 1984
Geomorphology of Surface-mined lands in the western United States in Developments and Applications of Geomorphology, Edited by J.E Costa & P.J. Fleischer: Berlin: Springer-Verlag, p.133-170.

Toy T.J. & Hadley R.F., 1987
Geomorphology and reclamation of disturbed lands
Orlando: Academic Press Inc, 480p.

Kapule, D.E. 1987.
Characteristics of relief in connection with the study of mineral deposits.
International Geomorphology 1986, part I., V Gardiner, Ed.
Chichester: J. Wiley & Sons, p. 273-285.

Keller, E.A., 1976.
Environmental Geology
Bell & Howell, Columbus, (Ohio), 488p.

Lee, F. T. & Abel, Jr., J.F., 1983.
Subsidence from underground mining: environment analysis and planning consideration.
U.S. Geological Survey Circular 876.

Lemos, A., C Valladares., P. & Abissi N., S., 1990
Risco geologicos-geotecnicos de mineracao: estudio de caso de municipio de Sorocaba.
Memorias I Simposio Latinoamericano sobre Risco Geologico Urbano, Sao Paulo, A.B.G.E., p 293-304.

Leopold, L.B., Clarke, F.E., Hanshaw, B.B. & Balsley, J.R., 1971.
A procedure for evaluating environmental impact.
U.S. Geological Survey Circular 645, 13p., cuadro.

Lewin, J. & Macklin, M.G., 1987
Metal mining and floodplain sedimentation in Britain.
International Geomorphology 1986, Part I. V. Gardiner, Ed.
Chichester: John Wiley & Sons, p. 1009-1027.

López, R., J.E. & Tobon, O.L., 1990
Evaluación de la calidad química de aguas superficiales en el Distrito de Marmato, Departamento de Caldas, Colombia.
AGID Report 13: Environmental Geology and Natural Hazards in the Andean Región, p. 379-398.

Lüttig, G.W., 1979
Oberflächennake Rohstoffe un Offenlichkeit. Naturwiss., v. 66, No 11, p. 535-538, Berlin, Springer.

Lüttig, G., 1986.
Keynote address, Prodeedings of the International Symposium "Geological mapping in the service of environmental planning, F.C Wolff, Editor, Trondheim, NGU, p.5-10.

Lüttig, G.W., 1987
Approach to the problems of mineral resources' extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries.
in Arndt, P. & Lüttig, G.W.,
Mineral resources extraction, environmental protection and land use planning in the industrial and developing countries.
Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagbuchhandlung, p. 7-13.

Turner A.K. & Coffman, D.M., 1973
Geology for planning: a review of environmental geology
Quart. Colorado School of Mines, v. 68, No 3, 127p.

Valdiya K.S. 1987.
Environmental Geology, Indian Context New Delhi: Tata McGraw Hill
Publ.Co Ltd, 583p.

Wolff, F.C., Editors, 1986
Geology for environmental planning. Trondheim, Noruega: Norges
geologiske undersøkelse, 121p.

Yazbek B.,D., Fornasari F.,N. & de Oliveria B., T. 1990
A inserção da análise de riscos geológicos em estudos de impacto
ambiental. EIA: considerações a partir do caso de minerações em
áreas urbanas
Memórias I Simposio Latinoamericano sobre Risco Geológico Urbano,
São Paulo, ABGE, p. 248-254.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF COAL HANDLING AND STORAGE AT COAL TERMINALS

By

David Crook, P. Eng., Manager, Engineering & Environmental Services, Westshore Terminals Ltd.
Patrick Hill, P. Eng., Director of Business Development, Sandwell Inc. Consultants, Vancouver

SYNOPSIS

This paper deals with environmental aspects of coal handling and storage with particular reference to coal import and export terminals. The paper describes dust, surface run-off, groundwater, noise and visual sources of pollution, typical environmental regulations, and methods of control. The actual control systems of existing and proposed terminals are described.

ENVIRONMENTAL PLANNING

A planner is concerned with developing a functional and environmentally acceptable coal terminal for the least capital and operating cost per tonne. The terminal must be designed to handle the forecasted throughput and integrate with the supporting import and export transportation systems. It must also be designed with careful attention to meet the regulations of environmental authorities. With the growing NIMBY (not in my back yard) reaction and the special concerns in preserving our environment it is essential that planners thoroughly prepare their homework to meet the environmental regulations. Only recently was a 10 mtpa coal terminal development delayed because the owner did not prepare properly for a public meeting and the environmental concerns raised by the few local home owners affected set back the permit application.

Dust emissions, run-off and ground water seepage, noise/vibration and appearance are pollution effects which will impact on the environment. Planning must incorporate systems to ensure these impacts meet environmental regulations. In some cases, the environmental program for a project may have to exceed normal regulations to gain the support of the public and politicians.

POLLUTION SOURCES

Dust Emission

Coal is a remarkably dirty material - even the smallest amount can blacken your white car or transfer from shoes and soil a carpet in no time. The more fines in coal and the less moisture content, the more the likelihood there is of dust. While basically inert, some coals are also quite corrosive over time due to their

Airborne dust is probably the main pollutant - certainly as perceived by the public. Dust can be generally considered as particles up to 500 microns (0.500 mm diameter). Dust that is greater than 100 microns will settle relatively quickly. Dust that is a respiratory hazard is in the range of 10 microns or less. Airborne dust is generated through:

wind blowing over exposed coal piles or spilled coal. Generally where winds are above 8 metres per second (30 kilometres per hour) and if the moisture content is less than 6% dust particles will become airborne;

vehicle movements over paved areas and stockpiles;

coal in motion; i.e. at conveyor transfer points, stacking, reclaiming, bulldozing, shiploading/unloading including offshore barge to ship transshipment operations and train unloading operations.

Transportation of airborne dust will not be a pollutant problem external to a terminal if there is NO wind, except for the possibility of dust blowing off trains or trucks as they move to and from a terminal.

Surface Water Contamination

Coal and dust emissions can become waterborne by:

spillage over water at ship/terminal and offshore transfers;

surface run-off over exposed coal;

washdown;

airborne dust collected by falling rain.

Groundwater Contamination

Contamination can occur by:

rain falling onto the storage area and seeping into the ground;

washdown water or dust abatement spray water seeping into the ground.

Noise will result mainly from train operations such as wheel squeal, diesel engines, whistles or air horns, and shunting. The passage of trains under certain conditions may result in significant vibrations causing minor structural damage and discomfort.

Terminal handling equipment and mobile equipment, particularly bulldozers will also be a source of noise.

Visual

The visual effects of a terminal are a major concern where locations exist adjacent to residential or recreational areas. This form of pollution may grow in importance when only the more environmentally sensitive sites in close proximity to areas frequented by the general public are available for new terminals.

ENVIRONMENTAL REGULATIONS

Regulatory authorities exist at Federal, State or Provincial, Municipal or County, and Regional levels of government. The dovetailing of responses to these authorities and the interaction with the public make for a thorough and lengthy process to obtain appropriate permitting. It is essential this process is scheduled early into the planning/design process.

Regulations relating to the United States and Canada include but are not limited to:

Dust Emissions

In the United States, the U.S. Clean Air Act regulates ambient air quality and emissions of air pollutants to protect public health and the environment. The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) is authorized to develop regulations and implement programs under the Act. The authority to administer the air pollution control program is delegated to the state government provided that the state demonstrates that its program is equal to or more stringent than the federal program.

The U.S. National Ambient Air Quality Standard for particulate was changed from a Total Suspended Particulate criteria to a PM-10 fine particulate (nominal 10 micrometers particle diameter) of 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ averaged over a 24 hour period, and 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ annual average. The Prevention of Significant Deterioration (P.S.D.) program requires an owner or operator to obtain a construction permit for a major new source of air contaminants. Best Available Control Technology (BACT) is normally required. More stringent criteria may be applied in areas that are not in attainment of the ambient air quality standard.

primary responsibility to regulate emissions from industrial sources, and may also establish ambient air quality standards that are more stringent than federal objectives. Dust control requirements for coal terminals are generally as stringent as those in the United States, particularly where the terminal is located near an urban area.

Despite significant differences in ambient air quality standards from country to country, most new coal handling facilities today will be required to apply Best Available Control Technology (BACT) or Best Management Practices for dust control. Storage pile water spraying and dust collection systems or conveyors will be required to meet the dual criteria of little or no visible emissions from any source on the property, and no violation of ambient air quality standards at or beyond the terminal property line. Visual dust emissions will generally be regulated to an opacity of 10% or less (barely visible). Off-site particulate pollution from the coal handling facility and all other neighbouring sources will be limited to ambient air quality standards which vary considerably - e.g. 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hour average) for total suspended particulate in Canada to 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hour average) for fine particulate matter less than 10 micrometers (MM) particle diameter in the United States. If it is assumed that the fine particulate matter is say 10-30 percent of the total suspended particulate, it is obvious that Canadian regulations are more stringent.

Wastewater Discharge to Surface Waters

In the United States, a National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) permit is required prior to discharging process wastes from an industrial operation to surface waters. The permits require compliance with federal standards and may also require additional controls based on local conditions. Normally the requirement is for BACT. As in the case of air emissions, the NPDES program management is, in most cases, delegated to state government. The NPDES program is now being expanded to include discharges to surface waters from stormwater collection systems at industrial sites.

In Canada, surface water discharges are regulated by provincial agencies, generally through a waste discharge permit for the facility.

Groundwater

Groundwater discharges are normally regulated at the U.S. state or Canadian provincial level. Criteria are usually established on a site specific basis, depending on the existing or potential use of the groundwater resource. Where the aquifer is a source of drinking water or agricultural irrigation, stringent measures are required to prevent infiltration of contaminated surface water. Where the aquifer is the source of water for dust control assessment of the aquifer reserve will be required for a permit for above normal demand.

Any terminal operation in or adjacent to U.S. wetlands will fall under the jurisdiction of the U.S. Corps of Engineers.

Noise

Regulations for noise/abatement in the U.S. are generally set by the local, city, or regional government with regulatory authority. Noise level restrictions usually vary according to land use zoning with residential areas being the most restrictive. Restrictions may also vary according to the time of day (e.g. night restrictions may be more stringent).

ENVIRONMENTAL PROCESS

It is essential when planning a terminal to get an early understanding of the procedural process involved to meet environmental requirements and the timing required so it may be built into the development schedule. Each process can involve site inspections, possible site investigation, preparation of reports, meeting with regulatory authorities, interaction with client, preliminary application, modification, public hearings, final modifications, final review, and finally a permit issue. Certainly a time consuming process. The time involved can be longer than the engineering design and may extend if not approached thoroughly and carefully. Typical application times include:

Air Quality Permit - For dust emissions and possible air quality monitoring.
State or Regional Air Pollution Control Board 40-50 weeks

Pollution Abatement Permit - For waste water treatment and discharge.
State Water Control Board 35-40 weeks

Groundwater Use Permit - For water withdrawal from local aquifer.
State Water Control Board 35-45 weeks

Wetlands Permit - For operation adjacent to wetlands.
U.S. Corps of Engineers 20-25 weeks

METHODS OF POLLUTION CONTROL

Methods of control can be provided by "planned systems" and through "methods of terminal operation"

Cost Effective Design

A terminal must be competitive. Therefore pollution control systems should be developed with consideration of their costs on the cost per tonne of coal handled through a terminal. Typically dust flight from piles is a main source of pollution. While a cover over a complete terminal would eliminate most aspects of the dust emission problem it would certainly prove, at this time, to be uneconomic. This capital cost must be examined against open pile systems, their pollution problems and the costs of systems to mitigate the dust emission. Consideration must also be given to the operational functions such as loss of flexibility, handling methods, fire hazards, and the expansion potential of covered storage.

The use and extent of pollution control systems for railcar (un)loading, ship (un)loading, stacking and reclaiming, conveyors and transfer points, and the extent of coal spraying, clean-up and washdown must be decided. Careful planning can provide economic systems that meet the regulatory requirements.

Location

A terminal location will be based on an assessment of land and sea transportation requirements, marine conditions and access available; land area and foundation capacity; and the terminal impact on the local environment and developments. The terminal space available will also have a bearing on the nature of storage and what systems can be used to collect and dispose of run-off water.

While terminals can be acceptable adjacent to residential or recreational areas it is unlikely they could operate adjacent to a pulp and paper mill for which coal dust is an anathema. Extensive trucking or raitling through built up areas may not be acceptable to local residents. Since wind blown dust is a major pollution factor the location of a terminal downwind of a developed area is obviously deslrable. Location adjacent to wetlands or water reservoirs will require particularly stringent environmental pollution systems to avoid contamination. Some locations of an environmentally sensitive nature will require compensation programs to replace the area occupied by the terminal with an equal area of equivalent growth or wildlife habitat.

Climate

Pollution systems will be influenced by the extent and severity of wind and rain. Severe wind conditions will cause dust to become airborne resulting in unacceptable pollution particularly where developed areas are relatively close. This condition would be accentuated by rapid evaporation of surface moisture caused by the suns warmth and low relative humidity. The amount and distribution of annual rainfall is a factor in

other sources such as local water authority or desalination and the sizing of on site reservoir facilities to maintain an adequate reserve. The cost of water will also be a consideration in determining how much to provide and whether chemical additions should be made. Continuous heavy rains may result in the use of special systems to prevent run-off from a terminal particularly those located on rock. Climate records require careful analysis to assess prevailing winds, speeds and duration, and precipitation.

Storage

The method of storage is a key factor in the environmental planning of a terminal. Coal may be stored above ground in open or covered configurations or below ground. At most terminals open storage is the usual and accepted method. In small operations the storage systems may include underground rock caverns or 'glory holes' with or without A-frame covers. Underground storage is very expensive and not always feasible due to the extent of ground water or other geological conditions. Sandwell is currently examining both above and below ground (including rock caverns) configurations for a 10 mtpa coal import terminal. This, however, is not a normal requirement and only above ground configurations will be discussed here.

Open Storage

Depending on the characteristics of the coal and the ground, piles have been designed up to 65 to 90 feet in height. Coal is usually stacked in longitudinal piles with triangular or trapezoidal cross sections, depending on the stacking process.

Long piles should be aligned with the prevailing wind where possible to minimize the turbulence and dust effects of wind blowing across the piles.

Open storage is a less expensive form of storage, and therefore is generally used for large storage requirements which can occur at power stations or terminals designed for seasonal and transportation fluctuations. Open storage provides a maximum flexibility in handling various grades. It is also better suited to coals with combustion problems.

Coal can be placed in storage by overhead conveyors, stackers and mobile equipment; reclaim can be by gravity flow to tunnels with mobile equipment assistance and by bucket wheel reclaim and scraper systems. Gravity reclaim systems to tunnels require about 65 percent of the coal to be moved by mobile equipment to the reclaim opening which can create a significant dust problem. Bucket wheel reclaim or scraper systems can reclaim up to 95-100 percent of coal without assistance.

Large earth berms have been built around coal terminals

Closed Storage A-Frame Systems

These are generally constructed with a flat slab on grade and an A-frame cover over. They are acceptable for most terminal locations. They have low soil bearing pressure requirements and have the ability to absorb reasonable soil settlement. Stacking can be by overhead conveyor with reclaim by front-end loaders, underground tunnel or scraper reclaim systems. The land area occupied is greater than with open storage. Generally the stockpiles are triangular in section and provide minimum volume. When open stockpiles are side-by-side there is an opportunity to store coal between the piles by dozing, this opportunity is lost when piles are covered. Mechanical reclaim of material varies from 65 to 100 percent. Problems of spontaneous combustion in enclosed storage areas may be difficult to reach because of the structure.

A-frame covers are not normally found at terminals but are more frequently used at mines or power plants where detrimental climatic conditions may exist.

Closed Storage Silos or Domes

Large silo capacities exist up to about 30,000 tonnes. Storage is expensive, the structural costs would be more in severe earthquake zones. High allowable foundation pressures are required. Piling may be required on all sites. Silos must be designed for specific coal flow characteristics, i.e. a bin will require a design for the worst characteristics of any coal grade to be handled. Gravity flow can provide high reclaim rates, but mechanical reclaim systems must be carefully designed with the silo shape to ensure the coal will be reclaimable. Silo storage provides blending opportunities but incurs reduced flexibility of operation. Silo storage may be appropriate where the cost of land is very high since the area required for storage is reduced. One coal import facility in Taiwan has considered the use of a 100,000 tonne silo (55 metres diameter by 74 metres high) with 4 rotary plough reclaim machines.

Dome storage is not a normal type of storage system because of poor utilization of site area, complex handling systems and costs. However a 150,000 tonne storage dome does exist at the Takehara coal-fired plant in Japan and dome storage for 120,000 tonnes is being considered by New Brunswick Power in Canada. The structure is 140 metres in diameter and will have a circular stacking and a rake reclaiming system. The capital cost is approximately \$200/tonne versus about \$30-\$50/tonne for open storage equivalent.

The terminal planner will need to carefully assess the aspects discussed above bearing in mind the cost of closed storage even for smaller throughput operations may be up to many times that of open storage. However, open storage areas will need careful treatment to minimize dust emission.

Dust Sources and Control Systems

Dust sources and methods of mitigating their environmental impact to acceptable levels are indicated below.

Rail Car Dumping

Rail cars can be unloaded by rotary dumping or by bottom dumping over pits or from trestle systems. Rotary and bottom dumping are the normal means of unloading and provide good control of dust emissions. Rotary dumper pits are carefully shaped and rotary dumper equipment is designed to minimize dust emission. Displaced air and dust is collected by dust collection systems. Typical dust control systems are

enclosure of building, closure of train entrance and exit ways to a minimum through size of curtains (usually old conveyor belts),

baffle and seal systems around the rotary portion of the dumper to minimize dust loss,

fine water spray to suppress dust in the more dust susceptible coals;

extraction of dust from dumper building using either a dry bag filter system or a wet scrubber system

washdown of equipment and structures with washdown slurry being pumped to a settlement pond for subsequent recovery of water and coal.

Train Washdown

Trains will have dust and coal particles both inside and outside of rail cars after unloading. These are removed to certain degrees by water jets particularly on external ledges in the cars. The washdown slurry is collected and pumped to settlement ponds.

Conveyors and Transfer Points

Coal moving on conveyors even at speeds up to 6.5 metres per second is not a dust problem. The problem exists from strong cross winds so belts need to be protected by side wind guards, belt covers or by full conveyor and walkway enclosure. Dust is not a problem at transfer points unless poorly designed. Dust emissions can be reduced by:

closed in transfer points
side wind screens in exposed areas, particularly elevated or wharf belts
covered belts or enclosed conveyor and walkway
fine spraying during transfer as required,
dust collection at transfer
minimum 1.5 metre underside clearance for clean-up accessibility;
equipment and structural washdown. The slurry is pumped to settlement ponds,
use of pipe conveyors (normally restricted to about 2,000 tph

Ship Loading

For shiploading control systems include:

- use of totally enclosed conveyor and walkway system with washdown capability (the fully enclosed system will likely be a future requirement);
- use of telescopic chute and 360° rotating adjustable horn to place coal in hold;
- discharge below hatch level;
- stop flow at hatch changes;
- load out stopped in excessive winds (greater than 50 km/h).

For barge loading particularly when barges are to be used for offshore transshipment the last minute addition of water may be considered to minimize dust pollution during transfer.

Ship Unloading

Ship unloading can be by grab unloading gantries, continuous unloaders, and self unloading ships. Continuous unloaders are being used more frequently as their systems are improved and have less dust emission problems. Self unloading ships direct their conveyor discharge directly into onshore hoppers which can, if required, be partially enclosed and equipped with dust collection systems.

A grab unloader is generally a major source of dust emission. Dust emission can be reduced by:

- use of grabs which close properly and have a high closing force;
- proper sized receiving hopper (opening area 6 times that of open grab area);
- side screens on hopper (these would be about 10 metres high and have 40-60 percent permeability to reduce wind speed. Hole size may be 3 x 3 mm. Non-permeable wind screens cause turbulence);

spraying hopper (coal above 6 percent moisture will cause little dust emission. 6-10 nozzles may use up to 24 US gpm per cycle over a 10 second operation time.
closed door system on hopper
flap on hopper to minimize loss between ship and wharf,
dust collection system
reducing free fall.
not overloading grabs and causing spillage
grabs in transverse orientation
automatic control of cycle.

Wharves used for ship loading or unloading should be built with kerbs for ease of washdown and collection

Stacking and Reclaiming

- Head end of stacking conveyors supplied with system of spray nozzles, turning stackers to reduce exposed fall of coal;
- telescopic discharge tubes to reduce extent of exposed drop;
- spray system located at boom tip to operate in bucket wheel reclaim area;
- stacking at low level during windy periods.

Open Storage

Dust emission generally results from winds greater than 6-8 metres per second and coals with a moisture content less than 6 percent. The problem is accentuated in coals having a higher than usual fines content. Studies have shown that the leading edge of the high part of piles incur maximum negative pressures from winds. This is accentuated if the pile is not maintained in a smooth configuration. In actual operation there are many piles on a site depending on the number of grades and equipment. The piles may be in varying configurations. The ability to spray all areas of the piles is therefore desirable. Studies have also shown that peak gust speeds between stockpiles may be increased by about 20 percent over free stream peak gust speeds at about 10 metres above ground.

Dust emission can be controlled by:

- exterior rings of high and low rotary sprinklers around the piles;
- interior lines of low level rotary sprinklers inside of the piles;
- sprays on stacking or reclaim equipment;

- paved storage and roadway areas;
- wind barriers or screens;
- pile containment low level mobile walls;
- temporary pile covers;
- crusting agents

Low level sprinklers are normally located about 3 metres off the ground and about 50-100 metres apart. They are rainbird or agricultural sprays which use about 500-600 US gpm and spray a stream of water about 50 metres. They are used to keep piles moist prior to strong winds occurring. At Westshore Terminals they can spray about 90 percent of the storage areas and can be operated locally and remotely.

High mast sprays may consist of rainbird sprays or a spray bar with a series of nozzles located on a 30 metre high pole about 50-100 metres apart. They use about 50-70 US gpm. A recent innovation at the Westshore Terminals has been to use a nozzle configuration to produce a much finer mist. This has greatly increased their effectiveness and it is envisioned that the high mast sprays will play a greater role on dust control than previously. They will be computer operated to turn on an optimum selection of mast sprays.

An alternative method for spraying piles was used for the 550,000 mtpa of raw coke at the Great Lakes Carbon terminal in Ghent, Belgium. It consists of a 90 metre diameter rotating sprinkler arm installed on top of an 18 metre tower set in the stockpile area.

Stacker and reclaimers boom ends are fitted with one or two nozzles.

Water trucks capable of carrying 3,000 gallons of water are used to spray the piles and wash down the roadways which are paved. They can pump at 300 US gpm and shoot a stream of water 50 metres.

Wind barriers of a semi-permeable nature are sometimes used to reduce wind speeds and hence dust emission in special environments. Currently fences are being considered at the Hsinta terminal in Taiwan in order to protect the extensive fish pond operations downstream. The fences are 20 metres high and the coal piles are 10 metres high. Earth berms can also be used but take up considerable land area. The use of low level (3 metres high) mobile fences around the base of coal piles is an effective method reducing the spread of wind blown dust and improving the visual cleanliness of the terminal.

Security storage piles at power plants are often covered to protect them from oxidation and to prevent pollution. Covers may consist of asphaltic bitumen or an impermeable membrane sheet covered by 12 inches of sand and 6 inches of top soil for grassing over.

terminals is too short for crusting agents to be economic. Agents come in two forms - those which will increase the wettability of water and hence the surface area of water binding dust particles together, and those which bind the surface of the coal together. Two or three applications of emulsion binding agent binder can provide a robust surface seal. Many varieties and combinations exist on the market and can be applied to the piles from the water truck or applied on the coal at a transfer point. However, to obtain the most economic return the terminal operator will not want to treat all the coal going into storage but only that which is near the surface. The stacker operator would probably be best positioned to control any such application.

Water Requirement

A planner must determine the source of water available for spraying, the extent of recycling, the peak demand and reservoir (surge) requirement. Westshore Terminals are currently carrying out a \$30 million modification to their terminal to create more storage space and improve their operation which is handling about 20 mtpa and will have an ultimate capacity of over 30 mtpa. Here are some statistics which tend to indicate the increased measures to mitigate dust emission:

	<u>Existing</u>	<u>After Project</u>
Gross Site Area	100 Acres	Unchanged
Stockpile Capacity (tonnes)	1.9 million	3.2 million
Stockpile Surface Area (sq.ft.)	2.2 million	3.3 million
Rainbird Sprays	63	81
High Mast Sprays	15	35
Tower Sprays	0	1
Water Trucks	3	3
Reservoir Capacity (US gallons)	1.0 million	1.5 million
Annual Water Usage (US gallons)	140 million	200 million (est.)
Res. Pump Capacity (USgpm)	3300	5800
Dumpers	2	2 (1 relocated)
Transfers (excl. shiploaders)	7	6
Yard Conveyor Length (feet)	11550	15350
Stacker Reclaimers	3	Unchanged
Stacker Reclaimer Track (feet)	3380	5930
Stacker Reclaimer Pumps	3	6 (3 spares)
Shiplading Berths	2	Unchanged
<u>Climatic Data:</u>		
Total Annual Precipitation	34 inches	
Annual Days with Rain	145	
Annual Hours wind > 40 km/hr.	1019	
Predominant Wind Direction	From SE	

maintain an adequate surge demand to provide sufficient storage to meet peak demands. In Westshore Terminals expanded facility there will be two reservoirs with 4 - 1100 US gpm pumps which can allow the effective use of 10 rainbird sprays at one time. Settlement basins which receive washdown and run-off water need to have capacities to meet design storm conditions.

Methods of Terminal Operation

The installed dust suppression systems need to be operated properly to obtain the optimum result. The environmental success of a terminal is the responsibility of the individual operators as well as management.

A policy statement laid down by Westshore Terminals dictates that:

- a close watch must be kept on the weather report;
- the piles must be kept wet at all times;
- protection of the environment has priority over production.

Their operating methodology includes a daily review of the official weather forecast received from the Pacific Weather Centre, Environment Canada. The shift supervisor will designate to an operator the responsibility of dust control. The operator will, if weather conditions require it, activate low or high mist sprays. He will check the piles for wetness, coverage, washout, and the level of water in the reservoir. Since coal may dry out in 1/2 hour in dry windy conditions and, under some conditions, up to 1 million US gallons may be used in a day, it is evident that the operator and his team can be busy, certainly when the wind exceeds 30-40 kilometres per hour.

Other preventative operational procedures include:

- minimizing coal spillage;
- reducing amount of exposed coal for long term retention. Specifically by use of temporary covers or a crusting agent;
- preventing the dust from becoming airborne by spraying with water and/or crusting agents;
- cessation of operations in high winds;
- minimum handling of coal;
- reduction of coal dropping heights during stacking and by careful reclaiming operation;
- stacking at low levels during windy periods;
- maintaining shiploading spouts below hatch level;
- proper maintenance of equipment;

reduction of surface areas of coal.
keeping traffic areas washed down to avoid vehicle induced dust.

DUST MONITORING

To assess the performance of a plant pollution control system the regulatory agency often insists upon site boundary monitoring stations to record actual dustfall. These can be of a volume collector type which collects particles over a period of time which are then weighed. Another type that is now appearing which is the result of improvements in electronic measurement provides real-time monitoring of dusting incidents to time periods as short as 30 seconds. It is normally hooked up to the inevitable computer that can be programmed to produce the data averaged over any study period. Thus high dusting local events can be distinguished from a background events.

GROUNDWATER POLLUTION

Groundwater pollution is of concern where the terminal is located over an aquifer which is a water source for local users. In this case it would be necessary to ensure there was no contamination. If the ground was very permeable a membrane may be required. It could be of concrete paving, black top or an impervious clay layer located below the ground level and covered with gravel or waste coal. Many terminals are located on hydraulic dredged fills; these fills generally clog sufficiently with coal fines and after a while to form a fairly effective membrane.

SURFACE RUN-OFF POLLUTION

Surface run-off can occur from any washdown or clean-up action, normal precipitation, pile spraying. Run-off water is collected in ditches located around the perimeter of a site and pumped to settlement ponds. Washdown operations at the car dumper, train washdown, transfer points, and wharves are normally pumped to settlement ponds for recycling of water. The water from the ponds is recycled and the coal residue is recovered and returned to storage.

Rain water that has been in contact with coal will carry coal particles in suspension. If the amount of water on-site becomes excessive it may be necessary to discharge it into the local water course. This can be made acceptable if the appropriate steps are taken to settle the coal particles and discharge only the clean water. A flocculation process can be used to help reduce the coal discharge level down to less than 50 milligrams/litre (5 ppm) as environmental regulations require.

Visual pollution is a perceptible impact as opposed to a physical impact. Particular treatment is required in residential and recreational areas. The treatment is frequently interlinked with the planning required to meet the dust emission regulations. This would include reduced open pile heights, use of manufactured or natural screens, and the use of covered storage.

The public is very concerned with what it will see and unless obviously benefiting is not necessarily concerned with the benefits to the developer or society. Careful upfront public relations strategy is required to ensure a smooth passage and acceptance of new schemes or modifications to old. Just recently an existing terminal operator wanting additional storage was set back during a public meeting while trying to obtain approval for installation of an additional A-frame storage building which was only 3 metres higher than existing storage buildings.

NOISE POLLUTION

Noise at terminals results from trains and equipment operation. The key pollutant sources are shunting (infrequent with unit train operations), locomotive diesel engines, wheel squeal bulldozers, and large hydraulic motors. The noise will affect people both in and outside of the terminal. Noise is particularly noticeable at night and close to water.

Noise levels within terminals that affect the work force are likely to come under a Occupational Health and Safety Administration (OHSA) regulation. Noise is viewed as Steady State (continuous) and Impact noise. Formulae exist to determine acceptable levels existing without protection. Typically, regulations require the employer to keep noise below about 90 dBA and where not practical to do so provide notice and protection devices to the workers. Typically a bulldozer noise may range round 86-91 dBA and is one of the noisier sources on site. Steady State Noise regulations are:

Noise Level (dBA)	Maximum Daily Exposure Time Without Hearing Protection (hours)
87	16
90	8
93	4
96	2
99	1
102	1/2
105	1/4
over 105	0

maximum noise levels at a certain distance during daytime and nighttime. Typical requirements would be 55 dBA and 45 dBA respectively

At one terminal located close to a residential area surveys have indicated that rail car impacts, wheel squeal and train whistles are the three most bothersome types of rail noise. Typical noise levels (dBA) 100-200 metres from the site boundary were

	Time 2330 to 0230	Time 1335 to 1640
Ambient Level	42	51
Minimum Noise Level	40	46
Vehicular Noise	42-50	52-65
Occasional Range	50-62	No Figure
Aircraft Activities (16)		55-74

Sound sources included:

- Train whistles - 73 dBA, duration less than 1 second
- Railcar impact - 64 dBA, duration less than 1 second
- Wheel squeal - 65 dBA duration 1-67 seconds
- Locomotive - 60 dBA duration to 200 seconds

Minimizing noise levels can be achieved by:

- specifying maximum noise levels in original equipment procurement enquiries;
- reducing the power level at source by use of mufflers and local containment insulation;
- relocation of noise sources to remote areas or behind natural or existing structures;
- construction of sound barriers to block line of sight sounds;
- careful operation techniques such as; not operating bulldozers on top of piles at night, modification of shunting techniques, and general increased awareness by key staff of the effects of noise.

SUMMARY

Environmental standards are becoming more stringent. Early consideration of, and planning for, systems to meet environmental regulations is required if a new project or a modification is to proceed smoothly and permits be obtained. Adequate systems with proper operation can maintain pollution within acceptable levels.

I SEMINARIO NACIONAL MINERO AMBIENTAL

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA DE COLOMBIA

"CONTROL DE LAS VIBRACIONES Y ONDA AEREA PRODUCIDAS POR VOLADURAS"

Por

CARLOS LOPEZ JIMENO
Dr. Ingeniero de Minas
E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid
Departamento de Explotación de Minas

MARZO 1.991

INDICE

1.	INTRODUCCION	1
2.	VIBRACIONES DEL TERRENO	3
	2.1. Tipos de perturbación derivadas de las vibraciones	3
	2.2. Conceptos básicos del movimiento ondulatorio...	3
	2.3. La fragmentación de la roca como mecanismo fuente	6
	2.4. Medida de la energía sísmica y ley de transmisión	6
	2.5. Instrumentación	9
	2.6. Criterios de daños	11
3.	CONSIDERACIONES PRACTICAS EN EL DISEÑO DE VOLADURAS	15
	3.1. Propiedades del macizo rocoso	15
	3.2. Propiedades del explosivo	15
	3.3. Geometría de la voladura y secuencia de iniciación	17
4.	ONDA AEREA	24
	4.1. Criterios de daños	27
5.	PROYECCIONES	29
6.	BIBLIOGRAFIA	30

CONTROL DE LAS VIBRACIONES Y ONDA AEREA PRODUCIDAS POR VOLADURAS

CARLOS LOPEZ JIMENO
Dr. Ingeniero de Minas
E.T.S. Ingenieros de Minas
de Madrid
Dpto. de Explotación de Minas

1. INTRODUCCION

Dentro de una explotación minera, la perforación y voladura ocupa un lugar destacado, no sólo por su peso dentro del coste de operación, sino incluso por su influencia directa en los rendimientos y costes de las otras fases del ciclo: carga, transporte y trituración.

Las alteraciones principales que originan las voladuras son: vibraciones, onda aérea y proyecciones de roca. Fig. 1. Todas ellas pueden, en algunas circunstancias, originar daños potenciales en las estructuras próximas y además, ser causa de conflictos permanentes con los habitantes próximos a la explotación.

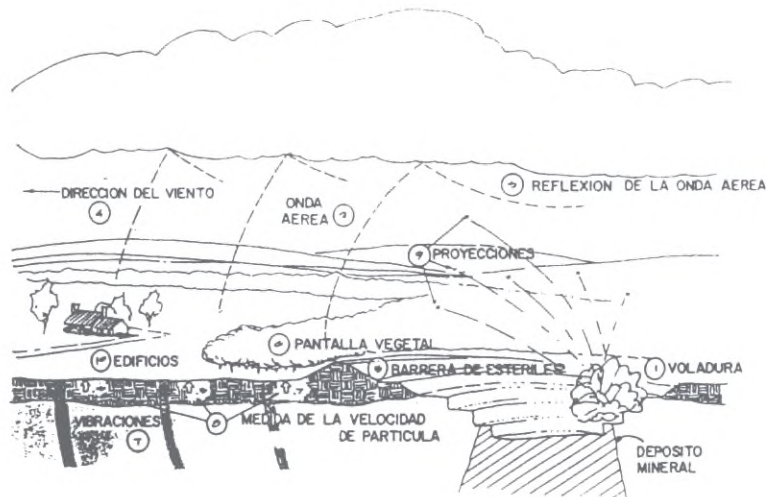


Figura 1. Perturbaciones originadas por las voladuras de rocas.

Para solventar este problema será necesario una mayor cualificación de los responsables de las voladuras, con el fin de reducir los niveles de las perturbaciones a un coste aceptable. Además es recomendable, e incluso necesaria, una labor de información y de relaciones públicas por parte de la dirección de la mina, que en algunos casos, puede llegar a ser más eficaz que otras líneas de actuación.

En esta conferencia se analizan la teoría de generación y propagación de las vibraciones y onda aérea producidas por las voladuras, los criterios de daños existentes en la actualidad y de una manera especial, los parámetros de diseño que debe considerar el especialista para controlar esas alteraciones ambientales.

2. VIBRACIONES DEL TERRENO

2.1. Tipos de perturbación derivadas de las vibraciones

Cuando un explosivo detona dentro de un barreno, se produce una liberación súbita de energía que se propaga radialmente en todas las direcciones, no circunscribiéndose su actuación al volumen de roca que se desea fragmentar.

El fenómeno de propagación de dicha energía es muy complejo y depende de la presión de explosión que genera la carga dentro de los barrenos y de otros factores que intervienen en el proceso de la voladura, tales como las tensiones generadas en el agrietamiento del macizo y la penetración de los gases en las discontinuidades, las propiedades de las rocas, etc. La energía no aprovechada se manifiesta en el entorno como una perturbación en forma de onda elástica amortiguada cuya intensidad es directamente proporcional a la energía desarrollada en el punto emisor.

Los efectos de las vibraciones pueden clasificarse en tres grupos:

- Molestias a las personas que se encuentren próximas a las voladuras.
- Daños estructurales y arquitectónicos en las edificaciones.
- Inestabilidades en los macizos rocosos.

2.2. Conceptos básicos del movimiento ondulatorio

Los parámetros básicos que intervienen en el estudio de las ondas sísmicas son la velocidad de partícula, la velocidad de propagación de las ondas longitudinales, las tensiones inducidas, la disipación y la dispersión, la frecuencia y la longitud de onda.

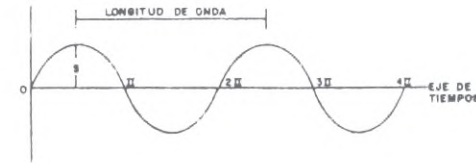


Figura 2. Movimiento ondulatorio sinusoidal.

$$\text{Velocidad de propagación} = \frac{X}{T}$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de ciclos}}{\text{unidad de tiempo}} \quad (\text{Hz})$$

Amplitud (S) = Máximo desplazamiento de la onda.

$$\text{Velocidad de partícula} = \frac{\text{Suma de desplazamientos (S)}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Hz}}$$

$$\text{Tensión} = \frac{\text{Velocidad de partícula}}{\text{Velocidad de propagación}}$$

Las ondas sísmicas se clasifican en: ondas internas y ondas superficiales. Las primeras se propagan en el interior del macizo rocoso, existiendo dos tipos: ondas de compresión P y ondas de cizallamiento S. La deformación de la roca puede ocurrir por un cambio de volumen debido a la onda de compresión o por un cambio de forma debido a la onda de cizallamiento.

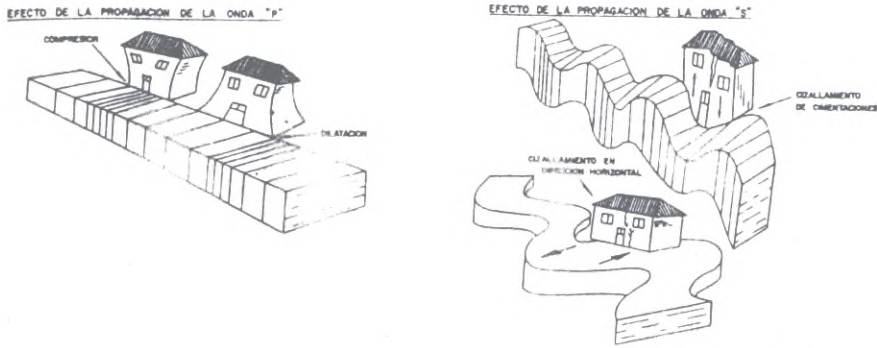


Figura 3. Efectos de las ondas P y S sobre un edificio.

Las ondas superficiales afectan a un espesor de roca aproximadamente igual a la longitud de onda. Las ondas superficiales son generadas por las ondas internas que no pueden transmitirse en el interior por condicionantes físicos o geométricos. La mayor parte de la energía es transportada por las ondas superficiales, que además se caracterizan por tener unas frecuencias más bajas.

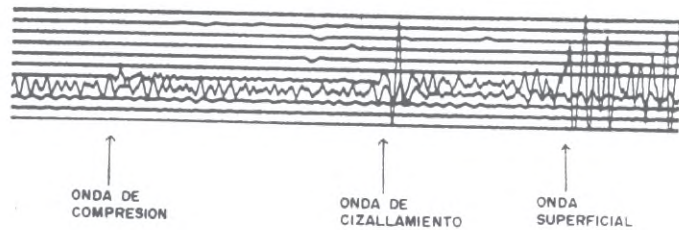


Figura 4. Ondas sísmicas

Todas las ondas sísmicas presentan una disipación o disminución de la amplitud del desplazamiento con la distancia y las internas presentan incluso una dispersión en la que las componentes de alta frecuencia viajan más rápido que las de baja frecuencia.

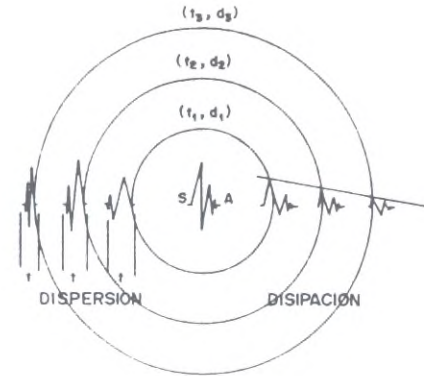


Figura 5. Dispersión y disipación de las ondas

2.3. La fragmentación de la roca como mecanismo fuente

La fragmentación de la roca por un explosivo incluye: la generación de una onda de tensión por la presión de barrenado, el desarrollo de un sistema de grietas asociado a la onda de tensión, la extensión y apertura de las grietas por la penetración de gases a alta presión y la liberación y aceleración de la masa rocosa fragmentada a una determinada velocidad.

La apertura de las grietas por la expansión de los gases es el mecanismo que más contribuye a la vibración del terreno, generando ondas superficiales que no tienen gran dispersión y que se disipan menos que las ondas internas.

2.4. Medida de la energía sísmica y ley de transmisión

La vibración del terreno puede medirse por medio del desplazamiento "S", la velocidad de partícula "v" o la aceleración de partícula "a".

si el desplazamiento es "S", se tiene

$$v = \frac{dS}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Si "f" es la frecuencia del desplazamiento, la velocidad de partícula y la aceleración, suponiendo un movimiento ideal sinusoidal, vienen dadas por:

$$v = 2 \pi f S$$
$$a = 4 \pi^2 f^2 S$$

La velocidad de partícula es el parámetro más representativo de las vibraciones y el más utilizado en los estudios de voladuras.

Los dos factores principales que afectan a los niveles de vibración producidos en una voladura son la carga de explosivo y la distancia. Una de las expresiones más empleadas que correlaciona tales parámetros y que permite estudiar la transmisividad de esos movimientos sísmicos es la siguiente:

$$v = H \left[\frac{D}{Q^\alpha} \right]^B$$

donde:

- v = velocidad de partícula (mm/seg).
- D = Distancia de la voladura al punto de medición (m)
- Q = Carga máxima por número de detonador (Kg).
- H, α, β = Constantes empíricas.

La velocidad de partícula en función de la carga sigue una expresión de la forma:

$$v \propto Q^a$$

donde "a", según el U.S. Bureau of Mines, es del orden de 0,8.

La relación entre el nivel de vibraciones y la distancia sigue una expresión de la forma:

$$v \propto \frac{1}{D^b}$$

tomando "d" un valor próximo a 1,6.

La ley resultante es entonces:

$$v \propto \frac{Q^{0,8}}{D^{1,6}} \quad \text{o bien,}$$

$$v = H \frac{Q^{0,8}}{D^{1,6}} \quad \text{que puede expresarse de la forma:}$$

$$v = H \left[\frac{D}{Q^{0,5}} \right]^{-1,6}$$

En realidad "H" y "B" deben determinarse en cada caso mediante la realización de una campaña vibrográfica en la que registrando "v", para distintas cargas y distancias, se ajuste una curva a la nube de puntos obtenidos, Fig. 6.

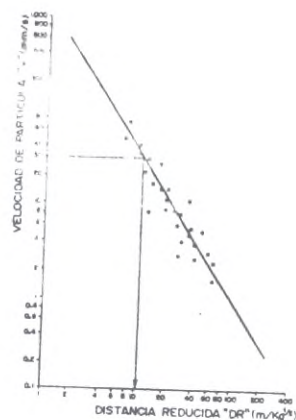


Figura 6. Correlación entre la velocidad de partícula y la distancia reducida " D/\sqrt{Q} ".

Otros investigadores y técnicos prefieren utilizar la expresión siguiente:

$$v = K \cdot Q^a \cdot D^b$$

donde "K, a y b" son constantes empíricas estimadas para un lugar determinado mediante un análisis de regresión múltiple.

2.5. Instrumentación

Un registrador de vibraciones o sismógrafo consiste básicamente en un sensor y un registrador.

El sensor suele estar constituido por tres unidades independientes colocadas ortogonalmente. El sensor para medir las velocidades de partícula es un transductor electromagnético que transforma el movimiento del terrero en energía eléctrica, Fig. 7.

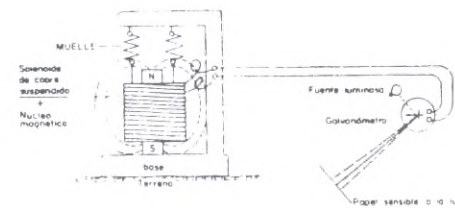


Figura 7. Esquema de captador de velocidad.

El registrador proporciona un registro visual de la vibración producida por la voladura, de forma que permite su análisis. Se basa en los cambios de voltaje producidos en el sensor, que son calibrados, amplificados y referenciados introduciendo una escala de tiempos.

El registro puede hacerse sobre papel fotográfico o bien en un soporte magnético que posibilita un estudio más detallado con su posterior reproducción.

El registro se denomina sismograma, y puede reflejar las tres componentes del movimiento ondulatorio. Estas son:

- Longitudinal L: mide la componente en la dirección voladura-registro.
- Transversal T: mide la componente perpendicular a la dirección de transmisión de la onda de vibración.
- Vertical V: mide la componente perpendicular al plano de la superficie.

La velocidad de partícula total se obtiene por la combinación de las tres componentes en el vector resultante, usando la fórmula:

$$v_R = \sqrt{v_L^2 + v_T^2 + v_v^2}$$

2.6. Criterios de daños

La elección de criterios o umbrales de prevención de daños de las vibraciones es una de las tareas más delicadas que exige el conocimiento de los mecanismos que intervienen en los fenómenos de las voladuras. Un criterio arriesgado puede llevar a la aparición de daños en estructuras próximas y reclamaciones de sus ocupantes, mientras que un criterio conservador puede dificultar y restringir el desarrollo de la actividad explotadora.

Dentro de los daños que se pueden producir en las edificaciones, se pueden diferenciar tres categorías principales con un número ilimitado de variantes dentro de cada una de ellas:

1. Daños a equipos y material instalado dentro de la estructura. Incluye diversos conceptos tales como daños a componentes electrónicos, daños a ordenadores, etc.
2. Daños arquitectónicos. Esta categoría incluye todos los daños que no afectan a la estructura o que la resistencia de ésta es capaz de soportar. Los tipos de daños más usuales son: rotura de ventanas, agrietamiento de enlucidos y alicatados, daños en paredes o muros que no son de carga y deformaciones en marcos de puertas y ventanas.
3. Daños estructurales. Considera todos los daños que afectan a la integridad de la estructura resistente del edificio. Incluye grietas en cimientos, agrietamientos de pilares, muros de carga, etc. y que pueden haber sido causados y agravados por las citadas vibraciones.

De estas tres categorías, los daños arquitectónicos y estructurales han sido objeto de numerosos estudios, sin embargo los daños a equipos y aparatos instalados no han recibido la adecuada atención.

Todo estudio de vibraciones debe basarse en las siguientes consideraciones:

- Importancia de la construcción, en términos de valor histórico, sensibilidad de los equipos instalados, etc.
- Condiciones y características de construcción del edificio.
- Empleo y funciones del edificio.
- Costes de reparación.
- Repercusión social de quejas y reclamaciones potenciales.

Así pues, en algunos proyectos puede ser posible, desde el punto de vista económico, arriesgarse a unos costes de reparación de los daños potenciales mejor que imponer unos criterios de prevención fuertemente restrictivos, siempre que exista una garantía absoluta de no producir daños a las personas u otros seres vivos.

En la Fig. 8 se resumen los principales criterios de daños publicados por organismos y técnicos especialistas.

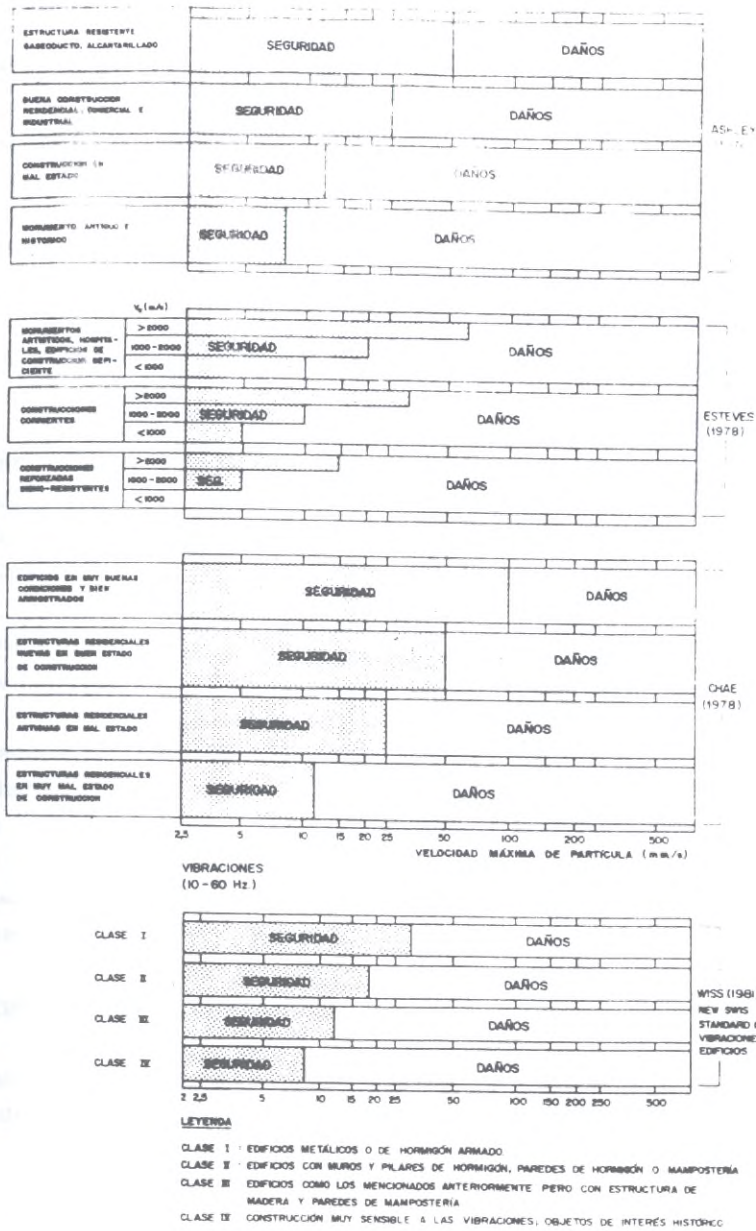


Figura 8. Criterios de daños.

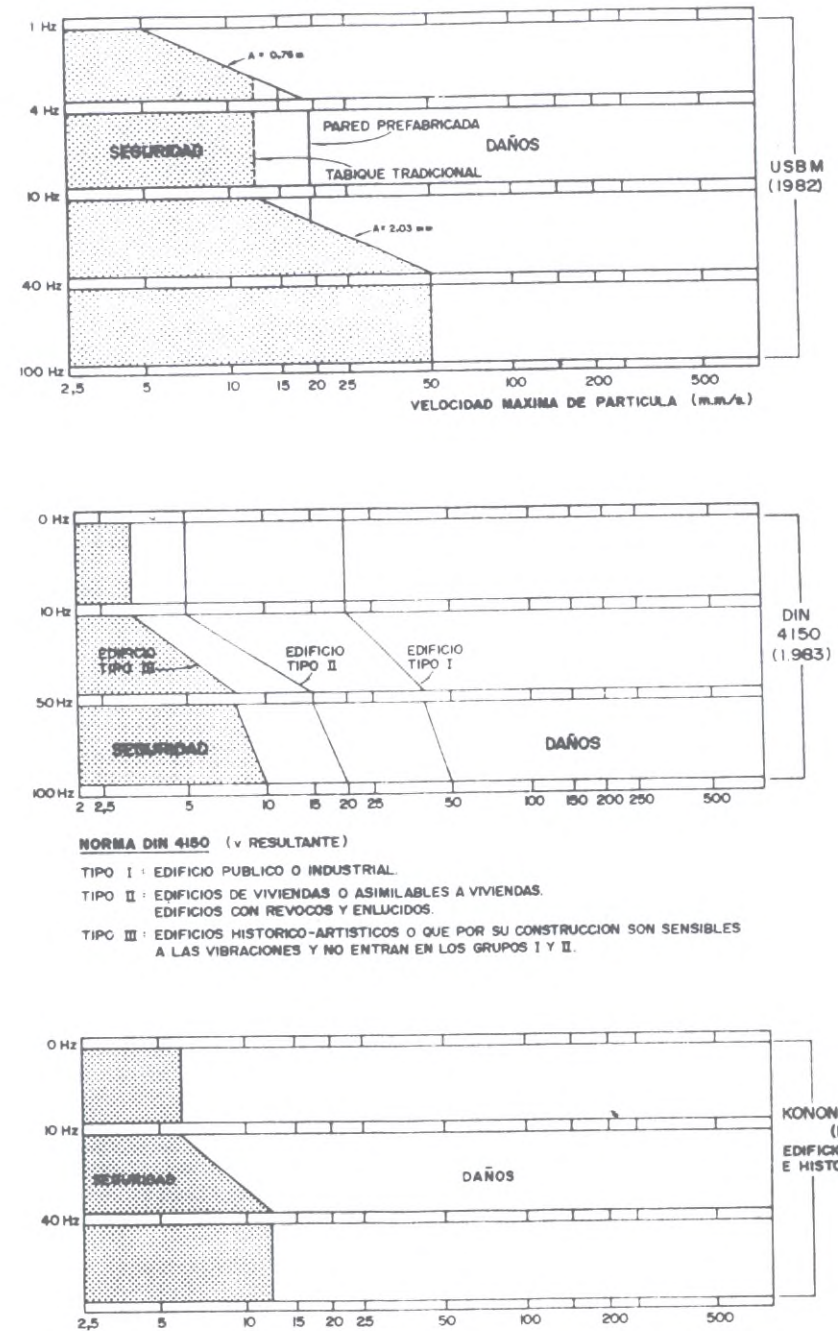


Figura 8. Criterios de daños.

3. Consideraciones prácticas en el diseño de voladuras

Los parámetros que intervienen en la fragmentación de la roca se clasifican en cuatro grupos: Propiedades de las rocas, propiedades del explosivo, geometría de las voladuras, y tiempos de retardo y secuencia de iniciación.

El primer grupo no es controlable por el operador, pero si los otros tres que se analizan a continuación.

3.1. Propiedades del macizo rocoso

En la ley general de amortiguación de las vibraciones, las constantes características "H" y "B" dependen de las propiedades del macizo rocoso en que se produce la voladura, siendo necesario conocer la geología local, el tipo de roca, el espesor y tipo de recubrimiento.

Normalmente, los valores de "B" presentan poca variación pero no así los valores de "H" que pueden tener una gran dispersión.

Las frecuencias de las vibraciones dependen, asimismo, de las propiedades del macizo y del espesor y tipo del recubrimiento. En general, con rocas aflorantes y competentes, se tienen frecuencias altas (20-80 Hz), amplitudes bajas y amortiguación rápida, y en los materiales de recubrimiento se tienen frecuencias bajas (10-20 Hz) y amplitudes elevadas.

3.2. Propiedades del explosivo

Las tensiones inducidas por el paso de la onda de choque en la proximidad de un barreno vienen dadas por la expresión:

$$\sigma_1 = PB \left[\frac{r}{DS} \right]^x$$

donde:

PB = Presión del barreno

r = Radio del barreno

DS = Distancia del barreno al punto de estudio.

x = Factor de amortiguamiento con un valor próximo a 2.

En la Figura 9 puede verse, para una carga cilíndrica detonada en granito, la correspondencia entre la velocidad de partícula y la tensión inducida, cuya constante de proporcionalidad es la impedancia del medio.

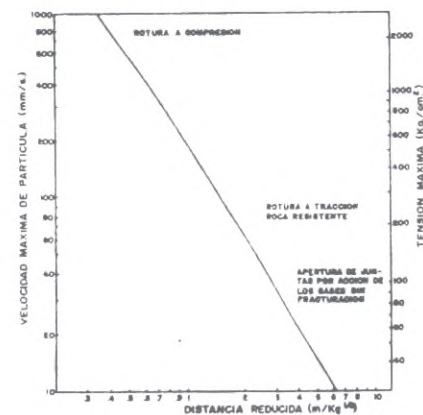


Figura 9 . Relación entre intensidades de vibración y tensiones inducidas.

Por tanto, los explosivos que generen presiones de barreno más bajas provocarán niveles de vibración inferiores y estos explosivos serán los de baja densidad y baja velocidad de detonación.

TIPO DE EXPLOSIVO	NIVEL RELATIVO DE VIBRACION
ANFO	1
HIDROGELES	2
HIDROGELES ALUMINIZADOS	2,4

Una vez seleccionado el explosivo, es posible modificar la presión de barreno mediante las siguientes técnicas:

- Adición de materiales inertes y diluyentes al explosivo base a granel.
- Aprovechamiento de la influencia del diámetro de carga sobre la velocidad de detonación.
- Variación de la velocidad de régimen de detonación mediante el sistema de iniciación.
- Desacoplamiento y seccionado de la carga.

3.3. Geometría de la voladura y secuencia de iniciación

A. Diámetro de perforación.

El aumento de los equipos de carga permite trabajar con mayores alturas de banco y, por tanto, con unidades de perforación más grandes y altas cargas en los barrenos. Una técnica para obviar este problema consiste en dividir con espaciadores la carga dentro de los barrenos e iniciar cada una de éstas secuencialmente.

B. Piedra y espaciamiento

Si la piedra es tan grande que los gases producidos encuentran dificultades para fragmentar y desplazar la roca, estos gases se verán confinados durante un periodo de tiempo demasiado grande y la energía de explosión acumulada, al reducir el movimiento de la roca, generará un incremento considerable de los niveles de vibración del terreno.

El esquema adoptado debe permitir una distribución espacial del explosivo adecuada, siendo necesario utilizar el consumo específico correcto, ya que reduciendo éste un 20% con respecto al óptimo, los niveles de vibración se multiplicarán

por 2 y 3, como consecuencia de la falta de energía para desplazar y esponjar la roca.

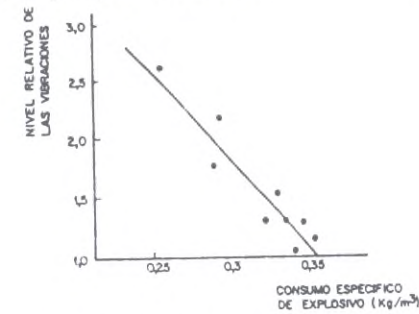


Figura 10. Efecto de la disminución del consumo específico sobre el nivel de vibración.

C. Altura de banco

La longitud de las grietas radiales creadas alrededor de los barrenos para un valor de piedra dado, son proporcionales a la altura de banco "H". La relación óptima entre "H" y "B" es:

$$\frac{H}{B} \geq 3$$

Esta relación se cumple en la mayoría de las canteras y explotaciones de descubierta de carbón. Sin embargo en la minería metálica la altura de banco puede estar condicionada por una limitación de la dilución.

D. Sobreperforación

En rocas masivas o formaciones estratificadas con fuerte buzamiento, la sobreperforación debe ser 1/3 de la piedra u "8D" en barrenos de gran diámetro. Cuando se utilizan longitudes mayores a las indicadas, cada sección adicional colabora con una energía cada vez menor en el cizallamiento y movimiento de la roca en la base y, por lo tanto, una parte cada vez mayor de la energía desarrollada por el

explosivo se transforma en vibraciones del terreno, además se producen gastos superfluos en perforación y explosivos y se puede llegar a dejar un piso muy irregular.

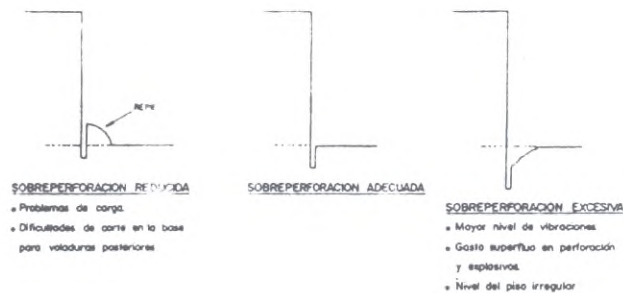


Figura 11. Efecto de una sobreperforación inadecuada.

E. Desacoplamiento y espaciamiento de la carga

Dado que la gama de explosivos disponibles no siempre permite una variación de la curva Presión de Barreno-Tiempo, el desacoplamiento y espaciamiento de las cargas son técnicas que pueden ayudar a conseguir el perfil más adecuado de ésta.

El desacoplamiento se consigue dejando un hueco anular vacío o con material inerte granular entre la carga y la pared del barreno ejerciendo un papel de colchón o amortiguador. El espaciamiento consiste en dividir la columna de carga mediante espacios cilíndricos vacíos.

F. Secuencias de encendido y tiempos de retardo

Cuando se disparan voladuras secuenciales con un gran número de barrenos, deben observarse las siguientes recomendaciones:

1. Reducir el peso del explosivo por unidad de tiempo.

2. Seleccionar un intervalo de retardo entre filas efectivas que permita un buen desplazamiento de la roca.
3. Minimizar el número de barrenos con detonadores instantáneos o del cero, ya que éstos presentan menor dispersión que los números más altos de la serie.
4. Plantear una secuencia de disparo que asegure un frente efectivo lo mayor posible, sobre todo para las últimas filas, y que no presente piedras efectivas demasiado grandes.

Cuando el número de barrenos es reducido, se debe intentar emplear todos los detonadores de la serie y si es necesario disponer de varios detonadores del mismo número, se colocarán en puntos lo más alejados posible.

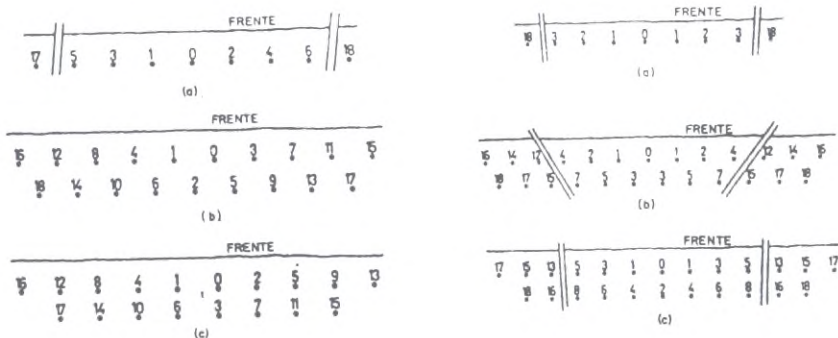


Figura 12. Voladuras secuenciadas con detonadores de microrretardo.

En operaciones donde el diámetro de perforación obliga a subdividir la columna de explosivo para que las cargas operantes sean pequeñas, se podrán colocar varios detonadores de distinto número dentro del barreno.

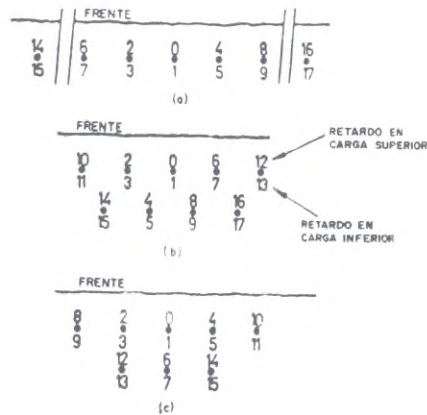


Figura 13. Disparo con cargas secuenciadas dentro de los barrenos.

Como las series de detonadores eléctricos permiten gamas de tiempo bastante reducidas, esta limitación se podrá obviar con el empleo de explosores secuenciales o con los relés de microrretardo. Los explosores secuenciales están constituidos por un sistema de descarga por condensador y un equipo electrónico con temporizador para disparar varios circuitos desfasados a distintos intervalos de tiempo. El número de circuitos más común es de 10 y se abarcan intervalos de tiempo desde 5 ms hasta 999 ms.

En cuanto a los relés que se utilizan combinadamente con cordón detonante, la principal ventaja de este sistema consiste en la posibilidad de conseguir series ilimitadas de intervalos de explosión. Existen accesorios de 15 y 25 ms.

Los relés pueden intercalarse entre barrenos o entre grupos de barrenos, según sean las cargas operantes recomendadas. Para reducir la posibilidad de superposición de ondas, la iniciación se hará en sentido opuesto a la posición de la estructura a proteger o puntos de observación.

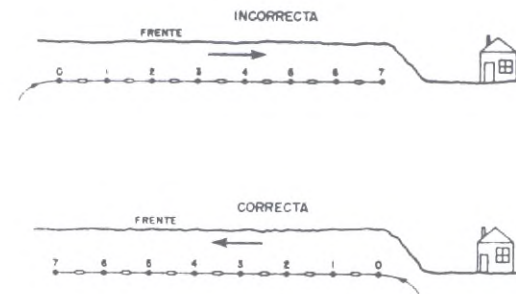


Figura 14. Voladuras de una fila con relés de microrretardo.

Cuando se disparan voladuras de varias filas caben múltiples posibilidades de secuencia de iniciación. En el caso de la Fig. 15 se trata de una voladura de 70 barrenos con iniciación simétrica; en el primer diseño la duración de la voladura es "T" segundos, mientras que en el segundo es aproximadamente "4T".



Figura 15. Voladuras de varias filas con secuencias de iniciación simétricas.

A pesar de las ventajas del último diseño, es aún más recomendable que la iniciación sea asimétrica, pues se disminuye el número de barrenos que se disparan en el mismo instante y aumenta la duración de la voladura aproximadamente a "5T". Cuando las condiciones operativas

lo permitan, el mejor diseño de la voladura será aquel que presente dos frentes libres.

Por último, en cuanto a los tiempos de retardo entre barrenos y filas deberán elegirse de manera que se evite la superposición de ondas y se favorezca el desplazamiento y fragmentación de la roca. Esto se consigue siguiendo los siguientes criterios:

TRB = 6 - 12 ms/m de Piedra

TRF = 2 - 3 TRB

siendo:

TRB = Tiempo de retardo entre barrenos

TRF = Tiempo de retardo entre filas.

4. ONDA AEREA

La detonación de una carga de explosivo dentro de un barreno desarrolla una alta presión debido a la expansión de los gases. Una vez que se produce la fracturación de la roca, los gases escapan hacia la atmósfera produciendo una perturbación conocida por onda aérea.

La onda aérea tiene dos componentes: el ruido, que es la parte del espectro comprendido entre 20.000 y 20 Hz y que es percibido por el oído humano, y la vibración restante, que es la parte del espectro comprendido por debajo de 20 Hz y que no es percibido por el oído.

Aunque la onda aérea normalmente disminuye con la distancia, debido a que las altas frecuencias se atenúan más rápidamente, es posible que a distancias apreciables de la voladura, se produzcan vibraciones con ruido mínimo.

El nivel de ruido se mide normalmente en decibelios (dB). También puede medirse como una sobrepresión, es decir, como la presión por encima de la presión atmosférica.

Si las vibraciones terrestres van acompañadas por ruido en las voladuras, en la mayoría de los casos, la apreciación del ser humano es totalmente subjetiva. En la Fig. 16 Oriard ilustra este fenómeno y llega a indicar que un observador es tres veces más sensible a las vibraciones acompañadas de ruidos que sin ellos.

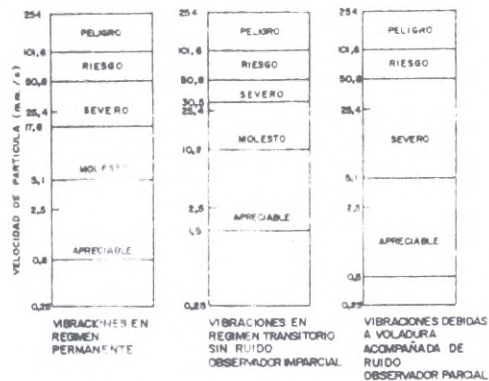


Figura 16. Niveles de percepción del ser humano frente a distintos tipos de vibraciones.

Las campañas de toma de datos y las expresiones de transmisibilidad de este fenómeno en el aire son similares a las seguidas en el caso de las vibraciones terrestres.

Las recomendaciones básicas a seguir para mitigar el nivel de la onda aérea son:

- Reducir las longitudes de cordón detonante descubierto o cubrirlo, cuando sea posible, con arena fina con un espesor máximo de 7 a 10 cm.
- Garantizar el confinamiento de las cargas de explosivo dentro de los barrenos con unas longitudes de retacado superiores a 25 veces el diámetro.
- Disminuir las cargas de explosivo por unidad de microrretardo, adoptándose medidas similares a las descritas para vibraciones terrestres.
- Inspeccionar el estado de los frentes antes de proceder a la perforación y efectuar las voladuras para que las cargas de

explosivo en los barrenos dispongan de una dimensión de la piedra igual a la proyectada.

- Controlar el ascenso del explosivo a granel dentro de los barrenos en aquellos terrenos con coqueiras, a fin de eliminar las concentraciones puntuales.
- Construir pantallas de tierra y vegetales entre el área de las voladuras y los puntos receptores para que la onda aérea se refleje en ellas.
- No disparar las voladuras cuando la dirección del viento coincida con la marcada por la propia pega y el área habitada.
- Seleccionar esquemas geométricos y secuencias de encendido que eviten el reforzamiento de las ondas.
- Elegir los tiempos de retardo de manera que la progresión de la voladura a lo largo del frente se efectúe a una velocidad inferior a la del sonido en el aire (340 m/s).



Figura 17. Progresión de una voladura a lo largo de un frente y simulación de la onda aérea.

4.1. Criterios de daños

Aunque ocasionalmente la onda aérea puede producir daños a la estructura directamente, lo normal es que se manifieste como ruido de ventanas, puertas, vajillas, etc. Siskind y Summers (1974) recomiendan los valores que se indican en la Tabla I.

TABLA I

	LIMITES DEL NIVEL DE RUIDO		
	LINEAL PICO* dB(L)	C-PICO dB(C)	A-PICO dB(A)
NIVEL SEGURO	128	120	95
NIVEL DE PRECAUCION	128 a 136	120 a 130	95 a 115
NIVEL LIMITE	136	130	115

* Recomendado

Especial atención debe ponerse en la comparación de los niveles de ruido, pues los dB(L) se refieren a una escala logarítmica. Una sobrepresión de 120 dB(L) es un 78,6% mayor que otra de 115 dB(L). Tabla II.

TABLA II

SOBREPRESION		EFECTO PROBABLE
180 dB(L)	20.0 KPa	- Daños importantes en estructuras convencionales.
170	> 6.3	- Aparición de grietas en enlucidos.
170	6.3	- Rotura de muchos cristales de ventanas.
150	0.63	- Rotura de algunos cristales de ventanas.
140	0.2	- Probable rotura de grandes cristales de ventanas.
136	0.13	- Límite de onda aérea propuesto por el U.S.B.M.
120	0.02	- Quejas.
115	0.0112	- <6% de la sobrepresión que puede causar la rotura de grandes cristales.

5. PROYECCIONES

Para controlar las proyecciones producidas en las voladuras se deberá proceder cuidadosamente a las siguientes medidas:

- Precisión en el replanteo del esquema de perforación, especialmente en la primera fila de la voladura.
- Control de la profundidad e inclinación de los barrenos una vez perforados.
- Control de la carga de explosivo y su distribución a lo largo del barreno.
- Realización cuidadosa del retacado, midiendo su longitud y empleando el material más idóneo.
- Elección de una buena secuencia de encendido.

6. BIBLIOGRAFIA

ANDREWS, A.B.: "Air blast and ground vibration in open pit mining". E.I. DuPont de Nemours Co.

HAGAN, T.N.: "The design of blasting procedures to ensure acceptable noise airblast and ground vibrations in surface coal mining". Environmental Control in Coal Mining. November, 1980.

KERULIS, F.J.: "Control of vibration and noise resulting from surface mine blasting". Minnesota, 1980.

LINEHAN, PAND, WISS: "Vibration and air blast noise from surface coal mine blasting". Minnesota, 1980.

LOPEZ JIMENO, C. y LOPEZ JIMENO, E.: "Manual de Perforación y Voladura de Rocas". IGME. 1987.

LOPEZ JIMENO, E.: "Parámetros críticos en la fragmentación de rocas con explosivos". VI Jornadas Minerometalúrgica. Huelva, 1980.

LOPEZ JIMENO, E.: "Voladuras de contorno en taludes de minas a cielo abierto". VII Simposio Nacional. Obras de superficie en mecánica de rocas. Sociedad Española de Mecánica de Rocas. 1982.

LOPEZ JIMENO, E.: "Influencia de las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos en el diseño y resultado de las voladuras".
Tecniterrae. 1982.

LUNBORG, N.: "Keeping the lid on fly rock in open pit blasting". E/M.J. 1975.

SISKING, D.E.: "Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting". U.S. Bureau of Mines, R.I. 8507.

SISKING, D.E.: "Structure response and damage produced by airblast from surface mine blasting". U.S. Bureau of Mines. R.I. 8485.

WAITER, E.J.: "Blasting Monitoring". Surface Mining Environmental Monitoring and Reclamation Handbook. 1983.

I SEMINARIO NACIONAL MINERO AMBIENTAL

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA DE COLOMBIA

"DISEÑO, CONSTRUCCION Y RESTAURACION DE
ESCOMBRERAS Y PRESAS DE RESIDUOS"

por

CARLOS LOPEZ JIMENO
Dr. Ingeniero de Minas
E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid.
Departamento de Explotación de Minas

MARZO 1991

DISEÑO, CONSTRUCCION Y RESTAURACION DE ESCOMBRERAS Y PRESAS DE RESIDUOS

CARLOS LOPEZ JIMENO

Dr. Ingeniero de Minas

E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid

Departamento de Explotación de Minas

1. INTRODUCCION

Las actividades mineras producen, tanto si son superficiales como subterráneas, una gran cantidad de materiales de desecho que plantean el problema de su almacenamiento en condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad e integración en el entorno.

Las rocas estériles procedentes de la cobertera en las operaciones a cielo abierto o de las labores de preparación en las subterráneas se depositan, generalmente, en las denominadas escombreras. También se almacenan de la misma manera los rechazos de las plantas de tratamiento y concentración con una granulometría inferior a la de los materiales anteriores, pero sin llegar al rango de las arenas y lodos. Estos últimos residuos se albergan en estructuras semejantes a las presas, pero con cuatro diferencias básicas con respecto a las convencionales.

- Las presas de residuos almacenan tanto sólidos como líquidos.
- En muchos casos, los propios residuos se utilizan como material de construcción del dique de la presa.
- Las presas se construyen, normalmente, por etapas siguiendo el desarrollo de las operaciones.
- Suele requerirse modificaciones en el diseño y operación de llenado de la presa al introducirse cambios en los procesos de tratamiento.

En las últimas décadas se ha progresado bastante en el diseño ingenieril de estos depósitos en lo relativo a hidrología y geotecnia, ya que anteriormente, en algunos casos, se procedía a realizar las operaciones de forma intuitiva.

Actualmente, el porcentaje de los costes de almacenamiento de los residuos de las plantas con respecto a los costes totales de operación en éstas están próximos al 20 %, por lo que en bastantes proyectos el impacto sobre la viabilidad económica es muy importante.

Por otro lado, dos factores que han contribuido notablemente a la mejora en el diseño y operación de las presas son los derivados de las exigencias de seguridad y protección ambiental. Con relación al primero, en el pasado se han producido desgraciados accidentes con elevado número de pérdidas humanas y materiales debido a la roturas de las presas con grandes avalanchas de lodos y fangos. Con respecto al segundo, se ha visto la necesidad de preservar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas durante el tiempo de operación de la presas y después de su abandono, así como la de la restauración de los terrenos.

2. FACTORES LOCALES PARA LA UBICACION

2.1. Lugar de emplazamiento

La elección del emplazamiento de una escombrera o presa de residuos se debe basar en criterios de diversa naturaleza: técnicos, económicos, ambientales, socioeconómicos, etc.

Entre los criterios específicos más importantes se encuentran la distancia de transporte desde la explotación o planta hasta el depósito, que afecta al coste total de la operación; la capacidad de almacenamiento necesaria, que viene impuesta por el volumen de estériles a mover; las alteraciones potenciales que

pueden producirse sobre el medio natural y las restricciones ecológicas existentes en el área de implantación.

En el pasado, la elección de una alternativa de emplazamiento solía basarse casi exclusivamente en los costes de operación, pero actualmente las consideraciones ambientales han incrementado su importancia pasando en algunos casos a estar por encima de las económicas.

2.2. Tamaño y forma

El tamaño de las escombreras está marcado por el volumen de estéril que es preciso mover para la extracción del mineral. Tal cantidad de material desechable depende, en la minas a cielo abierto, no sólo de la estructura geológica del yacimiento y de la topografía del área, sino del valor económico del mineral y de los costes de extracción del estéril. Los ratios o relaciones entre la roca estéril y el mineral, expresados en m^3/t ó t/t , son en la mayoría de las explotaciones de sustancias metálicas y energéticas muy superiores a la unidad.

Según sea la implantación de la escombrera, con respecto a la explotación éstas se clasifican en interiores, si los estériles se depositan dentro de los propios huecos exteriores, cuando la morfología del yacimiento y su consiguiente explotación no permiten el relleno del hueco creado en las primeras fases de la mina.

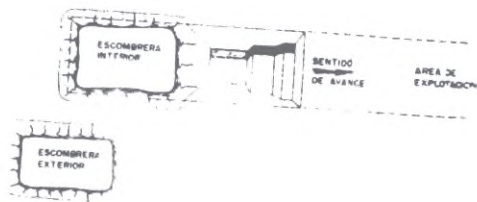


Figura 1. Implantaciones de escombreras con relación al hueco de explotación.

Atendiendo a las formas naturales del terreno, los tipos de escombreras más frecuentes son los que se reflejan en la Fig. 2.

Es posible que en una misma área coexistan combinaciones diversas de esas estructuras, en función de la extensión que ocupe el emplazamiento. Asimismo, la forma de las escombreras depende no sólo de la morfología del terreno, sino incluso de los equipos mineros de transporte y vertido. Antiguamente, era habitual el transporste con funiculares y vagonetas con los que se originaban

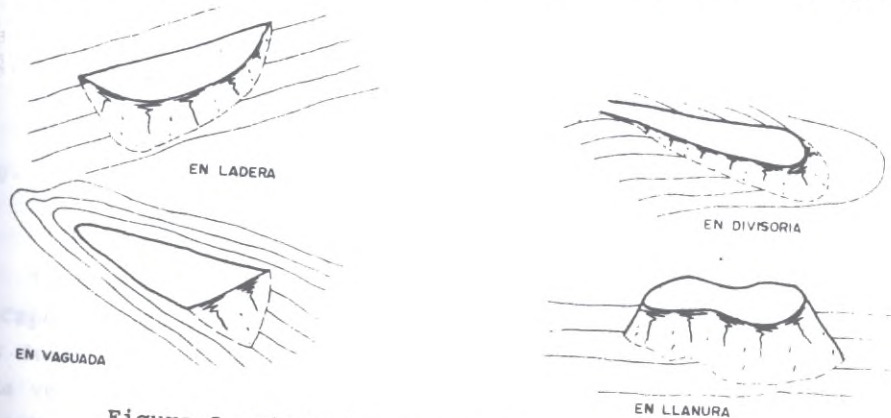


Figura 2. Tipos de escombreras exteriores.

estructuras con formas cónicas y troncocónicas, en la actualidad los sistemas más empleados utilizan volquetes o cintas transportadoras que facilitan el extendido y compactación sistemática y se adaptan de manera más fácil al diseño final de formas del proyecto.

En el caso de las presas de residuos la topografía es un factor básico, ya que gobierna la altura y dimensiones de éstas. El terreno puede ser muy llano, con lo cual se precisará un dique perimetral, o muy escarpado formando vaguadas en forma de U o V, donde se necesitarán diques de cierre transversales. La pendiente de los terrenos influirá en el ritmo de crecimiento de las presas y la altura máxima alcanzada. La topografía también marcará las dimensiones del área de drenaje superficial que será afectada por el depósito de residuos. Con vistas a evitar los efectos erosivos por posibles avenidas, los lugares más apropiados para la ubicación deben estar próximos a las cabeceras de la cuencas de recepción. En caso contrario, se dispondrá de la oportuna red de canales de protección rodeando a las presas de residuos.

En terrenos relativamente llanos que requieren diques en tres o cuatro lados, el tamaño de las presas está gobernado por el precio de los terrenos, la necesidad y el coste de la impermeabilización y de la restauración final.

Por ejemplo, si las condiciones del lugar no requieren un revestimiento impermeable, los terrenos son relativamente baratos, y la restauración no precisa de una cubierta de material importante, las presas pueden construirse económicamente ocupando grandes superficies (e.g. Desde 100 ha hasta 400 ha). Sin embargo, cuando se necesite una capa de arcilla o cualquier otro material plástico y una cubierta de tierra vegetal importante para la restauración (tal es el caso de las presas en minas de uranio donde se precisa un mínimo de 3 m), o si el precio de los terrenos es alto, entonces será más efectivo económicamente ocupar áreas más pequeñas (20 a 80 ha) y disponer esas estructu-

ras con mayor altura. En este caso, el tamaño mínimo de las presas está limitado por las necesidades de evaporación.

Para las presas en valle, la superficie del área ocupada y la altura de esas construcciones dependerá fundamentalmente de la capacidad total de almacenamiento y evaporación que se precisen. En algunos casos será más económico construir una serie de presas, aguas arriba o aguas abajo, mejor que una sola de mayor tamaño. Fig. 3

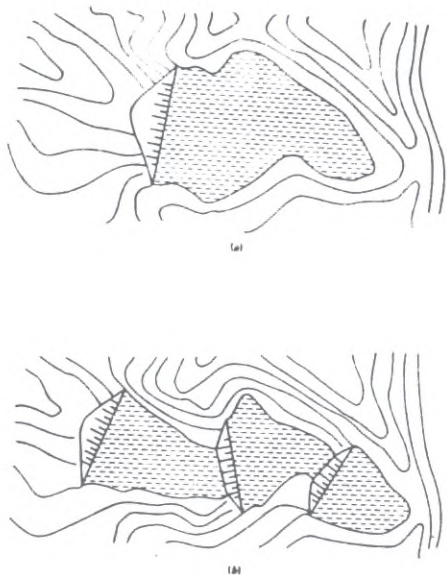


Fig. 3. Disposición de los estériles en una sola presa (a) o en una serie de presas aguas abajo (b)

Una herramienta muy útil es la constituida por los ábacos de Capacidad-Altura Fig. 4, en los cuales puede determinarse para una determinada superficie ocupada la altura que corresponde a cada volumen de residuos almacenado y el ritmo de elevación de la estructura.

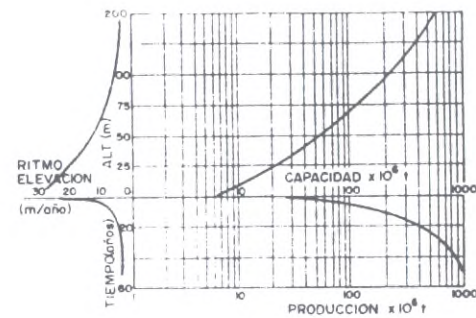


Figura 4. Ejemplo de ábaco de Capacidad-Altura de una presa de residuos.

2.3. Geología, capacidad portante y sismicidad.

Sobre el lugar de asentamiento de un depósito de estériles es preciso efectuar una investigación de campo que corrobore, por un lado, la no existencia de mineral en el subsuelo, que pudiera ser potencialmente explotable, y, por otro, permitir obtener muestras e información sobre las características geotécnicas de los materiales que constituirán la base del depósito.

En una primera etapa se realizará un reconocimiento de visu para identificar los afloramientos rocosos, la cubierta vegetal, los tipos de suelos, surgencias de agua, áreas de baja permeabilidad, vestigios de hundimientos mineros, discontinuidades estructurales, etc. Toda la información se reflejará en un plano a escala conveniente.

En la segunda etapa se efectuarán sondeos y calicatas, que servirán para conseguir información geológica del subsuelo y para obtener muestras para la realización de ensayos "in situ" o en laboratorio. Los sondeos se deben realizar para el reconocimiento en profundidades superiores a los 5 ó 7 m.

En los ensayos "in situ" de los suelos caben destacar los de corte, los de deformabilidad y los de permeabilidad, y entre los que se realizan en el laboratorio, los ensayos de propiedades índice, los de compactación, los de permeabilidad, los de consolidación y los de corte.

Dependiendo de las dimensiones del depósito y de las limitaciones impuestas por el entorno, el número de ensayos a realizar variará, siendo la investigación más completa conforme el riesgo de daños a bienes materiales o personas aumente.

Como mínimo se necesitan conocer tres parámetros básicos, como son: la cohesión, el ángulo de rozamiento interno y el peso específico aparente (seco y saturado), para estimar si la base de una presa o escombrera puede soportar la sobrecarga que supone el peso de los estériles vertidos o si por el contrario es probable que se produzcan inestabilidades estructurales y movimientos de los materiales de la base que afecten a la estructura que gravita sobre los mismos.

Al construirse una presa debe considerarse la sismicidad del área y la proximidad a las fallas potencialmente activas. Si existe un riesgo sísmico deberá evaluarse el comportamiento dinámico de las presas y el riesgo de rotura por licuefacción. El fenómeno de licuefacción generado por un movimiento vibratorio provoca una elevación de la presiones de poro, ya que el peso de los materiales soportados se transfiere al agua intersticial que existe entre las partículas, y los sólidos se comportan como un fluido denso con una resistencia al corte muy pequeña o nula, haciendo que presas que son estables en condiciones estáticas no lo sean en condiciones dinámicas. Estos problemas potenciales deben ser objeto de consideración y estudio.

Otros factores geológicos y geotécnicos que deben considerarse son los relativos a la disponibilidad de materiales de construcción, la capacidad de drenaje de la base de apoyo y

cualquier riesgo geológico que pueda acaecer en la proximidades de las presas.

La permeabilidad o conductividad hidráulica de la cimentación del dique y substrato de apoyo de un depósito de estériles puede tener un peso importante sobre los costos de construcción y conveniencia de un área si el drenaje de los efluentes es inadecuado desde un punto de vista ambiental. Es obvio, que las áreas localizadas en formaciones poco permeables son mejores que aquéllas donde las filtraciones pueden ser altas.

2.4. Otros factores locales

Las precipitaciones anuales y la evaporación influyen sobre la cantidad de agua almacenada en las presas e infiltrada en las escombreras. Estos factores se deben considerar también junto con los anteriores.

La disponibilidad de los terrenos y el precio de éstos es preciso tenerlos en cuenta en la selección y dimensionamiento del área a ocupar. En ocasiones, se pierde mucho tiempo en las negociaciones y resolución de esos problemas cuando los mejores terrenos caen fuera de las propiedades que posee la compañía minera.

En la Tabla I, se resumen los principales factores que influyen en la ubicación y diseño de las presas de residuos.

TABLA I. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA UBICACION Y DISEÑO DE LAS PRESAS DE RESIDUOS

FACTORES LOCALES	CARACTERISTICAS DE LOS Lodos	CARACTERISTICAS DE LOS EFLUENTES	LIMITACIONES AMBIENTALES
<ul style="list-style-type: none"> - Geología - Sismicidad - Topografía - Red de drenaje - Condiciones del agua subterránea - Precipitaciones - Evaporación - Disponibilidad de terrenos - Tipo de los terrenos 	<ul style="list-style-type: none"> - Proyección de residuos - Granulometría - Contenido en arcilla - Composición química - Método de vertido - Densidad de los lodos - Lixiviabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Características químicas <ul style="list-style-type: none"> • pH • Cationes metálicos • Potencial de oxidación/reducción • Toxicidad - Producción de efluentes - Capacidad de circulación - Necesidades de evaporación 	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad del aire - Calidad de las aguas superficiales - Calidad de las aguas subterráneas - Requerimientos de restauración - Drenaje del agua superficial

2.5. Método de selección del emplazamiento

Como ya se ha indicado la elección del área de implantación de un depósito de estériles persigue diversos objetivos, entre los que caben destacar los siguientes:

- Minimizar los costes de transporte y vertido.
- Alcanzar la integración y restauración de la estructura en el entorno.
- Garantizar el drenaje.
- Minimizar el área afectada.
- Evitar la alteración sobre hábitats y especies protegidas, etc.

La técnica de evaluación más empleada en estos proyectos es, por su sencillez, la que se basa en el "Análisis de Decisiones con objetivos múltiples". Este método, de gran aplicación en ingeniería, requiere el empleo y definición de funciones de utilidad multiatributos para la valoración de los diferentes objetivos implicados en la toma de decisiones.

La información necesaria se resume en la Tabla II.

TABLA II

Alternativas Objetivos	a_1	a_2	a_3	a_n	Pesc relativa
O_1	P_{11}	P_{21}	P_{31}	P_{n1}	W_1
O_2	P_{12}	P_{22}	P_{32}	P_{n2}	W_2
O_j	P_{1j}	P_{2j}	P_{3j}	P_{nj}	W_j
O_n	P_{1n}	P_{2n}	P_{3n}	P_{nn}	W_n
Utilidad relativa global	$U_1 = \sum P_{1j}$	$U_2 = \sum P_{2j}$	$U_3 = \sum P_{3j}$	$U_n = \sum P_{nj}$	

donde:

- A_i = Alternativa de implantación de la escombrera "i".
- O_j = Objetivo "j".
- W_i = Peso relativo de importancia del Objetivo "O_j".
- P_{ij} = Orden inverso de preferencia de cada alternativa "i" con relación al objetivo "j".
- U_j = Utilidad relativa global de la alternativa.

Ejemplo:

En las proximidades de una mina se dispone de tres alternativas de ubicación de la escombrera que se precisa construir a lo largo de la vida del proyecto. Los objetivos prioritarios que se desean alcanzar son los reflejados en la Tabla III, así como los pesos relativos o factores de ponderación de cada uno de ellos.

ALTERNATIVAS OBJETIVOS	1	2	3	PESO RELATIVO
Costes de transporte y construcción	2	1	3	0.35
Superficie afectada	3	2	1	0.1
Obras de drenaje	2	1	3	0.1
Ocultación de las vistas	2	1	3	0.2
Facilidad de revegeta- ción	2	3	1	0.1
Contaminación de acuíferos	2	1	3	0.15
Utilidad relativa global	2.1	1.40	2.7	

Conforme a los resultados obtenidos la mejor alternativa de implantación es la 3, seguida de la 1 y la 2.

3. CARACTERISTICAS DE LOS ESTERILES DE ESCOMBRERAS Y DE LOS LODOS

Los materiales estériles que forman las escombreras son de litologías distintas y granulometrías variables, por lo que de entrada plantean problemas físicos, e incluso químicos, para la implantación de la vegetación.

Por lo general, predominan los estériles en forma de fragmentos gruesos con una distribución espacial distinta dentro de los depósitos, como consecuencia de la segregación que sufren las partículas al ser depositadas dentro de las escombreras.

Además de la granulometría, otras propiedades físicas que deben considerarse son la densidad, la porosidad y la permeabilidad. Entre las propiedades químicas las más importantes, de cara a la revegetación, son el contenido en metales tóxicos, el contenido en nutrientes, la salinidad, etc.

La característica más importante de los lodos es el tamaño de las partículas sólidas, ya que determina sus posibilidades de

concentrar o extraer los minerales. Por ejemplo, para minerales de oro en plantas de tratamiento convencionales, donde el grado de molienda necesario para su liberación suele ser alto, más del 90 % de las partículas tienen un tamaño inferior a 0,1 mm. En el otro extremo, se encuentran algunas operaciones de mineral de cobre, e incluso oro, donde el metal se recupera por lixiviación en eras, dejando los residuos con una granulometría gruesa semejante a una grava. En la mayoría de los casos los estériles producidos presentan tamaños de partículas finas en el rango de las arcillas y limos. Fig. 5.

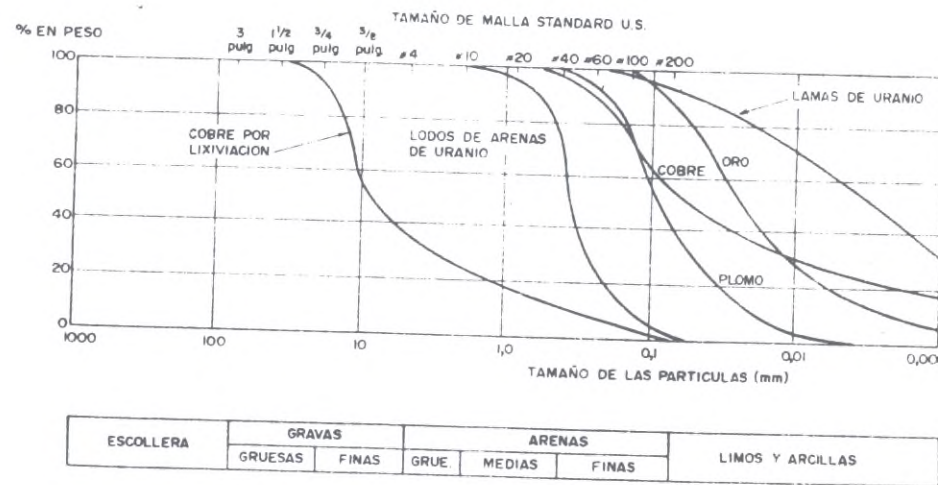


Figura 5. Curvas granulométricas tipo para diferentes minerales tratados.

Normalmente, los lodos se transportan de forma hidráulica con concentraciones de sólidos entre el 15 y el 60 % en peso. La concentración de esas pulpas y el método de vertido afectan a la separación y sedimentación de los residuos en las presas. En la descarga convencional las partículas más gruesas o arenas se depositan rápidamente formando una playa junto al dique, si ahí se encuentran los puntos de descarga, y el resto de las partícu-

Las finas fluyen como lamas hacia el interior de la presa. En general, los residuos del tipo arena constituyen un material de construcción resistente con unas buenas características de drenaje. Las lamas (partículas inferiores de 0,1 mm) presentan permeabilidades muy bajas y pequeñas resistencias al corte que las hacen inservibles para la construcción de las presas.

Excepto con los materiales muy finos, es posible separar la fracción más gruesa de los lodos usando la segregación hidráulica natural o ciclones.

Las características químicas y de degradabilidad de los residuos también juegan un papel importante en el diseño de las presas. Por ejemplo, algunas fracciones gruesas, inicialmente, pueden presentar una alta resistencia y buenas características de drenaje, pero, si se degradan rápidamente convirtiéndose en un material arcilloso, el comportamiento es totalmente contrario. En otros casos, las partículas, a pesar de ser finas, pueden llegar a cementarse y a mejorar sus propiedades geotécnicas a través de reacciones geoquímicas. Estas reacciones se producen entre los constituyentes de los lodos, o entre los lodos y el material del dique de la presa o de los suelos naturales y el aire, pudiendo afectar al diseño tanto en los aspectos físicos como ambientales.

La cantidad de efluentes y sus vertidos son factores importantes en el diseño y operación de una presa de residuos. En algunas situaciones, se pueden recircular todos los efluentes para volverlos a utilizar en los procesos de tratamiento. En esas plantas, la concentración de sólidos en las pulpas puede ajustarse para optimizar los métodos de descarga y transporte. Sin embargo, en muchas operaciones no es posible reutilizar todos los efluentes debido a la existencia de contaminantes químicos. Siendo entonces necesario proceder a la evaporación del agua o al tratamiento de la misma. Cuando la evaporación es el único medio de eliminación de los efluentes, este factor será el que marque el tamaño de la presa, más que el volumen de residuos a

almacenar. En algunos casos, una solución viable es la de disponer de una balsa de evaporación separada.

4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LAS ESCOMBRERAS

4.1. Métodos y sistemas constructivos

Los tipos de escombreras que pueden distinguirse de acuerdo con la secuencia constructiva de las mismas, en terrenos con pendiente que es el caso más habitual, son cuatro: con vertido libre, por fases adosadas, con dique de pie y por fases superpuestas. Fig. 6.

La formación con vertido libre sólo es aconsejable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de piedras aguas abajo. Se caracteriza por presentar en cada momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles y una segregación por tamaños muy acusada. De los cuatro tipos es el más desfavorable geotécnicamente, aunque ha sido el más utilizado hasta épocas recientes.

Las escombreras con fases adosadas proporcionan unos factores de seguridad mayores, pues se consiguen unos taludes medios finales más bajos. La altura total puede llegar a suponer una limitación por consideraciones prácticas de acceso a los niveles inferiores.

Cuando los estériles que se van a verter no son homogéneos y presentan diferentes litologías y características geotécnicas, puede ser conveniente el levantamiento de un dique de pie con los materiales más gruesos y resistentes, de manera que actúen de muro de contención del resto de los estériles depositados. Esta secuencia constructiva es la que se suele seguir en aquellas explotaciones donde se extraen grandes cantidades de materiales arcillosos y/o finos, cuya deposición exigiría de otro modo grandes extensiones de terreno y presentaría un elevado riesgo

de corrimientos, o cuando las condiciones de la base de apoyo no son buenas.

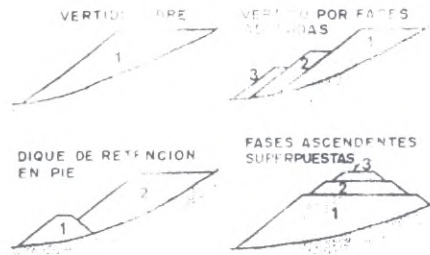


Figura 6. Tipos de escombreras según la secuencia de construcción.

El tipo de fases superpuestas y retranqueadas aporta una mayor estabilidad, por cuanto se disminuyen los taludes finales y se consigue una mayor compactación de los materiales.

Así pues, la secuencia constructiva de una escombrera incide directamente sobre la estabilidad de tales estructuras y sobre la economía de la operación, llegando a ser preciso en algunos casos una solución de compromiso entre ambos factores.

El recrecido de una escombrera debe realizarse de la manera más homogénea posible y de ello depende en gran medida la modalidad de vertido que se exija. Normalmente, los estériles se desplazan desde las minas hasta los vertederos por cintas transportadoras o por volquetes, siendo habitual disponer de tractores para el extendido y empuje de esos materiales y acondicionamiento del piso. Fig. 7. Esos equipos permiten en el caso de los volquetes operar en una mayores condiciones de seguridad, ya que estas últimas unidades no tienen que posicionarse al borde de los taludes, y cuando se utilizan cintas disminuir los alargamientos frecuentes o cambios de lugar de éstas. Al mismo

tiempo, se aminora el fenómeno de segregación con respecto al que se produce con el vertido libre.

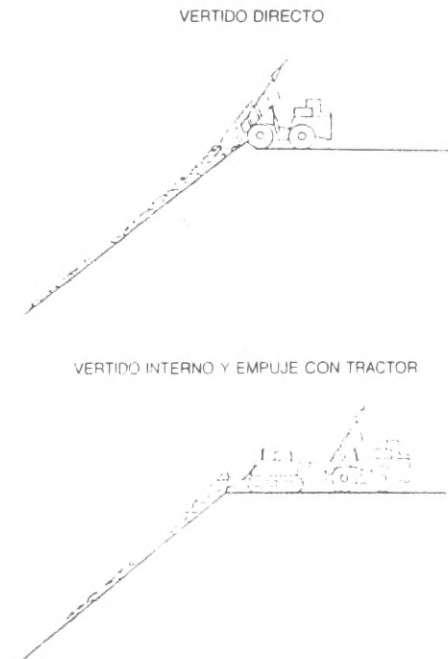


Figura 7. Vertido libre con camión y con ayuda de tractor empujador.

En estrecha relación con el procedimiento de vertido se encuentra el método de construcción que puede ser: en avance, por basculamiento final, o en retroceso por tongadas.

Desde el punto de vista de seguridad el segundo método es ventajoso, por cuanto el tráfico de los volquetes ayuda a conseguir una mayor compactación de los materiales mejorando la estabilidad de las estructuras. Se aplica, generalmente, en minas donde la topografía es suave y, sobre todo, en las etapas iniciales en las secciones perimetrales, antes de pasar al basculamiento final si es más económico.

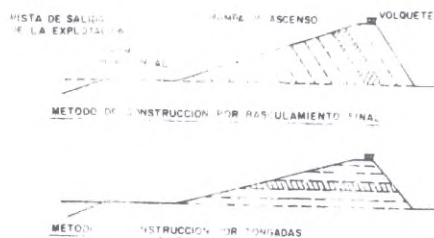


Figura 8. Métodos de construcción por basculamiento final y por tongadas.

4.2. Rehabilitación y auscultación de escombreras durante su construcción.

La rehabilitación de las escombreras con problemas de inestabilidad es importante no sólo para alcanzar unas condiciones de seguridad adecuadas, sino incluso para reducir los ritmos de vertido que temporalmente deben incrementarse sobre otras áreas. La descarga de estériles se realizará en tales casos a ambos lados de la grieta de rotura, donde la cresta tendrá menor pendiente que en el centro. Cuando esto no sea posible, bien se procede a un retranqueo del punto de descarga de los volquetes o, lo que es más efectivo, a una reducción del ángulo del escarpe mediante la utilización de cargas de explosivo.

En la Fig. 9 se representa una sección transversal de un vertedero donde se disponen dos filas de barrenos con las que se consigue reducir la pendiente en la parte alta del mismo y eliminar el riesgo de rotura del borde bajo el peso de los volquetes cargados.

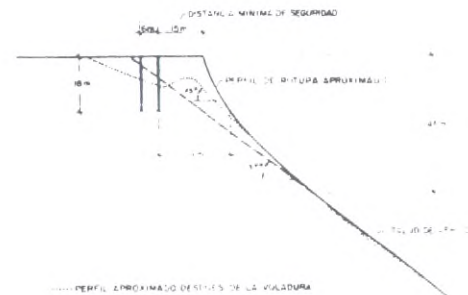


Figura 9. Sección vertical de un vertedero mostrando el diseño de la voladura para reducir el ángulo de talud.

La auscultación de una escombrera en operación es necesaria para trabajar en condiciones de seguridad. Tan importante como la auscultación es la inspección visual de las superficies de dichas estructuras con el fin de identificar grietas, escarpes y abombamientos que se forman durante el asentamiento de los estériles.

Las grietas y los escarpes son indicadores de un asentamiento normal de los vertederos y son útiles para estudiar la correcta ubicación de la instrumentación, el trazado de las pistas de los volquetes y el control de la infiltración del agua.

En cuanto a los abombamientos, que existen de dos tipos, son indicadores de problemas de inestabilidad.

Los instrumentos de auscultación más utilizados son los extensómetros de cable, Fig. 10. que consisten en una simple pica, que se fija sobre el borde del vertedero, a la cual se une un cable inextensible que va apoyado sobre trípodes, cada 10 m como máximo, para evitar el rozamiento con el suelo, y de cuyo extremo opuesto cuelga una masa que se suspende desde una rueda giratoria en la estación de lectura. Esa estación se sitúa a una

distancia segura del borde del vertedero y posee una escala con divisiones de 0,5 cm.

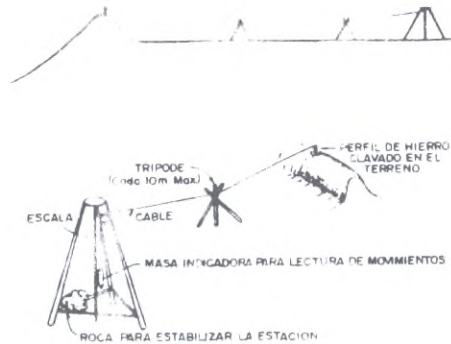


Figura 10. Auscultación de una escombrera

El espaciamiento entre estos extensómetros no suele exceder de 75 m y al menos se debe disponer de dos por cada vertedero activo. Si se observaran problemas de inestabilidad la distancia mínima para la auscultación se reduciría por debajo de 50 m.

A partir de la lecturas que se obtienen en cada relevo se actúa siguiendo las recomendaciones de la Tabla IV.

TABLA IV. LIMITES DE ASENTAMIENTO DE VERTEDEROS

VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO	ACCION REQUERIDA
0 - 3 cm/h	— Lectura de extensómetros cada 2 horas.
> 3 cm/h	— Lectura de extensómetros cada hora.
> 5 cm/h	— Cese del vertido.

4.3. Normas para garantizar la estabilidad de las escombreras.

Existen ciertas normas o recomendaciones encaminadas a mejorar la resistencia de las masas de escombros frente a los deslizamientos, así como a rebajar los niveles de agua dentro de las estructuras.

Independientemente del tipo de escombrera, la primera norma a seguir consiste en la retirada de la vegetación y de los suelos del lugar de asentamiento. La descomposición de esa vegetación al cabo de cierto tiempo y la existencia de una capa de suelo constituyen una zona de rotura probable por la reducida resistencia al corte que presentan. En el caso de no retirar esos materiales superficiales, porque el espesor sea grande o porque sobre ellos se van depositando estériles contaminantes separados mediante una capa de arcilla, se recomienda compactar esos suelos.

Si existe agua estancada en la base de apoyo deberá ser drenada antes de verter los primeros estériles o si esto no es posible rellenar dichas zonas con material de escollera.

En zonas de surgencia de acuíferos se procederá a la captación y drenaje de las mismas con la doble finalidad de evitar el efecto de las presiones intersticiales del agua en las escombreras y conservar las fuentes y manantiales.

Si la surgencia es puntual, la captación se hace mediante una arqueta construida sobre el terreno explanado Fig. 11. Desde esta se suele sacar una tubería de PVC de 50 a 75 mm de diámetro y exteriormente un tubo metálico de acero corrugado, flexible y muy resistente, que permite adaptarse a los asentamientos del terreno. Con este sistema se pueden ir depositando los estériles encima y al mismo tiempo ir acoplando los tubos necesarios durante el avance.

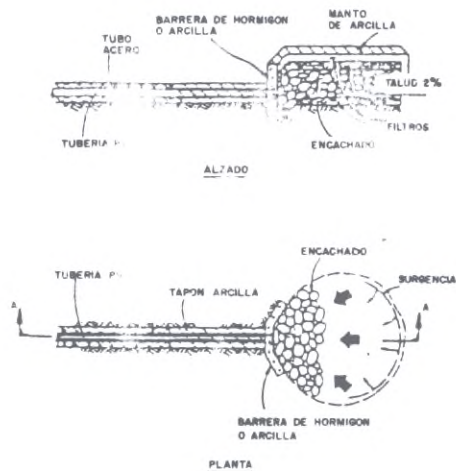


Figura 11. Sistema de captación de un manantial.

Si las surgencias son extensas debe disponerse de una red de zanjas o tubos drenantes conectadas a unos colectores.

El esquema en planta puede ser como el de la Fig. 12 en el que existe una cuneta general en el pie de la escombrera sobre la que se descarga el agua de drenaje a través de unos colectores principales en los que confluyen otros secundarios.

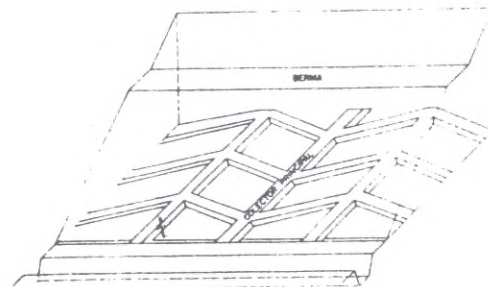


Figura 12. Esquema de la red de zanjas de drenaje en la base de una escombrera.

La cuneta general que rodea a las escombreras debe estar situada a unos metros de la base, para evitar el estancamiento del agua y socavación del pie del talud por la acción erosiva de ésta.

También hay que acometer dentro de la preparación del terreno las obras de desvío y canalización de las aguas de escorrentía.

A continuación, y tras conocer la capacidad portante de la superficie de apoyo, se construirán las pistas de acceso desde el área de explotación, y se comenzará a depositar el material de acuerdo con el método elegido:

- Por basculamiento final, o
- Por tongadas.

El primer método, tal como se han indicado anteriormente, consiste en descargar los estériles desde gran altura, Fig. 13, consiguiendo las condiciones de drenaje por la segregación natural que sufre el material durante el descenso por rodadura.

Los bloques grandes se encontrarán en el pie del talud, disminuyendo la granulometría en sentido ascendente. Pero desafortunadamente, existen factores que en ciertos casos impiden alcanzar las condiciones de estabilidad deseadas.

1. Con rocas friables o pocos resistentes a los choques y rozamientos (tales como pizarras y esquistos) no se produce una segregación clara y suficiente, que permita un correcto drenaje de la masa de material que sustentan.
2. Si el material es depositado en la plataforma del vertedero e intermitentemente es empujado hasta el borde del talud se dificultará la diferenciación granulométrica y se crearán superficies planas compactadas y paralelas al talud general de avance, pudiendo actuar como potenciales planos de rotura por la escasa resistencia al corte en dichas zonas.
3. El vertido por gravedad proporciona ángulos de reposo con un coeficiente de seguridad próximo a 1. En rocas sedimentarias esos ángulos se aproximan a los 37° , según el tipo de granulometría de los materiales. Por ello, y con el fin de garantizar las condiciones de estabilidad durante lluvias prolongadas, se recomienda mantener un talud general de unos 20° .
4. Los vertederos construidos por este método son más susceptibles a la erosión por las aguas de escorrentía, a pesar de mantener taludes inferiores, pues las superficies son largas e ininterrumpidas, sin bermas o terrazas intermedias, y los taludes no pueden protegerse con vegetación hasta que se completa la construcción del depósito.

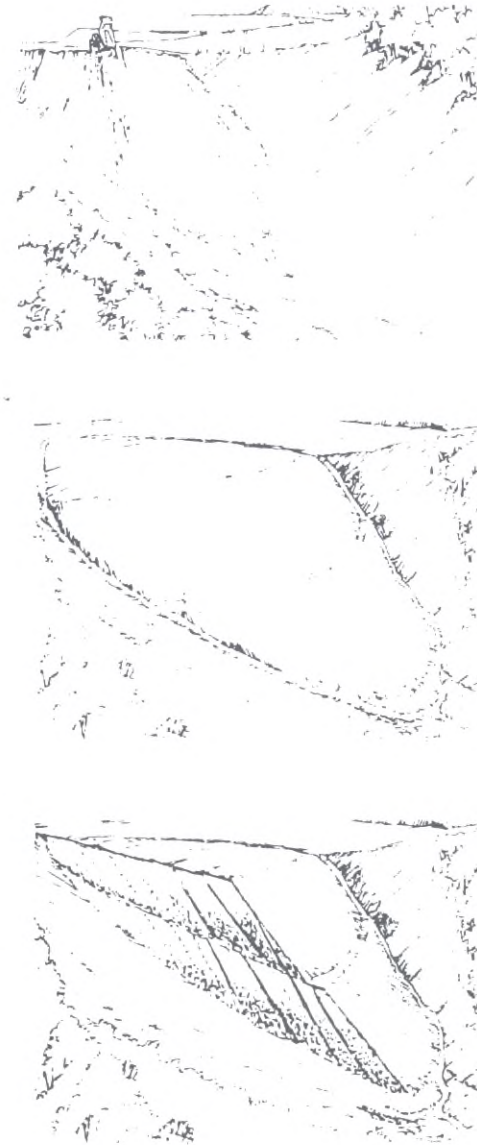


Figura 13. Escombrera de vaguada con vertido por gravedad.

El segundo método indicado consiste en depositar y compactar los estériles en capas o tongadas, con lo que se aumenta notablemente la resistencia al corte y la capacidad de vertido, pues se reduce el efecto del esponjamiento. Las condiciones de drenaje se consiguen creando un núcleo central de escollera tal como se ilustra en la Fig. 14. Seguidamente, se exponen las normas y recomendaciones que se recogen en la bibliografía técnica y reglamentos mineros de varios países para la construcción de escombreras de vaguada con núcleo de drenaje y escombreras de llanuras.

1. En terrenos con pendientes fuertes ($>20^\circ$) se recomienda el levantamiento de un dique de contención de sección trapezoidal con las siguientes dimensiones:

- Profundidad: Aproximadamente 1,5 m en material consolidado.
- Taludes: 1,5 : 1.
- Anchura de fondo: Superior a 3 m.

En vertederos con una capacidad inferior a $0,8 \text{ Mm}^3$, este dique puede ser sustituido por una simple plataforma, con las siguientes dimensiones:

- Taludes: Mayores de 1,5 : 1.
- Anchura de fondo: Superior a 3 m.

2. Para aumentar la eficiencia del drenaje se recomienda, en ciertos casos, que el dique de base se construya con bloques resistentes de arenisca. Pero cuando los ensayos de los suelos de base demuestran que la capacidad portante es suficiente, puede suprimirse el dique de contención.

3. En escombreras de más de $0,8 \text{ Mm}^3$ de capacidad, el dique de contención puede complementarse con contrafuertes o estribos para reforzar la estabilidad de la masa de material vertido.

4. En todos los casos, además de los drenajes considerados como principales, se construirán otros secundarios o laterales, de acuerdo con las recomendaciones de la Tabla V.

TABLA V

TIPO DE ESTERIL	CAPACIDAD DE LA ESCOMBRERA	
	$< 0,8 \text{ Mm}^3$	$> 0,8 \text{ Mm}^3$
Pizarras o similares	5 m x 2,5 m	5 m x 5 m
Areniscas o similares	2,5 m x 1,2 m	5 m x 2,5 m

La granulometría del material empleado en los drenajes debe ser tal que contenga menos del 10 % de bloques inferiores a 30 cm y no existir tamaños superiores al 25 % de la sección del drenaje.

5. El procedimiento para la colocación del estéril es el siguiente:

- a) Si el 65 % o más del material es arenisca puede ser vertido sin compactación, pero se nivelará según la cota del banco al finalizar el relevo de trabajo.
- b) Si el material contiene menos del 65 % de arenisca puede ser vertido en tongadas de 1,2 m, compactándolo a continuación.
- c) En terrenos abruptos y de fuerte pendiente y siendo más del 90 % arenisca, los sistemas de drenaje se construirán basándose en la segregación natural que se produce en el vertido.

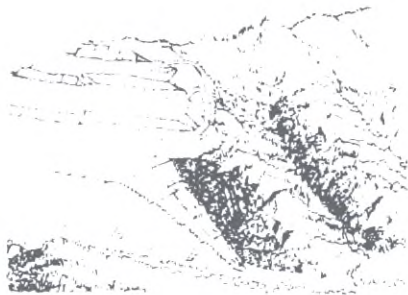


Figura 14. Escombrera de vaguada construida por tongadas y con núcleo central de drenaje.

6. Cuando las escombreras son construidas por gravedad se recomienda compaginar el vertido en avance con el lateral, ya que de esta forma se evita la formación de planos diferenciados que pueden servir como posibles discontinuidades de deslizamiento o rotura.
7. El material de relleno se dispondrá formando bancales con el fin de incrementar la estabilidad. Se recomiendan las siguientes dimensiones finales:
 - * Altura de banco: 15 m máximo.
 - * Anchura de berma: 6 m máximo.
 - * Pendiente de desagüe hacia el interior de las bermas: 3-5 %.
 - * Pendientes laterales de coronación: 3 - 5 %.
 - * Superficie de estabilización: Revegetación coexistente con la construcción.
8. Todas las superficies de drenaje dispondrán de las pendientes adecuadas hacia ambos lados de la vaguada, dirigiendo las aguas hasta las zanjas construidas en roca inalterada. Estas zanjas estarán protegidas por escollera u otros materiales en las zonas de fuertes pendientes, con objeto de reducir la velocidad de circulación.

En las escombreras de llanura construidas en retroceso y vertido en tongadas, las normas a observar son:

- * Altura de banco: Menor de 5 m.
- * Altura de berma: No inferior a 5 m.
- * Talud general: Menor de 26° (2:1)
- * Altura máxima de escombrera: 30 m si la humedad del material supera el 14 %.

Igualmente, en las escombreras de ladera se recomiendan los siguientes parámetros de diseño:

- * Talud general: Menor de 22° (2,5:1)
- * Altura máxima de escombrera: 15 m.

En la base del vertedero se levantará un dique de escollera debidamente compactado, complementándolo con una tubería de drenaje del lado de aguas arriba.

4.4. Cálculos de estabilidad de escombreras

Los materiales vertidos en una escombrera se encuentran como fragmentos con tamaños muy pequeños, si se comparan con la dimensiones del depósito. Aunque inmediatamente después del vertido no existe ninguna trabazón entre las partículas, el paso del tiempo facilita los fenómenos de consolidación que se traducen en un aumento de la cohesión y de la resistencia al corte.

Las formas de inestabilidad son, según la posición de la superficie de rotura, superficiales si no afectan a la base de la escombrera o profundas si sucede lo contrario. Los tipos de rotura que se identifican de acuerdo con la geometría de las mismas son las siguientes:

- **Rotura circular.** Se produce en depósitos en los que los materiales presentan unas propiedades geotécnicas homogéneas.
- **Rotura no circular.** Es una superficie de rotura mixta que combina una sección circular y un deslizamiento. Se presenta en materiales con características diferentes.
- **Rotura en cuña.** Es típica de aquellos casos donde la base de apoyo no es lo suficientemente resistente para soportar el peso de los estériles.

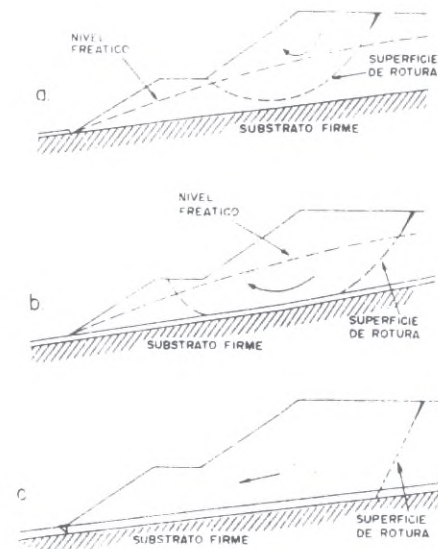


Figura 15. Principales tipos de rotura en escombreras:

a) Circular, b) Mixta y c) En cuña.

Los métodos de análisis de estabilidad son muy diversos, y la mayoría se basan en comparar las fuerzas que favorecen el movimiento de la masa de materiales a través de una hipotética superficie de rotura y las fuerzas resistentes estabilizadoras. Los cálculos se simplifican llevándose a cabo en secciones verticales, sin tener en cuenta las fuerzas resistentes que actúan en los extremos de la masa en movimiento.

Hoek y Bray (1981) publicaron unos ábacos con los que es posible efectuar una primera estimación del Factor de Seguridad, algo inexacta y conservadora, válida para estudios a nivel de anteproyecto bajo las hipótesis de materiales homogéneos y geometrías sencillas. Las etapas a cubrir son las siguientes:

1. Se elige el tipo de escenario que es probable que se presente sobre la estructura a analizar. Fig. 16. Existen cinco casos y cada uno de ellos posee un ábaco.

2. Se calcula el valor adimensional:

$$\frac{c}{\gamma \cdot H \cdot \text{tag } \phi}$$

siendo " γ " la densidad del material, " H " la altura del talud, " c " la cohesión aparente y " ϕ " el ángulo de rozamiento interno.

- En los ábacos de las Figs. 17 y 21 se sigue el radio del valor encontrado anteriormente hasta que corte a la curva que corresponde el ángulo del talud.
- Se busca sobre los ejes vertical y horizontal los valores de " tag FS " y " $c/H \cdot \text{FS}$ ", a partir de los cuales se calcula el valor de " FS " más conveniente.

Ejemplo:

Se considera una escombrera de estériles de carbón con un nivel freático que surge a 1/4 de altura del talud. Los parámetros resistentes son: $c = 40 \text{ KN/m}^2$, $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ y $\phi = 22^\circ$. Se pide hallar el Factor de Seguridad para $H = 50 \text{ m}$ y ángulo de talud de 25° .

$$\frac{c}{\gamma \cdot H \cdot \text{tag } \phi} = 0,11$$

con el ábaco número 3 se obtienen los siguientes valores:

$$\frac{\text{tag } \phi}{\text{FS}} = 0,4 \quad \frac{c}{H \cdot \text{FS}} = 0,044$$

El Factor de Seguridad del talud es 1,01.

En las Fig. 22 y 23 se representan los gráficos para la determinación del centro del círculo crítico de rotura y grieta de tracción, correspondientes a las situaciones de los ábacos anteriores 1 y 3.

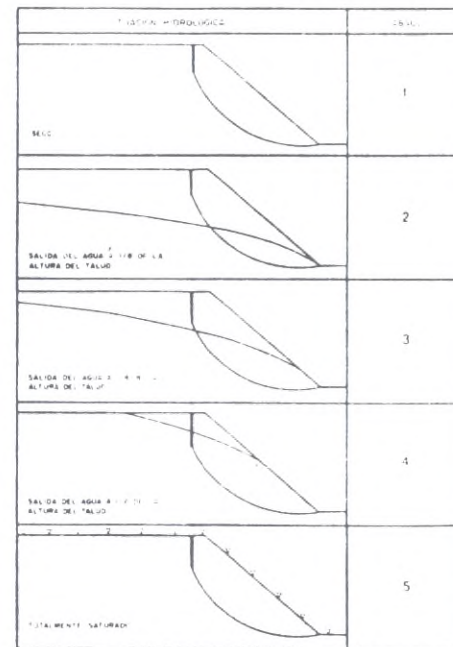


Figura 16. Casos de situación del nivel freático resueltos en ábacos de Hoek y Bray.

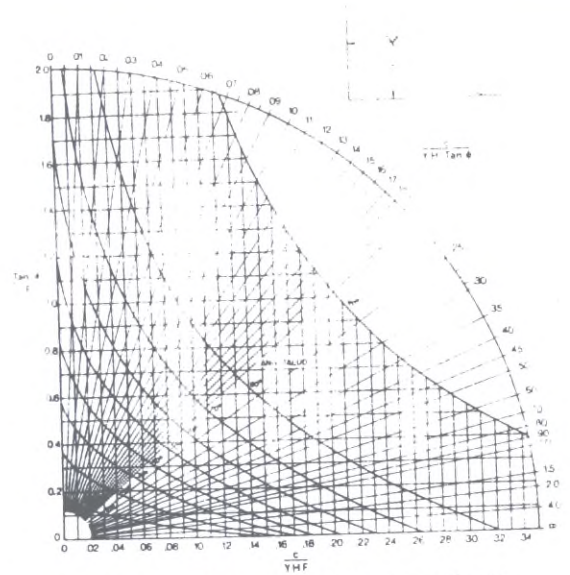
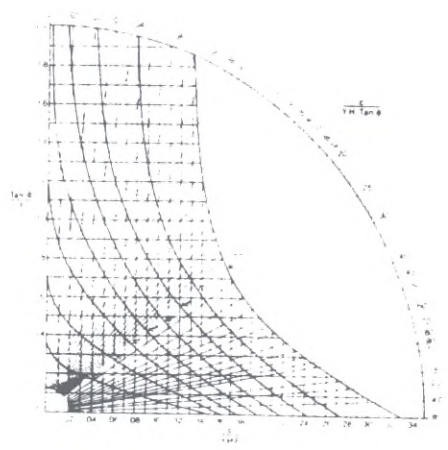
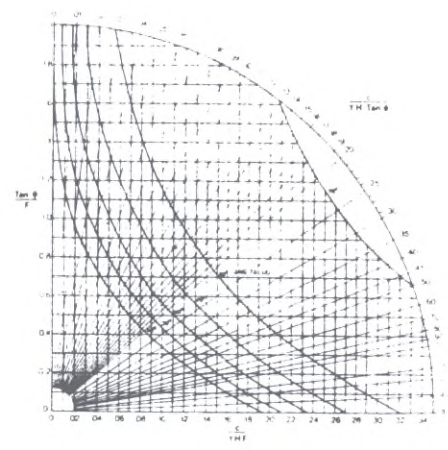
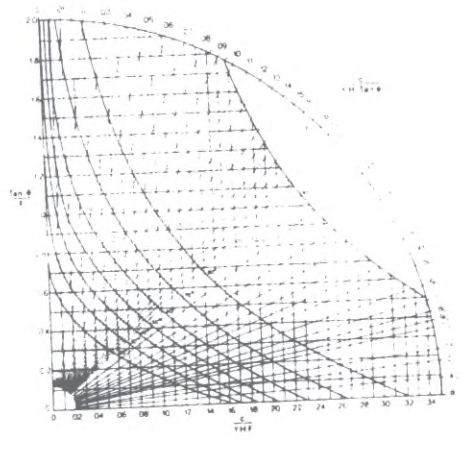
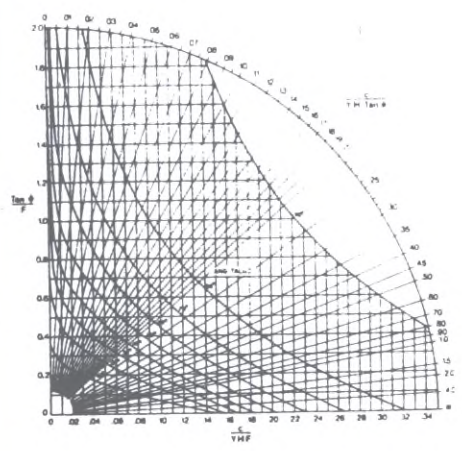


Figura 17. Abaco 1 de Hoek y Bray.



Figuras 20 y 21. Abacos 4 y 5 de Hoek y Bray.



Figuras 18 y 19. Abacos 2 y 3 de Hoek y Bray.

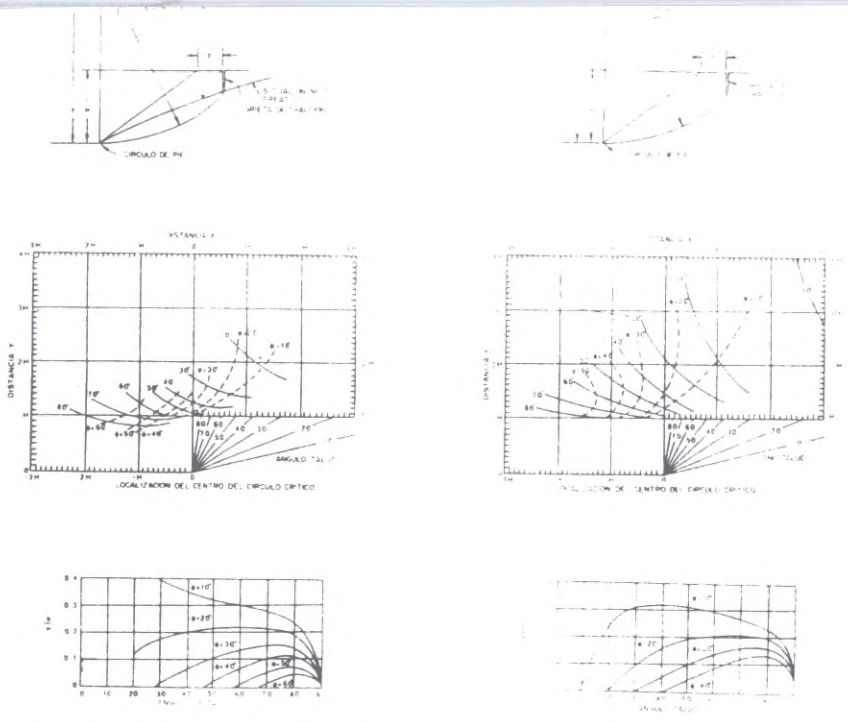


Fig. 22. Localización del círculo crítico de rotura y grieta de tracción (situación del Abaco 1)

Fig. 23. Localización del círculo crítico de rotura y grieta de tracción (situación del -- Abaco 3).

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que los cálculos de estabilidad finalizan siempre con la determinación del Factor de Seguridad. Si el valor obtenido está por debajo del exigido se procede a rediseñar geométricamente la escombrera o mejorar las condiciones de drenaje.

Los valores mínimos exigidos son superiores en todos los casos a la unidad, ya que, por un lado, se requiere un margen para considerar la intensidad de riesgo en función de las condiciones del entorno y, por otro, es preciso considerar los posibles errores y desviaciones de los parámetros característicos de los materiales que se han obtenido con las muestras ensayadas.

En la Tabla VI se indican los Factores de Seguridad mínimos para los diferentes escenarios posibles.

TABLA VI. COEFICIENTES DE SEGURIDAD MÍNIMOS REQUERIDOS EN EL PROYECTO DE ESCOMBRERAS

CASO I			
Implantaciones sin riesgo para personas, instalaciones o servicios $H \leq 15 \text{ m}$ o $V \leq 25.000 \text{ m}^3$ o $H > 15 \text{ m}$ en escombreras en manto			
Pueden constituirse con el ángulo de vertido de los escombros			
	F_2	F_1	
$15 < H \leq 30 \text{ m}$, talud conformado para	1,20	1,10	
$H > 30 \text{ m}$, talud conformado para	1,30	1,20	
CASO II			
Implantaciones con riesgo moderado			
	F_3	F_2	F_1
$H \leq 15 \text{ m}$ o $V \leq 25.000 \text{ m}^3$ o $H > 15 \text{ m}$ en escombreras en manto.	1,20	1,15	1,10
$15 < H \leq 30 \text{ m}$	1,35	1,25	1,15
$H > 30 \text{ m}$	1,45	1,30	1,15
CASO III			
Implantaciones con riesgo elevado			
Se proscriben las escombreras en manto sin elementos de contención o desviación al pie			
	F_3	F_2	F_1
$H \leq 20 \text{ m}$	1,40	1,20	1,10
$H \geq 20 \text{ m}$	1,60	1,40	1,20
NOTAS			
— Esta tabla corresponde a escombreras de la minería de carbón, realizadas de acuerdo con estas recomendaciones relativamente homogéneas y en las que los finos cohesivos o de lavadero no influyen de manera apreciable en la estabilidad.			
— Los coeficientes de seguridad corresponden a las situaciones siguientes:			
F_1 . Escombreras normales sin efectos de aguas freáticas y en cuya estabilidad no interviene el cimiento			
F_2 . Escombreras sometidas a filtración, agua en grietas o fisuras y riesgo de deslizamiento por la cimentación			
F_3 . Situaciones excepcionales de inundación, riesgo sísmico, etc.			
— Los valores de F indicados son para escombreras exentas o en laderas con inclinaciones hasta el 8%. En el caso de vaguadas encajadas (ancho máximo = altura) puede admitirse una reducción del 10% llegando al 3% para vaguadas con ancho máximo = 2,5 veces la altura.			
En laderas de inclinación superior al 8% los coeficientes F se incrementan en los valores siguientes:			
CASO I: $F = 0,10$			
CASO II: $F = \sqrt{0,03(\alpha - 0,08)}$			
CASO III: $F = \sqrt{0,07(\alpha - 0,08)}$			
siendo α la inclinación de la ladera en tanto por 1 con $\alpha \leq 0$.			
— Se supone que los parámetros geotécnicos se han determinado mediante ensayos. En el caso de estimación, éstas deben justificarse, mayorando los coeficientes de la tabla en un 10-15%, según la habilidad de las estimaciones			

Fuente: Manual para el Diseño y Construcción de Escombreras y Presas de Residuos Mineros. ITGE 1986

5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LAS PRESAS DE ESTERILES

Siempre que sea posible se deben utilizar en la construcción de estas estructuras los propios residuos, ya que es el material más barato. Tal como se mencionó anteriormente, el diseño de una presa de lodos difiere de una presa convencional en dos aspectos; primero, la construcción se realiza por etapas, reduciéndose así la inversión inicial, y segundo, si los residuos son empleados en la construcción, la planta de tratamiento tiene que operar durante un período de tiempo dado para producir el material necesario. Por esta razón, el dique inicial se construye con esteril de la propia mina o con materiales de una cantera, efectuándose después los recrecimientos con los residuos de la planta o con esos mismos materiales.

Básicamente, existen tres tipos de presas de residuos que son denominadas, desde el punto de vista de su construcción, como hacia aguas arriba, hacia aguas abajo y centrales.

En la Tabla VII se comparan los diferentes tipos de presa de residuos.

TABLA VII. COMPARACION DE LOS METODOS CONSTRUCTIVOS DE PRESAS DE RESIDUOS.

Método de construcción	Características de los lodos	Procedimiento de descarga	Capacidad para almacenamiento de agua	Resistencia sísmica	Ritmo de elevación aconsejado	Materiales de los diques	Coste relativo
Presa convencional de escollera.	Adecuada para cualquier tipo de lodos.	Cualquiera.	Buena	Buena	Dique entero construido inicialmente	Escollera y suelos naturales	Alto
Aguas arriba.	Al menos del 40 al 60 % de sólidos. Baja densidad de la pulpa para favorecer la segregación de las partículas.	Descarga periférica y controlada.	Mala	Mala	Menor de 4.5 a 9 m/año Mayor de 15 m/año es peligroso.	Arenas de los lodos. Esteriles de mina y suelos naturales.	Bajo
Aguas abajo.	Adecuado para cualquier tipo de lodo.	Varia de acuerdo al diseño.	Buena	Buena	Cualquiera.	Arenas de los lodos o esteriles de mina, si se producen en cantidades suficientes, o suelos naturales.	Alto
Centrada.	Arenas o limos de baja plasticidad	Descarga periférica desde la playa nominal necesaria	No recomendado para almacenamiento permanente. Aceptable para inundaciones temporales con diseño constructivo adecuado	Aceptable	Puede limitarse la altura de recrecimientos individuales	Arenas de los lodos o esteriles de mina si se producen en cantidades suficientes o suelos naturales.	Medio

5.1. Construcción hacia aguas arriba

Es el método más ampliamente utilizado en el pasado y en la actualidad. Tal como se muestra en la Fig. 24 una vez construido el dique inicial se van levantando diques sucesivos ligeramente retranqueados respecto a los anteriores y hacia el interior de la presa. Esos diques se forman, por lo general, con los sedimentos gruesos de los lodos que se separan de estos por decantación natural o por ciclonado. Este último sistema permite un mayor control de la granulometría de las arenas.

Los residuos arenosos que configuran la playa constituyen en cada recrecimiento de la presa la base de apoyo o cimentación de los diques sucesivos, por lo que es importante que exista un porcentaje elevado de partículas gruesas; aunque existen algunas excepciones.

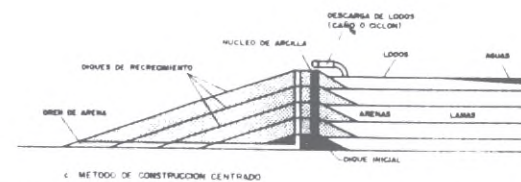
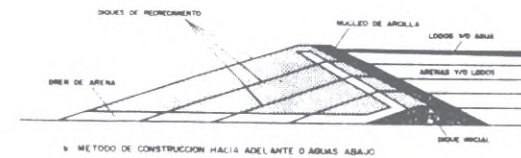
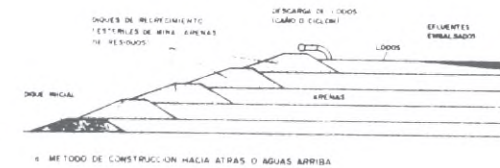


Figura 24. Métodos constructivos de presas de residuos. Este sistema constructivo, siempre que los residuos puedan clasificarse en diferentes granulometrías, es el más económico

ya que es el que requiere un menor volumen de material que debe ser transportado para construir los diques y el que ocupa menor superficie para una capacidad de almacenamiento dada. No obstante, al estar construido el dique por materiales de baja compacidad y taludes bastante tendidos y recurrir a medidas tales como: ensanchamiento del dique mediante el extendido de las arenas de la playa entre dos caballones, la intercalación de capas dren y tubos drenantes, la compactación de las arenas, etc.

Cuando los residuos sean muy finos el éxito de este método de construcción dependerá del ritmo de elevación del dique y del talud general de éste, pues si el recrecimiento es muy rápido las presiones de poro serán muy elevadas y pueden dar lugar a problemas de estabilidad. También en áreas donde exista cierta actividad sísmica este método deberá compararse con otros, pues es el más susceptible frente a fenómenos de licuefacción.

5.2. Construcción hacia aguas abajo

Como el nombre indica, este método de construcción consiste en la elevación de la presa mediante diques sucesivos de estériles que avanzan en la dirección de aguas abajo. Es el sistema más seguro de almacenamiento de residuos y el que más se asemeja a las presas de tierra convencionales, aunque en este caso se construyen por etapas. Es por esto, que en algunos países es el tipo de presa preferido por la Administración y Organismos Oficiales.

El dique inicial se construye normalmente con materiales naturales, disponiendo en algunos casos de núcleos impermeables y elementos de drenaje para el control del nivel freático y filtraciones. Los recrecimientos subsiguientes se efectúan con las arenas de los residuos ciclonadas, con suelos de recubrimiento o con estériles de mina. Este método, desde el punto de vista de estabilidad, no depende de las características hidráulicas de los residuos o efluentes, siendo por ello el que permite el almacenamiento de cualquier tipo de residuo. Por esto,

para lodos con partículas muy finas y en áreas donde las precipitaciones superan a la evapotranspiración este tipo de construcción es el más utilizado. También se recomienda este diseño en zonas con actividad sísmica, ya que los materiales de la estructura del dique pueden compactarse y el nivel freático puede controlarse mejor.

El principal inconveniente de las presas construidas hacia aguas abajo es que se necesitan grandes volúmenes de material de relleno y el incremento de estos en cada recrecimiento sucesivo. Por esto, se debe planificar cuidadosamente los volúmenes de materiales que estarán disponibles durante las últimas etapas, particularmente si se van a utilizar las arenas de los residuos ciclonadas o los estériles de la mina.

5.3. Construcción centrada

Este método es esencialmente una combinación de los dos anteriores, realizándose los recrecimientos sucesivos mediante mantos de dique cuyos centros se mantienen sobre la misma línea vertical. Normalmente, los lodos se descargan desde la coronación de la presa para mantener una playa y evitar el encharcamiento junto al talud del dique. Los materiales empleados suelen ser los mismos que se han citado para el método anterior, pudiendo disponerse también de núcleos impermeables y drenes en la estructura del dique. La estabilidad sísmica es mejor que en el diseño hacia aguas arriba, pero peor que hacia aguas abajo y las necesidades de estériles para la construcción es intermedia entre ambos métodos.

5.4. Otros métodos de construcción.

En la última década se han desarrollado otros métodos de almacenamiento de residuos entre los que caben destacar: el

A. Método de descarga espesada

Consiste en espesar los lodos hasta que alcancen una elevada viscosidad, con una concentración de sólidos entre el 55 y el 65 %, y descargarlos en un solo punto o línea de puntos, de manera que los residuos formen un depósito en forma de cono con unos taludes cuyas pendientes oscilan entre el 2 y el 8 % (dependiendo de la viscosidad y granulometría de las partículas). Los residuos son depositados como una mezcla homogénea, mejor que segregada, de arenas y lamas.

Los principales inconvenientes que plantea este método son: por un lado, aunque se eliminan los costes de construcción de los diques existe un sobre coste debido al espesado y bombeo de los lodos; también, como no pueden almacenarse los efluentes, se requiere la construcción de algunas presas de decantación y evaporación. Durante la operación este método es altamente susceptible de procesos de inestabilidad y corrimientos bajo condiciones sísmicas, ya que se produce la licuefacción de los residuos. Como problemas adicionales cabe citar la gran superficie de terreno de que es preciso disponer y el volumen de lodos que pueden arrastrar las aguas de escorrentía.

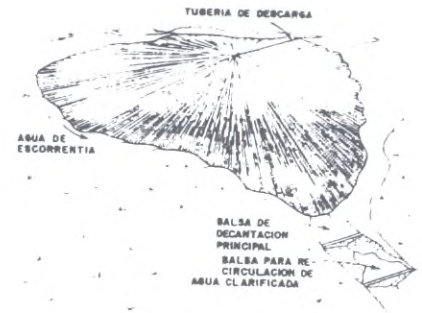


Figura 25. Método de descarga espesada.

Por el contrario, este método reduce la contaminación del aire por el polvo producido por el viento al incidir sobre las superficies expuestas, ya que los taludes permanecen permanentemente húmedos, y proporciona formas de las estructuras que son más fáciles de integrar en el paisaje.

B. Método de deposición en huecos mineros y cavidades.

Como consecuencia de la explotación de determinados minerales se han pasado a considerar los huecos de minados antiguos y contemporáneos como zonas preferentes para ubicar bajo la superficie los residuos de las plantas. Esos huecos bien pueden ser los de labores subterráneas efectuadas en las proximidades de los yacimientos en explotación, como los de las minas a cielo abierto ya abandonadas. En todos los casos, es preciso efectuar un exhaustivo estudio hidrogeológico para evaluar el impacto ambiental producido por las filtraciones de los efluentes en los acuíferos de la zona.

5.5. Otras consideraciones de diseño.

Los niveles de agua subterránea o superficies freáticas de los efluentes dentro de las presas y en los diques tienen una

influencia muy importante en la estabilidad de esas estructuras y en su comportamiento bajo condiciones estáticas y dinámicas. La predicción de las posiciones de las superficies freáticas en las presas es un trabajo complejo. Inicialmente, los niveles se encuentran muy bajos como consecuencia del drenaje natural a través de los suelos de cimentación. Sin embargo, con el tiempo la deposición de los lodos reduce la permeabilidad vertical y se fuerza a que los efluentes se desplacen horizontalmente elevándose así el nivel de filtración en el dique. En muchos casos, esto crea empujes que llegan a afectar a la estabilidad de las presas.

La precipitación de sustancias debidas a las reacciones químicas que tienen lugar en las presas pueden llegar a reducir el drenaje, no solamente a través del suelo natural, sino incluso en los drenes construidos en los diques al colmatarse los huecos intersticiales.

Otros aspectos que deben tenerse en cuenta en la construcción de presas de residuos son los problemas operativos. Las características de las estructuras pueden cambiar a lo largo del tiempo al variar la densidad de las pulpas, la granulometría de las partículas en los lodos, la composición de los minerales, las condiciones climatológicas o los ritmos de producción.

6. RESTAURACION Y ABANDONO DE ESCOMBRERAS Y PRESAS DE RESIDUOS.

Al igual que en otros trabajos de restauración de terrenos afectados por las actividades extractivas, los objetivos que se persiguen en el caso de las escombreras y presas de residuos son los siguientes:

- Estabilidad de las estructuras, a largo plazo.
- Protección frente a los procesos erosivos a largo plazo.
- Prevención de la contaminación ambiental.
- Acondicionamiento para la recuperación y abandono de presas.

- Puesta en uso productivo de los terrenos recuperados.

6.1. Estabilización y remodelado de las estructuras.

Si una vez construida una escombrera se observan movimientos del terreno o riesgo de que se produzcan, será necesario antes de implantar la cubierta vegetal o darle un uso a esos terrenos, adoptar una serie de medidas correctoras.

Existen diversos métodos para estabilizar las masas de estériles granulares, cuyo comportamiento puede asimilarse al de un suelo no cohesivo.

La solución más sencilla consiste en modificar la geometría de tales estructuras mediante el remodelado del talud, de manera que se logre reducir el momento de las fuerzas desestabilizadoras y mejorar el coeficiente de seguridad.

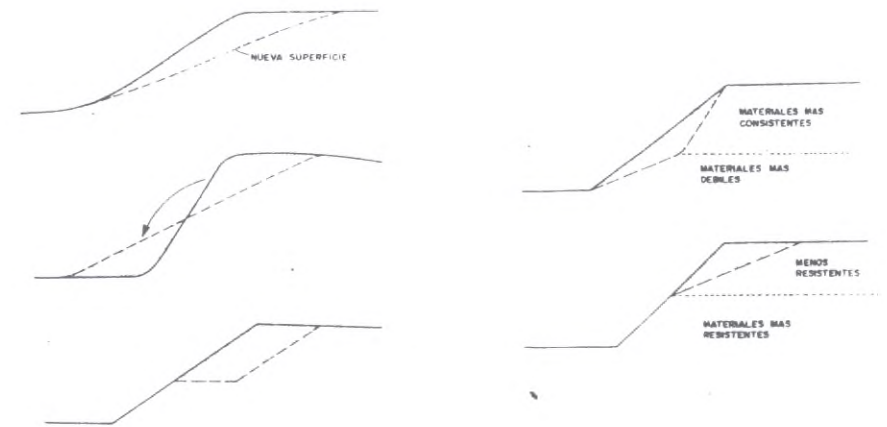


Figura 26. Ejemplos de remodelación de taludes.

Una segunda medida consiste en el drenaje de la estructura para evitar, por un lado, la erosión de los materiales en la superficie del talud, y, por otro, las presiones intersticiales

y efectos desestabilizadores en el interior de los depósitos. Durante la fase de construcción con obras o elementos que favorezcan el drenaje intenso de los estériles, pantallas drenantes y galerías, así como la disposición y vertido estratégico de los materiales dentro de las escombreras.

Si tales actuaciones no se han llevado a cabo pueden realizarse una serie de obras complementarias como son las zanjas y los espaldones o contrafuertes.

Los sistemas citados tienen un carácter superficial, pues las zanjas no suelen alcanzar profundidades superiores a los 4 ó 5 m. Es conveniente complementar estos sistemas con la construcción de una bajantes superficiales que conduzcan el agua drenada hasta el desagüe principal.

En los deslizamientos activos se recomienda el sellado de las grietas superficiales ya que pueden actuar como vías de entrada del agua. Esa operación se debe efectuar con materiales impermeables como la arcilla, el cemento, etc.

Otro grupo de métodos es el denominado de contención, que consiste en la aplicación de una fuerza resistente complementaria mediante la construcción de una obra de fábrica. Estos muros y muretes actúan por su peso, pudiendo anclarse y encastrarse en el terreno. Los materiales que se utilizan normalmente son muy diversos, desde el hormigón en masa, la mampostería, la tierra armada, los gaviones, etc.

Finalmente existen los métodos de mejora de las características de los materiales, con los que se persigue aumentar la resistencia al corte de los mismos. Se pueden llevar a cabo mediante la inyección de sustancias que aumenten la cohesión de los fragmentos rocosos en zonas que no impidan el drenaje y por procedimientos mecánicos de introducción de refuerzos, barras de acero, carriles, macropilotes, etc., y anclaje incluso de estos

a la roca firme. Todos estos tratamientos tienen una efectividad escasa, localizada y son costosos.

Tras la estabilización de los taludes, la revegetación posterior actúa no sólo como un método protector e integrador de estos en el medio ambiente, sino incluso como un sistema corrector de los materiales más superficiales, pues produce una desecación por efecto de la evapotranspiración, reduce la filtración del agua y refuerza el terreno con las raíces.

Previo al extendido de la tierra vegetal, es necesario proceder al escarificado de las superficies por donde ha circulado la maquinaria minera, ya que el peso de ésta habrá dado lugar a una compactación de los materiales que impedirá en muchos casos la penetración y desarrollo de las raíces de las plantas. En las zonas en pendiente, si no se tratan esas superficies, actuarán como planos de discontinuidad pudiendo producirse deslizamientos a lo largo de ellas.

Aguas abajo de las escombreras, se construirán balsas de decantación o reposadores para controlar la contaminación física debida a los finos que hayan sido arrastrados y se encuentren en suspensión.

En las presas de residuos, cuando cesa el vertido de estos y no existe un aporte de agua exterior los niveles freáticos caen drásticamente, lo cual se traduce en una mejora sustancial de la estabilidad de los taludes. En principio, cualquier presa que fuera estable durante el período de construcción lo seguirá siendo tras el cese de las operaciones.

No obstante, podrá recurrirse a todo un conjunto de medidas correctoras, Fig. 27, si en algún momento se viera que las condiciones de estabilidad no son las adecuadas.

El primer procedimiento (a) consiste en la descarga parcial del material de coronación con vistas a reducir las tensiones en

la base del dique, ésto sólo es posible si el citado dique tiene unas dimensiones importantes. Otra técnica consiste en el aprovechamiento de ese material colocándolo como refuerzo al pie de la presa sobre una capa filtro (b), al mismo tiempo que se reduce la pendiente del talud. También es posible proceder al refuerzo del dique adosando escombros sobre una capa dren creando bermas intermedias (c) y a la colocación de filtros invertidos para facilitar el drenaje en la base y cimentación del dique (d). Por último, otros dos procedimientos consisten en el recrecimiento dejando bermas durante la operación (e) que facilitan el tendido del talud general y la depresión de los niveles freáticos mediante sondeos, drenes horizontales a distintas alturas, etc.

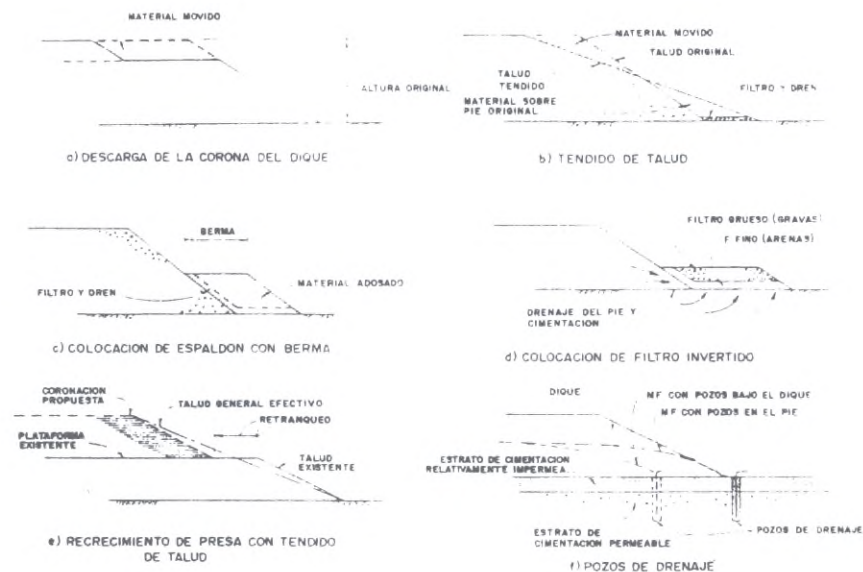


Figura 27. Medidas correctoras para mejorar la estabilidad de los diques en las presas de residuos.

Como dentro del proceso de abandono de una presa de residuos está el modelado de la misma, es aconsejable que se aprovechen en ellos los materiales que se empleen para su estabilización.

Lo ideal, desde el punto de vista de la restauración, es disponer de suficiente estéril de relleno para conseguir unos perfiles suaves, Fig. 28 a, esto no siempre es fácil o económico, por lo que suele adoptarse el método alternativo, Fig. 28 b, que consiste en adosar a los taludes espaldones de escombros granulares y escollera.

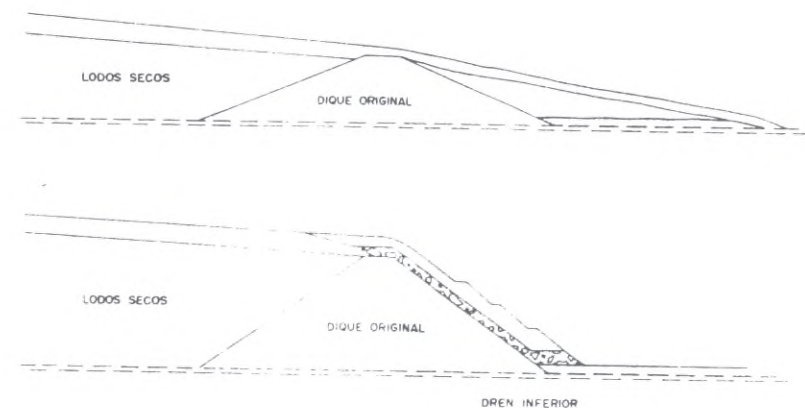


Figura 28. Secciones de presas preparadas para la revegetación.

En cuanto a la estabilidad sísmica, cabe decir que en presas abandonadas las condiciones son más favorables, ya que al no estar saturados los residuos el riesgo de licuefacción de los mismos es mucho menor. Esto se ha puesto de manifiesto en Chile en los depósitos de residuos de minas de cobre paradas que han resistido numerosos terremotos.

Las principales causas de inestabilidad de las presas abandonadas son de tipo hidrológico. La acumulación repentina del agua de lluvia puede provocar la rotura del dique por desbordamiento o por erosión en el pie del mismo. Aunque una presa sea segura, desde el punto de vista hidrológico, durante la vida operativa de la misma, no significa que lo sea indefinidamente después de su abandono.

Debe evitarse la acumulación del agua de lluvia sobre la superficie de la presa. para ello, se cubrirán los depósitos, sobre todo donde exista alguna depresión, para alcanzar pendientes de drenaje entre el 0,5 y el 1 %.

6.2. Protección frente a los procesos erosivos a largo plazo.

Los depósitos de residuos mineros son susceptibles de erosionarse formando surcos y cárcavas bajo la circulación de lluvia por las superficies. También la erosión eólica es en estos casos muy importante, ya que puede dar lugar con el tiempo a un desplazamiento del material como si de una duna de arena se tratara.

La erosión por acción del viento incide más sobre las superficies planas de las presas, mientras que la de tipo hídrico lo hace sobre los taludes. Para luchar contra esta última el primer criterio que debe seguirse se basa en diseñar los taludes con unos ángulos bajos comprendidos entre 3:1 y 5:1 y, a continuación, adoptar alguno de los métodos de protección y estabilización que se comentan seguidamente.

Cuando se pretende restaurar una presa recién construida, la primera etapa consiste en drenar y desecar la misma hasta conseguir una superficie de los materiales firme y estable. Esto puede requerir periodos de tiempo muy dilatados dependiendo de las condiciones climatológicas, tamaño de balsa y naturaleza de los lodos. El secado puede ser simplemente por evaporación del agua o por el drenaje y bombeo del agua hasta una planta de depuración y posterior vertido.

Una vez superada esa etapa se procederá a la estabilización mediante uno o varios de los procedimientos siguientes: protección con escollera, estabilización química, o revegetación.

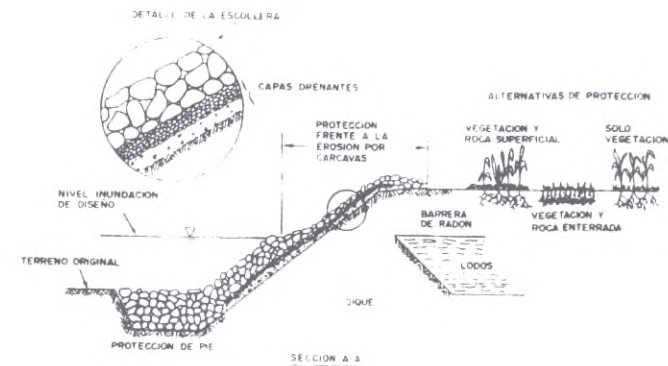


Figura 29. Sección transversal tipo de una presa de residuos, protegida con una escollera y revegetada en la plataforma superior.

6.3. Prevención de la contaminación ambiental

Cuando disminuya el caudal de los efluentes de drenaje en las presas de residuos o cuando eventualmente cesan después de la descarga de lodos, deben tomarse medidas especiales de prevención en algunos casos. En particular, cuando los residuos contienen pirita al bajar el nivel freático se produce la oxidación de ésta, descendiendo el pH e incrementando la liberación de minerales contaminantes que son mucho más nocivos, por lo general, que las sustancias presentes durante el período activo de la empresa. Como existe un riesgo de lixiviación de esos productos y, consecuentemente, de contaminación de las aguas subterráneas, a menudo se requiere la cubrición de las presas con una capa de arcilla antes del abandono, en combinación con la nivelación y afinado de las superficies para prevenir la formación de charcos. En el caso particular de lodos muy ricos

en piritita puede ser interesante contemplar la posibilidad de mantener saturada la presa con el fin de evitar la oxidación a largo plazo.

El movimiento ascensional de sales y minerales tóxicos desde el subsuelo formado por los lodos consolidados de una presa hacia la superficie de la capa de suelo productivo extendida sobre éste es un fenómeno importante dentro de la revegetación y que se atribuye a la elevación capilar, aunque también colaboran otros procesos menos importantes como el de difusión.

Cuando las raíces de las plantas entran en contacto con esos compuestos contaminantes puede producirse la muerte de éstas o la inhibición de su desarrollo, de ahí que la elevación capilar deba tenerse en cuenta en los procesos de revegetación de las presas de residuos.

La altura de migración de las sustancias tóxicas depende de diversos factores tales como la textura del suelo, velocidad de percolación del agua, gradientes de concentración, lixiviación, tipos de minerales arcillosos, profundidad de suelo, tiempo de movilidad de iones, clima, etc. Aunque no es fácil predecir la magnitud de tales desplazamientos hacia la superficie se ha comprobado que son mucho más acusados en climas áridos que en climas húmedos.

Como la elevación capilar es función del tamaño de los poros y de la tensión superficial, un método práctico para luchar contra ésta consiste en cubrir la presa con una capa de grava de forma que los poros resulten demasiado grandes para que se produzca el transporte de esas sales solubles y se forme así una barrera capilar.

Los espesores de las barreras varían de unos casos a otros entre 15 y 40 cm, según el tipo de residuo contaminante de que se trate. La estabilidad o longevidad de las barreras depende de la posibilidad de movimiento de las partículas finas de material

entre los huecos de las más grandes. La estabilidad será máxima cuando el material granular de cubrición siga el siguiente criterio:

$$C/F < 4$$

donde "C" es el tamaño de las partículas gruesas que se retienen después de dejar pasar por la malla el 15 % en el peso del material y "F" es el tamaño de las partículas finas que quedan después de pasar el 85 % a través de la malla. Si este criterio conocido por "Ratio de Oquedades" se cumple, la infiltración del material fino a través del lecho de grava o material grueso que forma la barrera capilar no se extenderá más allá de los 2 cm.

Otro aspecto de la contaminación que se puede dar en una presa de residuos es el conocido como "transporte biológico" que tiene lugar por un lado cuando las plantas que constituyen la cubierta vegetal de esas estructuras son capaces de desarrollar suficientemente sus raíces para alcanzar el nivel de los lodos. En estos casos se produce una transferencia a la superficie de ciertos constituyentes de los residuos tales como: selenio, molibdeno, radionucleidos y otros elementos nocivos que pueden pasar a la cadena de alimentación.

Este mecanismo de contaminación depende de las especies vegetales que se utilicen en la restauración, ya que por ejemplo las leguminosas, a menudo concentran elementos traza debido a la profundidad que alcanzan sus raíces y a los procesos fisiológicos asociados con la fijación de nitrógeno.

Por otro lado, en algunas situaciones el transporte biológico lo llevan a cabo pequeños mamíferos mediante la ingestión de plantas, suelos o agua o la inhalación de polvo o vapores emanados de los residuos.

6.4 Acondicionamiento para la recuperación y abandono de presas

Una etapa importante en la recuperación de las presas, cuando no está previsto que se abandonen con una lámina de agua que las inunde permanentemente, es la de drenaje y consolidación. Los lodos se depositan con un alto contenido en agua y requieren, por lo general, un periodo de tiempo considerable hasta que se crea una costra superficial capaz de soportar las presiones de los equipos que se utilizan en la restauración. Algunos residuos, como los de arcillas fosfáticas son muy difíciles de drenar y precisan de 5 a 10 años para que se seque el material de la superficie, además no debe olvidarse que muchos de estos materiales en condiciones húmedas tienen un comportamiento tixotrópico que hacen desaconsejable su remoción y la circulación de maquinaria.

Cuando el drenaje natural de los lodos no es suficiente se pueden aplicar diversas medidas especiales para incrementar la capacidad portante de estos, entre ellas desatacan: el vertido de estéril rocoso desde los borde de la presa hacia el interior, la modificación del proceso de tratamiento y transporte de lodos, la adición de estériles puzolánicos a los residuos, la utilización de lámina geotextiles cubriendo total o parcialmente la presa en las zonas de acceso y el empleo de equipos de baja presión específica.

A efectos de tratamiento de consolidación, no debe olvidarse que las presas de residuos constituyen estructuras heterogéneas, pues los materiales se segregan y depositan con granulometrías muy distintas.

Por otro lado, las chimeneas de drenaje y tuberías de desagüe deben dejarse en unas condiciones tales que no constituyan un origen potencial de problemas derivados de su rotura o de riesgo para las personas y el medio ambiente.

Las obras que se pueden llevar a cabo para la clausura de una presa son las siguientes:

- Si el lugar es accesible para las personas y los animales, y los lodos aún no están consolidados se cercará el área.
- La chimenea de drenaje podrá elevarse con el fin de evitar la entrada de agua durante las tormentas. Se aconseja que el nivel de rebose de la chimenea se calcule para una duración del aguacero de 24 horas y un período de recurrencia de 100 años.
- La chimenea de drenaje puede clausurarse de forma definitiva mediante el relleno con estéril y cierre en la superficie con una losa de hormigón Fig. 30 a. El cierre en el punto de conexión con la tubería de desagüe se conseguirá mediante una estructura soporte del relleno tal como se presenta en la Fig. 30.b.

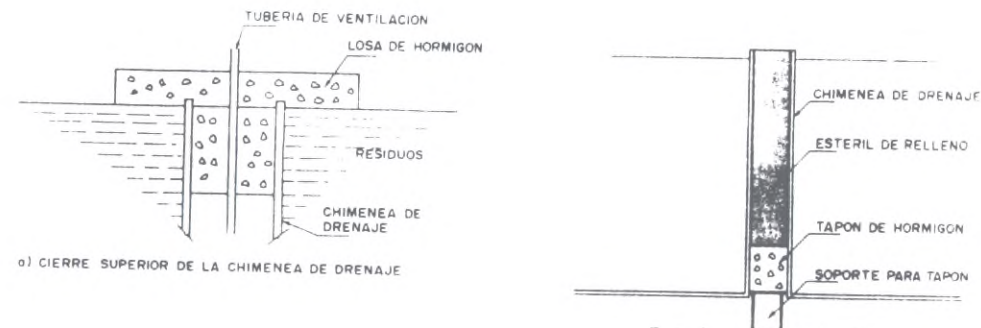


Figura 30. Sistemas de cierre de las chimeneas de drenaje

- Si los lodos están sometidos a un proceso de arrastre y lavado y existe riesgo de contaminación por su salida a través de la tubería de desagüe se procederá al cierre de esta mediante un tapón filtro de gravilla y escollera. Fig. 31.

Si los efluentes se prevén con pH ácido se recomienda que el material del tapón sea calizo para neutralizar las aguas.

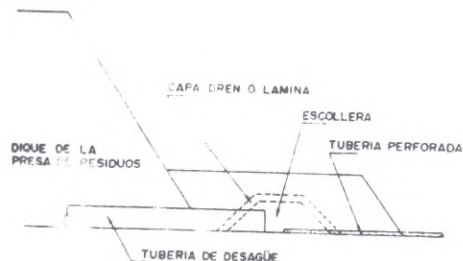


Figura 31. Cierre de tubería de desagüe con espaldón de escollera.

6.5. Puesta en uso productivo de los terrenos recuperados

La definición del "uso productivo" influye de manera significativa en las formas de recuperar las presas de residuos.

Normalmente, el uso productivo se define a partir de los usos que poseen los terrenos que circundan a la mina, además de considerar la política seguida en la integración en el paisaje. La recuperación puede consistir entonces en la instalación de una simple cubierta vegetal protectora, utilizando especies autóctonas, hasta el aprovechamiento agrícola de los terrenos, si se dispone de un medio adecuado.

Si las actividades mineras continúan después del abandono de las presas, un uso productivo posible en muchos casos ha sido la recuperación de minerales a partir de los lodos depositados. Los cambios tecnológicos en los procesos mineralúrgicos y las cambiantes condiciones económicas hacen que los depósitos de

residuos se revaloricen en el transcurso del tiempo llegando a ser rentable su reexplotación y aprovechamiento.

BIBLIOGRAFIA

- AYALA, F.J. y RODRIGUEZ, J.M.: "Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución de Escombreras en la Minería del carbón". Industria Minera.
- BARTH, R.C.: "Reclamation Technology for Tailing Impoundments" Colorado School of Mines, 1986.
- CALDWELL, J.A. "The Use of Stage Curves in the Design and Operation of Tailings Impoundments" CIM. Bulletin. February 1983.
- CANMET.: "Pit Slope Manual - Waste Embankments" 1979.
- CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA: "Handbook of Guidelines for Environmental Protection - the Design, Operation and Closure of Residue Deposits", 1979.
- CHIRONIS, N.P.: "Better Ways to Build hollow Fills". Coal Age, 1978.
- CLARIDGE, F.B. et al.: "Mine Waste Dumps Constructed in Mountain Valleys". CIM Bulletin. 1986.
- GONZALEZ CANIBANO, J y GARCIA, J.M.: "Los Estériles de Menudo de lavaderos de Carbón como Material para la Construcción de Terraplenes" Carreteras, julio-agosto 1986.
- LOPEZ JIMENO, C. et al.: "Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería". I.T.G.E. 1984.

- MURDOCK, L.T. and TOLAND, G.C.: "Desing of Tailings Impoundments". Engineering Bulletin 63. Dames & Moore, 1983.
- NICHOLS, R.S. and RUTLEDGE, A.L.: "Water Drainage Thought Waste Dumps at fording Coal Limited". CIM Bulletin, 1982.
- NICHOLS, R.S.: "Rock Segregation in Waste Dumps", 1986.
- RAINBOW, A.K.M.: "Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes" proceeding of the Second International Conference, 1989.
- ROBINS, J.D.: "Constructing Spoil Storage Fills in the Sleep Terrain Appalachian Coalfields". Stability in Coal Mining. Miller Freedman Publ. 1978.
- RODRIGUEZ ORTIZ, J.M.: "Auscultación y Corrección de Movimientos del Terreno". Riesgos Geológicos. IGME. 1987.
- SERRA DE RENOBALLES, T.: "La Concepción de Vertederos, Condición Previa para Posibilitar la Restauración en Minería a Cielo Abierto". I Seminario sobre la Restauración de Canteras y Minas a Cielo Abierto. Fundación Gómez-pardo. Madrid, 1988.
- SERVICE TECHNIQUE DE L'URBANISME.: "Sols Stériles: Réaménagement et Végétalisation", 1986.
- UNESA-ASINEL.: "Cubrimiento Vegetal de Escombreras de Cenizas Volantes". 1988.
- VICK, S.G.: "Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams", Wiley Interscience, 1983.
- WALTERS, W.H.: "Rock Riprap Desing methods and their Applicability to Long-Term Protection of Uranium Mill Tailings Impoundments". Pacific Northwest Laboratory. 1982.

- WILLIAMSON, N.A. et al.: "Mine Wastes Reclamation" Mining journal Books, 1982.

I SEMINARIO NACIONAL MINERO AMBIENTAL

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA DE COLOMBIA

*"RESTAURACION DE CANTERAS Y MINAS A CIELO ABIERTO
A TRAVES DE UN DISEÑO MAS RACIONAL"*

Por

CARLOS LOPEZ JIMENO
Dr. Ingeniero de Minas
E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid
Departamento de Explotación de Minas.

MARZO 1.991

I N D I C E

1.	INTRODUCCION	1
2.	ELABORACION DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y PROYECTOS DE RESTAURACION	4
2.1.	Objetivos de los Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental	4
2.2.	Contenidos de los proyectos de restauración	5
3.	RECOMENDACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA RESTAU- RACION DE HUECOS Y ESCOMBRERAS	8
3.1.	Criterios para la integración paisajística en las explotaciones y escombreras	8
3.1.1.	Huecos de explotación y taludes finales ..	11
3.1.2.	Orientación de los frentes y dirección de avance	15
3.1.3.	Apantallamiento artificial de las explo- taciones	18
3.1.4.	Accesos a las explotaciones	21
3.1.5.	Modelado de los huecos finales de excava- ción	22
3.1.6.	Escombreras	27
	BIBLIOGRAFIA	38

**"RESTAURACION DE CANTERAS Y MINAS A CIELO ABIERTO
A TRAVES DE UN DISEÑO MAS RACIONAL"**

CARLOS LOPEZ JIMENO
Dr. Ingeniero de Minas
E.T.S. Ingenieros de Minas
de Madrid
Dpto. de Explotación de Minas

1. INTRODUCCION

El despertar universal de la conciencia sobre el medio ambiente surgió al comienzo de la década de los años setenta. Fue entonces cuando se empezó a percibir con nitidez en los países más avanzados que el bienestar económico, fruto del desarrollo, iba acompañado de unas secuelas no deseadas sobre la naturaleza y que empezaban a ser difícilmente aceptables para las poblaciones.

En épocas anteriores también surgieron problemas de medio ambiente, pero es en la actualidad cuando, con el espectacular aumento de la facultad humana de transformación del entorno natural, se ha originado un desequilibrio entre los deterioros ocasionados y la capacidad de recuperación del medio frente a los mismos.

Con respecto a la minería, que es la actividad industrial básica dedicada a la obtención de georrecursos para el abastecimiento a la población de materias primas, en ningún momento ha sido más importante para la humanidad que hoy día reconocer su dependencia de los minerales y metales, y confesar su influencia sobre su calidad de vida, su progreso y su destino. Es, pues, evidente, que no se puede prescindir de la explotación de los recursos minerales y que esta actividad probablemente se intensifique en el futuro.

Sin embargo, la conciencia que se tiene hoy de la limitación de los recursos naturales, así como la de los diversos elementos que constituyen los ecosistemas que nos rodean, obliga a ejercitar la capacidad inventiva y creativa para solucionar los problemas de demanda de materias primas minerales en todo el mundo, en claro equilibrio con la conservación de la naturaleza, permitiendo así salvaguardar el patrimonio que representa el medio y los recursos naturales para poder legarlo a las generaciones futuras.

La sociedad actual consciente de esta situación, ha comenzado a considerar la explotación de recursos minerales en el marco de la ordenación del territorio, con las salvedades lógicas que están ligadas a la ocurrencia y descubrimiento de los yacimientos, contemplando las operaciones extractivas como usos transitorios y no terminales, por lo que es necesario reacondicionar los terrenos afectados para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza.

El reacondicionamiento de esos terrenos puede ir desde la reduplicación exacta de las condiciones originales, que es cuando se debe hablar con rigor de restauración, hasta el intento de conseguir un aprovechamiento nuevo y sustancialmente diferente al que correspondía a la situación primitiva, que es lo que se entiende por rehabilitación o recuperación. Cualquiera que sea el camino seguido, es obvio que se trata de una obligación social cuya viabilidad es a todas luces factible y que, en no pocas ocasiones, supone un valor añadido al propio proyecto minero.

Independientemente del uso previsto para los terrenos afectados por las labores mineras, la revegetación suele jugar un papel de protagonista, ya que posibilita:

- La restauración de la producción biológica del suelo.
- La reducción y control de la erosión.

- La estabilización de los terrenos sin consolidar
- La protección de los recursos hidráulicos, y
- La integración paisajística.

A continuación, se describe el contenido de los Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.) y Proyectos de Restauración, así como las pautas a seguir en el diseño de huecos y escombreras para su más fácil restauración e integración en el entorno.

2. ELABORACION DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y PROYECTOS DE RESTAURACION

2.1. Objetivos de los Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental

El objetivo de los estudios de Evaluación del Impacto Ambiental en minería es identificar, predecir y prevenir las alteraciones ambientales producidas por las actividades extractivas, desde la investigación y explotación minera hasta el procesamiento de las sustancias a beneficiar. Estos estudios deben basarse sobre los proyectos de explotación, efectuados previamente o de forma simultánea con los de restauración. Esta forma de proceder es la más lógica y racional, ya que permite mantener una coherencia entre todas las labores previstas, incorporando determinadas modificaciones o criterios en las mismas, de cara a conseguir una recuperación de los terrenos más rápida en el tiempo y a menor coste, y de esta forma garantizar la viabilidad de la explotación.

El proceso ideal debe tener un carácter interactivo, con el fin de alcanzar la solución óptima o la alternativa más favorable para compaginar los diferentes objetivos: mineros, ecológicos, económicos, etc.

En la Fig. 1 se pueden observar las relaciones entre los distintos estudios y etapas de ejecución.

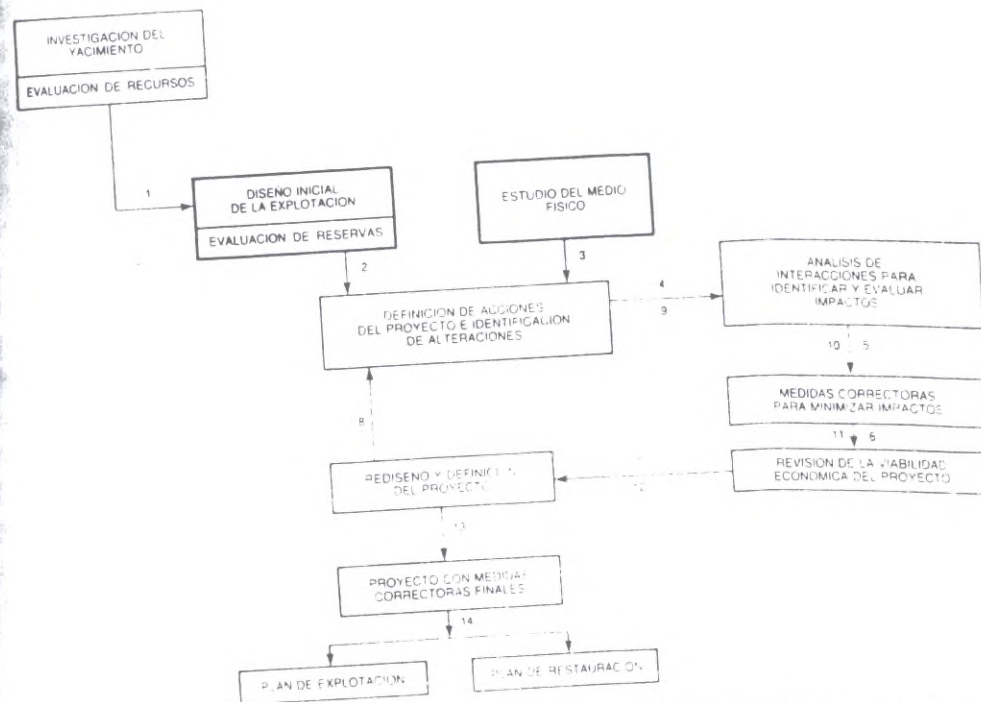


Figura 1. Etapas de ejecución de un proyecto minero y su interacción con el medio ambiente.

2.2. Contenidos de los proyectos de restauración

En lo referente al contenido de estos trabajos, un índice básico es el que se propone a continuación, en el que se combina la Evaluación del Impacto Ambiental con el Proyecto de Restauración.

CONTENIDO DE UN ESTUDIO DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL Y PROYECTO DE RESTAURACION.

I. INTRODUCCION

1. Presentación
2. Antecedentes
3. Alternativas de ubicación. Justificación de la solución propuesta.
4. Legislación aplicable

II. DESCRIPCION DE MEDIO AMBIENTE

1. Marco Geológico
2. Hidrogeología
3. Hidrografía
4. Fisiografía
5. Climatología
6. Edafología
7. Flora y vegetación
8. Fauna
9. Paisaje
10. Usos y aprovechamientos
11. Medio socioeconómico y cultural

III. DESCRIPCION DEL PROYECTO MINERO

1. Investigación realizada y síntesis del yacimiento.
2. Descripción del método de explotación
3. Diseño de los huecos finales y reservas explotables
5. Escombreras y presas de residuos
6. Infraestructura e instalaciones mineras

IV. EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR LA EXPLOTACION MINERA

1. Identificación y caracterización de impactos
 - . Impactos sobre el suelo
 - . Impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas
 - . Impacto sobre la atmósfera
 - . Impactos sobre la vegetación
 - . Impactos sobre la fauna
 - . Impactos en los procesos ecológicos (cadenas y redes tróficas)
 - . Impactos sobre los procesos geofísicos (erosión, sedimentación, inestabilidad, etc.)
 - . Impactos sobre el paisaje
 - . Impactos en el ámbito sociocultural (valores culturales naturales, caracteres socio-económicos)

2. Evaluación de los efectos previsibles

V. MEDIDAS CORRECTORAS

VI. ESTUDIO DE RESTAURACION DEL MEDIO ALTERADO

1. Medidas para la recuperación mediante el uso de la vegetación
 - . Remodelado de taludes
 - . Retirada, acopio y mantenimiento del horizonte fértil
 - . Mejoras edáficas
 - . Modelado del paisaje vegetal a desarrollar
 - . Selección de especies vegetales y densidad
 - . Método y época de ejecución de las plantaciones y siembra
2. Otras medidas complementarias, demoliciones, obras de drenaje, etc.

VII. ESTIMACIONES ECONOMICAS Y CALENDARIO DE EJECUCION

1. Operaciones principales
2. Mediciones de materiales utilizados. Mano de obra
3. Obras estructurales
4. Precios unitarios
5. Presupuesto de ejecución
6. Calendario de ejecución

VIII. SEGUIMIENTO Y CONTROL

IX. PLANOS Y ANEXOS

3. RECOMENDACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA RESTAURACION DE HUECOS Y ESCOMBRERAS

La identificación y caracterización de impactos llevados en numerosas minas a cielo abierto pone de manifiesto que las alteraciones más importantes son las debidas a las modificaciones fisiográficas y a la pérdida de calidad del paisaje. Actualmente, el paisaje se considera como un recurso natural más y como parte del patrimonio cultural del hombre, debido a su relativa escasez y a que es un bien cada vez más demandado, por lo que una buena parte de las recomendaciones que se dan a continuación intentan conservarlo y gestionarlo racionalmente.

Las restantes acciones de la actividad minera producen alteraciones ambientales susceptibles, en la mayoría de los casos, de aplicar medidas preventivas y correctoras que eviten, anulen o minimicen dichos impactos.

3.1. Criterios para la integración paisajística en las explotaciones y escombreras

La configuración final del terreno tras la explotación de un depósito de mineral está condicionado por un conjunto de factores que pueden agruparse bajo cinco epígrafes genéricos: geológicos, topográficos, geotécnicos, paisajísticos y económicos.

La consideración de estos factores plantea, en ocasiones, soluciones contradictorias o de conflicto, pero la remodelación final ha de llegar a una solución de compromiso con miras al logro de los siguientes objetivos:

- Una operación minera rentable y una restauración económicamente viable.
- Un aprovechamiento elevado del mineral que alberga el depósito.

- Una topografía final estructuralmente estable que minimice los riesgos de deslizamiento o colapso de los taludes y facilite el drenaje natural del agua superficial.
- Una geometría final que no suponga un riesgo potencial de daños a personas y animales.
- Una integración del conjunto acorde con las características del paisaje natural circundante.

La remodelación de los terrenos condiciona otros aspectos de la recuperación de las áreas degradadas, como por ejemplo la evolución de los suelos y el establecimiento de la cubierta vegetal, por lo que habrá de adaptarse a los requerimientos que exigen los usos del suelo previstos para la zona.

Todos esos factores obligan a contemplar la fase de modelado dentro de la planificación global del proyecto de restauración, incluso en sus etapas iniciales, y su viabilidad, tanto técnica como económica, exige que se realice simultáneamente con la explotación.

Los huecos de explotación y escombreras deben contar con un proyecto, debidamente aprobado por la Administración, que considere su estabilidad temporal y definitiva, independientemente de la ayuda que a ésta aporta la revegetación que se haga.

El factor tiempo es importante en la degradación de taludes desnudos, por lo que en el caso de los huecos se debe tener en cuenta si van a ser rellenos, y en cuánto tiempo, o van a permanecer vacíos.

Desde el punto de vista estético los principios generales que han de tenerse en cuenta para remodelar el terreno alterado con vistas a su integración paisajística en el entorno circundante son los siguientes:

- Simular en lo posible la topografía final a la existente en la zona antes de la actuación, y utilizar cuando sea factible los estériles para rellenar huecos y adaptarse a las sinuosidades del relieve.
- Intentar reproducir las formas características del paisaje natural del área donde se ubica la explotación, y evitar la introducción de elementos que denoten artificialidad (líneas rectas, ángulos muy marcados, regularidad de formas geométricas, simetrías, etc).
- Evitar la colocación de elementos de tamaño desproporcionado respecto a los que definen el paisaje de la zona, respetando la escala.
- Estudiar las características visuales del territorio con el fin de:
 - . Ocultar o alejar los elementos impactantes, especialmente de los puntos principales de observación. La magnitud del impacto visual decrece al aumentar la distancia de observación y con la existencia de obstáculos visuales que disminuyan las "partes vistas" del objeto impactante.
 - . Utilizar el cerramiento visual natural como elemento que sirva de soporte o apoyo "visual" de los elementos impactantes, de modo que estos no supongan una discontinuidad en el terreno natural y que no sobrepasen la línea del horizonte.
 - . No disminuir el tamaño de la cuenca visual preexistente, introduciendo elementos que por su tamaño o emplazamiento limiten perspectivas.

Tomando como base estos criterios generales se dan a continuación algunas recomendaciones para la restauración de frentes de explotación y escombreras.

3.1.1. Huecos de explotación y taludes finales

La intrusión visual de las áreas de excavación depende de diversos factores, entre los que se encuentran: la naturaleza de la explotación, las características paisajísticas del entorno, el tamaño de hueco, etc.

No tiene por qué existir, en principio, una relación directa entre las dimensiones de las áreas de extracción y el impacto visual, pues a veces es mayor la agresión de las pequeñas explotaciones mal diseñadas que la producida por otras de grandes dimensiones con proyectos bien elaborados.

El contraste de colores entre las superficies activas de los frentes y el entorno es uno de los aspectos que más destaca, por ejemplo en las canteras donde las rocas desnudas presentan colores más claros que los del terreno natural.

Otro impacto visual importante se suele producir cuando el hueco de las excavaciones rompe la línea de cumbres, modificándose la fisiografía original y destacando las formas artificiales. También la introducción de formas geométricas muy lineales y planas, como son las constituidas por los bancos de explotación, bermas, pistas, etc., llaman la atención de los observadores.

Los depósitos de minerales se sabe que se distribuyen especialmente sobre la corteza terrestre de forma aleatoria y caprichosa, por lo que deben explotarse allí donde se encuentren. Si bien esto es cierto para la totalidad de los recursos, no lo es tanto en aquellos de los que se dispone de un mayor potencial, como son los productos de cantera y algunos minerales industriales. En estos casos, en que los factores geológicos no son tan determinantes,

las posibilidades de actuación en cuanto a la localización son mayores, existiendo una única limitación de índole económica, ya que el valor de esos productos no es alto y, por consiguiente, no soportan grandes distancias de transporte hasta los centros de consumo.

Los criterios a tener en cuenta en la ubicación de la explotación se basarán en el alejamiento de los núcleos urbanos y zonas transitables, la centralización de las canteras y el aprovechamiento de los accidentes topográficos y de la vegetación natural.

Una vez investigado y evaluado el depósito a explotar, la primera pauta a seguir con relación al diseño, es la de aprovechamiento de la topografía del entorno. Debe evitarse la apertura de canteras en laderas de cerros o lomas próximas a carreteras, autopistas u otros corredores visuales, así como zonas habitadas desde las cuales sean visibles, Fig. 2.

El propio diseño del hueco final dentro de una misma zona puede plantearse con diversas configuraciones. Lo ideal es proceder a la apertura de la cantera en la zona más alta con una geometría troncocónica, dejando sin extraer una parte del yacimiento para que sirva de pantalla visual frente a los observadores próximos e incluso de pantalla sónica contra los ruidos producidos por las voladuras y la maquinaria, Fig. 3.

El complemento ideal a esa variante lo constituye el sistema de transporte por cinta y trituración dentro del hueco de la explotación, pues con ello se consigue eliminar gran parte de las pistas de acarreo exteriores que se precisarían con medios convencionales, disminuir la contaminación atmosférica por polvo y ruidos producidos por la maquinaria y reducir los costes operativos. El principal inconveniente del sistema estriba en la fuerte inversión inicial que se requiere en la preparación de la infraestructura minera y el elevado ritmo anual de producción para aprovechar las economías de escala y superar el punto de equi-

librio para alcanzar una cierta rentabilidad equiparable o superior a la obtenida con medios convencionales.

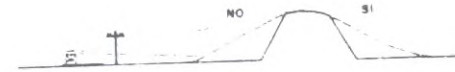


Figura 2. Localización de una cantera con respecto a un corredor visual.

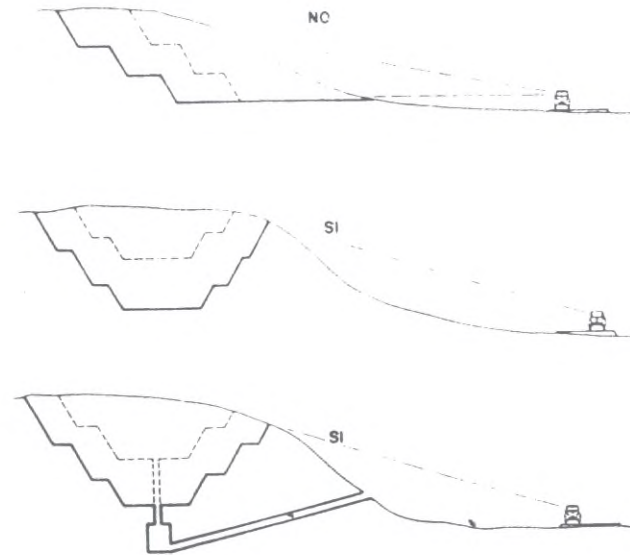


Figura 3. Diseño del hueco de explotación para ocultar los taludes finales.

La vegetación natural existente es otro elemento aprovechable en la ocultación, de manera que ésta quede interpuesta entre el observador y el área ocupada por la explotación, Fig. 4.

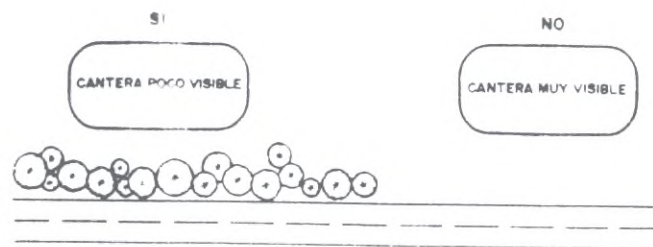


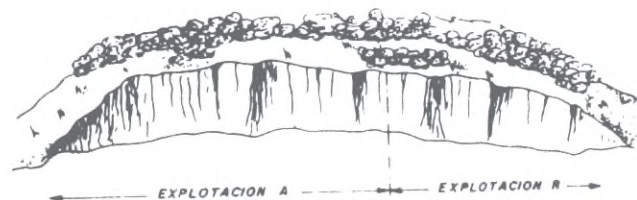
Figura 4. Aprovechamiento de la vegetación para ocultar el área en actividad.

Por otro lado, para conseguir una mejor integración de las explotaciones, siempre que exista más de una en la misma zona, deberán seguirse los siguientes criterios:

- Reagruparlas en una sola explotación homogénea con unas proporciones armoniosas, Fig. 5.
- Excavar los huecos con una longitud muy superior a su altura.
- Conformar los frentes determinando perfiles convexos mejor que cóncavos.



a) EXPLOTACIONES CONTIGUAS CON FRENTES INDEPENDIENTES



b) EXPLOTACIONES CONTIGUAS CON FRETE COMUN

Figura 5. Agrupación de explotaciones próximas para conseguir una morfología más armoniosa y fácil de integrar paisajísticamente.

3.1.2. Orientación de los frentes y dirección de avance

Otros factores que pueden ayudar a mitigar el impacto visual producido por las canteras son: la orientación de los frentes y la dirección de avance previstas.

Los frentes pueden orientarse de manera que la parte activa no sea tan visible desde los puntos principales de observación. Por ejemplo, cuando los taludes se excavan paulatinamente con un rumbo paralelo a la dirección de un corredor visual situado al mismo nivel o, también, disponiendo el frente de trabajo perpendicularmente al eje de visión Fig. 6, de manera que el terreno natural aún sin explotar oculte el área de extracción.

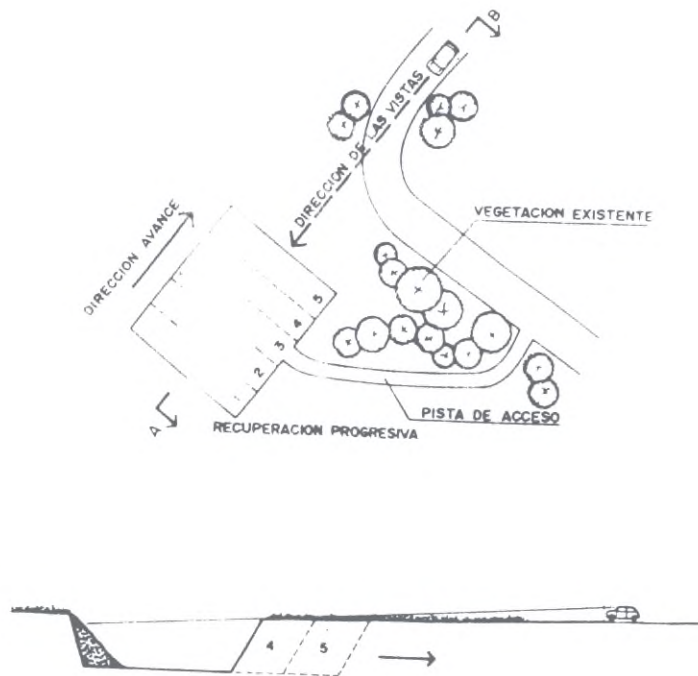


Figura 6. Orientación del frente de trabajo perpendicular al eje de visión de un observador situado en una

La revegetación o tratamiento progresivo de los taludes laterales que vayan alcanzando su posición final de proyecto, si se realiza simultáneamente, complementará el efecto de la orientación y permitirá usar los materiales de cobertera, previamente retirados y/o apilados, o los posibles estériles producidos sin necesidad de depositar estos en escombreras exteriores.

Por otro lado, la dirección de avance y el punto de apertura de las explotaciones también pueden facilitar la ocultación y restauración de los huecos excavados. En la Fig. 7 se representa una cantera a media ladera, en el primer caso todo el frente activo es visible, siendo cada vez de mayor altura y no siendo factible su revegetación; mientras que en el segundo, en el que

la apertura se ha efectuado desde el banco de mayor cota, se consigue una mejor ocultación del hueco y la posibilidad de tratar parcialmente los taludes, desde casi el comienzo de la explotación, al alcanzarse de una forma casi inmediata su situación final.

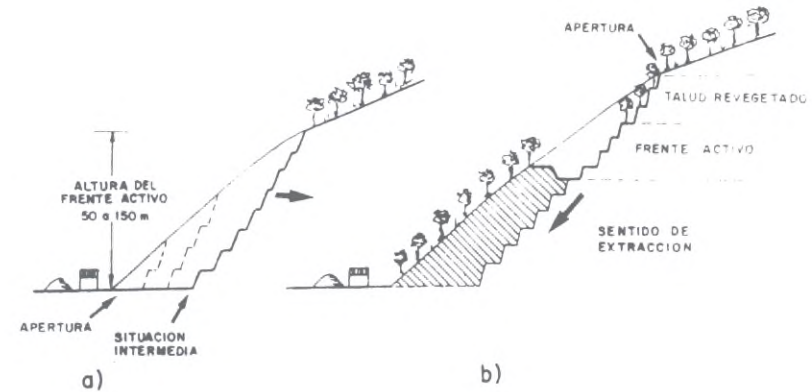


Figura 7. Apertura y dirección de avance recomendadas para restaurar desde el comienzo los frentes de los taludes finales.

3.1.3. Apantallamiento artificial de las explotaciones

Si a pesar de aplicar los criterios expuestos anteriormente el área afectada por la explotación sigue siendo muy visible puede recurrirse a la utilización de pantallas visuales como elementos adicionales de ocultación.

Las dimensiones de las pantallas visuales han de ser tales, en cuanto a altura y longitud, que impidan o minimicen la percepción de la zona a ocultar.

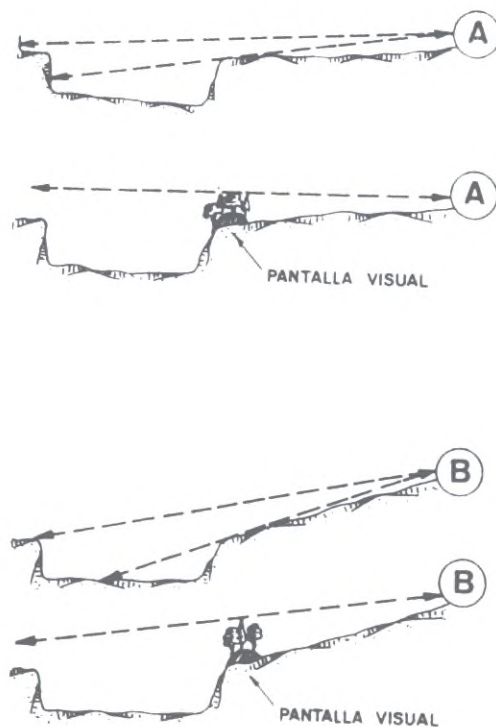


Figura 8. Comparación de la efectividad de pantallas visuales para diferentes posiciones del observador.

Dependiendo de la localización de las pantallas, su geometría y poder de ocultación pueden variar considerablemente. En el proyecto de restauración se deben tener en cuenta diferentes aspectos como son: propiedad de los terrenos, materiales a emplear, integración en el paisaje, coste de realización, etc.

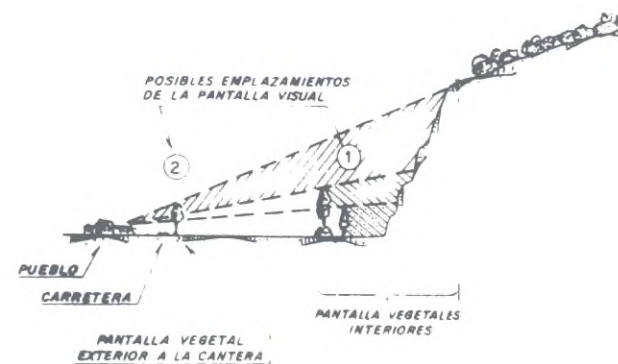


Figura 9. Potencial de ocultación de diferentes pantallas visuales colocadas en lugares distintos entre el frente de explotación y los observadores.

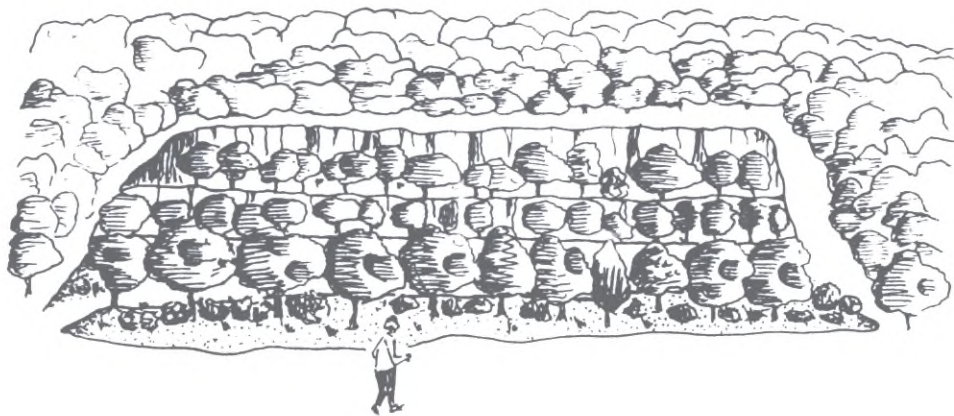
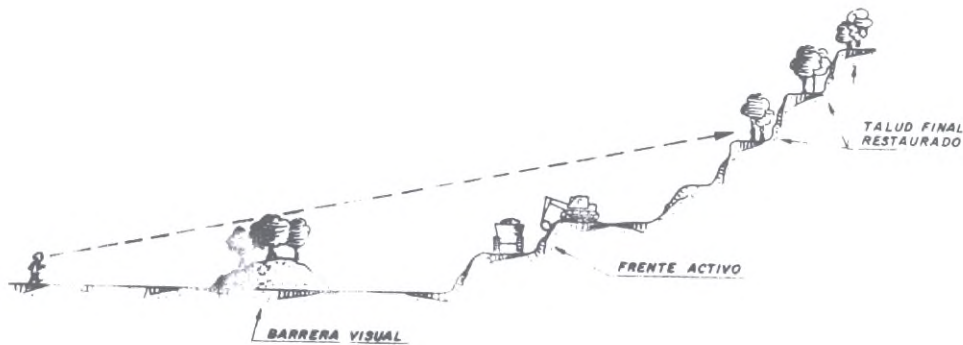


Figura 10. Ejemplo de ocultación de bancos inferiores en operación en una cantera mediante una barrera visual y restauración de los niveles más altos que ya han alcanzado su situación final.

En cuanto a los terraplenes, se podrán construir con los estériles procedentes de la propia explotación, modificando así el relieve natural y complementando, a ser posible, la efectividad de las pantallas vegetales. Frecuentemente, se emplea la propia tierra vegetal que se retira durante la fase de apertura y que tras la finalización de los trabajos se utiliza en las labores de revegetación.

3.1.4. Accesos a las explotaciones

Los puntos de entrada a las explotaciones desde la red viaria, si están mal elegidos y los trazados no son los adecuados, pueden agravar el impacto visual de las excavaciones e incluso constituir puntos peligrosos con alto riesgo de accidentes de tráfico. El diseño de los accesos debe efectuarse, pues, estratégicamente para que los huecos de excavación queden fuera de las cuencas visuales de los correspondientes puntos de percepción. Esto se conseguirá con trazados en planta en forma de "j" o "bayoneta". Fig. 11.

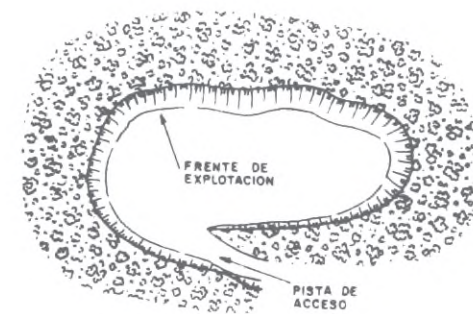


Figura 11. Trazado del acceso a la explotación.

En cuanto a los puntos de entrada o cruces con la red viaria principal, se debe intentar que estos se encuentren fuera de los tramos en curva donde la visibilidad de los conductores es limitada.

3.1.5. Modelado de los huecos finales de excavación

Una vez alcanzada la posición final de los taludes generales del hueco proyectado, tanto si se trata de un frente escalonado o con banco único, se procede a aplicar algunas de las técnicas de tratamiento de éstos. Dichas técnicas dependerán de las condiciones de estabilidad, tipo y dimensiones del frente, disponibilidad de materiales de relleno, naturaleza del mismo, y posibilidad de simultanear algunas de las actuaciones técnicas.

Es importante recordar que si el proceso de arranque se basa en la perforación y voladura, las últimas pegadas que se disparan deben modificarse en su diseño, con el fin de no provocar daños que afecten a las propiedades estructurales del macizo rocoso residual, de lo contrario la degradación progresiva que éste pueda sufrir a lo largo del tiempo por los agentes atmosféricos puede desembocar en colapsos de los taludes.

Una práctica habitual es la realización de voladuras de contorno, precorte o recorte, que consisten en la disposición de las cargas de explosivo en el plano de corte proyectado con una buena distribución espacial y el desacoplamiento de las mismas para garantizar que no se produce la trituración de la roca circundante a los barrenos.

Los frentes de los taludes excavados con este tipo de voladuras suelen tener pendientes elevadas, pues, entre otras cosas, se persigue generalmente que el talud general tenga la máxima inclinación posible para mover poco estéril o recuperar un mayor volumen de reservas. Esas inclinaciones son excesivas para la

instauración de la vegetación. Por este motivo, desde el punto de vista de la restauración, la presencia de superficies lisas, compactas y muy escarpadas, como las que se consiguen con las voladuras de contorno, suponen un inconveniente para la revegetación.

Con el fin de aportar a los taludes finales un aspecto más natural y poder alcanzar superficies más tendidas y con un mayor porcentaje de finos capaces de aportar elementos nutrientes y un sustrato con una mayor potencialidad de suelo puede recurrirse a las siguientes técnicas de voladura:

A. FRENTES DE BANCO UNICO

En taludes de un solo banco en roca, de grandes dimensiones, se pueden realizar los siguientes tipos de voladuras.

1. Voladuras de remodelado parcial a lo largo del frente

Consisten en la perforación de barrenos bastante espaciados entre sí, que una vez disparados provocan el arranque de la roca por delante de los mismos, depositándola al pie del talud conformando montones de menor pendiente. Como las grietas generadas por cada dos barrenos no llegan a interconectarse el contorno o perfil del talud en planta se verá irregular, tal como se representa en la Fig. 12.

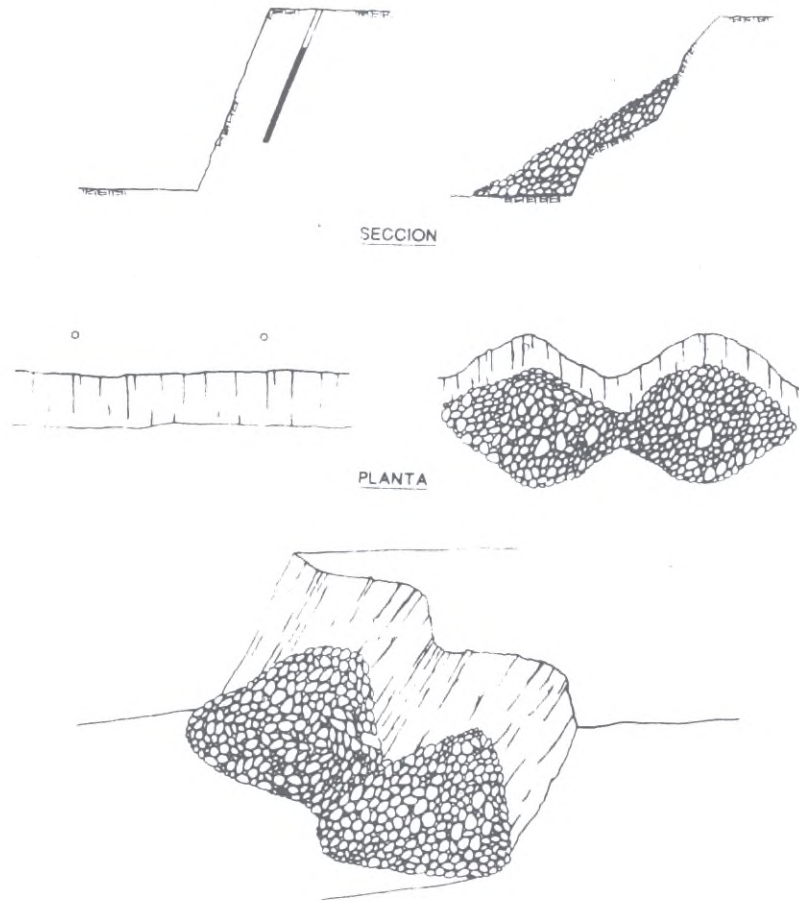


Figura 12. Voladura de remodelado parcial

2. Voladura de remodelado total en el frente

Si además de tender el ángulo de talud se busca crear pequeñas bermas o repisas donde se acumule el material fragmentado para favorecer la revegetación, las voladuras se perforan con varias filas de barrenos, teniendo cada una de ellas diferentes profundidades. Fig. 13.

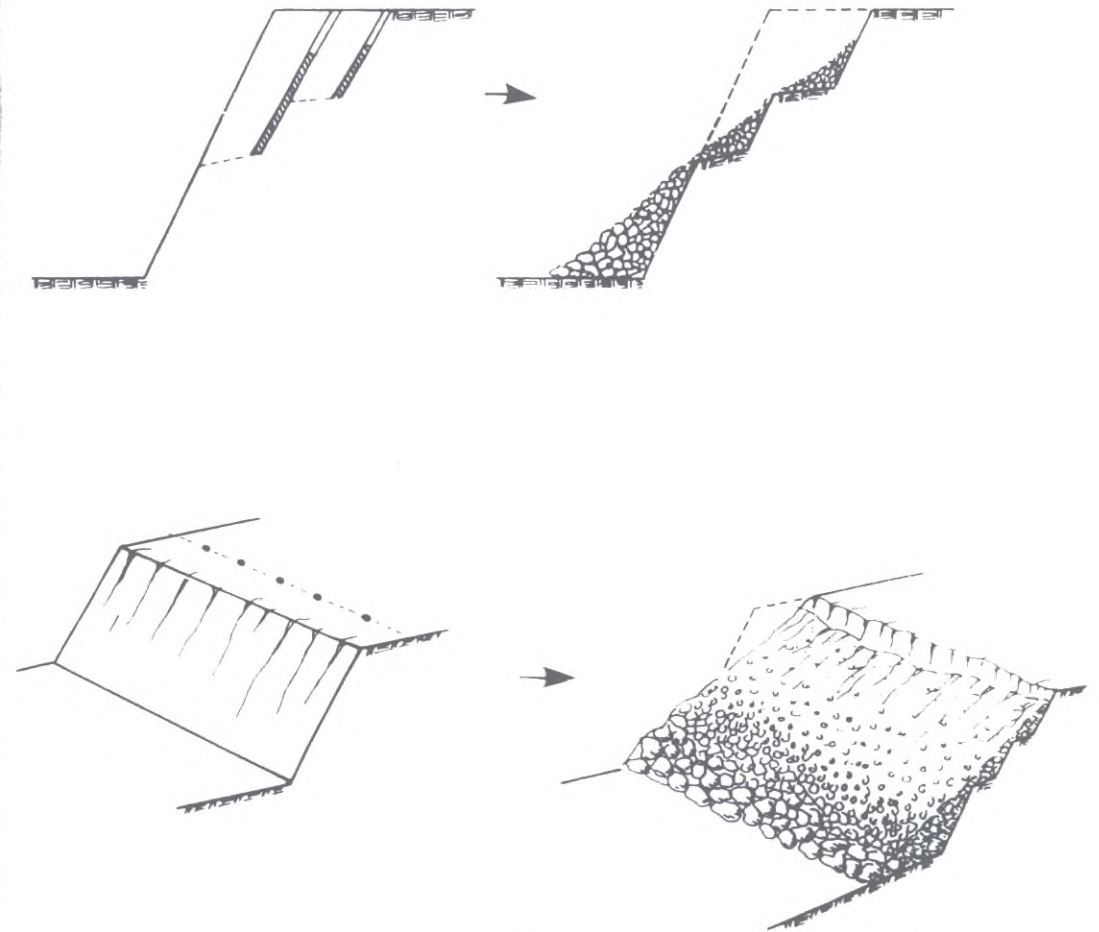


Figura 13. Voladura diseñada para el remodelado total de un frente.

B. FRENTES CON VARIOS BANCOS

En los taludes finales en los que se hayan dejado varios bancos, con sus bermas respectivas, se podrá aplicar la técnica de voladura de descabezamiento para el relleno parcial de las bermas.

Con estas voladuras no se modifica la pendiente general del talud, pero si la de la cara de los bancos, pues al fragmentar la roca de la parte alta de éstos y dejarla depositada en las bermas horizontales, los ángulos que se alcanzarán estarán comprendidos entre los de reposo del material proyectado (35° a 40°) y los de la roca excavada por acción del explosivo, que dependerán de la inclinación de los barrenos.

El diseño de las voladuras debe ser tal que garantice la integridad del macizo rocoso residual, para ello podría recurrirse a la combinación de las técnicas de precorte y de las voladuras amortiguadas, con una o dos filas.

Cuando se dispone de materiales estériles, de la propia explotación, de otras próximas o incluso de origen urbano (escombros de construcción, basuras, etc., que tengan un carácter inerte) es posible efectuar un relleno parcial de los frentes para conseguir un perfil del terreno suave y extender sobre ellos la capa de tierra vegetal. Rellenar es la solución que permite acercarse más al estado original del terreno y, por consiguiente, disminuir el impacto paisajístico.

En la Tabla I se indican los tratamientos posibles sobre los taludes de huecos excavados, según que sean frentes únicos o banquedaos, y la altura de los mismos.

TABLA I. OPCIONES DE TRATAMIENTO DE TALUDES Y HUECOS

OPCION	TALUDES ALTOS		TALUDES BAJOS
	Unico	Banqueado	
. Relleno total	-	(x)	x
. Relleno parcial para reducir pendiente	-	x	x
. Relleno puntual selectivo	-	x	x
. Voladura de las cabezas de los bancos	x	x	x
. Creación de pendiente continua con los escombros de la voladura	-	x	x
. Introducción de vegetación	x	x	x

(x) Tratamiento posible.

3.1.6. Escombreras

Las escombreras y presas de residuos producidos por la minería a cielo abierto constituyen uno de los elementos de mayor intrusión en el entorno, ya que provocan cambios en la fisiografía del lugar y muros visuales con la consiguiente pérdida de perspectiva.

La primera fase de estudio de un depósito de estériles la constituye la definición de una geometría estable. Para ello, deberán calcularse con un determinado factor de seguridad, según que la escombrera sea interior o exterior al hueco de explotación o revista riesgo para personas o propiedades. Generalmente, los cálculos se efectúan con un factor de seguridad igual o mayor de 1,50 y no menor de 1,25 cuando no exista este riesgo.

Aun cuando deban ser tratadas con detalle en el estudio de inestabilidad que se haga, y que se sale del ámbito de este trabajo, se considera interesante incluir aquí unos principios generales de implantación y construcción de escombreras.

En todos los casos debe retirarse previamente la vegetación (deforestación y/o desbroce) y el suelo vegetal o cobertera de la superficie sobre la que se asiente la escombrera. Estos materiales se emplearán para recubrirla posteriormente.

Por el efecto desestabilizado que posee el agua, que es además el principal medio de transporte de la contaminación, es necesario diseñar un sistema de drenaje eficaz, a partir de datos pluviométricos, de las características de la cuenca receptora, y de las propiedades de los materiales.

Por una parte, el sistema de drenaje deberá impedir la entrada del agua superficial mediante canales de cintura dispuestos ladera arriba. En la evacuación, ladera abajo, deberán limitarse las pendientes o intercalar disipadores de energía que eviten una erosión remontante.

Desalojar el agua de la lluvia caída sobre el vertedero, impidiendo acumulaciones e infiltraciones, lo cual se logra dando pendientes adecuadas a plataformas y bermas. Así se reducen los problemas desestabilizadores por un lado y contaminantes por otro, al oxidar o diluir elementos nocivos. Para disipar rápidamente la carga hidrostática que pudiera presentarse, si existieran infiltraciones, deberán estar previstos drenajes internos, contruidos con escollera procedente de los materiales volados en las explotaciones.

Todo el sistema de drenaje deberá dirigirse a una balsa inferior de decantación, dimensionada adecuadamente.

En la Fig. 14 se muestran algunos ejemplos de drenaje superficial e interno de escombreras de vaguada.

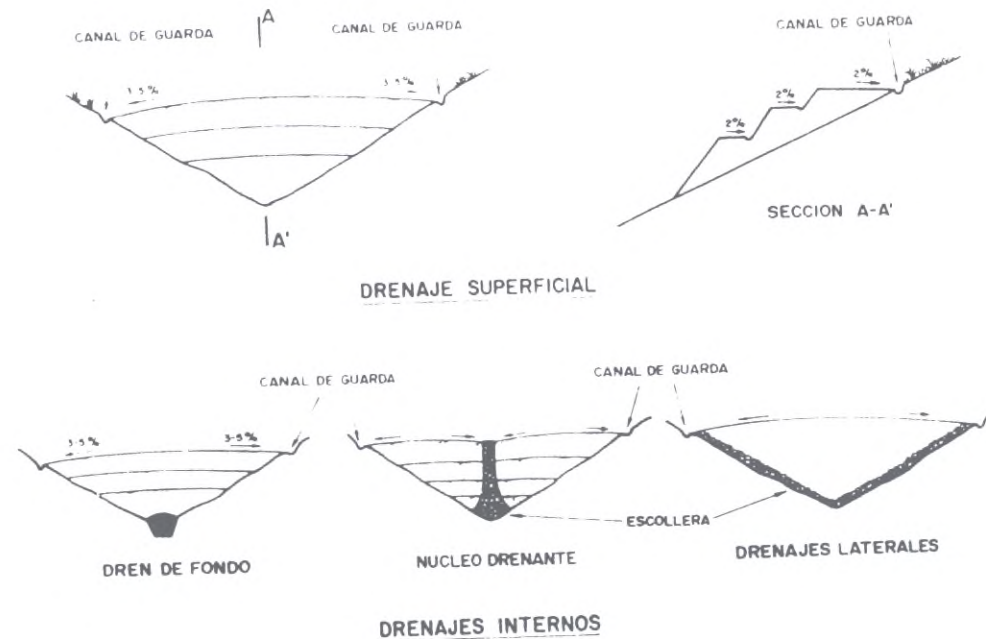


Figura 14. Tipos de drenaje de escombreras.

Para conseguir la integración paisajística y minimizar en lo posible las alteraciones visuales y ecológicas que producen, es necesario contemplar una serie de características que ayudarán a conseguir dicha integración.

Estas características se pueden resumir en:

- La localización geográfica, haciendo referencia en este punto a las características visuales y calidad del paisaje del

entorno donde se sitúan las escombreras, así como a la disposición espacial de ésta.

- La situación topográfica: estudiando sobre qué unidad fisiográfica se asienta la escombrera (sobre un fondo de valle, sobre ladera, en un páramo, etc).
- Los caracteres geométricos; referentes al tamaño y forma de la escombrera.
- El material que configura la escombrera: aspecto muy importante tanto por su influencia en las características visuales (color de los materiales), como en los procesos de erosión (tamaño y composición de los materiales) y establecimiento de la vegetación (calidad de los materiales).
- Estado actual de la escombrera, en cuanto al grado de cubierta vegetal, y a la erosión que se hubiera producido.

Muchas de estas características vienen impuestas de antemano, debido a la localización, tipo de yacimiento, etc, por lo que a la hora de acondicionar paisajísticamente una escombrera son los caracteres geométricos de ésta, así como su situación topográfica, las variables sobre las que se puede incidir principalmente para realizar un diseño integrador.

A igualdad del resto de factores, la integración paisajística será tanto más sencilla cuanto menor sea el volumen de los estériles. Si el volumen es pequeño la integración no plantea problemas, simplemente será necesario realizar una pequeña remodelación y su tratamiento posterior (aporte de tierra vegetal y revegetación); éste puede ser el caso de las escombreras de las canteras de granito, arcilla y arena.

Si el volumen de materiales estériles es considerable, toda recuperación y modelado a posteriori es bastante más compleja

desde el punto de vista técnico y costosa económicamente. Por ello, se estudiará como criterio preliminar de diseño la viabilidad de practicar una minería de transferencia o de rellenar huecos de antiguas explotaciones cercanas.

Es preciso tener en cuenta criterios de escala, es decir la relación existente entre el tamaño del depósito y el entorno donde se sitúa. Por ello, a la hora de dimensionar una escombrera, los distintos entornos (abiertos, cerrados, localizados, etc), y la orientación que se le dé en el espacio, permitirán mayores o menores volúmenes.

Siempre que se quiera reducir la altura de una escombrera hay un aumento de la superficie afectada, se puede proceder a la remodelación de una escombrera repartiendo su volumen sobre una superficie mayor, debiendo ser retirada la tierra vegetal de la nueva superficie a ocupar de forma que pueda extenderse de nuevo sobre la escombrera remodelada.

Por otro lado, en la ubicación de las escombreras, se tendrán en cuenta los criterios básicos apuntados: ocultación, aprovechando obstáculos naturales del terreno, y alejamiento de los focos principales de observación (carreteras, pueblos ...); no tapando vistas panorámicas, etc. En los terrenos ondulados y montañosos la intrusión visual disminuye si las escombreras se apoyan en las laderas, Fig. 15, lo cual puede ser considerado un buen emplazamiento siempre y cuando no lleguen a cegarse los valles o taponar las líneas principales de drenaje superficial natural.

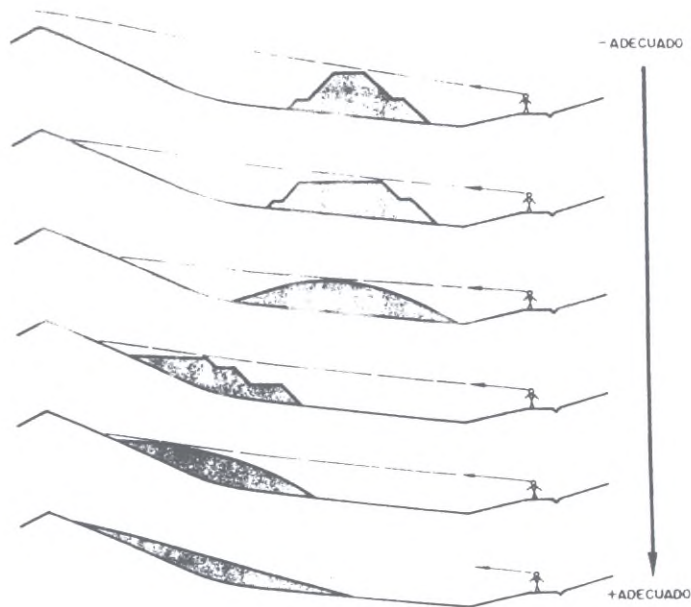


Figura 15. Emplazamiento y diseño geométrico de un vertedero teniendo en cuenta la fisiografía del entorno.

Otra técnica para la ocultación o enmascaramiento de escombreras es la creación de pantallas. Las escombreras de menor tamaño o una pequeña proporción de estériles, pueden en ocasiones ser utilizados, si se emplazan y diseñan adecuadamente, como pantallas que dificulten la observación de elementos visualmente desfavorables (grandes escombreras, hueco, infraestructura, etc.). Fig. 16.

Estos pequeños volúmenes de estériles a veces bastarán para conseguir el efecto deseado. La creación de pequeños cordones o caballones, es técnica y económicamente más fácil de integrar en el paisaje. Además, presentan la ventaja adicional de que pueden ser empleados ya durante la fase de explotación como barrera no sólo visual, sino también sónica. Sin embargo, habrán de ser

tratados con especial cuidado, ya que de lo contrario pueden producir un impacto visual igual o incluso mayor que el ocasionado por los elementos que tratan de ocultar.

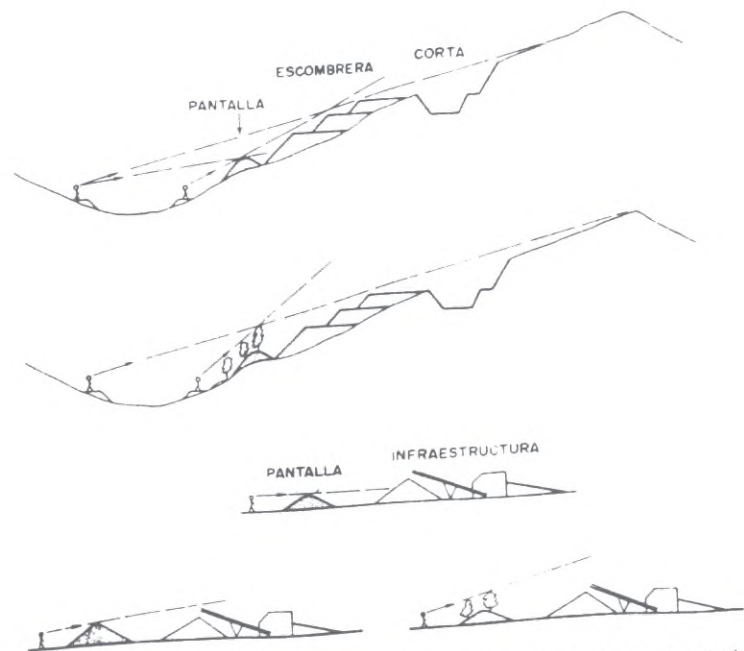


Figura 16. Ejemplos de pantallas visuales creadas con estériles. Su tamaño y la implantación de vegetación mejoran la efectividad de ocultación.

Otras recomendaciones ya mencionadas en los criterios generales son:

- Evitar que la altura de la escombrera sobrepase la cota altitudinal del entorno para que así no destaque en la línea del horizonte, teniendo siempre un cerramiento visual más apto para absorberla e integrarla.

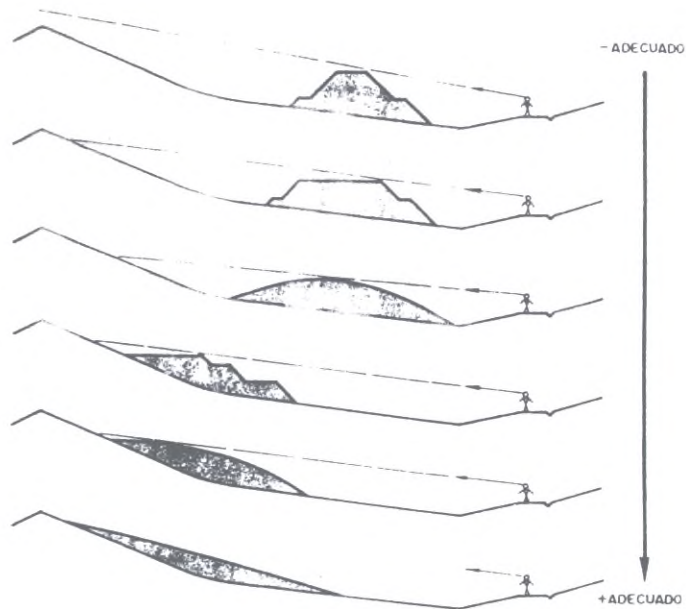


Figura 15. Emplazamiento y diseño geométrico de un vertedero teniendo en cuenta la fisiografía del entorno.

Otra técnica para la ocultación o enmascaramiento de escombreras es la creación de pantallas. Las escombreras de menor tamaño o una pequeña proporción de estériles, pueden en ocasiones ser utilizados, si se emplazan y diseñan adecuadamente, como pantallas que dificulten la observación de elementos visualmente desfavorables (grandes escombreras, hueco, infraestructura, etc.). Fig. 16.

Estos pequeños volúmenes de estériles a veces bastarán para conseguir el efecto deseado. La creación de pequeños cordones o caballones, es técnica y económicamente más fácil de integrar en el paisaje. Además, presentan la ventaja adicional de que pueden ser empleados ya durante la fase de explotación como barrera no sólo visual, sino también sónica. Sin embargo, habrán de ser

tratados con especial cuidado, ya que de lo contrario pueden producir un impacto visual igual o incluso mayor que el ocasionado por los elementos que tratan de ocultar.

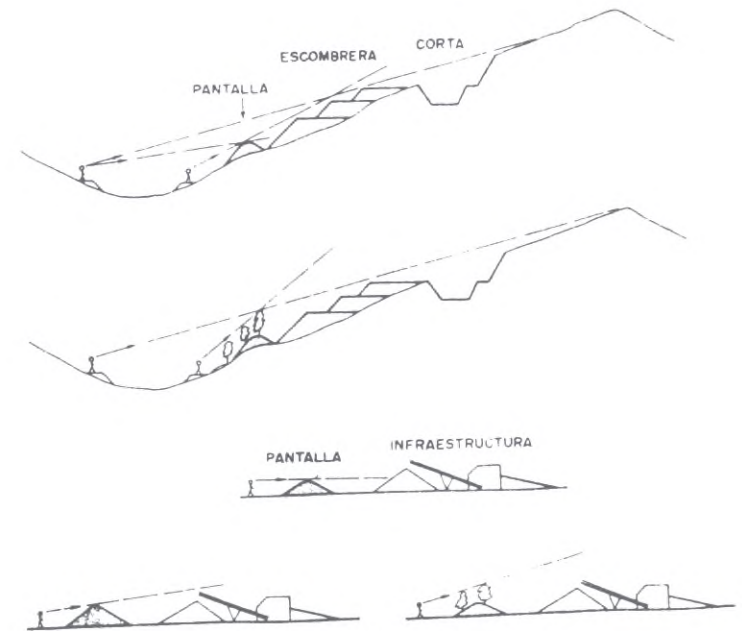


Figura 16. Ejemplos de pantallas visuales creadas con estériles. Su tamaño y la implantación de vegetación mejoran la efectividad de ocultación.

Otras recomendaciones ya mencionadas en los criterios generales son:

- Evitar que la altura de la escombrera sobrepasase la cota altitudinal del entorno para que así no destaque en la línea del horizonte, teniendo siempre un cerramiento visual más apto para absorberla e integrarla.

Considerar la distancia de la escombrera a los focos principales de observación, pues distancia y tamaño de la escombrera están directamente relacionados. Así, una escombrera de pequeñas dimensiones pero cercana al punto de observación es más impactante que una escombrera de mayor distancia visual, ya que ésta se ve más difusa, y además, es más frecuente encontrar obstáculos naturales que disminuyen su visibilidad.

En cuanto a la forma, como ya se ha dicho, lo fundamental para la integración paisajística de la escombrera será intentar reproducir las existentes en el entorno natural circundante, ciñéndose lo más posible al relieve original. En general, y de acuerdo con lo expuesto, habrá que huir de las formas troncocónicas, evitar dejar aristas y superficies planas (las repisas o bermas facilitan además el establecimiento de vegetación), y redondear taludes en planta y en alzado para darles una apariencia más natural (los perfiles convexos presentan menos riesgos de erosión que los cóncavos, en caso de no poder modelar un perfil totalmente convexo se aconseja ir a perfiles mixtos).

Las terrazas o bermas de gran anchura producen un efecto visual negativo, por lo que desde el punto de vista estético se desaconseja su uso generalizado; para el establecimiento de vegetación basta con fajas más estrechas. Cuando sean imprescindibles para asegurar la estabilidad y control de la erosión de la escombrera se recomienda que:

- sean lo más estrechas posible;
- tengan bordes redondeados;
- no sean equidistantes ni totalmente paralelas;
- si la superficie de la escombrera es grande, procurar que cada berma no la atraviese transversalmente por completo; hacer que las bermas desaparezcan gradualmente (en este caso es necesario prever el drenaje del agua de escorrentía que se canaliza por la berma).

Como norma genérica y teniendo en cuenta los restantes objetivos de la restauración, se recomienda reducir el ángulo del talud de las escombreras cuando éste sea excesivo, y disminuir su longitud, ya que ambas características aumentan la erosión del terreno. El ideal establecido oscila en pendientes con valores del 16%-20% con bermas no superiores a 10 m de anchura y ligera pendiente hacia el interior, y separación vertical entre ellas inferior a 15 metros.

Las condiciones impuestas por el medio, el tipo de explotación, los materiales estériles, los usos del suelo previstos, etc., de cada caso concreto, pueden aconsejar variar esas cifras.

En lo referente al proceso constructivo, los métodos que permiten la restauración progresiva de las escombreras presentan múltiples ventajas; sólo la parte o berma activa permanece expuesta en un momento dado, mientras que en el resto del vertedero pueden llevarse a cabo simultáneamente labores para su recuperación. Esto permite reducir el impacto global (espacial y temporalmente), distribuye el coste de la restauración a lo largo de la vida de la explotación e incrementa el periodo de tiempo disponible para lograr el establecimiento de la vegetación haciendo, si fuese necesario, las correcciones oportunas. Fig. 17.

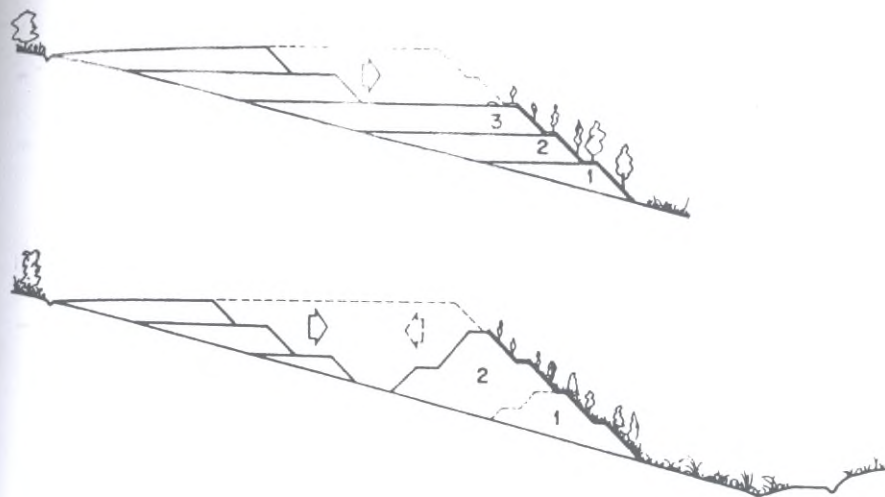


Figura 17. Variantes de recuperación progresiva de escombreras.

Desde el punto de vista paisajístico, el método óptimo de creación de escombreras será aquel que, permitiendo la recuperación progresiva, disponga en primer lugar el perímetro exterior de las mismas, para luego ir rellenándolas, de forma que las partes exteriores restauradas sirvan de pantalla (visual, sónica y eólica) a los vertidos posteriores.

Para conseguir la integración paisajística de las escombreras los criterios indicados deben complementarse, normalmente, con el recubrimiento de su superficie con material de cobertera o tierra vegetal, que contribuye a evitar el contraste cromático que frecuentemente produce el estéril y, posterior, la introducción de vegetación.

Además, el empleo de vegetación como pantalla visual puede ser muy práctico para amortiguar el efecto producido por defectos del modelado o para disminuir partes vistas.

Finalmente, hay que tener en cuenta, a la hora del modelado de escombreras lo ya reseñado en los criterios generales sobre la estabilidad y drenaje, pues tan importante y a veces más que la mimetización de las escombreras en el entorno, es adecuar el diseño para facilitar un drenaje natural del agua superficial.

Por esto, en el modelado no solo hay que fijar las pendientes, sino también las sinuosidades en planta de las laderas del entorno, de manera que las escombreras tiendan también a reproducirlas, conservando incluso la situación relativa de las vaguadas. Fig. 18.



Figura 18 . Adaptación de las proyecciones en planta de los vertederos a la fisiografía.

BIBLIOGRAFIA

- ANGULO, M.; et al: "Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología". CEOTMA. Serie Manuales 3. 1984.
- ESCRIBANO, M^a. DEL MILAGRO, et al: "El Paisaje". MOPU. 1987.
- GALIANA, F., y TORRECILLA, I.: "Restauración de Zonas Aluviales Alteradas por la Extracción de Aridos". I Curso sobre Restauración de Canteras y Minas a Cielo Abierto. Fundación Gómez-Pardo. 1988.
- GLARIA, G., y CEÑAL, M^a. A.: "Impactos Visuales y Restauración en Minería a Cielo Abierto". Jornadas sobre Minería a Cielo Abierto y Medio Ambiente. Oviedo 1985.
- GONZALEZ ALONSO, S., et al: "Directrices y Técnicas para la Estimación de Impactos" ETSI de Montes. Madrid 1983.
- LOPEZ JIMENO, C.: "La Restauración de Canteras a Través de un Diseño más Racional". II Jornadas sobre Restauración del Espacio Natural Afectado por Explotaciones Mineras. Consejería de Industria. Gobierno Autónomo de Canarias. 1988.
- LOPEZ JIMENO, C, et al: "Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería". ITGE. 1989.
- LORENZO, J.: "La Minería de Superficie y el Paisaje". II Curso sobre las Alteraciones en el Medio Ambiente y la Restauración de Terrenos en Minería a Cielo Abierto. Fundación Gómez-Pardo. 1985.
- MANGLANO ALONSO, S.: "Criterios de Diseño y Canteras y Minas a Cielo Abierto". I Seminario de Restauración e Canteras y Minas a Cielo Abierto. Fundación Gómez-Pardo 1988.

- SMARDON, R.C.: "Prototype Visual Impact Assessment Manual". State University of New York. Syracuse. 1979.
- SMARDON, S.R., et al (ed): "Foundations for Visual Project Analysis". Wiley-Interscience. 1986.
- TANDY, C.: "Industria y Paisaje". Instituto de Estudios de Administración Local. 1979.

La Estrategia Chilena de Conservación Ambiental en
el Sector Minero para la Década de los 90.

John M. O'Brien *

I. Importancia de la minería en la economía chilena

No es casualidad que los presidentes Eduardo Frei y Salvador Allende se hayan referido al cobre como "la viga maestra de la economía" y el sueldo de Chile" respectivamente ni que el compositor argentino César Isella hable de un Chile "cobre y mineral" en ese canto sobre la unidad de América Latina llamada "Canción Por Todos". La incidencia de la minería metálica en las cuentas nacionales de Chile es enorme y esto no es una ventaja. De hecho, la mono-producción genera, en el largo plazo, más problemas de los que resuelve, como lo sabemos mejor que nadie los habitantes de América Latina, quienes hemos sufrido el impacto económico de la dependencia de pocos productos de exportación.

Gerente de Comunicaciones y Medio Ambiente de la Empresa Nacional de Minería (Chile). Trabajo preparado para el I Seminario Nacional Minero Ambiental, Bogotá, Colombia, Marzo 1991.

El gobierno militar en Chile intentó, con algún éxito, diversificar las exportaciones durante los 16 años que estuvo en el poder entre septiembre de 1973 y marzo de 1990. Aún así, los 4.840 millones de dólares exportados por el sector minero en 1989, fueron equivalentes a casi el 60 por ciento de las exportaciones chilenas. A juzgar por el ritmo actual de inversiones en nueva capacidad minera, la situación no será diferente durante los cuatro años que dura el gobierno del presidente Patricio Aylwin. En efecto, las inversiones en minas y plantas estatales o privadas, durante el período 1990-1995 se estiman en alrededor de 4.800 millones de dólares, de los cuales 72.5 por ciento corresponden a la minería privada y 27.5 por ciento a la minería estatal, a través de la Corporación del Cobre (CODELCO-Chile) y de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI).

Durante la primera mitad del siglo XX, el crecimiento minero chileno se centró en la sola lógica de maximización de utilidades privadas, en donde los dueños y operadores de las minas y plantas eran capitales norteamericanos. A partir de la década de los cincuenta, el proceso se asoció a la distribución de los beneficios mediante mecanismos impositivos, de modo tal, que el país recibiera una parte acorde con la importancia del recurso explotado. Durante los años sesenta, la cuestión fundamental pasó a ser la propiedad de los yacimientos. Fue así que la llamada Gran Minería del Cobre--formada

por los yacimientos de CODELCO--, fue "chilenizada" mediante acuerdos que condujeron a la propiedad mixta de las empresas. Luego, en 1971, la propiedad de la Gran Minería pasó en su totalidad al estado por la votación unánime del parlamento que decretó la nacionalización definitiva de estas pertenencias, que hoy día continúan siendo patrimonio chileno. En la década de los 80, la minería estatal comienza un proceso de expansión acelerada, marcando la irrupción de Chile como el primer productor de cobre del mundo.

Este largo y complejo desarrollo no es diferente a un paulatino proceso de aprendizaje. En efecto, en el período histórico que se esboza, primero el país recibe la inversión, luego descubre argumentos para una mejor distribución de la renta y, más tarde, exige una participación en la propiedad, llegando, en definitiva a nacionalizar los recursos y a promover una creciente producción. En cada etapa de este desarrollo aparecen nuevas ideas-fuerza que articulan el debate y que entregan los temas centrales sobre los que se generan corrientes de opinión.

Los problemas relativos a la naturaleza de la inversión, el sistema tributario y la propiedad de los yacimientos han sido ya zanjados. Nadie cuestiona en el Chile de hoy la conveniencia de la inversión extranjera ni el modelo de tributación ni la propiedad de los yacimientos. Existe, sin embargo, un nuevo tema que,

después de incubarse a principios de los ochenta, adquiere relevancia sectorial hacia fines de la década y termina por dominar el debate minero y público durante los años noventa. Este no es otro que el tema del medio ambiente y de cómo compatibilizar el crecimiento productivo con los requerimientos ambientales.

II. Actividad minera y medio ambiente.

Cuando nos preguntamos cómo deteriora la actividad minera el medio ambiente nos enfrentamos a una pregunta cuyo contenido es esencialmente cultural. En efecto, el grado de percepción del problema depende, en última instancia, de la conciencia que existe en una comunidad determinada sobre sus relaciones con el entorno. Desgraciadamente, la experiencia nos muestra, que para que exista conciencia ambiental y esta se manifieste en acciones concretas, ha sido necesario un largo proceso cuyo costo es el vivir la presencia misma del deterioro.

En efecto, es de todos sabido que las preguntas científicas sobre el medio ambiente sólo comienzan a ser sistematizadas a fines del siglo pasado y a comienzos del presente, una vez que los efectos ambientales de la Revolución Industrial son ya incuestionables. Para que estas preguntas científicas se hicieran carne en la opinión pública fue necesario otro medio siglo. La gran crisis que afectó a Inglaterra en los años cincuenta y que llevó a la prohibición de quemar carbón en las

ciudades sólo fue percibida como un fenómeno local, que no dió pauta para una acción integral sobre el medio ambiente. Sólo en 1970 se implementa en Estados Unidos una estrategia coherente para reducir las emisiones de azufre. Francia, Alemania, Canadá y otros países desarrollados tuvieron que esperar hasta 1980 para implementar estrategias similares.

Pero estas medidas sólo constituyen un comienzo, son el esbozo de una solución, el descubrimiento de un ámbito, acaso el más importante del problema, pero insuficiente para la comprensión integral del mismo. Las preguntas que los ambientalistas del sector nos hacemos, por lo general, focalizan la atención sobre el impacto de la empresa en su entorno y la salud de los trabajadores. Es indudable, sin embargo, que el tema es mucho más amplio y que en la medida que nos enfrentamos con la necesidad de entregar soluciones prácticas a los problemas ambientales, vamos descubriendo nuevas dimensiones asociadas a él.

Cuando hablamos de minería y medio ambiente, por ejemplo, el primer concepto que debería preocuparnos es que estamos hablando de recursos no-renovables. Si buscamos como empresa o como país tener un desarrollo sustentable en el tiempo, es condición necesaria que se mantenga la calidad del recurso y que la operación sea coherente con el mantenimiento de esa calidad. De este modo, y para entregar elementos que nos sirvan a

responder la pregunta inicial sobre cómo deteriora la minería al medio ambiente, ella lo hace en la medida en que no es fiel a su misión de explotar un recurso escaso sin los cuidados que este requiere.

En efecto, un mal diseño de mina a escala industrial, el uso irracional del agua, de la energía o de cualquier otro recurso natural empleado en el proceso de producción, son también factores que inciden en el deterioro del medio ambiente y que perjudican directamente a las empresas. El horizonte de vida útil de una mina a rajo abierto, depende de acciones planificadas con muchos años de antelación. Si se hace prevalecer una óptica de corto plazo, las leyes de mineral pueden ser más altas, pero a costa de un desarrollo racional del recurso en el futuro. Esto también es aplicable al uso del agua, de la energía y otras variables del proceso productivo. Es así que, al igual que la salud de las personas y la estabilidad de los ecosistemas, una estrategia coherente de conservación ambiental debe también incorporar consideraciones respecto a la calidad del recurso. Desde este punto de vista, la empresa debiera velar por el medio ambiente no sólo basado en el interés social de la actividad productiva, sino que, además, por el interés de ella misma en la consecución de sus propios y legítimos fines económicos: al no respetar la calidad del recurso, la empresa corre el riesgo de alterar drásticamente sus costos de producción.

Existe otro aspecto de gran importancia en relación a la manera en que la actividad minera afecta al medio ambiente, en especial a las comunidades aledañas a las unidades operativas. Al contrario de lo que muchos piensan, la percepción de la empresa por las comunidades donde ella está inserta--que son parte fundamental de lo que llamamos "medio ambiente" y que por obvio tendemos a olvidar--, no depende de una mejor o peor política de relaciones públicas. Cualquier política de esta índole es absolutamente ineficaz si ella no va acompañada de modificaciones reales en la mentalidad de los trabajadores, técnicos y ejecutivos que son los verdaderos portavoces de la cultura de una empresa determinada. Dicho de otro modo: para transformar la percepción de la empresa desde el exterior es necesario promover cambios de mentalidad al interior de ella. Esto no es tarea fácil, las culturas empresariales, especialmente las estatales, están provistas de una inercia poco adaptable al cambio. Por lo demás, los cambios de mentalidad son siempre más lentos que los cambios materiales.

III. Diagnóstico de la política ambiental minera en Chile hasta 1990.

El aumento de la producción minera chilena entre 1974 y 1989 fue sustancial. CODELCO-Chile, la empresa más importante del sector minero y del país, subió en ese período la fusión de concentrados desde aproximadamente

1.400.000 tm/a a 3.100.000 tm/a. ENAMI, por su parte, incrementaba su capacidad de fusión desde 400.000 tm/a a 550.000 tm/a en el mismo período, para llegar a unas 740.000 tm/a en 1991, después de la incorporación de una planta de oxígeno a una de sus fundiciones. Este proceso de crecimiento productivo se realizó sin tomar en cuenta consideraciones de tipo ambiental y generó situaciones de contaminación en varias regiones del norte y centro de Chile, especialmente por emisiones gaseosas y material particulado provenientes de las fundiciones y por descargas en el mar y otros cauces de relaves y efluentes líquidos. En contraste, durante ese mismo período, algunas empresas mineras, especialmente extranjeras, optaron por implementar en Chile las políticas que correspondían a sus casas matrices. De este modo, Disputada de Las Condes, perteneciente a Exxon Minerals, inicia el primer programa de vigilancia ambiental usando monitores continuos de las emisiones de su fundición en la zona central del país y comienza a reforestar sus tranques de relaves. Otras empresas que llegan más tarde, proceden a realizar estudios de impacto ambiental e invierten, como es el caso de Minera Escondida, importantes montos en el tratamiento de sus relaves antes de enviarlos al mar con un sofisticado sistema de difusores.

Los ejecutivos que tomaron el control de las empresas mineras estatales el 11 de marzo de 1990 encontraron, además, empresas enclaustradas y cerradas a

su entorno. Prevalecía un modo de eficiencia centrado en el análisis costo/beneficio sobre otras consideraciones. En ambas empresas, lo ambiental era de preocupación constante, pero en una actitud defensiva en que los problemas ecológicos caían sobre las direcciones de operaciones, sin que existieran departamentos capaces de impulsar políticas independientes que pudieran realizar, por ejemplo, auditorías ambientales. Todo lo relativo al medio ambiente era tratado en forma secreta. Lo que sucedía al exterior y que exigía mejoras en la calidad de vida era visto como el asedio del enemigo sobre la empresa que debía defenderse con medidas pertinentes cuando la situación era irremediable, pero sin pasar a una situación activa de compromiso real con el entorno.

Las acciones adoptadas, hubo varias, surgieron de impulsos exteriores. La Corte Suprema de Justicia, en una decisión trascendental, obligó a CODELCO a construir un tranque de relaves para eliminar la práctica de enviar directamente al mar los desechos provenientes de la planta de concentración de la División Salvador que habían causado una catástrofe ambiental en las costas de Chañaral en el norte del país. La decisión de la corte obligó a concretar una inversión de 50 millones de dólares en El Salvador e impulsó acciones similares en ENAMI que, para evitar una acción judicial similar, decidió construir dos tranques para rescatar los relaves de sus plantas de tratamiento en El Salado y Taltal. Adicionalmente, ENAMI impulsó la construcción de una

planta de ácido sulfúrico que fue inaugurada a fines de 1990 en la fundición de Ventanas, en la Costa Central. Si bien la planta sólo reduce las emisiones de SO₂ en un 30 por ciento y las emisiones de material particulado en un 60 por ciento, constituye un paso real de descontaminación. Su costo de 60 millones de dólares, excede, en mucho, al precio que hubiese tenido quince años antes cuando se consideró primeramente su construcción. La decisión de invertir en la planta fue además decidida por factores ajenos a una preocupación ambiental genuina y como defensa frente a potenciales amenazas norteamericanas destinadas a regular las importaciones chilenas de cobre. En efecto, durante los años ochenta, la industria norteamericana debió clausurar 8 de sus 15 fundiciones por no poder adaptarse a las pautas de la Environmental Protection Agency (EPA). El raciocinio de las fundiciones sobrevivientes que debieron invertir cuantiosos recursos para controlar sus emisiones no carecía de poder de convicción. La pregunta que se hacían los estadounidenses fue la siguiente: ¿si nosotros debimos aumentar nuestras inversiones en filtros y otras tecnologías, encareciendo nuestros costos de producción, no es acaso de toda justicia imponer aranceles especiales sobre la importación de productos mineros a los países que no realizan estas inversiones? Este raciocinio fue rebatido exitosamente por Chile, pero dejó en claro que existían otros frentes conflictivos si no se abordaba con seriedad la conservación ambiental.

IV. Estrategia ambiental del gobierno democrático.

El primer paso de la estrategia ambiental del gobierno democrático fue acrecentar la importancia del medio ambiente en las empresas estatales, promoviendo la puesta en marcha de un nuevo tipo de gestión. El tipo de gestión al que me refiero es el que incluye dentro de la misión de la empresa una preocupación sin ambigüedades sobre la importancia de lo ambiental. Esto implicó, por ejemplo, incluir a los encargados de medio ambiente dentro de las cúpulas directivas, exigir una evaluación ambiental a todos los proyectos de inversión, crear comités de medio ambiente en plantas y fundiciones para incorporar a técnicos y trabajadores en el diseño de soluciones y desarrollar políticas más agresivas de prevención de riesgos y salud ocupacional.

La estrategia también se definió como integral, en el sentido que no bastaba satisfacer los requerimientos que comúnmente constituyen el accionar "normal" de las políticas ambientales, que están orientadas a controlar la contaminación del aire, aguas y suelos. Si bien estas acciones son de primerísima importancia, un enfoque exitoso debe ser más amplio y debe extenderse desde la calidad del recurso hasta la percepción que de ella tiene la comunidad, pasando por el control de la contaminación propiamente tal. Para que esto sea posible y se mantenga el carácter integral de la estrategia, las decisiones

ambientales deben ser encaradas desde una perspectiva multidisciplinaria.

Para acometer un plan ambiental integral en el sector minero fue necesario entonces abordar el problema desde sus raíces y de acuerdo a las siguientes orientaciones generales:

1) La cuestión ambiental tiene, en última instancia, un trasfondo cultural. Es, por lo tanto, necesario evitar una aproximación meramente técnica al problema.

2) El problema ambiental debe ser comprendido desde una perspectiva multidisciplinaria debido a la compleja interacción de los elementos que conforman el medio ambiente.

3) Para abordar el problema se requiere de un nuevo tipo de gestión que incorpore las tareas de medio ambiente a la misión misma de la empresa y que las unidades encargadas del medio ambiente sean diferentes a las unidades de operaciones.

4) En definitiva la política de puertas abiertas a los trabajadores y a la comunidad entregan mejores dividendos que una política de ocultamiento y de puertas cerradas.

Fue también evidente que la implementación de cualquiera estrategia requería voluntad política para llevar a cabo las transformaciones necesarias para hacer de la minería una actividad productiva más limpia. Esa voluntad política surgió desde la misma Presidencia de la República y del Ministerio de Minería que tomaron compromisos inequívocos con la comunidad respecto a los problemas del medio ambiente. El Ministerio de Minería creó así una Unidad Ambiental, cuya primera tarea fue identificar las fuentes fijas emisoras de dióxido de azufre y material particulado, cuantificar las emisiones, revisar los estudios referidos al monitoreo de la calidad del aire y proponer un curso de acción integral para la minería.

Paralelamente, las nuevas administraciones de las empresas estatales crearon una Dirección de Asuntos Públicos y Control Ambiental en el caso de CODELCO y una Gerencia de Comunicaciones y Medio Ambiente en ENAMI a fin de abocarse al problema desde una perspectiva independiente de las direcciones de operaciones. Debido a que los interlocutores directos del medio ambiente eran las comunidades aledañas a las fundiciones, los grupos ecologistas, el parlamento--que venía recién de ser instalado después del receso autoritario--, la prensa --cargada de acusaciones y en una política de abierta denuncia--, y otros grupos diversos de presión, las empresas del estado decidieron vincular especialistas en comunicaciones con este tema a fin de poder conjugar las

acciones concretas que estaban en la agenda para mejorar sus políticas ambientales con una difusión adecuada de sus acciones. Las empresas estatales promovieron así una política agresiva para dar cuenta de estas materias, llevar la discusión a un plano científico y despojarlo de sus contenidos emocionales.

En efecto, como resultado de la política de puertas cerradas de las empresas, la opinión pública percibía el tema ambiental desde una perspectiva emocional cargada de mitos e inexactitudes respecto de los daños causados por la actividad minera. El deterioro real producto de la minería era entonces aumentado por el afán mismo de ocultarlo, llegando incluso a confundir a los sindicatos de las empresas que no conocían, cabalmente, el impacto en la salud de los trabajadores expuestos a labores minero/industriales. El caso del arsénico en ENAMI puede ayudar a entender este fenómeno con más detalle.

Aunque existe gran divergencia dentro de la ciencia médica respecto a si el cáncer generado por el arsénico se debe al simple contacto o a la exposición prolongada o cuáles son los niveles susceptibles de generar este mal, los sindicatos de la fundición estaban convulsionados por informaciones referentes a la situación del arsénico en Ventanas. Dos acciones ayudaron a elucidar el problema. Primero, explicar que sólo excepcionalmente ENAMI trataba concentrados con altos contenidos de arsénico y, segundo, la realización de un estudio abierto a todas las

consultas necesarias sobre la incidencia del arsénico en la población de Ventanas. Es así que se analizó la orina de todos los trabajadores expuestos en la fundición y se encontró un solo caso entre los 600 trabajadores encuestados en que los niveles indicaban la necesidad de profundizar los exámenes. Cabe hacer notar que los parámetros usados para medir la incidencia del arsénico fueron los mismos recomendados por la American Hygienists Association. Esto reafirmó la convicción que, frente a los problemas ambientales, era necesario actuar con transparencia informativa, concientes que, en el corto plazo, la apertura de la empresa entrega mejores dividendos que las políticas de enclaustramiento.

Al mismo tiempo, la Presidencia de la República creó la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, como repartición asesora del ejecutivo con la tarea de preparar una legislación que sirva de marco general al tema ambiental y se ocupe de preparar técnicos especializados en la materia. Las funciones fiscalizadoras de la comisión deben ser ejercidas a través de los ministerios que la integran: Minería, Agricultura, Salud, Vivienda, Transporte, Economía y Bienes Nacionales que la preside. Si bien la formación de esta repartición constituye un paso adelante importante, aún se debate la posibilidad de otorgar mayor autonomía a CONAMA para que pueda realizar su labor más eficientemente, pero los criterios son divergentes. Existen aquéllos que sostienen la necesidad de crear un

Ministerio del Medio Ambiente y otros que se oponen basados en la idea que, si bien el estado debe implementar un sistema coherente de control ambiental, la creación de un ministerio significaría exacerbar las consideraciones ambientales en desmedro de una racional actividad productiva. El debate sobre cómo equilibrar el crecimiento minero con la protección del medio ambiente, todavía se halla en pleno desarrollo.

Pero existen consensos básicos: el primero es sobre la necesidad de proceder a un cambio de la institucionalidad existente y, el segundo, sobre la unificación de la normativa sobre anhídrido sulfuroso.

La ausencia de una clara institucionalidad del medio ambiente genera la superposición de autoridades y competencias de varios servicios públicos sobre el mismo recurso. En el caso del agua, por ejemplo, se superimponen las competencias del Servicio Nacional de Salud, la Dirección General de Aguas, la Dirección General del Territorio Marítimo dependiente de la Armada de Chile, la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la Dirección General de Riego, el Servicio Nacional de Geología y Minas, además de los ministerios de minería, salud y agricultura y de los organismos de gobierno regional. El resultado práctico es que la tramitación de permisos para la instalación de un tranque de relaves, por ejemplo, llevó en un caso más de 9 años y aún no es aprobada. Este diseño institucional no favorece la

inversión, puesto que el potencial inversionista teme las amarras burocráticas vinculadas a su proyecto y teme, además, que las cortapisas burocráticas deriven en un freno real al desarrollo minero. Es CONAMA quien, en los próximos meses, debe entregar una solución a este estado de cosas y presentar una legislación cuyo objetivo sea generar coherencia en la normativa ambiental y busque compatibilizar el desarrollo minero, sin frenarlo, con la conservación del medio ambiente.

Las emisiones chilenas de dióxido de azufre totalizan 1.9 millones de tm/a en la actualidad, comparadas con aproximadamente 20 millones de tm/a en Estados Unidos. Este nivel de azufre que se arroja a la atmósfera coloca a Chile entre los diez países que emiten más SO₂ en el mundo. Por esta razón la autoridad minera ha concentrado sus esfuerzos, primeramente, en el control de los gases y del material particulado. Esto no significa desconocer la importancia de la preservación de otros recursos, sino de establecer prioridades.

Las normas de concentraciones ambientales máximas permisibles de la legislación chilena han sido copiadas de los países desarrollados. Esta solución pragmática se debe a la ausencia de investigaciones científicas locales que permitan establecer la probabilidad de vida animal o vegetal bajo determinadas condiciones ambientales. Es así que Chile ha adoptado la norma norteamericana en

lo que respecta el agua y el aire. En la actualidad, el Ministerio de Minería está pronto a mandar al Ejecutivo un proyecto de ley que modifica los diversos decretos y reglamentos existentes para unificar la legislación respecto a las concentraciones atmosféricas permisibles, iniciando así la sistematización de la norma respecto a las emisiones de fuentes fijas. Respecto de los recursos hídricos, el Ministerio de Minería ya inició la elaboración de un diagnóstico sobre las emisiones líquidas de la minería con el propósito de proceder a unificar la legislación respecto a las descargas de efluentes industriales en cursos acuáticos.

La norma atmosférica que será promulgada próximamente en Chile, sigue de cerca a la normativa de la Environmental Protection Agency (EPA) de USA, aunque con algunas modificaciones en proceso de discusión. Este paso está siendo realizado en consultas con todos los sectores involucrados en el tema y, por lo tanto, se espera que el resultado sea una norma más adecuada a las posibilidades reales de la industria en Chile. La nueva legislación entregará un plazo de 10 años para que las empresas completen el control de sus emisiones con el objeto de hacer bajar las emisiones totales del país en un 30 por ciento. Hay que tomar en cuenta que países desarrollados como Austria, por ejemplo, se fijaron una meta similar a ser completada entre 1980 y 1993, mientras que Estados Unidos fijó una reducción de 28 por ciento para ser completada entre 1970 y 1987. El programa de

reducción de los niveles de SO₂ que reseño a continuación tiene un costo aproximado de 300 millones de dólares.

- 1) Reemplazo de dos hornos de reverbero en Chuquicamata por tecnologías que permitan captar los gases para su transformación en ácido sulfúrico.
- 2) Construcción de una cuarta planta de ácido en Chuquicamata (1.720 tm/d) y una primera planta de ácido en El Teniente (1.500 mt/d), ambas de CODELCO.
- 3) Instalación en línea de redes de monitoreo continuo de SO₂ y material particulado bajo 10 micrones en las fundiciones de Potrerillos y Caletones de CODELCO y en las fundiciones de Ventanas y Paipote de ENAMI.
- 4) Inversiones en todas las fundiciones para controlar gases fugitivos.
- 5) Incorporación de un componente ambiental en la evaluación de los proyectos.
- 6) Realización de estudios de impacto ambiental en las zonas cercanas a las fundiciones y en otros áreas afectadas por emisiones de fuentes fijas, como centrales termoeléctricas.

V. Consideraciones finales.

Antes de terminar quisiera hacer la siguiente reflexión. A la luz de la experiencia empresarial de las últimas décadas, las diversas etapas que es necesario asimilar culturalmente para dar una respuesta coherente a los problemas del medio ambiente son varias. Ellas comienzan por el "darse cuenta" que existe un problema identificado como problema ambiental, luego continúan consideraciones relativas a "cuánto me cuesta solucionar este problema". En una etapa posterior prevalecen preguntas respecto a "cuánto me cuesta no solucionar este problema" para caer en la etapa definitiva de madurez que se articula alrededor de la pregunta "cómo incorporo la variable ambiental dentro de la estrategia de desarrollo de mi empresa". Estas etapas no son necesariamente consecutivas, puede ocurrir también que ellas se manifiesten simultáneamente. Lo importante es estar concientes de que cuando una de ellas aparece, las otras no tardan en hacerse presente. Desde esta óptica, el mero hecho de reunir a especialistas para debatir el tema de la minería y del medio ambiente significa el comienzo de un proceso cuyo resultado es inevitable: la incorporación del factor ambiental en el corazón mismo de las metas empresariales.

I SEMINARIO NACIONAL MINERO - AMBIENTAL

"ESTIMATIVO DE EMISIONES EN UNA EXPLOTACION DE CARBON A CIELO ABIERTO"

EDUARDO LEON SAAVEDRA HOLGUIN

BOGOTA, MARZO 1991.

EMISIONES DE PARTICULAS EN MINAS A TAJO ABIERTO

El tema que será presentado a continuación se refiere a los estimativos de las emisiones de material particulado que se originan en un proceso de explotación de una mina de carbón a tajo abierto.

La fundamentación teórica corresponde a los lineamientos que ha fijado la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para este tipo de actividades. Conviene anotar, por ende, que la utilización de los parámetros que se señalarán, debe ser sometida a algunos ajustes, propios de las condiciones locales.

Antes de la formulación de las ecuaciones que permiten estimar las emisiones de polvo en cada una de las actividades de la explotación, se hace necesario tener en cuenta algunas consideraciones generales que guardan relación con el área en donde se hará la extracción del material.

Es importante entonces un adecuado estudio geológico que permita conocer la conformación del terreno que debe ser removido y acá estamos refiriéndonos a la Estratigrafía, con las formaciones, las características litológicas de esas formaciones, la geología estructural (anticlinales y sinclinales, fallas, etc). Estos aspectos nos van a permitir conocer las características de los suelos y los contenidos de algunos elementos y sustancias que inciden en el mayor o menor grado de susceptibilidad de ser arrastradas por el viento cuando queden expuestas a su acción.

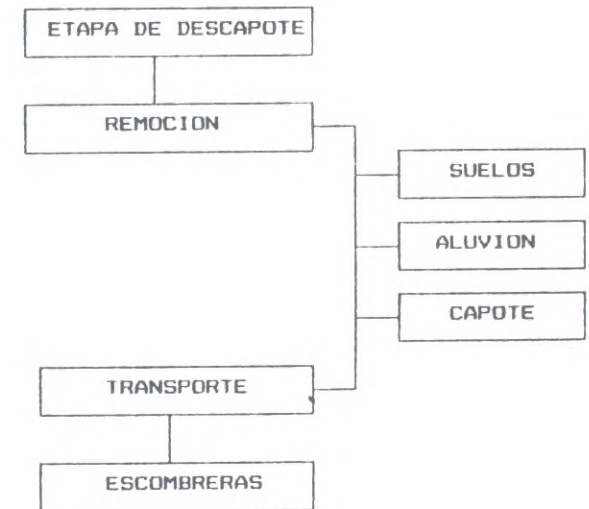
Otro aspecto de interés para el calculo de las emisiones es el de la minería y acá hacemos referencia a cómo se va a llevar a cabo la explotación, es decir cual va a ser su desarrollo. Esto permitirá por ejemplo definir los volúmenes de material estéril que deben ser removidos entre los mantos, la maquinaria necesaria para mover el estéril o para mover el carbón; las distancias que estos vehículos deben recorrer hasta las escombreras o hasta los sitios de acopio de carbón.

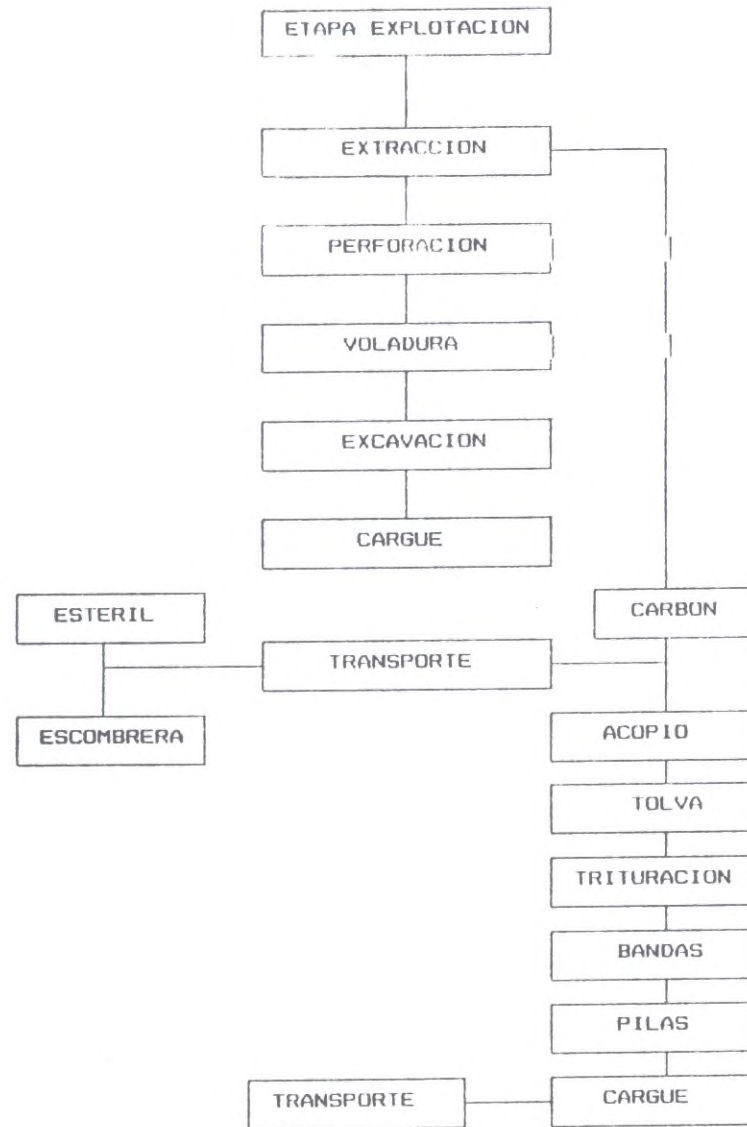
De especial interés en este punto será el de las vías de acceso a la mina, así como las características de los

equipos que van a ser utilizados en todo el proceso de explotación.

OPERACIONES DENTRO DEL AREA MINERA

Las operaciones que han sido consideradas como básicas e la explotación de una mina de carbón a tajo abierto, se presentan en los diagramas siguientes:





ESTIMATIVOS DE EMISION

1. ETAPA DE DESCAPOTE Y REMOCION DE TIERRAS

En esta etapa las emisiones provienen de emisiones fugitivas que resultan del movimiento de las capas superiores del suelo. Este movimiento de tierras puede efectuarse ya sea utilizando palas y bulldozers que cargan el material a camiones de descargue lateral o trasero.

Normalmente el equipo empleado en esta etapa se refiere a palas, perforadoras, camiones, bulldozers, tractomulas y motiveladoras.

La etapa de descapote y remoción de tierras tiene varias operaciones que se explian enseguida:

1.1 REMOCION DE TIERRAS (TOPSOIL REMOVAL)

La Ecuación para determinar las emisiones por esta operación es la siguientes:

$$E_1 = (F.E_1) (D_{cs}) (P_1)$$

$$E_1 = (F.E_1) (D_{cs}) (P_1)$$

Donde:

E_1 = Emisión de partículas, sin control

$F.E_1$ = Factor de Emisión para remoción de la capa Superior

D_{cs} = Densidad del Suelo (capa superior) en $\frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$

$$P_1 = \frac{\text{Tasa de remoción}}{\text{Unidad de Tiempo}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{U. de T.}} \right)$$

1.2 MOVIMIENTO DE ARRASTRE (SCRAPER TRAVEL)

Las emisiones que se originan en esta operación pueden ser calculadas por la ecuación que sigue:

$$E_2 = (F.E_2) (P_2)$$

Donde:

E_2 = Emisión de partículas, sin control

$F.E_2$ = Factor de emisión para arrastre de material

$$F.E_2 = 1.35 \times 10^{-5} (S)^{1.3} (W)^{2.4} \frac{\text{Kg}}{\text{millas recorridas por vehicul}}$$

S = Contenido de Limo, %

W = Peso de máquina de arrastre en toneladas

P2 = Total de millas recorridas por el vehículo de arrastre.

1.3 FORMACION DE ESCOMBRERAS (TOPSOIL DUMP)

El vertido del material de capote, en la forma de escombreras, genera emisiones de polvo que pueden ser estimadas de la siguiente manera:

$$E_3 = (D_{cs}) (FE_3) (P_3)$$

Donde:

E_3 = Emisión de partículas, sin control, originadas en la formación de las escombreras.

D_{cs} = Densidad del suelo (capa superior), en $\frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$

FE_3 = Factor de emisión para vertido del material superficial.

$$FE_3 = 0.02 \frac{\text{Kg}}{\text{Ton}}$$

1.4 REMOCION DEL MATERIAL ESTERIAL (OVERBURDEN REMOVAL)

La remoción de este material puede efectuarse empleando una draga o utilizando palas mecánicas de arrastre.

Si se emplea una draga las emisiones pueden calcularse así:

$$E_4 = F \cdot E_4 (P_4)$$

Donde:

E_4 = Emisión de partículas por operación de remoción de estéril empleando una draga, kilos/Unidad de tiempo.

$F \cdot E_4$ = Factor de emisión para esta operación.

$$F \cdot E_4 = 2.5 \times 10^{-4} (d)^{1.1} (H)^{-0.3} \frac{Kg}{m^3}$$

d = Altura de descarga de la draga

H = Humedad en %

P_4 = Cantidad de material estéril removido/Unidad de Tiempo.

1.5 REMOCION DE MATERIAL ESTERIL (REMOCION CON PALAS)

Las emisiones de partículas esperadas cuando se emplean palas se pueden calcular así:

$$E_5 = (F \cdot E_5) (D_F) (P_5)$$

Donde:

E_5 = Emisión de partículas en kilos/Unidad de Tiempo.

$F \cdot E_5$ = Factor de emisión para remoción de estéril con palas, Kilos/Ton.

$$F \cdot E_5 = 0.029 \frac{Kg}{Ton}$$

P_5 = Cantidad de estéril removido/Unidad de Tiempo.

1.6 FORMACION DE ESCOMBRERAS (OVERBURDEN DUMP)

El vertido del material estéril para formar las escombreras genera emisión de polvo que puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$E_6 = (F \cdot E_6) (D_F) (P_6)$$

Donde:

E_6 = Emisión de material particulado/Unidad de Tiempo.

$F \cdot E_6$ = Factor de Emisión para esta operación:

$$F \cdot E_6 = 0.02 \frac{Kg}{Ton}$$

D_F = Densidad del estéril, Ton/m³

P_6 = Cantidad de estéril manejado en m³/Unidad de Tiempo.

1.7 NIVELACION DE ESCOMBRERAS (OVERBURDEN SHAPING : DOZERS)

Usualmente en la conformación de las escombreras se emplean Bulldozers que recogen el material vertido y le dan la

forma adecuada nivelando la escombrera. Las emisiones que genera esta operación puede ser calculada de la siguiente forma:

$$E_7 = (F.E_7) (HO)$$

Donde:

E_7 = Emisión de partículas en la operación de nivelación con bulldozer en Kg/Unidad de Tiempo.

$F.E_7$ = Factor de emisión para nivelación de material estéril empleando bulldozer, Kilos/Hora.

$$F.E_7 = 2.85 (l)^{1.2} (H)^{-1.3} \frac{\text{Kg}}{\text{hora}}$$

l = Contenido de limo, %.

H = Humedad en %.

HO = Horas de operación del bulldozer/Unidad de Tiempo.

2. ETAPA DE EXPLOTACION DE CARBON

Esta etapa considera todas las operaciones necesarias para la extracción del carbón de los mantos, su conducción, trituración, almacenamiento y manejo antes de ser depositado en el sistema que lo transportará finalmente ya sea a los sitios de mercadeo o a los muelles para su exportación.

2.1 PERFORACION DE MANTOS DE CARBON (COAL DRILLING)

La perforación de los mantos se efectúa para depositar el material explosivo que fracturará el manto y facilitará la remoción del carbón.

Las emisiones de partículas en la operación de perforación se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$E_8 = (F.E_8) (NP)$$

Donde:

E_8 = Emisión de partículas, en Kilos/Unidad de Tiempo

$F.E_8$ = Factor de emisión para perforación en mantos de carbón, Kilos/Perforación.

$$F.E_8 = 0.11 \frac{\text{Kg}}{\text{Perforación}}$$

NP = Número de perforaciones/Unidad de Tiempo.

2.2 VOLADURA DE CARBON (COAL BLASTING)

Las emisiones de partículas en la voladura se pueden calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$E_9 = (F.E_9) (NV)$$

Donde:

E_0 = Emisión de partículas en las voladuras en Kilos/Voladura.

$$E_0 = 480.5 (A)^{0.8} (D)^{-1.8} (H)^{-1.9}$$

A = Área de voladura, en pies

D = Profundidad del hoyo, en pies.

H = Humedad en %.

NV = Número de voladuras/Unidad de Tiempo.

2.3 CARGUE DEL CARBON

Las ecuaciones que permiten determinar las emisiones de partículas que se generan en el cargue de carbón, es la siguiente:

$$E_{10} = (F.E_{10}) (P_7)$$

Donde:

E_{10} = Emisión de partículas por cargue de carbón en Kilos/Unidad de Tiempo.

$F.E_{10}$ = Factor de emisión para cargue de carbón, Kilos/Ton.

$$F.E_{10} = 0.58 H^{-1.2} \frac{Kg}{Ton}$$

H = Humedad del carbón en %.

P_7 = Cantidad de Carbón cargado en Ton/Unidad de Tiempo.

2.4 TRANSPORTE DEL CARBON O DE ESTERIL (HAUL TRUCK)

Es quizás esta operación la que genera mayores emisiones de material particulado en una explotación a tajo abierto. La ecuación para determinar la cantidad de polvo que se genera es la siguiente:

$$E_{11} = (F.E_{11}) (TKRV)$$

Donde

E_{11} = Emisión por transporte de material en Kilos/Unidad de tiempo.

$F.E_{11}$ = Factor de emisión en Kilos/Kilometros recorrido por un vehículo (KRV).

$$F.E_{11} = 0.0064 (W)^{3.4} (L)^{0.2} \frac{Kg}{KRV}$$

W = Número de ruedas de los camiones.

L = Contenido de limo en la carretera, en un metro cuadrado, gr/m^2 .

TKRV = Recorrido total de los vehículos, en kilómetros/Unidad de Tiempo.

2.5 DEPOSITO DE CARBON (COAL DUMP)

El depósito de carbón genera emisiones de polvo, las cuales pueden ser calculadas empleando la siguiente ecuación:

$$E_{12} = (F.E_{12})(P_g)$$

Donde:

E_{12} = Emisión por la operación de aplilamiento de carbón en Kilos/Unidad de Tiempo.

$F.E_{12}$ = Factor de emisión, en Kilos/Ton.

$$F.E_{12} = 0.00065 \left(\frac{l}{5}\right) \left(\frac{V}{5}\right) \left(\frac{d}{5}\right) \left(\frac{h}{2}\right)^{-2} \left(\frac{Y}{6}\right)^{-0.33} \frac{Kg}{Ton}$$

l = Contenido de limo, %.

V = Velocidad del viento, millas por hora.

d = Altura de la descarga del material, en pies.

H = Humedad del material en %.

Y = Capacidad del depósito en yd

P_g = Cantidad de material manejado, Ton/Unidad Tiempo.

2.6 MANEJO DE CARBON CON BULLDOZERS

La operación de los bulldozers para el manejo de carbón, genera emisión de partículas las cuales pueden ser calculadas de la siguiente manera:

$$E_{13} = (F.E_{13})(HO)$$

Donde:

E_{13} = Emisión de partículas originada por el manejo de carbón en Kilos/Unidad de Tiempo.

$F.E_{13}$ = Factor de emisión en Kilos/Hora.

$$F.E_{13} = 39.2 (l)^{1.2} (H)^{-1.3} \frac{Kilos}{Hora}$$

l = Contenido de limo, %.

H = Humedad, %.

HO = Horas de operación de los bulldozers/Unidad de Tiempo.

2.7 MOTONIVELADORAS

Las motoniveladoras que se emplean en las operaciones de minería, generan emisiones de material particulado que se pueden estimar de la siguiente manera:

$$E_{14} = (F.E_{14})(HO)$$

Donde:

E_{14} = Emisión de partículas en Kilos/Unidad de Tiempo.

$F.E_{14}$ = Factor de emisión en Kilos/Hora.

$$F.E_{14} = 39.2 (l)^{1.2} (H)^{-1.3} \frac{Kg}{Hora}$$

l = Contenido del limo, %.

H = Humedad del material.

HO = Horas de operación de la niveladora/Unidad de Tiempo.

2.8 TRAFICO DE VEHICULOS LIVIANOS Y MEDIANOS POR LAS VIAS DE LA MINA

El tráfico de vehículos livianos se constituye en uno de los problemas de contaminación del aire, en una mina explotada a tajo abierto, por la cantidad de éstos que circulan por las vías internas y las velocidades que alcanzan, superiores a los camiones que transportan el estéril o el carbón. La ecuación para calcular estas emisiones, es la siguientes:

$$E_{15} = (F.E_{15}) (TKRV) \frac{Kg}{Unidad\ de\ Tiempo}$$

Donde:

E_{15} = Emisión de partículas por movimiento de vehículos livianos y pequeños, Kilos/Unidad de Tiempo.

$$F.E_{15} = 2.9 (H)^{-4} \frac{Kilos}{KRV}$$

Donde:

H = Humedad del Terreno, %.

KRV= Kilómetros recorridos por un vehículo.

TKRV= Total de Kilómetros recorridos por los vehículos/Unidad de Tiempo.

2.9 TRITURACION, CLASIFICACION Y TRANSPORTE CON BANDAS

Las emisiones por estos procesos, pueden calcularse de la siguiente manera:

$$E_{16} = (F.E_{16}) (P_9)$$

Donde:

E_{16} = Emisión de partículas en Kilos/Unidad de Tiempo.

F_{16} = Factor de emisión en Kilos/Toneladas.

$$F.E_{16} = 0.16 \frac{Kg}{Ton}$$

2.10 ALMACENAMIENTO DE CARBON (COAL STORAGE)

Las pilas de carbón, por acción del viento, generan emisiones de partículas cuyo cálculo puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$E_{17} = (F.E_{17}) (A) (HE) \frac{Kilos}{Unidad\ de\ Tiempo}$$

Donde:

E_{17} = Emisión de partículas en las pilas de carbón, Kilos/Unidad de Tiempo.

H.E = Horas de exposición/ Unidad de Tiempo.

$F.E_{17}$ = Factor de emisión Kilos/Ha-Hora

$$F.E_{17} = 1.98 U \frac{\text{Kilos}}{\text{Ha-Hora}}$$

U = Velocidad del viento m/seg

2.11 ACCION DEL VIENTO (EROSION)

Otra fuente importante de emisión de partículas, lo constituyen las áreas expuestas a la acción del viento, ya sea en el tajo o en las pilas de carbón. La ecuación que permite cuantificar estas emisiones es la siguiente:

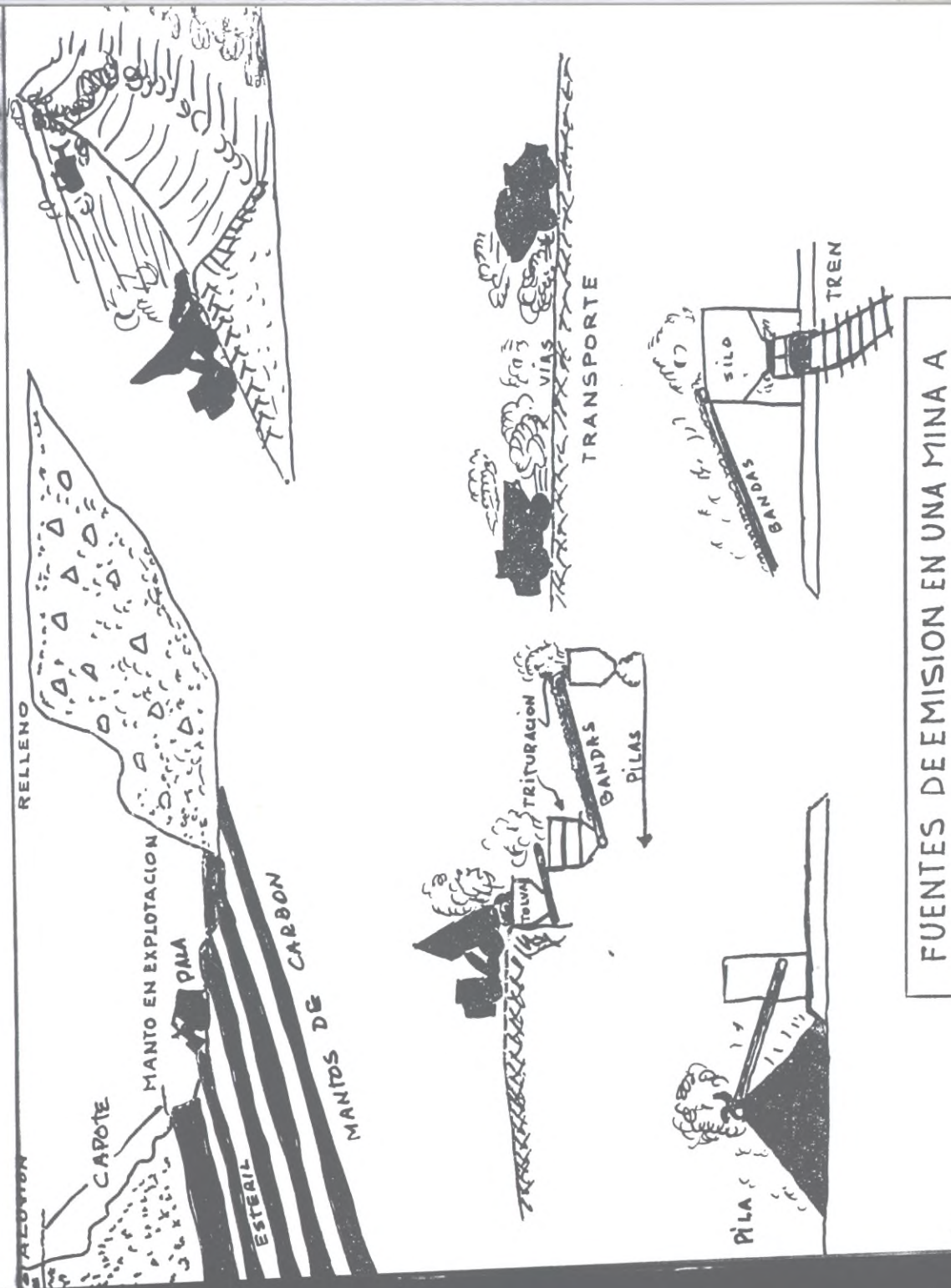
$$E_{18} = (F.E_{18}) (A) \frac{\text{Kilos}}{\text{Unidad de Tiempo}}$$

E_{18} = Emisión de partículas por acción del viento, Kilos/Unidad de Tiempo.

A = Area expuesta en Ha-Año.

F.E = Factor de emisión en Toneladas/Ha-Año.

$$F.E_{18} = 0.94 \frac{\text{Ton}}{\text{Ha-Año}}$$



BIBLIOGRAFIA

COMMENTS OF NATIONAL COAL ASSOCIATION ON EPA'S REGULATORY IMPACT ANALYSIS OF ITS PROPOSED LISTING OF SURFACE COAL MINES AS A SOURCE CATEGORY FOR WHICH FUGITIVE EMISSIONS MUST BE INCLUDED IN PSD THRESHOLD APPLICABILITY DETERMINATIONS (DOCKET NO A-84-33, 51 FED. REG. 7090) NATIONAL COAL ASSOCIATION (USA) 1985.

COMPILATION OF AIR POLLUTANT EMISSION FACTORS THIRD EDITION SUPPLEMENT 14, 1983. EPA. (USA).

ROLANDO SANZ-GUERRERO
CEPAL

I. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA AMBIVALENCIA ENTRE LA CONSERVACION Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA EXPLOTACION DE LOS RECURSOS NATURALES

Durante siglos el hombre no ha valorizado el impacto que en el medio ambiente y en la menor disponibilidad de recursos naturales, ha causado el proceso de la transformación de estos recursos en bienes de uso final.

Si bien las teorías y los seguidores malthusianos, llamaron la atención sobre el mayor crecimiento relativo de la población, y por lo tanto de sus requerimientos de bienes finales, la mayor abundancia absoluta de los recursos naturales, ha determinado que la humanidad sólo valore la explotación económica de estos recursos, mediante explotaciones ineficientes, o el deterioro del medio ambiente.

En las últimas décadas, la rápida expansión de la explotación de los recursos naturales, sin precedentes históricos, ha sido también acompañada de un acelerado deterioro del medio ambiente, causando graves situaciones, ya que ambos aspectos rompen el equilibrio de la organización y del flujo energético que interrelacionan elementos de la naturaleza orgánica y elementos de la naturaleza inorgánica.

La pluralidad de casos que se presentan sobre graves aspectos de contaminación ambiental y deficiencias en la administración del manejo de los recursos naturales, está determinando que la valorización de estos aspectos evolucione en forma acelerada, de tal manera que cada vez existe mayor conciencia de que la mayor satisfacción de las necesidades sociales de una población creciente deberá basarse en gran medida en el rediseño de cómo la sociedad deberá utilizar, explotar y reproducir los recursos naturales, disminuyendo o evitando los efectos contaminantes del medio ambiente.

El análisis o tratamiento del medio ambiente debe comprender un territorio o superficie determinada que puede ser más o menos abiogénica o biogénica que es el resultado de un proceso de interrelaciones de aspectos físicos y movimientos de elementos químicos desde el sustrato geológico hacia los materiales superficiales y los elementos químicos que la actividad del hombre retorna al aire, las aguas y la tierra. En este contexto, las ciencias geoquímicas por lo tanto y las actividades mineras deberían constituirse en uno de los temas centrales del análisis de los problemas medioambientales y de la administración del manejo de los recursos naturales. Sin embargo, ni en la teoría o en el análisis pragmático del desarrollo de los recursos naturales, se otorga énfasis a la estrecha relación que debe existir con las ciencias geoquímicas.

En forma simplificada se puede indicar que la importancia de los recursos naturales en la teoría económica y en la teoría del desarrollo, tuvo la siguiente evolución general:

- a) Para la Escuela Clásica tuvo una importancia central; es así que David Ricardo, por ejemplo, basó su Teoría de la Renta en las diferencias de distancia existente entre las diferentes explotaciones agrícolas con respecto al centro consumidor. Posteriormente Von Thunen la complementa por las diferencias de productividad de la tierra (aplicable también a los yacimientos mineros).
- b) Cuando la teoría se expresa en modelos cuantitativos, tanto en la Escuela Neo-clásica, como en la Keynesiana, las dificultades de "medir" los recursos naturales determinan su eliminación de los modelos y por lo tanto la importancia relativa de estos recursos en la teoría. Cuando se llamaba la atención sobre los mismos, se expresaba que países como Suiza lograron un alto proceso de desarrollo, pese a no contar con recursos naturales, con lo cual se ignoraba parte de la teoría que expresaba que los países debían especializarse en aquellos productos en que tuvieran ventajas comparativas, es decir, en aquellos productos con alta incorporación de los factores de mayor abundancia relativa. Los suizos se especializaron en productos con una alta incorporación de tecnología, posiblemente el recurso de mayor abundancia relativa, pero

diffícilmente se puede proponer una situación similar para América Latina, cuyos factores relativamente más abundantes, son los recursos naturales.

- c) A partir de la década de los 60, diferentes autores reincorporan la importancia de los recursos naturales a la teoría mediante una serie de propuestas de carácter pragmático:
 - i) Como fuente de generación de divisas netas e ingresos fiscales y de empleo productivo.
 - ii) Como una forma de capital-tesoro, cuya explotación permitiría la formación de otras formas de capital reproductivo.
 - iii) Como la base del desarrollo integral a nivel local o de micro-región.
 - iv) Como apoyo al proceso de industrialización: el caso de las cadenas agro-industriales o requiriendo insumos industriales y/o proporcionando insumos a la industria, en el caso por ejemplo de los recursos mineros.

Como se indicó, América Latina, con mayor abundancia relativa en recursos naturales, se especializó en las explotaciones de materias primas y en las importaciones de manufacturas, así por ejemplo, la región que cuenta con el 20-25% de las reservas mineras mundiales, participa sólo con el 15% de la producción mundial de productos primarios, con el 10% de los metálicos y semielaborados y sólo con el 5% de los productos terminados. A su vez, los países industrializados que tienen el 50% de las reservas mineras, consumen (utilización industrial) el 75% de la producción mundial.

De esta división internacional del trabajo, América Latina ha resultado totalmente perjudicada por las transferencias de recursos financieros derivados de este intercambio comercial. Así, siguiendo con el ejemplo de los recursos mineros, los términos de intercambio de las exportaciones regionales tuvieron un deterioro del 86% entre 1950 a 1986, con respecto a

las importaciones de bienes manufacturados de base minera.

Ante esta situación, un análisis profundo debería dar respuesta al interrogante acerca de si América Latina tendría que seguir especializándose en la exportación de materias primas mediante la explotación de sus recursos naturales, o por el contrario, en el otro extremo de las opciones de desarrollo, debería especializarse en industrias intensivas en tecnología y capital que son los factores relativamente más escasos y que por lo tanto se podría incurrir en costos relativos tan altos que se perderían ingresos en montos similares o mayores a las pérdidas causadas por el deterioro de los términos de intercambio.

Una encuesta efectuada para un grupo de 90 países en desarrollo nos proporciona la siguiente información:

**Tasas de crecimiento anual del PIB en 90
países en desarrollo (%)**

	1965-1973	1973-1980	1981-1986	1965-1986
a) Exportadores de manufacturas (agro-industriales) y metal-mecánicas)	7.4	6.0	5.8	6.5
b) Exportadores de bienes agrícolas	5.5	4.6	7.1	5.6
c) Exportadores de minerales	7.0	5.7	2.2	5.4
d) Exportadores de hidrocarburos	6.9	6.0	1.0	5.1
e) Países altamente endeudados	6.9	5.4	0.8	4.9
	—	—	—	—
Totales	6.5	5.4	3.6	5.4

Estas cifras estarían mostrando el mayor desarrollo relativo que han obtenido los países que abandonando el concepto de las ventajas

comparativas estáticas, han adoptado el concepto de las ventajas comparativas dinámicas. El proceso se sigue basando en la explotación de los recursos naturales, pero en vez de ser exportados en forma de materias primas son transformados previamente en bienes industriales.

De acuerdo a un último informe, existen en América Latina alrededor de 200 millones de pobres o sea el 50% de la población total. Esta cifra estaría indicando que uno de los problemas básicos de la región es un problema de pobreza masiva, que por la magnitud de los recursos financieros que se requieren, no puede ser solucionado con los sistemas asistenciales tradicionales. La solución radicaría posiblemente en la ocupación más productiva de este grupo de la población. Como el recurso relativamente más escaso es el capital, este tendría que ser sustituido por adecuadas combinaciones de los recursos relativamente más abundantes: mano de obra y recursos naturales.

La administración de los recursos naturales confronta dos limitaciones básicas: la identidad que debe existir entre las tasas de explotación y las de reposición en el caso de los recursos renovables, y el costo ambiental que implica la explotación de los recursos naturales. Estas situaciones determinan también la necesidad de profundizar el análisis sobre las interrelaciones que existen entre los diferentes aspectos planteados:

- La explotación de los recursos naturales con la producción e industrialización de las materias primas destinadas básicamente a la exportación.
- La solución del problema de pobreza masiva mediante la ocupación de la mano de obra en la explotación de los recursos naturales.
- El costo/beneficio de la explotación de los recursos naturales con el costo/beneficio ambiental y el costo/beneficio social.

El análisis indicado que podría ser iniciado a niveles abstractos, tendría que ser complementado con los correspondientes a los análisis en el contexto concreto de unidades territoriales específicas, lo que a la postre llevaría

a la necesidad del tratamiento teórico-práctico de los ECOSISTEMAS SOCIO - AMBIENTALES. Este planteamiento no implica una proposición de un "desarrollo hacia adentro" versus un "desarrollo hacia afuera de base tecnológica", sino que trata de llamar la atención sobre la necesidad de lograr un mejor balance analítico sobre ambos aspectos, a fin de lograr el cumplimiento de la propuesta esencial: iniciar un proceso de transformación productiva con equidad.

En el contexto de este planteamiento, el análisis del desarrollo de los recursos mineros debe hacerse en los siguientes aspectos principales:

- a) Incrementar el conocimiento de las reservas mineras. Se considera que el conocimiento de las reservas probadas de América Latina cubre menos del 10% del territorio potencialmente minero.
- b) Mejorar los procedimientos de extracción y beneficio de los minerales a fin de permitir mayores tasas de recuperación y el aprovechamiento integral de los subproductos.
- c) Aplicar tecnologías no contaminantes y efectuar el aprovechamiento económico de los resultados y residuos químicos de los procesos de producción, especialmente de aquellos que en formas de desechos son altamente contaminantes.
- d) Evitar formas de producción que disminuyan o eliminen la disponibilidad o reproducción de otros recursos naturales.
- e) El agotamiento de estos recursos no renovables debe ser suplido con la formación de otros recursos naturales-renovables, como por ejemplo la forestación de los desmontes mineros.

No existen datos completos sobre la disponibilidad y usos de los recursos naturales en la región. Las siguientes informaciones son extractadas del trabajo de Marc Dourojeanni: "Recursos Naturales Renovables de América Latina y el Caribe: Situación y Tendencias" (World Wildlife Fund-US, Washington, D.C.):

- a) El uso actual de la tierra estaría distribuido en la siguiente forma: 9% tierras agrícolas arables; 26% pasturas naturales; 49% bosques y 16% tierras eriales, sin uso o cubiertas por infraestructura no-agrícola.
- b) Se estima que las necesidades de expansión de las primeras y de las últimas se efectuaría a costa de una disminución de las tierras de bosques. A pesar que sólo el 65% de las tierras arables son cosechadas anualmente y que estas cosechas son inferiores al potencial obtenible con mejores técnicas de producción, se considera que hacia el año 2000 la tierra arable debería alcanzar al 14% de la superficie total. De la misma manera se estima que la expansión de las tierras ganaderas deberían alcanzar el 34%.
- c) La tierra destinada a usos no-agrícolas se incrementaría de 16 a 18% durante esta década.
- d) Los anteriores requerimientos estarían determinando que la superficie destinada a las reservas forestales, llamadas los "pulmones verdes del planeta" disminuirían del 49 al 35% de la superficie total de la región, lo que determina la urgencia de evitar una mayor contaminación del aire.
- e) Se estima la superficie ocupada por los bosques en cerca de 1.000 millones de hectáreas, de las cuales 68% están constituidas por bosques denso-tropical, 8% por bosques denso-templados y el 24% por bosques ralos, los que podrían ser reforestados para evitar la fuerte disminución de este recurso.
- f) Actualmente sólo se utiliza el 3% de los recursos hídricos y el 8% del potencial hidroeléctrico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el 80% de la población urbana es abastecida con agua potable, mientras que esta cobertura sólo alcanza el 30% de la población rural.
- g) El potencial pesquero de los mares adyacentes al continente se estima en 34 millones de T.M. de los cuales sólo se explota el 23%. Sin embargo, la sobre-explotación de ciertas especies, como la anchoveta

están reduciendo notablemente las disponibilidades futuras.

- h) La composición de las fuentes actuales de energía eléctrica contrasta con la composición del potencial energético para este fin. En el primer caso el origen de las fuentes es: hidráulica 58%, térmica 41%, otros 1%. En cambio, el potencial está constituido por: 67% hidráulica; 21% hidrocarburos; 6% carbón y 6% otros recursos, situación que determina el agotamiento relativamente más rápido de los recursos precisamente no-renovables: los hidrocarburos.

1. El Desarrollo de Ecosistemas Sustentables

En forma estática se puede entender por ecosistema el conjunto básico de seres orgánicos e inorgánicos de una región determinada, esto es, el espacio aéreo, la superficie, el subsuelo y las plantas, animales y minerales que los contienen. Si en esta región existen asentamientos humanos, estaríamos ante un "ecosistema social". El peso seco total de los bienes orgánicos e inorgánicos por unidad de superficie recibe el nombre de biomasa o patrimonio ambiental, mientras que la cantidad de biomasa lograda en un período de tiempo se denomina producto o rendimiento y la relación entre este producto con respecto al patrimonio toma el nombre de productividad.

En forma dinámica se podría conceptualizar el ecosistema como la organización de una cadena de energía creativa y alimenticia que se va transfiriendo entre los miembros de un conjunto de seres orgánicos e inorgánicos. La introducción de elementos nocivos en las cadenas energéticas, rompe el equilibrio de su organización, produciéndose daños ecológicos que implica no sólo la eliminación de los factores contaminantes sino también la restitución de la interrelación previamente existente.

Las interrelaciones de las cadenas energéticas están sujetas a leyes ecológicas, las que pueden ser comprendidas, como se indicó anteriormente, a través de las ciencias geoquímicas y biogénicas.

La humanidad de antaño, en el contexto de su conocimiento tecnológico

"trató de lograr el máximo" producto de su patrimonio ecológico disponible a tasas que inclusive llegaron a disminuir dicho patrimonio. Una demanda que creció a tasas mayores que las del producto, se constituyó a la postre en uno de los factores básicos de la caída de las grandes civilizaciones que fueron sustituidas por nuevas formas de demanda, nuevas técnicas de producción y la incorporación de nuevos ecosistemas.

Los rápidos procesos de industrialización y de urbanización han determinado en la actualidad rápidas tasas de crecimiento del producto, con altas tasas de productividad en muchos casos, pero acompañadas también de nuevos procesos de agotamiento de diferentes patrimonios ecológicos, agravados por la introducción de elementos nocivos y contaminantes emergentes de los nuevos patrones de consumo y procesos de producción. En otras palabras, la civilización actual tiene mucho éxito en incrementar la producción incorporando nuevos patrimonios ecológicos, un menor éxito relativo en los aumentos de productividad en detrimento de una baja restitución de los patrimonios utilizados y de agudos rompimientos de los equilibrios de la organización ecológica de las cadenas energéticas. A esta situación de desequilibrio ecológico, se debe agregar el desequilibrio social derivado de la situación que se presenta por la fuerte concentración del uso del producto en pocos países o estratos sociales, mientras que el daño ecológico se distribuye más equitativamente.

La población y las necesidades sociales seguirán creciendo en forma constante y acelerada por lo que el desarrollo del patrimonio ecológico que pueda "sustentar" dicha demanda para el presente y el futuro, tendría que basarse en los siguientes planteamientos prioritarios:

- a) Restituir el equilibrio de la organización de las cadenas energéticas
- b) Disminuir y eliminar de los patrones de consumo y de producción los elementos nocivos contaminantes
- c) Incrementar el patrimonio ecológico existente
- d) Incrementar la productividad de este patrimonio mediante el

mejoramiento de la administración del manejo de los recursos naturales.

e) Incorporar a la producción nuevos patrimonios ecológicos.

Se puede observar que uno de los componentes básicos del cumplimiento de los propósitos anteriores, es la aplicación de las correspondientes tecnologías. En cambio, la restauración del equilibrio social, es muy posible que tenga que pasar por un complejo proceso, cuyo resultado final sea el cambio de actitud del hombre, desde una posición agresiva y competitiva de obtener para sí el mayor producto posible, por una actitud de solidaridad de compartir con las futuras generaciones y con los desposeídos de esta generación, tanto el patrimonio ecológico, como los resultados o producto de la explotación de dicho patrimonio.

Como se ha observado anteriormente, América Latina cuenta todavía con un gran patrimonio o riqueza natural, sin embargo su población no sólo crece aceleradamente, sino que la mayor parte de ella no ha logrado siquiera satisfacer las necesidades básicas de nutrición, salud, educación, vivienda y saneamiento básico, por lo que es posible que el balance entre recursos disponibles y necesidades sociales básicas, sea negativo, por lo que la región deberá transitar el mismo camino del resto del mundo: explotar racionalmente sus recursos, incrementar el patrimonio natural para beneficio de las generaciones futuras, eliminar los elementos contaminantes y restituir el equilibrio de las cadenas energéticas, en aquellas áreas o especies que ya están seriamente dañadas.

2. Metodologías de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA)

El mayor conocimiento y toma de conciencia de las interrelaciones entre los actuales patrones de producción y consumo con el deterioro del medio ambiente seguirán motivando a que la humanidad acentúe el debate sobre el futuro del desarrollo económico y la evolución de la sociedad.

Uno de los temas centrales de este debate será indudablemente la administración del uso y la conservación de los recursos naturales, y entre ellos la de los recursos mineros por el impacto acumulativo del proceso de

producción sobre el medio ambiente, su participación en las reacciones químicas de las cadenas energéticas y su participación en los patrones de consumo.

De esta manera en el análisis de las relaciones entre el desarrollo de los recursos mineros y el medio ambiente, se debe contar con metodologías que permitan:

- a) Identificar el impacto ambiental de los procesos de producción
- b) Definir el costo-beneficio minero-ambiental en el corto, mediano y largo plazo
- c) Seleccionar las tecnologías que optimicen dicha relación.
- d) Definir las opciones de las políticas de acción y consumo.

Entre las principales metodologías que identifican el impacto adverso que sobre diferentes elementos ambientales, ejercen los procesos de producción minera, se pueden mencionar los siguientes:

- a) Estudios de casos específicos sobre los procesos de producción de cada producto minero (Capítulo IV) o de áreas de producción minera.
- b) Estudios de factibilidad de nuevos proyectos de inversión, incluyendo aquellos gastos que permitirán disminuir o eliminar los efectos contaminantes
- c) Matrices de impacto ambiental en las que se identifican los impactos de las diferentes etapas del proceso de producción sobre la salud, el aire, las aguas, la superficie y la vegetación.
- d) Matrices de identificación de los elementos contaminantes, liberados en las actividades de los procesos de producción.

Como se ha indicado, la producción minera, que la sociedad considera como

un beneficio, conlleva un costo ambiental. A su vez en los costos de la producción minera se pueden incluir gastos que permitan conservar o restituir elementos constitutivos del medio ambiente, en este caso el beneficio en las variaciones cualitativas o cuantitativas de los elementos ambientales, sino en las variaciones del producto actual o futuro, que pueden proporcionar dichos elementos a la sociedad. Por lo tanto este análisis contemplaría un doble propósito: obtener el beneficio de la producción minera, al menor costo ambiental o lograr un beneficio de los otros elementos ambientales, al menor costo complementario de la producción minera.

La necesidad de lograr la dualidad de beneficios al menor costo posible, determina adoptar la mejor tecnología posible (MTP). Esto implica largos y costosos procesos de investigación tecnológica y asumir los costos inherentes de la sustitución de inversiones existentes por las nuevas tecnologías.

El análisis debe también facilitar la selección de las políticas de control de los efectos contaminantes, entre ellas por ejemplo: a) Políticas de carácter administrativo, como la formulación de medidas legales o institucionales; b) De investigación tecnológica, adopción, adaptación y difusión de la transferencia del conocimiento tecnológico; c) Económicas, como subsidios o incentivos tributarios para la adopción de las nuevas tecnologías; d) Sociales, como programa de educación, cambios de actitudes y consumos.

3. Hacia una Metodología de Desarrollo Integral

La especificidad de los problemas de los países más pobres determinó que de las ciencias económicas se derivara la subdisciplina del Desarrollo Económico. Muy pronto se tuvo conciencia de sus limitaciones en el "tratamiento" de los aspectos sociales del proceso, surgiendo en forma paralela los métodos de análisis del Desarrollo Social. La necesidad de un tratamiento conjunto de ambas dimensiones derivó en un nuevo paradigma del Desarrollo Económico y Social que al agregársele conceptos de filosofía y psicología social, planteó el esquema del Desarrollo Social, ya no como una

disciplina de análisis de los problemas sociales, sino como un concepto integrador de ambas dimensiones, en la que el sujeto y el objeto del proceso seguiría siendo el hombre pero con un cambio fundamental de una actitud altamente competitiva, hacia una actitud de solidaridad e integración.

Los crecientes problemas de daño ecológico causados por la actividad económico-social del hombre, han planteado la necesidad de crear nuevas disciplinas sobre la "dimensión ambiental del desarrollo", entre las cuales se pueden mencionar los paradigmas Ecologistas de Protección del Medio Ambiente y la administración de los Recursos Naturales.

Sin embargo nuevamente la solución de los problemas pragmáticos del desarrollo, no permiten un tratamiento aislado de cada dimensión. Si los problemas reales se presentan en forma integrada, es necesario también contar con un paradigma y metodologías de análisis de carácter integral (Anexo 1).

El nuevo paradigma lleva la denominación de "Eco-Desarrollo Social", en la que la ecología y la economía devienen como términos similares por lo que el primer término caracteriza tanto los aspectos económicos, como ecológicos. El término social a su vez define que el análisis se refiere a los asentamientos humanos en una unidad territorial o ambiente ecológico denominado, como se indicó anteriormente, como eco-sistema social.

La incorporación de la dimensión ambiental no sólo precisa que el análisis debe referirse a un eco-sistema específico, sino que la definición de políticas y actividades debe plantearse también en forma integral en el corto, mediano y largo plazo.

Las principales características del Eco-Desarrollo Social que lo diferencian de otros paradigmas ambientales y económicos, serían las siguientes:

- a) El proceso de desarrollo se efectúa en las tres dimensiones - económico, social, ambiental - en forma simultánea, ya que se sostienen

mutuamente en un proceso cibernético de auto-alimentación.

- b) El objeto del proceso no es solamente el hombre, sino el ecosistema, por lo tanto no sólo se debe fijar como meta la satisfacción de las necesidades sociales, sino también el crecimiento del patrimonio ambiental bajo el concepto de "ecologizar la economía" en vez de "economizar la ecología" (conservación de los recursos).
- c) La propiedad de los recursos naturales estaría sujeta al principio jurídico del "Res-Nullius" no en su forma negativa de que nadie es dueño de estos recursos, sino que son propiedad de todos los miembros de la sociedad del ecosistema. La concesión del uso y usufructo de los mismos serían otorgados a perpetuidad mientras se cumplan los objetivos básicos de la sociedad: el desarrollo económico-social y ambiental.
- d) Tendería a disminuir los costos de la descontaminación ambiental, con la utilización de formas y tecnologías no-contaminantes ("Administrar la salud del ecosistema, en vez de reparar por los daños que se producirían por la contaminación").
- e) El análisis y la programación del desarrollo se efectuará básicamente a través de las ciencias económicas, sociales, geoquímicas y de la biotecnología, en vez de solamente las dos primeras.

II. LOS PRINCIPALES EFECTOS DE LA EXPLOTACION MINERA-METALURGICA. EJEMPLOS DE CASOS.

El daño ecológico se inicia potencialmente con la exploración y otorgamiento de las respectivas concesiones ya que, por ejemplo, el suelo puede ser utilizado alternativamente en otras actividades menos contaminantes.

La fase de extracción del mineral implica especialmente efectos dañinos en la salud del trabajador de interior-mina y en las subsiguientes etapas de concentración y refinación se utilizan o se generan diferentes elementos químicos que pueden ser altamente nocivos y cuyos desechos se vuelcan en la

tierra, las aguas o el aire. En el anexo 2 se presenta un resumen de los principales efectos contaminantes que se han identificado en los procesos de producción en Canadá.

En una de las principales empresas mineras de la región, se estimaba que el promedio de vida de los trabajadores de interior-mina, era de sólo 10 años de vida. Las principales causas se derivan del fino polvo que liberan las perforadoras y las emanaciones de gases tóxicos. Otros elementos que actúan sobre la salud de los trabajadores son las radiaciones, la humedad, el calor, la falta de adecuados niveles de aire y luz, el ruido y las vibraciones. A estos efectos se agregan los riesgos industriales, como las caídas de rocas, las obstrucciones de las galerías, explosiones, fuegos, inundaciones, faltas de cuidado en el manejo de las maquinarias, ácidos y reactivos.

Gran parte de los minerales metálicos, se presentan en forma de sulfuros. La reducción del azufre se efectúa, mediante la combinación con el oxígeno, cuyo resultado es el anhídrido sulfuroso, gas altamente contaminante del aire, las aguas y las plantas, principalmente en la forma de la llamada "lluvia ácida".

Otros procesos de concentración, fundición y refinación de especialmente minerales metálicos, emiten gases y residuos del proceso de combustión de carácter tóxico, como por ejemplo los óxidos de hierro, de plomo, zinc, cobre, níquel, cadmio, arsénico, selenio, telurio, caronil, gases de mercurio y gases sólidos de flúor.

La industria minera utiliza grandes volúmenes de agua, en algunos casos de 100 a 300 TM por cada TM de mineral. Gran parte de este volumen es reciclado en el mismo proceso de producción, pero otra parte es eliminada, arrastrando en suspensión partículas sólidas de metal, toxinas y venenos como el arsénico, cianuro, mercurio y otros ácidos reactivos.

Especialmente en los pórfidos, el contenido del metal fino es de alrededor de 1 al 5%, es decir que por cada 5 TM de metal es necesario remover y

y tratar más de 100 TM de mineral. Por lo tanto el 95% es mineral estéril que debe ser acumulado en desmontes de gran volumen, que evitan otros usos de las superficies en las que son acumulados.

El daño ecológico causado por la actividad minera metalúrgica ha motivado a que gobiernos, empresarios e investigadores encaren el problema desde diferentes líneas de acción entre las que, a manera de ejemplos, se indican a continuación:

- a) En 1976, durante la realización de la Mesa Redonda sobre Política Minera, auspiciada por los Ingenieros de Minas del Perú, se presentó la propuesta de crear un Comité Multisectorial de Coordinación del Medio Ambiente, incluyendo un extenso radio de acción. La propuesta fue concretizada en el mes de mayo de 1980, aprobándose la creación de la Comisión Multisectorial Permanente de Preservación del Medio Ambiente; una de sus primeras acciones fue la presentación del proyecto de la Ley de Bases del Medio Ambiente que constaba de 19 artículos. Sin embargo, sigue existiendo un daño continuo en la fauna marina por los relaves mineros que son arrastrados por los ríos o los daños causados en las lagunas interiores.
- b) En Estados Unidos, The Environmental Protection Agency, EPA, es la encargada de vigilar el cumplimiento de la Ley Pública 92.500. En forma similar se vigila el cumplimiento de las estrictas medidas de la Ley Básica para el Control de la Polución del Medio Ambiente, que rige en el Japón desde 1967.
- c) Durante el 43º período de sesiones de la Comisión Económica Europea, efectuada en 1988, se firmó la Decisión E (43), mediante la cual se aprobó la Estrategia Regional para la Protección del Medio Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales.

La Estrategia define en primer lugar los objetivos a mediano y largo plazo - año 2000 y adelante - y en segundo lugar las políticas y el programa de acción destinados al cumplimiento de dichos objetivos. También se identifican los requisitos necesarios para la implementación

de la Estrategia que se refiere principalmente a la formulación del correspondiente cuerpo legal; el progreso científico y tecnológico; la integración de las políticas económicas, sociales y ambientales; la redefinición de los papeles del sector público y privado y la cooperación internacional.

- d) Recientemente han sido aprobadas diferentes disposiciones que obviamente tendrán efectos en la actividad minero-metalúrgica.
 - i) En Inglaterra The Environmental Protection Bill de 1990, propone el establecimiento de un sistema integrado de control de la polución ambiental.
 - ii) En Australia The Commonwealth's Resource Assessment Commission Act se convirtió en ley en junio de 1989, con disposiciones tendientes a la integración de los eco-sistemas. En forma complementaria se aprobó la restricción de la exploración minera en los Parques Nacionales, localizados al Oeste de Australia.
 - iii) En febrero de 1990, la Cámara de Minas de Tasmania, solicitó que se le provea de directivas para la futura utilización de las tierras baldías, bajo el espíritu de valorizar tanto las actividades mineras, como el patrimonio ambiental.
 - iv) De acuerdo al Acta 73 de Conservación del Medio Ambiente, aprobada en 1989 en Sud Africa, ninguna empresa o minero puede iniciar actividades sin el permiso escrito del Ministerio de Asuntos Ambientales, permiso que es otorgado después del análisis del impacto ambiental que podría causar el nuevo proyecto.
 - v) Después de siete años de trabajo y estudio, el Tratado para la Regulación de las Actividades Mineras en la Antártida, está abierto a la firma de los países a partir de noviembre de 1989. El Tratado tiene el propósito principal de lograr un equilibrio entre la explotación de los recursos mineros y la conservación del medio ambiente.

vi) Con o sin disposiciones legales, diferentes empresas están adoptando diferentes tecnologías que disminuyen o eliminan los efectos contaminantes de la actividad minera; recuperan los activos ambientales dañados; reproducen nuevas formas de patrimonio ambiental o adoptan actividades que previenen el daño ecológico.

vii) La investigación tecnológica está logrando importantes avances en nuevos métodos y procesos de producción no contaminantes o que reducen o eliminan el efecto nocivo de estos elementos. Sin embargo, por el monto de las nuevas inversiones y las que se pierden, estos adelantos son adoptados por las empresas en forma paulatina. Por ejemplo, son ya muy conocidos los métodos para la eliminación o transformación de anhídrido sulfuroso (dióxido de azufre), como la reducción directa del azufre, el incremento de la concentración para posibilitar la producción de ácido sulfúrico, la sustitución de los métodos piro-metalúrgicos por los hidro-metalúrgicos o la lixiviación bacteriana. Otras tecnologías que se pueden mencionar como ejemplos son: la utilización de peróxido de hidrógeno para eliminar el cianuro de los relaves de la producción de oro; la utilización de una alta concentración de dióxido de titanio, posibilitaría la reducción de su co-producto, el sulfato de hierro; la sustitución del amoníaco por soda cáustica en el proceso de producción del tantalio.

A pesar de los adelantos que se efectúan a nivel de diferentes empresas, se expresa que si bien estas batallas se están ganando, en cambio se estaría perdiendo la guerra a nivel mundial por el continuo deterioro del medio ambiente, ocasionado por la actividad minero-metalúrgica. Esta situación estaría requiriendo medidas de solidaridad internacional, por ejemplo, la formación de un fondo rotativo que permita a las empresas acelerar la adopción de tecnologías no contaminantes.

III. LA IMPORTANCIA DE LA EXPLOTACION AURIFERA

Como es ampliamente conocido, el oro fue utilizado por muchas centurias como el medio de intercambio comercial y fue el fundamento central de la Escuela Mercantilista que propugnaba su acumulación como resultado del intercambio por otros bienes. Posteriormente, los requerimientos de medios de pago por la rápida expansión del intercambio comercial, motivó la emisión de dinero respaldados por menores proporciones de oro. La sustitución del patrón - oro por el dólar como referencia para las otras monedas y de la relación dólar - oro, determinan que en las dos últimas décadas, la expansión de su demanda se encuentra basada principalmente en las industrias relacionadas: joyería, ornamentos, odontología, electrónica, etc.

Con la fundición del oro en lingotes, "bullion", provenientes del beneficio del mineral aurífero de veta o aluvión y el reciclaje de la chatarra u "oro viejo" comienzan a incorporarse una variedad de procesos metalúrgicos, químicos y metalmecánicos, artesanía, orfebrería y servicios indirectos de alta tecnología que otorgan un nuevo dinamismo a la oferta y demanda de este metal.

1. Reservas y tendencias de la oferta y la demanda. La variación y tendencia de los precios

Las reservas de minerales de oro están concentradas en cerca del 86% en el grupo de Países Desarrollados y países de Europa Oriental.

A su vez, el 75% de las mismas, pertenecen a sólo dos países: Sud Africa y la URSS. Las reservas de América Latina representaron menos del 6% (Cuadro N° 1).

En el período 1980-1988, la producción primaria de oro creció a una tasa anual del 5%, incrementándose en una proporción mayor las ventas de los países de Europa Oriental. En cambio disminuyó la producción secundaria, que posiblemente sea la parte de la oferta que equilibra la brecha con la demanda, lo que significa que la producción de mina está creciendo más rápidamente que la demanda, lo que determina que la producción hacia el año

C U A D R O N º 1

COMPOSICION DE LAS RESERVAS MUNDIALES DE ORO

A 1983

	Miles Onzas Troy	%
1. Países Desarrollados	642	61.9
2. Países Europa Oriental	250	24.1
3. Otros países en Desarrollo	85	8.2
4. América Latina	60	5.8
T o t a l	1.037	100.0

Fuente: Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe

2000, se incremente a una tasa más baja que la lograda en el período indicado (Cuadro N º 2).

Sin embargo, y suponiendo una tasa 50% más baja que la lograda en este período, las reservas conocidas se agotarían en un término de 15 años, aspecto que estaría mostrando la urgencia de continuar con las correspondientes exploraciones.

La demanda de oro utilizada en joyería creció a una tasa anual de cerca del 10%, representando en 1988, cerca del 60% de la demanda total. En cambio disminuyó la demanda de oro utilizada en odontología, otros usos industriales, reservas monetarias, las tenencias en lingotes y las compras oficiales. Se estima que la demanda del oro durante la presente década se mantendría a una tasa de por lo menos 4% (Cuadro N º 3).

El precio nominal del oro se mantuvo casi sin variaciones durante el siglo pasado y la primera parte de este siglo. Durante la II Guerra Mundial se incrementó en cerca del 70%, manteniendo ese nivel hasta 1970, período en el que se deja de establecer una estrecha relación dólar-oro. A partir de ese período los precios, igual que los de otros metales quedan sujetos a fuertes fluctuaciones, según se puede observar en las siguientes tasas de crecimiento anual:

Períodos	Tasa anual de Crecimiento %
1970-1975	34.72
1975-1976	-21.65
1976-1980	48.29
1980-1982	-21.60
1982-1983	12.74
1983-1985	-13.49
1985-1986	15.94
1986-1987	21.32

De mantenerse la demanda en la forma estimada es posible que el precio se incremente hacia el año 2000, a tasas anuales promedio, superiores al 3%.

CUADRO Nº 2

TENDENCIA DE LA OFERTA MUNDIAL DE ORO

(Miles de Onzas Troy)

	1980	1988	Estimación Año 2000
1. Producción Mina	30.2	44.8	61.0
2. Reciclaje	21.2	10.5	12.0
3. Ventas Países Europa Oriental	2.9	8.0	7.0
	—	—	—
Totales	54.3	63.3	80.0

Fuente: Mining Journal, Volume 310, Nº 7968

CUADRO Nº 3

TENDENCIA DE LA DEMANDA MUNDIAL DE ORO

(Miles de Onzas Troy)

	Año 1980	Año 1988	Estimación Año 2000
1. Joyería	17.8	37.5	56.0
2. Electrónica	3.2	4.5	6.0
3. Odontología	2.0	1.4	0.7
4. Otros usos industriales	1.4	1.3	1.2
5. Reserva Monetaria	6.5	6.5	6.5
6. Lingotes	16.1	7.1	8.0
7. Compras Oficiales	7.3	5.0	1.6
	—	—	—
Totales	54.3	63.3	80.0

Fuente: Mining Journal. Volume 310, Nº 7968

2. El proyecto de monetización de los metales preciosos en América Latina

La actual crisis financiera por la que está atravesando América Latina, no es sólo causada por los altos niveles de endeudamiento externo, sino básicamente por una caída del 52% de los recursos financieros disponibles para la inversión, entre 1982 a 1987, a pesar que el coeficiente de ahorro interno se incrementó de 22.5% a 22.9% con respecto al PIB.

De esta manera se establece que en forma simultánea al ajuste de las economías, para generar los recursos requeridos por el servicio de la deuda externa, la región necesita nuevos recursos externos que coadyuven a financiar un nuevo proceso de desarrollo.

Sin embargo, es posible que sólo existan dos fuentes de financiamiento externo que podrían incrementarse mediante acciones unilaterales de América Latina: el fomento a las inversiones directas y la emisión de bonos con respaldo de las consiguientes garantías.

Los bonos podrían emitirse con período de maduración a cinco o más años, con la garantía de producción de oro durante ese período. La operación tendría las características técnicas de una venta a plazo.

Pero por otro lado, en el contexto del Tratado de la ALADI, existe la figura de las Garantías Uniformes respaldadas por los Bancos Centrales de los Países Miembros, las que tienen el propósito básico de incrementar el comercio intrarregional.

Estos documentos con el respaldo propuesto de la futura producción de oro de la región, podrían tal vez ser colocados en el mercado financiero internacional, por el que indirectamente se estaría "monetizando" la producción de oro de la región.

IV. PRINCIPALES METODOS DE BENEFICIO AURIFERO Y SUS EFECTOS CONTAMINANTES

En cada uno de los métodos tradicionales de extracción y beneficio del oro, se han desarrollado nuevas tecnologías, aunque el propósito no siempre fue disminuir los elementos o procesos contaminantes, sino más bien propósitos para incrementar los índices de recuperación, disminuir los costos de producción y recuperar co-productos y sub-productos.

1. Los principales métodos utilizados: amalgamación, concentración gravimétrica, flotación, tostación y cianuración

a) La amalgamación de los minerales de oro es uno de los métodos más simples y antiguos de tratamiento y aún es muy utilizado por pequeños mineros que tienen la necesidad casi diaria de vender su producción. Los relaves de este proceso, altamente contaminante por la utilización del mercurio, todavía contienen importantes porcentajes de metal. Para recuperar los contenidos de oro, plata y mercurio, con relativo bajo costo y economía de tiempo se pueden utilizar los procedimientos de cianuración directa y de fracción de malla - 325. La cianuración puede efectuarse en un circuito cerrado de volatilización que permite su reciclaje disminuyendo efectos contaminantes.

b) El método del monitoreo es el método más económico en la minería de placeres auríferos, localizados en bancos, terrazas y orillas de los ríos. Es también un método que en la fase de la extracción no presenta efectos contaminantes. El equipo consta básicamente del monitor, manga de succión y una motobomba, con valores desde alrededor de US\$6.000. El mineral es fijado en alfombras de arpilleras de los sluices, los desechos son arrastrados por gravedad mediante las canaletas de eliminación. El mineral de los lechos de los ríos es removido por dragas de arrastre, de corte o de succión. El mayor problema consiste en que las partículas más finas pasan las mallas de las alfombras y se puede perder hasta un 70% del oro. Para dar solución a esta situación se han desarrollado otros equipos como los sluices de laberinto, las Baterías Jigs, las

mesas vibradoras y los centrifugadores, como las espirales Humphreys, o los Hidrociclones. Estos equipos tienen el propósito básico de separar cuerpos o elementos de diferentes densidades por acción mecánica o física sin contener elementos contaminantes, sin dar solución a la acumulación del material estéril en los lechos u orillas de los ríos, tampoco se pueden lograr concentrados de muy alta ley, especialmente si se trata de oro poroso y laminado en estado microscópico ya que adquiere la tendencia de rechazo al agua (propiedad hidrofóbica). Las partículas más finas tienden a flotar en el agua, por lo que los métodos gravimétricos tienen muy poca efectividad.

- c) Para la recuperación de los finos y ultrafinos de oro se ha utilizado con éxito el método de flotación sin deslamado. En la flotación se requiere una alta dispersión de la pulpa, la que se logra con dispersantes y en un muy bajo porcentaje de sólidos (5 a 10%). Los reactivos son los mismos que se utilizan en la flotación de oro libre. Previo al proceso de flotación, se debe lograr un enriquecimiento de los concentrados en un proceso de cianuración en plantas de lixiviación de mineral primario, bajo un sistema de circuito cerrado.
- d) Otro de los problemas que presenta la explotación del oro, es la presencia en el mineral, generalmente en las piritas auríferas, de arsénico o antimonio, los cuales son fuertemente castigados. El tratamiento de las arsenopiritas auríferas requiere de un método combinado piro-hidrometalúrgico por medio de una planta de tostación del mineral para la eliminación del arsénico-antimonio y azufre, seguida de la recuperación del oro (y plata) en una planta de lixiviación por cianuración. La eliminación de contaminantes por medio de la tostación se basa en el hecho que a altas temperaturas (500 a 700 grados C) se volatilizan selectivamente algunos elementos o compuestos de azufre, mercurio, arsénico, antimonio, bismuto, plomo, telurio, talio, germanio, selenio y sus compuestos sulfuros, arseniuros y óxidos, dando lugar, por ejemplo, a la

formación de sulfuros estables y a la volatilización de sulfuros de arsénico, antimonio, etc. Después de la combustión y mediante tratamientos de enfriamiento adecuados, estos elementos pueden recuperarse como sulfuros u óxidos. Entre ellos, por ejemplo, el trióxido de arsénico, de utilidad económica.

2. Nuevos métodos de beneficio: oxidación, carbón activado, fusión-adsorción atómica, propulsión electro-molecular.

- a) Muchas veces el pretratamiento de los minerales de oro, mediante los procesos de tostación o lixiviación a presión, resultan demasiado costosos. Una forma de menor costo es la oxidación o biooxidación del mineral, permitiendo su liberación para su contacto con el agente lixivante, mediante el pretratamiento biológico o lixiviación bacteriana, que rápidamente está llegando a ser como una alternativa viable de menor costo. En algunos casos el proceso de oxidación no sería suficiente para liberar el oro, por lo que sería necesario elevar el PH a cerca de 2.0, mediante la utilización de ácido sulfúrico y lechada de cal.
- b) Entre los diferentes métodos para recuperar el oro y la plata desde las soluciones de cianuración en pila, destacan por el uso creciente el de cementación con polvo de zinc y el de adsorción con carbón activado. Las propiedades adsorbentes del carbón activado sobre el oro contenido en soluciones de cianuro, son conocidas desde principios de siglo, pero no se aplicaba el método porque el proceso de desorción se efectuaba en forma costosa por calcinación del carbón. En la actualidad, los metales preciosos se recuperan por electrólisis, permitiendo el reciclaje del carbón. El proceso es también factible mediante la lixiviación a presión, en cuyo caso se podría eliminar el cianuro de la solución tratada, sin embargo, como se indicó anteriormente, este es un proceso de alto costo. Los metales preciosos pueden ser también desorbidos aceleradamente con agua deionizada a 110 grados C y una presión de 12 a 18 psi, después de un pretratamiento de remojo en caliente, cargado con una solución al 1% de NaOH.

c) El método combinado de Fusión - Absorción Atómica se utiliza en los laboratorios de ensayo, sin embargo, queda abierta la posibilidad de ser utilizado en forma más amplia. La fusión se puede utilizar como método de pre-concentración, utilizando al plomo como agente colector, dada su facilidad de aleación con los metales nobles. La absorción atómica se realiza por ataque directo al mineral contenido en las copelas utilizadas durante el proceso.

d) También a nivel de laboratorio pero que puede ser utilizado en forma industrial, se encuentra el método Haber o de propulsión electro-molecular (Anexo 4). Este es un método patentado en varios países. El método fue diseñado después de amplios estudios sobre las propiedades geoquímicas de diferentes minerales de oro, luego requiere de tratamientos diferenciados, según el mineral, incluyendo los que contienen partículas microscópicas. En el proceso de lixiviación por este método no se utilizan elementos contaminantes y por lo tanto, es un sustituto del uso del cianuro, por otro lado es también compatible con el método de adsorción del carbón activado.

3. Selección de los mejores métodos de beneficio del oro a nivel de pequeña, mediana y gran empresa

Del análisis anterior, posiblemente se pueda establecer que una alternativa de beneficio de oro a nivel de pequeña y mediana empresa, de alta productividad, de bajos costos y requerimientos financieros y que principalmente no sea contaminante, todavía queda a nivel de desafío de investigadores y empresarios y tal vez habría que seguir insistiendo en el camino abierto de la lixiviación con reactivos diferentes al cianuro, y de la utilización de elementos químicos como el peróxido de hidrógeno que permita desintoxicar las soluciones desechables que contienen cianuro. A nivel de mediana - gran empresa parecería que se abre una puerta con la aplicación del método de propulsión electro-molecular.

Organizado por el Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) con la colaboración de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el apoyo financiero del Gobierno de Italia.

Santiago, 25 junio al 7 diciembre, 1990

METODO PARA TOMAR DECISIONES EN PROCESOS DE GESTION
PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y EQUITATIVO

Axel Dourojeanni

B. METODO PARA TOMAR DECISIONES EN PROCESOS DE GESTION PARA EL DESARROLLO

La presente guía se ha estructurado en base a un método originalmente elaborado y aplicado por el autor de este trabajo en diversas microrregiones y cuencas. Una de estas aplicaciones fue hecha, por ejemplo, en la cuenca del Río Blanco, República Dominicana.¹² El método fue, posteriormente, ampliado en la CEPAL dando como resultado el marco conceptual y operativo que se presenta en este texto, aplicable a cualquier ámbito rural.

El marco conceptual-operativo conjuga los procesos que permiten pasar de las ideas de crecimiento económico, equidad y sustentabilidad a su ejecución en un ámbito físico definido. Estos procesos son los siguientes (ver cuadro 1):

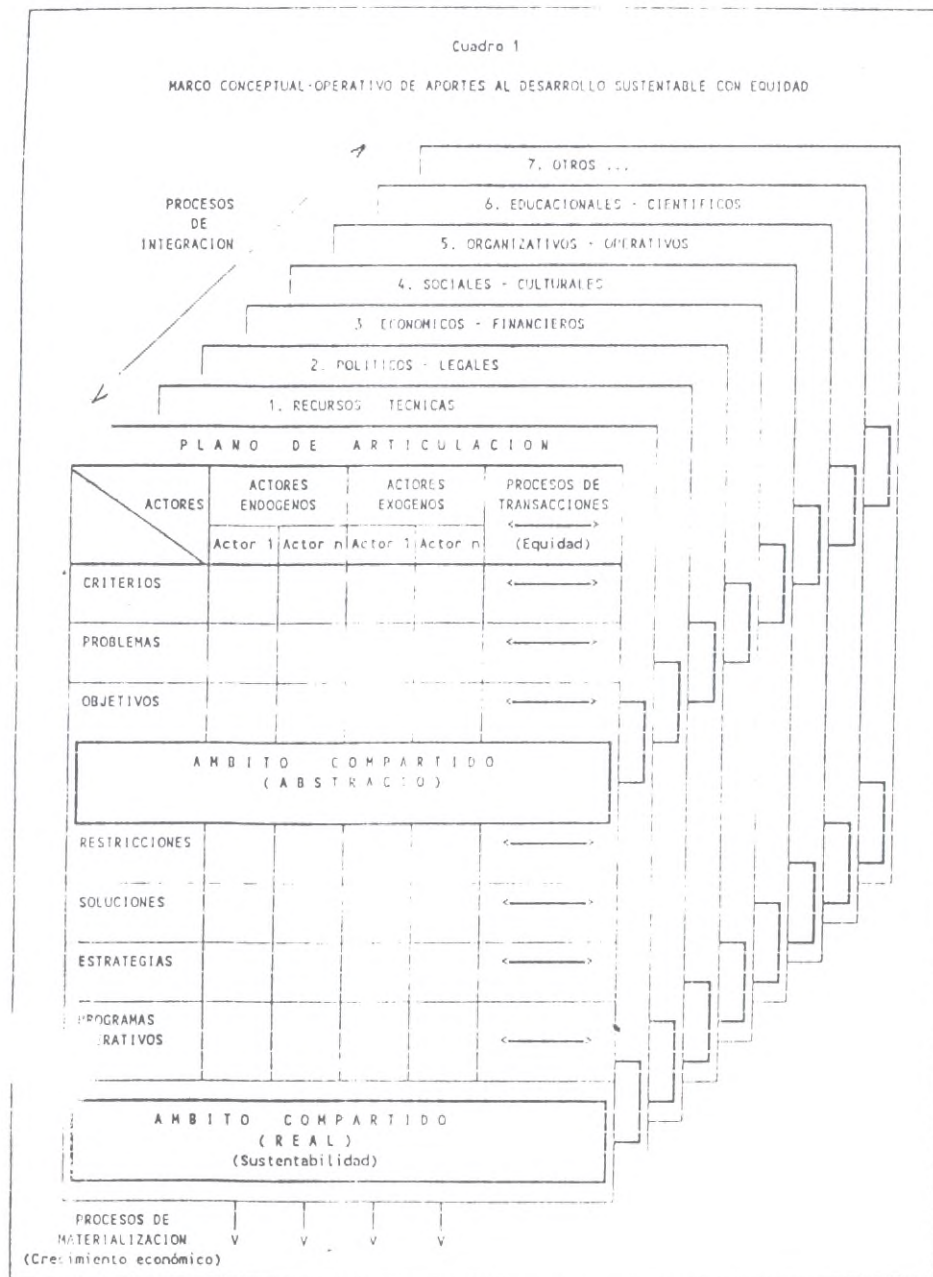
- 1.- Un proceso de materialización de acciones (crecimiento económico y sustentabilidad),
- 2.- Un proceso de transacciones entre actores (equidad), y,
- 3.- Un proceso de integración de disciplinas (integración).

El proceso de materialización de acciones se ilustra por la secuencia vertical en el cuadro 1. Dicha secuencia parte por la identificación de actores, continúa con la determinación de los criterios, problemas y objetivos de cada actor, el diagnóstico del ámbito y concluye en el estudio y diseño de restricciones, soluciones, estrategias y programas operativos.

En la etapa del diagnóstico del ámbito, así como en la ejecución de los programas operativos, se debe incorporar el análisis de la sustentabilidad ambiental. Es importante observar que el ámbito se representa, en el cuadro 1, cortando las variadas disciplinas que deben integrarse para tomar las decisiones de desarrollo sustentable. El ámbito real se esquematiza al final de la secuencia.

El proceso de transacciones entre actores se esquematiza en el cuadro por líneas horizontales. Dicho proceso permite alcanzar la equidad. En cada paso de la secuencia existen transacciones, sin embargo, las más concretas se realizan a nivel de restricciones y soluciones. Para que las transacciones lleven a la equidad deben darse en un marco de concertación.

El proceso de integración de disciplinas se esquematiza con una línea en diagonal. Tal como se percibe, esta integración supone el trabajo de equipos interdisciplinarios. Usualmente esta integración se realiza a partir de los diagnósticos del ámbito. El análisis de sistemas y la elaboración de modelos varios es clave para la integración de disciplinas.



A continuación se explican las secuencias que se deben seguir para aplicar los tres procesos. En particular se detalla el proceso de materialización de acciones debido a que es la secuencia central y conductora del método. Los capítulos del libro corresponden a los pasos de la secuencia.

1) El proceso de materialización de acciones, tal como se indica, es el eje articulador de los otros dos procesos. Este proceso está conformado por 10 pasos que van desde la identificación de los actores hasta la ejecución de los programas operativos. La secuencia se presenta en el Cuadro 2 a).

a) Los pasos del proceso de materialización son los siguientes:
 Determinar quienes son los actores involucrados en el proceso de gestión. Este es el primer paso y uno de los más importantes. Como actores se entiende a todas las personas que intervienen activa o pasivamente en los procesos de gestión para su propio desarrollo o que asisten al proceso. Abarca los habitantes, los usuarios (habitantes o no del ámbito), los representantes de organismos públicos o privados, los asesores o interventores en el ámbito, los representantes de grupos de poder y, en general, todas las personas que ven afectada su calidad de vida y que influyen o reciben los efectos del uso y conservación de los recursos del ámbito en estudio, así como los que tienen como función apoyar el desarrollo del hombre en dichos ámbitos.

b) Determinar los criterios que gobiernan el accionar de los actores. Esta determinación es fundamental para conocer cuáles son las posiciones que tienen los actores en el proceso de gestión. Implica recoger hipótesis, teorías, supuestos, creencias, opiniones, ideas, postulados, conceptos, premisas, conclusiones, enfoques, interpretaciones, principios o paradigmas de las personas participantes. Estos criterios pueden ser sobre desarrollo, la marginalidad, el hombre, la sociedad, la conservación, el manejo, las zonas altas, los habitantes locales, los proyectos y otros. Es un ejercicio fundamental para facilitar el entendimiento entre los actores y realizar transacciones, concertaciones o acuerdos entre los interesados.

c) Detectar los problemas vinculados a la calidad de vida y a la conservación de los recursos en el ámbito en estudio, tal como lo expresan y sienten cada uno de los actores o grupos de actores participantes de los procesos de gestión. Analizar las causas y efectos de cada problema. Clasificarlos y categorizarlos desde diferentes perspectivas. Determinar los problemas actuales. Analizar los procesos históricos que llevaron a la situación actual y proyectarlos a futuro. La detección de problemas constituye la clave para definir los objetivos de desarrollo.

Cuadro 2 a.)

PROCESOS DE MATERIALIZACION

CARTILLA METODOLOGICA

PASOS	DESCRIPCION DE CADA PASO
1. ACTORES	Identificación de los actores participantes, activos o pasivos en el proceso de gestión para el desarrollo sustentable y equitativo. Tipología
2. CRITERIOS	Recopilación de los criterios, explícitos o implícitos, que sustentan las posiciones de los actores involucrados en el proceso. Monitoreo.
3. PROBLEMAS	Recopilación de los problemas que manifiestan cada uno de los actores, en función de sus necesidades y aspiraciones. Priorización.
4. OBJETIVOS	Determinación directa, o por inferencia de los problemas, de las metas y objetivos de cada uno de los actores. Priorización
5. AMBITO COMPARTIDO (ABSTRACTO)	Inventario, evaluación y diagnóstico físico y socioeconómico de los ámbitos territoriales y funcionales donde se pretende alcanzar los objetivos (Pasado Presente y Futuro). Control de la sustentabilidad ambiental.
6. RESTRICCIONES	Identificación de las restricciones técnicas, así como políticas, legales, económicas, financieras, organizacionales, funcionales, culturales, educacionales, comerciales y otras que obstaculizan o impiden lograr los objetivos. Priorización.
7. SOLUCIONES	Generación de opciones de solución para superar las restricciones previamente identificadas y priorización de soluciones. Selección.
8. ESTRATEGIAS	Diseño de estrategias para poner en práctica las soluciones vía acciones de carácter discontinuo (proyectos de inversión) y continuos (servicios, sistemas de producción y otros).
9. PROGRAMAS OPERATIVOS	Programación de las acciones (programas, proyectos, actividades, prácticas y tareas) según las soluciones y las estrategias seleccionadas para ejecutarlas, ejecución de las acciones de control y seguimiento de los resultados obtenidos
10. AMBITO COMPARTIDO (REAL)	Materialización de las acciones programadas en el ámbito. Monitoreo de los objetivos y de la sustentabilidad ambiental

Reinicio del ciclo de pasos en niveles progresivamente más detallados y precisos.

Fuente: Axel Dourojeanni R., CEPAL, Junio 1990

- d) Transformar los problemas o demandas detectados en objetivos. Este es un paso fundamental para convertir lo que es un conjunto de problemas expresados por los habitantes, usuarios y técnicos en diferentes formas y con rangos variados de precisión, en objetivos lo más concretos posibles. Estos objetivos deben ser descritos en forma precisa y en lo posible con un apoyo cuantitativo. Es necesario identificar a los beneficiarios de tales objetivos, el lugar o ámbito donde se deben alcanzar y en qué plazo (corto, mediano o largo) se deben lograr las metas, qué prioridad relativa tienen con relación a los otros objetivos enunciados y precisar los criterios que se utilizarán para priorizarlos. Los objetivos no son sólo la traducción de un problema en un enunciado sino que, en forma agregada, representan la definición del escenario deseable a futuro por el conjunto de habitantes y usuarios. Los objetivos son una expresión de diferentes personas involucradas en el desarrollo, por lo que deben ser balanceados y compatibilizados de tal modo que la expresión final de los objetivos represente la opinión del conjunto de actores involucrados en el desarrollo y no sólo la posición de algunos.
- e) Delimitar y clasificar los ámbitos dentro de los cuales se pretende alcanzar los objetivos. En este caso los ámbitos son los espacios físicos y funcionales que enmarcan el proceso de gestión. Dentro de estos ámbitos hay espacios menores que también necesitan ser precisados. Los más importantes son: el ámbito físico o natural, tal como una cuenca, subcuenca, río, ladera o piso ecológico; el ámbito social, tal como el espacio ocupado por grupos o comunidades campesinas; el ámbito económico, que puede estar definido por el área donde se efectúan transacciones mercantiles; el ámbito político-administrativo que se define por el límite comunal, distrital o regional; el ámbito institucional o funcional, que puede estar definido por el área de acción de una empresa, comunidad, cooperativa, corporación o un instituto nacional; el ámbito productivo, definido por fincas, parcelas, fundos u otros. Estos ámbitos pueden ser agrupados en regiones o microrregiones o tratados como unidades operativas de gestión, unidades físicas de manejo o cualquier otro tipo de unidad básica de desarrollo.
- f) Detectar las restricciones que deben superarse para alcanzar los objetivos dentro de los ámbitos previamente delimitados. Las restricciones son los obstáculos que hay que resolver para superar los problemas identificados (expresados en objetivos) y no los problemas en sí. Si el problema, por ejemplo, es la baja de producción debido a erosión de suelos en una ladera cultivada a máxima pendiente, el objetivo será controlar la erosión y las restricciones para alcanzar este objetivo pueden ser, por ejemplo: el desconocimiento técnico de los usuarios para evitar la erosión, la falta de

legislación apropiada para prohibir el uso de esas tierras en esa forma, la falta de extensionistas del gobierno para asistirlos, la carencia de ofertas alternativas de subsistencia de los agricultores en otras zonas, o carencia de recursos económicos.

Las restricciones se pueden ordenar en: i) técnicas y físicas; ii) políticas y legales; iii) económicas y financieras; iv) institucionales y administrativas; v) sociales y culturales; y vi) educacionales y científicas. Las restricciones deben identificarse en función de un método de trabajo sistemático, para abordarlas en orden de importancia y en orden de ejecución. Esto permite que el resultado del estudio plantee un programa concreto de acción con identificación de metas ordenadas, asignación de recursos, indicación de responsables y tiempos requeridos para hacerlo.

- g) Proponer soluciones para superar las restricciones previamente detectadas, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos dentro de los ámbitos delimitados. Las soluciones se seleccionan entre un conjunto de opciones posibles, o se diseñan específicamente, de acuerdo a las restricciones, los ámbitos, los objetivos y a las estrategias globales de acción. Cada propuesta de solución debe ser realista y se requiere, por lo tanto, precisar un mínimo de aspectos: i) qué restricción o conjunto de restricciones va a levantar la solución propuesta y en qué orden; ii) qué recursos y materiales se requieren para su aplicación; iii) donde será aplicada la solución; iv) en qué momento se deberá aplicar y durante qué periodo (continuo o discontinuo); v) quién y de qué niveles serán los responsables de su aplicación; vi) quiénes son afectados con la propuesta de solución y cuáles son sus efectos no deseados; vii) cómo se relaciona la propuesta de solución con otras posibles de aplicar; viii) qué otras alternativas de solución existen que puedan producir resultados similares; ix) qué instituciones o personas estarán involucradas en la aplicación de la solución; y x) qué recursos va a insumir cada solución.
- Las soluciones, además, pueden clasificarse, según su finalidad, en soluciones de carácter técnico o directas, que conducen a resultados productivos tangibles, tales como estudiar el potencial de recursos; formular proyectos, construir obras, operar los sistemas construidos o manejar los recursos; y en soluciones de carácter operativo o indirectas, que permiten que las soluciones técnicas puedan realizarse tales como planificar, legislar, otorgar créditos, capacitar, investigar, administrar, promover.
- Esta distinción es fundamental hacerla en las propuestas, ya que promulgar una ley, formular un plan o crear una institución son soluciones indirectas que sólo serán eficaces en la medida que permitan la ejecución de las acciones directas. La efectividad de una legislación, por ejemplo,

sólo se puede medir o evaluar en función del beneficio que su aplicación ejerce sobre la factibilidad de ejecutar acciones directas y no por el simple hecho de haber sido promulgada.

- h) El siguiente paso, una vez planteadas, priorizadas y jerarquizadas las soluciones, es determinar cuáles van a ser las estrategias que se van a seguir para su ejecución. En este paso debe medirse cuidadosamente el beneficio y su efecto en la equidad de cada acción posible con el fin de:
- i) poner en práctica soluciones políticas, sociales, económicas y técnicas viables; ii) superar las restricciones más urgentes, y de menor complejidad y costos, sin descuidar el enfrentar las restricciones más importantes y de largo plazo; iii) balancear aportes de las diversas instituciones con responsabilidades e intereses en el ámbito; iv) establecer la relación costo-efectividad que tiene el superar cada restricción con los recursos y tiempo disponibles; v) balancear los efectos deseados y no deseados de las acciones en términos políticos, sociales, ambientales, económicos y otros; vi) priorizar las acciones de superación de restricciones en el territorio con relación a los beneficiarios potenciales; vii) generar programas, proyectos, actividades, prácticas y tareas agrupándolos bajo soluciones comunes para facilitar la conducción de su ejecución.

Las estrategias definen la forma cómo deben ser implementadas las soluciones continuas (como servicios) y las discontinuas (como proyectos). Algunos de estos programas o proyectos pueden ser de carácter horizontal si están orientados a proporcionar soluciones que son comunes a varios ámbitos (como subcuencas, municipios o comunidades) o de carácter vertical si el programa o proyecto proporciona soluciones que son específicas a un solo ámbito.

Lo importante es que los programas o proyectos que se propongan para cada ámbito sean articulados entre sí para evitar duplicación de esfuerzos, obtener economías de escala y responder ordenadamente a las demandas de los beneficiarios. Los programas o proyectos formulados independientemente sin establecer relaciones entre ellos pueden perder su efecto de potencialización.

- i) El último paso en el proceso propuesto, previo a la ejecución de las ideas, es diseñar programas, proyectos, actividades, prácticas y tareas que permitan ejecutar las estrategias seleccionadas y evaluarlas. Esta tarea implica diseñar y evaluar socio-económicamente soluciones, tanto de carácter continuo (periódicas o permanentes) como discontinuo (proyectos de inversión). También implica diseñar tanto las tareas técnicas (obras, sistemas de producción, etc.) como las administrativas (provisión de fondos, organización institucional, capacitación, etc.) para garantizar la ejecución de las acciones programadas.

2) Los procesos de transacciones entre actores para lograr la equidad ocurren en cada uno de los pasos de la secuencia. La secuencia se aplica normalmente en ciclos iterativos que se han denominado "ciclos de concertación". Estas iteraciones permiten pasar desde un nivel de percepción, con transacciones o acuerdos generales, hasta niveles de ejecución, con acuerdos y tratos claros y específicos entre los actores.

En la primera iteración, percepción, se recoge todo lo que los actores saben o conocen por experiencia, intuición u observación directa. En la segunda iteración, consolidación, se verifican las opiniones en el terreno mediante diagnósticos a nivel de reconocimiento o semidetallados y propuestas a nivel de prefactibilidad, y en la tercera iteración, formulación, se hacen estudios y se formulan propuestas a nivel detallado y definitivo, respectivamente. En cada aproximación se debe buscar el consenso de los actores para seguir adelante. Por ello se denomina este procedimiento de gestión "el ciclo de concertación".4/

Este método tiene la particularidad de lograr, en una forma muy sencilla, algunos aspectos claves en un proceso de gestión para el desarrollo del hombre en zonas rurales:

- a) Reconoce de partida por igual a todos los actores que participan en los procesos de gestión de ámbitos como cuencas altas y microrregiones.
- b) Recoge, antes de invertir grandes sumas en estudios, las opiniones de estos actores y las confronta entre sí. Con ello se evita perder tiempo y recursos en estudios detallados, muchas veces inútiles.
- c) Permite confrontar las ideas de variados usuarios y habitantes con las ideas de los técnicos que teóricamente deben asesorarlos. Evita que se ignoren mutuamente en las fases iniciales.
- d) La disposición de una "cartera de soluciones" permite que todos los actores diseñen las estrategias para llevarlas a cabo. Ello los compromete también a ejecutarlas.
- e) Permite también que los técnicos se aboquen a plantear estrategias de integración de soluciones sobre bases reales. Es decir no planifican para ver luego si alguien sigue sus planes, sino al revés: planifican para ejecutar ideas propuestas y aceptadas por consenso mayoritario.
- f) La secuencia, además, consiste por sí sola en un método de trabajo que sirve para diseñar estrategias. Obliga a la articulación y a la coherencia entre los pasos que los mismos gestores proponen realizar.

Cabe anotar que a medida que se avanza en la secuencia se va aumentando el nivel de detalle de la información y, por ende, de la precisión de las transacciones. Los pasos claves son, sobre todo, los acuerdos que se dan entre los actores a nivel de restricciones y soluciones. Esto se debe a que muchas de las restricciones para unos son soluciones para otros. Esto genera conflictos entre los actores si no se buscan soluciones equitativas.

3) El proceso de integración de disciplinas se realiza también en cada paso de la secuencia. Las disciplinas pueden categorizarse de muy diversas formas: por ciencias, áreas temáticas, sectores económicos u otras. La elección de alguna de estas formas es libre, siempre y cuando sea completa. En esta guía se utilizan clasificaciones temáticas y sectoriales y se hace especial referencia al tratamiento de las disciplinas en forma de sistemas, e.g. Sistemas Físicos o Naturales, Sistemas de Producción y Sistema Social e Institucional.

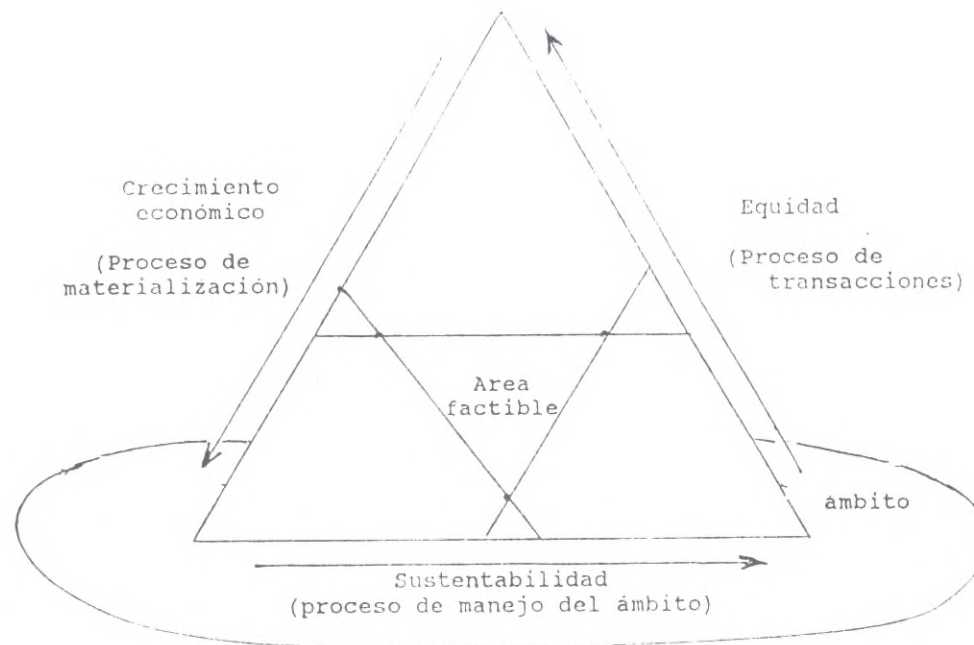
Para concluir, cabe recordar que el juego de la armonización entre crecimiento económico (representado en el proceso de materialización), la equidad (representada por las transacciones) y la sustentabilidad (representada por el diagnóstico del "ámbito"), es complejo. Si se grafica un triángulo, como lo hace Peter Nijkamp en un artículo sobre Desarrollo Regional Sustentable y Uso de los Recursos Naturales, se aprecian los conflictos para alcanzar estos tres objetivos en forma simultánea (Cuadro 2 b)).

El método que se expone en el presente documento pretende dar elementos para que esta armonización pueda ser conducida por los sectores locales con mínima asistencia externa. El desafío de todo asesor consiste en asistir a esta articulación. Ello es aún más complejo por cuanto, para articular los tres procesos, se deben convertir los conceptos de equidad y sustentabilidad ambiental en términos e indicadores comparables con los indicadores de crecimiento económico.

De hecho, hasta el presente cabe mencionar que, en gran medida, las transacciones se han sustentado casi únicamente sobre indicadores económicos. Sin embargo, la valorización económica no es suficiente para reflejar los múltiples factores que intervienen en los procesos de decisión con fines de desarrollo sustentable y equitativo. Por ejemplo, la economía clásica no toma en cuenta a la naturaleza hasta que se convierta en dinero ni toma en cuenta las economías de hogar ni de subsistencia. Por ello los conceptos económicos no deben ser los únicos utilizados para decidir.

Cuadro 2 b)

Representación gráfica de los objetivos conflictivos entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad



El esquema representa los conflictos existentes entre las aspiraciones de crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental, en un ámbito determinado.

Se han graficado los tres objetivos en un mismo plano bajo el entendido que el proceso de integración de disciplinas, en el plano económico, ya ha sido efectuado.

de: Peter Nijkamp, Regional Sustainable Development and Natural Resource Use, World Bank Annual Conference on Development Economics, April 26-27, 1990, Washington D.C.

REQUISITOS PARA CALIFICAR LA VALIDEZ DE UNA ESTRATEGIA

1. Código _____
2. Identificación de la estrategia
 - ¿En qué ámbito(s) se pretende aplicar la estrategia?
 - ¿Cómo se subdivide el ámbito?
 - ¿Qué propósito tiene la estrategia?
 - ¿Qué nombre se le asigna a la estrategia?
3. Participantes y actores involucrados
 - ¿Quiénes formulan la estrategia?
 - ¿Quiénes participaron en su diseño?
 - ¿Quiénes aplicarán la estrategia?
 - ¿Quiénes recibirán los efectos de la estrategia?
4. Informos utilizados para diseñar la estrategia
 - ¿Se dispone de la identificación de los actores que comparten el ámbito?
 - ¿Se dispone de los criterios de los actores existentes y exógenos al ámbito?
 - ¿Se dispone de la lista de problemas priorizados de cada actor y del conjunto de los actores?
 - ¿Se dispone de la lista de objetivos priorizados de cada actor y del conjunto de los actores?
 - ¿Se dispone de inventarios, evaluaciones y diagnósticos del ámbito en el cual se pretende alcanzar los objetivos?
 - ¿Se dispone de una lista detallada y priorizada de restricciones u obstáculos para alcanzar los objetivos propuestos en el ámbito?
 - ¿Se dispone de una evaluación del potencial y de una lista priorizada de soluciones para superar los obstáculos previamente identificados?
5. Características de la estrategia
 - ¿Quiénes son los encargados de dirigir la aplicación de la estrategia?
 - ¿Qué preparación y coordinación tienen para su aplicación, tanto los encargados de aplicarla como quienes van a recibirla?
 - ¿Qué tácticas e instrumentos se han considerado en la estrategia? Identifíquelos.
 - ¿Qué previsiones se han tomado para que tales instrumentos cumplan su propósito?
 - ¿Qué grado de conocimiento tiene la población de la estrategia que se les va a aplicar?
 - ¿En qué forma los actores a ser teóricamente beneficiados por la estrategia han participado, si lo han hecho, en su formulación?
 - ¿Cuántos supuestos tiene la estrategia? Identifíquelos, clasifíquelos y describalos.
 - ¿Qué previsiones se han tomado para convertir los supuestos en certezas?
 - ¿Qué recursos, básicamente tiempo, financiamiento, personal y equipo, se han considerado para aplicar la estrategia?
 - ¿Qué previsiones se han tomado para reducir las incertidumbres y supuestos?
 - ¿Qué alternativas se han diseñado para superar obstáculos imprevistos?
6. Evaluación y recomendaciones
 - La estrategia evaluada ¿puede calificarse de estrategia o no reúne los requisitos esenciales para hacerse acreedora a ese calificativo? ¿Por qué?
 - ¿Cuáles son, a su juicio, los puntos más débiles de la estrategia que pudieran hacerla fracasar?
 - ¿Qué organización y capacitación del equipo conductor ha sido prevista para aplicar la estrategia?
 - ¿Qué organización y capacitación se ha previsto para los actores que recibirán la estrategia?
 - ¿Cuáles son, a su juicio, los mayores aciertos y consistencias de la estrategia?
 - ¿Cuáles son, a su juicio, los mayores desaciertos e inconsistencias de la estrategia?
 - Los autores de la estrategia, ¿en qué sustentan su probable éxito?
 - Los autores de la estrategia, ¿qué reconocen como puntos débiles de su estrategia?
 - ¿Qué recomendaría usted para mejorar la estrategia en el caso de que ello sería factible?

Fuente: Elaborado por Axel Dourojeanni, CEPAL, 1989.

Anexo 2

Table 1. Environmental impact of primary stages of mineral production

Area of Environmental Impact	Primary Stages of Mineral Production		
	Mining	Beneficiation and Storage	Transportation
Pollutants	Underground: Wet, dust, noise, radiation, heat, gases. Open Pit: dust, noise, exhaust fumes.	Dust, noise. Non-ferrous: Noxious fumes, handling problem with some toxic reagents. Asbestos: asbestos dust.	Noise, dust, exhaust fumes from heavy vehicles.
Effects	Contributes to labour turnover. Possible respiratory disease, particularly for asbestos, fluorspar, gold. Stress and other physical ailments. Cancer.	Contributes to labour turnover and carcinogenic diseases, particularly for asbestos and other dry-milled minerals.	Possible respiratory effects during handling.
Corrective Measures	Environmental and safety training of staff for good in-house practices, respirators and other protective clothing, good ventilation, dust collectors and inhibitors. Open Pit: Dust repressant sprays.	Environmental and safety training of staff for good in-house practices, proper protective equipment, greater automation dust collectors, vacuum equipment, good ventilation.	Unit trains and distribution centres for aggregates truck routes. Zoning plans. Special handling equipment, dust collectors, covered cars, spraying.
Pollutants	Trenching, drilling, access routes, line cutting, abandoned equipment.	Open Pits and Quarries: Tailings disposal, clearing of overburden and vegetation. Roads and access routes. Waste piles. Sub-sidence. Impact of poorly designed townships. Rock waste from underground mining.	Tailings Dams and Ponds: Dust, contamination from seepage and spills. Un-sightly stockpiles, e.g., sulphur. Waste dumps, e.g., salt tailings from potash production. Alumina production: Red mud waste.
Effects	Erosion, scarring (minor), vegetation damage, permafrost damage in Arctic, disruption of natural drainage.	Limited sequential land use possibilities, health hazard from contaminated water. Aesthetics. Permafrost damage in Arctic.	Wide roads for heavy vehicles and associated borrow pits. Dust. Unnecessary clearing. Spills from derailments and road accidents. Arctic: Problem of road, port, airstrip construction.
Effects		Waste lands created by tailings areas. Land contamination by leaching and run-off from tailings and waste dumps. Permafrost damage in Arctic.	Opens wilderness areas to possible degradation. Heavy traffic destructive to highways. Permafrost damage in Arctic.

LAND

Table 'cont'd.)

Area of Environmental Impact	Primary Stages of Mineral Production		
	Exploration	Mining	Beneficiation and Storage
Corrective Measures	Reclamation, plug drill-holes where necessary. Proper design of access roads. Generally good housekeeping practices.	Reclamation, proper design of tailings areas (conservation of top soil, revegetation, backfilling, etc.). Possible sequential land use. Use of waste material, e.g., construction aggregates. Reduce subsidence by fill methods and proper planning of pillars.	Stabilization of tailings area, e.g., revegetation, landscaping. Proper dam construction and operation. Impermeable dams, downstream ponds, drainage water recycle. Zoning of operation with respect to urban areas, e.g., aggregates, cement plants, etc. Dust control.
Pollutants	Suspended solids from erosion. Salt exploration: brine from drilling into aquifers.	Suspended solids from mine water, seepage from tailings areas, heavy metals, pH from metal mines, alteration of water table.	Water transport: Suspended solids ² . Colouration (iron ore) at shipping terminals. Spills from derrails and road accidents. Possible problem from slurry pipelines.
Effects	Contamination of streams and ground water.	Harmful to water for human consumption and to aquatic life.	Harmful to aquatic life. Food chain effects. Possible hazard to human health.
Corrective Measures	Reclamation. Plug drill holes where necessary.	Treatment for mine water. Good design of tailings areas.	Care in handling. Special loading equipment. Better railcar and track maintenance. Treatment or recycling of pipeline water.

Recycling mine water in milling in integrated operations¹

Table 1. (concl'd.)

Area of Environmental Impact	Primary Stages of Mineral Production		
	Mining	Beneficiation and Storage	Transportation
Pollutants	Wind-blown dust. Gases from fuel-burning equipment. Dust from drilling, blasting.	Dust, airborne particulates. Gases, odours, evaporation from tailings ponds. SO ₂ from concentrate drying. Heavy metals. Thermal power generation: hydrocarbons, SO ₂ , NO _x .	Airborne particulates from loading material being transported and from road surface.
Effects	Generally minor.	Possible respiratory effects. Rain washing of particulates affects vegetation and soil. Increased costs from corrosion, dirt, etc. If close to urban areas, health effects from asbestos fibres.	Minor.
Corrective Measures	Dust collectors and sprays where necessary. Revegetation.	Collection systems for dust and particulates. Stabilization of tailings dumps.	Covered shipments or sprays where necessary. Stabilization of road surface. Dust collection, on handling equipment.

¹ Canadian copper and nickel producers recycle over 80 per cent of process water; other base metal producers recycle 60 per cent. ² Water transport significant for crushed stone, cement, iron ore.

Table 2. Environmental impact of secondary stages of mineral production

Area of Environmental Impact	Mineral Production Activity		
	Nonferrous Metals, Smelting and Refining	Iron and Steelmaking	Non-metallic minerals, fabrication
Pollutants	Copper, Nickel, Lead, Zinc and Others	Dust, SO ₂ , CO, Hydrocarbon derivatives, heat, noise, acid mist.	Smelting: Particulates, asbestos, noise. Asbestos: Fibre and dust problem.
Effects	Respiratory diseases, cancer.	Possible respiratory effects and lethal accidents. Cancer.	Respiratory diseases and cancer.
Corrective Measures	Dust collectors, scrubbers. Adequate ventilation systems.	Dust collectors, scrubbers. Adequate ventilation systems.	Adequate ventilation systems. Face masks. Vacuum equipment.
Pollutants Disturbance	Accumulated slag and metallic oxide, dust, sulphide leaching of slag.	SO ₂ and particulate rain from stack plumes, slag heaps.	Miscellaneous waste materials. Unsightly product storage yards, dust.
Effects	Contamination by leaching. Aesthetic effects of waste dumps and areas.	Aesthetics. Burning of trees and vegetation, soil contamination by heavy metals. Corrosion of materials.	Aesthetics, limitations on land use.
Corrective Measures	Use slag for land fill, cement, aggregate, etc. Iron dust can be pelletized and recycled, dust control, reclamation.	Use slag for land fill and road bed aggregates. Stack gas treatment. Process modification, reclamation.	Zoning for plants, dust control, reclamation.

LAND

Table 2. (cont'd.)

Area of Environmental Impact	Mineral Production Activity		
	Nonferrous Metals, Smelting and Refining	Iron and Steelmaking	Non-metallic Minerals, Fabrication
Pollutants	Copper, Nickel, Lead, Zinc and Others	Pickling Acids (HCl, H ₂ SO ₄ , H, HNO ₃) sludges, ether solubles. Suspended solids, bod, phenols cyanides, heavy metals, phosphates. Heat pollution, NH ₃ leaching from slag.	Smelting: Suspended solids from slag, leaching, fluorides, ether acid rain, mercury. Refining: Suspended solids, pH, toxicity, leaching and electrolytic waste solutions, heavy metals, leaching solutions.
Effects	Harmful to aquatic life, possible pollution of potable water supply.	Harmful to aquatic life, acid build-up in lakes and other toxic substances, e.g., heavy metals. Can affect potability of water.	Harmful to aquatic life. Transport of ponded solids to suitable disposal areas. Develop uses for waste materials.
Corrective Measures	Recycle HCl. Eliminate H ₂ SO ₄ . Cleaning of steel. Suspended solid removal systems, pollution control equipment, chemical treatment, process changes.	Process water treatment and recycling. Recover SO ₂ and particulates from stack gases. Process changes.	Eliminate wet scrubbers and dry scrub fluorides with alumina packed bed filters.
Pollutants	Coke ovens: SO ₂ , particulates, hydrocarbons, (corrosive gases and dust), airborne dust (noxious gases and dust). Blast furnaces: H ₂ S from slagging, particulates. Steelmaking: Particulates, fluorides, Cd, CO, acid fumes, hydrocarbons, SO ₂ .	Smelting: SO ₂ , particulates, heavy metals (As, Cd, Hg, Pb, Zn). Lead: Lead fumes, mercury. Refining: Particulates, fumes. Zinc: Acid fumes, ZnSO ₄ fumes. Nickel hydrometallurgy: NH ₃ .	Smelting: Particulates, fluorides, hydrocarbons, SO ₂ . Refining: Particulates, Cd, SO ₂ (drying fuel)

WATER

AIR

Area of Environmental Impact	Mineral Products, Metallurgy		
	Iron and Steelmaking	Nonferrous Metals, Smelting and Refining Copper, Nickel, Lead, Zinc and Others	Aluminum
Effects	Corrosion of metal surfaces and building facades, blackening, paint deterioration.	Respiratory diseases, transport of SO ₂ pollution, vegetation damage.	Fluorides toxic to some vegetation, direct effect on humans, food chain, accumulation of fluorides.
Corrective Measures	Wash scrubbing at source, new types of coke ovens, process change, material substitution.	Recover SO ₂ from stack gases, baghouses, electrostatic precipitators, scrubbers, zoning of plant with respect to urban development, process modification.	Wet scrub fluorides. Dust collectors.

Non-metallic Minerals, Fabrication

Minor health hazards.

Fuentes: Energy, Mines, and Resources Commission - MA 163 Environmental
 MIMES's and The Environment, and Environmental Protection Society.

ANEXO 3: CUADROS ESTADÍSTICOS DE PRODUCCION Y COMERCIO EXTERIOR DE MINERALES Y METALES

CUADRO I

RESERVAS Y TASA DE UTILIZACION DE MINERALES

PRODUCTOS	Unidad (Toneladas)	RESERVAS TOTALES (1985)		RESERVAS EN AÑOS (1)		
		Total Mundial	Participación América Latina %	Mundial	América Latina	Participación América Latina en la producción mundial %
Antimonio	Miles	4 305	15.1	76	50	22.7
Asbesto	Miles	123 100	4.6	20	20	4.5
Bauxita	Millones	23 400	26.8	91	190	12.9
Bismuto	Toneladas	95 000	74.9	30	17	44.7
Cobalto	Miles	3 665	1.2	60	22	3.3
Cobre	Miles	550 800	35.8	50	119	15.1
Cromo	Millones	3 541	0.2	326	20	5.2
Estaño	Miles	3 080	8.4	13	4	26.8
Fluorita	Miles	303 000	17.3	34	32	18.4
Hierro	Millones	88 904	13.3	159	93	22.7
Litio	Miles	2 194	59.2	146	105	46.7
Manganeso	Millones	1 835	2.3	78	21	8.5
Mercurio	Toneladas	186 600	5.1	19	21	4.7
Molibdeno	Miles	9 480	34.0	82	134	20.8
Níquel	Miles	100 697	29.6	126	406	9.3
Oro	Toneladas	45 100	4.1	24	13	7.8
Plata	Toneladas	335 918	25.0	24	16	36.5
Platino	Toneladas	36 700	0.1	304	38	0.8
Plomo	Miles	135 000	6.3	23	21	6.8
Tungsteno	Miles	2 635	4.1	64	33	8.0
Zinc	Miles	300 000	9.0	42	51	7.5

Fuente: Cuadro N°1 y Estudios e Informes de la CEPAL N°48.

(1) Duración de las reservas calculada según el nivel de producción de 1989.

Cuadro II

PRODUCCION MUNDIAL Y DE AMERICA LATINA, DE LOS PRINCIPALES MINERALES

METAL	UNIDAD	1960	%	1980	%	1985	%	1989	%	Tasas promedio de crecimiento			
										1960-1980	1980-1985	1980-1989	1985-1989
Aluminio (ref.) Miles ton.	Mundo	4 522.3	100.0	16 035.3	100.0	15 514.5	100.0	17 750.1	100.0	6.53%	-0.66%	1.14%	3.42%
	A.Latina	18.2	0.4	816.4	5.1	1 163.7	7.5	1 691.9	9.5	20.95%	7.35%	8.43%	9.81%
	Argentina	-	-	133.1	0.8	139.9	0.9	162.0	0.9	1.00%	1.00%	2.21%	3.73%
	Brasil	18.2	0.4	260.6	1.6	549.2	3.5	887.9	5.0	14.24%	16.08%	14.59%	12.76%
	México	-	-	62.6	0.3	42.7	0.3	84.0	0.5	0.05%	0.05%	7.84%	10.42%
	Suriname	-	-	54.9	0.3	28.8	0.2	12.0	0.1	-12.11%	-15.55%	-15.55%	-19.66%
	Venezuela	-	-	325.2	2.0	403.1	2.6	546.0	3.1	4.30%	4.30%	5.93%	7.98%
Cobre (ref.) Miles ton.	Mundo	4 572.2	100.0	9 253.1	100.0	9 733.9	100.0	10 926.5	100.0	3.59%	1.02%	1.86%	2.73%
	A.Latina	729.7	16.0	1 175.5	12.7	1 354.7	13.9	1 647.0	15.1	2.41%	2.88%	3.82%	5.01%
	Brasil	1.2	0.0	38.9	0.4	120.8	1.2	207.8	1.9	18.90%	25.44%	20.46%	14.52%
	Chile	504.8	11.0	810.7	8.8	884.3	9.1	1 071.0	9.8	2.40%	1.75%	3.14%	3.91%
	México	58.8	1.3	102.4	1.1	122.6	1.3	143.9	1.3	2.81%	2.81%	3.05%	3.67%
	Peru	104.8	2.3	223.5	2.4	227.0	2.3	224.3	2.1	1.34%	0.31%	0.04%	0.02%
	Mundo	192.3	4.2	244.9	2.6	217.2	2.2	232.1	2.1	1.07%	2.37%	0.61%	1.87%
Estaño (ref.) Miles ton.	Mundo	244 600.0	100.0	515 195.0	100.0	498 638.0	100.0	539 328.0	100.0	3.79%	-0.85%	0.92%	2.91%
	A.Latina	23 300.0	9.5	85 457.0	17.2	100 748.0	20.2	126 992.0	22.7	6.84%	2.62%	4.10%	5.45%
	Argentina	-	-	395.0	0.1	496.0	0.1	437.0	0.1	4.03%	4.03%	1.13%	0.63%
	Bolivia	3 400.0	1.4	62 200.0	12.1	78 323.0	15.7	102 241.0	18.3	15.64%	4.71%	5.67%	6.82%
	Brasil	3 400.0	1.4	7 460.0	1.4	3 683.0	0.7	5 267.0	0.9	3.71%	-13.17%	-3.79%	9.36%
	Colombia	500.0	0.2	4 000.0	0.8	5 161.0	1.0	5 013.0	0.9	-2.10%	-2.10%	1.90%	7.33%
	México	3 100.0	1.3	3 820.0	0.7	3 329.0	0.7	2 538.0	0.5	-1.05%	-2.74%	-4.46%	-0.70%
Mundo	12 750.0	5.2	10 334.0	2.0	9 561.0	1.9	11 243.0	2.0	-1.03%	1.54%	0.92%	4.05%	
Hierro (scant.) Miles ton.	Mundo	325.7	100.0	742.2	100.0	766.7	100.0	802.3	100.0	4.20%	0.65%	0.87%	1.14%
	A.Latina	12.9	4.0	39.9	5.2	66.1	8.6	76.7	9.3	5.66%	11.19%	7.52%	3.11%
	Brasil	0.1	0.0	2.5	0.3	13.2	1.7	13.7	1.7	17.75%	39.48%	20.81%	0.93%
	Colombia	-	-	-	-	11.4	1.5	16.0	2.0	-	-	-	-
	Cuba	12.8	3.9	20.0	2.7	16.1	2.1	18.9	2.4	-	-	-	-
	Rep. Dominicana	-	-	16.4	2.2	25.4	3.3	26.1	3.3	-	-	-	-
	Mundo	325.7	100.0	742.2	100.0	766.7	100.0	802.3	100.0	4.20%	0.65%	0.87%	1.14%

Fuente: Cepal, sobre la base de: World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics Yearbook, 1987 y 1990. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, "Examen de las Estadísticas del Mineral de Hierro", ID/B/C/1/IRON 085/3, 25 de Julio de 1990; "Iron Ore: Features of the World Market, Statistical Annex", ID/B/PC/IR/CAE/2/A.1, 8 August 1977. U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook", 1983.

(Cont.)

PRODUCCION MUNDIAL Y DE AMERICA LATINA, DE LOS PRINCIPALES MINERALES

METAL	UNIDAD	Tasas promedio de crecimiento												
		1960	%	1960	%	1985	%	1989	%	1980-1985	1985-1989	1985-1989		
Oro	Mundo	1 402.8	100.0	1 188.0	100.0	1 480.5	100.0	1 866.9	100.0	-0.83%	4.50%	5.15%	5.97%	
	A.Latina	45.5	3.2	61.5	5.2	119.4	8.1	165.2	7.8	1.51%	14.19%	10.02%	5.01%	
	Argentina	0.1	0.0	-	-	0.9	0.1	-	-	-	-	-	-	
	Bolivia	1.4	0.1	1.5	0.1	0.6	0.0	3.0	0.2	2.30%	7.72%	8.01%	2.67%	
	Brasil	5.6	0.4	13.8	1.2	29.7	2.0	60.0	3.2	4.61%	16.57%	19.22%	49.53%	
	Chile	1.7	0.1	5.8	0.6	17.2	1.2	20.6	1.1	7.21%	21.39%	3.84%	19.22%	
	Colombia	13.5	1.0	15.5	1.3	35.5	2.4	29.6	1.6	3.69%	3.35%	7.45%	3.84%	
	Ecuador	0.5	0.0	-	-	9.4	0.6	10.0	0.5	-	-	-	4.44%	
	México	9.3	0.7	5.1	0.5	7.5	0.5	8.5	0.5	2.11%	6.22%	3.76%	1.56%	
	Nicaragua	0.5	0.5	1.9	0.2	0.8	0.1	1.0	0.1	5.99%	15.99%	6.88%	3.18%	
	Perú	4.4	0.3	3.9	0.3	6.6	0.4	4.3	0.2	0.99%	1.09%	5.74%	3.18%	
	Rep. Dominicana	3.0	0.2	1.5	1.0	10.2	0.7	6.8	0.3	4.05%	1.09%	10.16%	5.74%	
	Venezuela	1.5	0.1	3.5	0.3	1.9	0.1	1.0	0.1	5.27%	1.89%	9.64%	1.56%	
	Otros	1.3	0.1	-	-	-	-	-	-	5.27%	1.89%	8.01%	1.56%	
	Plata	Mundo	7 495.9	100.0	10 826.6	100.0	13 307.1	100.0	14 192.0	100.0	1.88%	4.37%	3.01%	1.52%
A.Latina		2 734.7	36.5	3 632.7	33.6	4 846.4	36.4	5 174.3	36.5	1.43%	5.35%	4.31%	1.65%	
Argentina		52.0	0.7	73.3	0.7	90.0	0.7	81.6	0.6	1.75%	4.72%	1.20%	1.42%	
Bolivia		152.0	2.0	189.7	1.7	111.4	0.8	257.0	1.8	1.11%	1.10%	3.43%	2.42%	
Brasil		7.9	0.1	44.5	0.4	66.5	0.5	64.0	0.5	8.37%	4.12%	3.42%	23.24%	
Chile		44.6	0.6	298.5	2.7	517.6	3.9	490.5	3.5	9.05%	11.64%	5.67%	0.95%	
Colombia		4.2	0.1	4.1	0.0	5.2	0.0	6.7	0.0	-0.09%	4.87%	5.61%	1.34%	
Honduras		91.7	1.2	53.5	0.5	80.7	0.6	50.0	0.4	2.66%	8.57%	0.75%	6.54%	
México		1 384.9	18.5	1 556.8	14.3	2 153.0	16.2	2 359.0	16.6	0.59%	6.70%	4.73%	2.31%	
Nicaragua		10.2	0.1	5.1	0.0	2.0	0.0	0.8	0.0	-3.39%	-17.07%	-18.60%	-20.47%	
Perú		936.6	12.8	1 339.8	12.3	1 769.8	13.3	1 839.9	13.0	1.70%	5.72%	3.56%	0.98%	
Rep. Dominicana		-	-	60.5	0.6	49.2	0.4	23.5	0.2	-1.05%	-9.97%	-16.87%	-16.87%	
Otros		30.7	0.4	6.9	0.1	1.0	0.0	1.3	0.0	-7.20%	-32.04%	-16.93%	6.78%	
Plomo (ref.)		Mundo	2 322.4	100.0	5 424.2	100.0	5 700.0	100.0	5 749.3	100.0	4.33%	1.00%	0.65%	0.22%
		A.Latina	296.9	12.8	380.1	7.0	413.2	7.2	393.4	6.8	1.24%	1.68%	0.38%	-1.22%
	Argentina	23.7	1.1	41.7	0.8	28.7	0.5	25.5	0.4	2.45%	-7.20%	-5.32%	-2.91%	
	Brasil	10.0	0.4	85.0	1.6	72.9	1.3	88.3	1.5	11.31%	3.02%	4.42%	4.91%	
	México	186.2	8.0	149.1	2.7	201.9	3.5	182.2	3.2	-1.11%	6.25%	2.25%	-2.53%	
	Perú	74.1	3.2	87.3	1.6	83.3	1.5	73.4	1.3	0.82%	-0.93%	-1.91%	-3.11%	
	Venezuela	-	-	10.0	0.2	20.0	0.4	18.0	0.3	14.87%	6.75%	-2.60%	-2.60%	
	Otros	0.9	0.0	7.0	0.1	6.4	0.1	6.0	0.1	10.87%	-1.70%	-1.70%	-1.60%	
	Zinc (slab)	Mundo	3 039.1	100.0	6 160.0	100.0	6 837.2	100.0	7 166.5	100.0	3.60%	2.11%	1.70%	1.18%
		A.Latina	101.3	3.3	326.7	5.3	494.0	7.2	534.6	7.5	4.03%	8.62%	5.62%	1.99%
		Argentina	16.0	0.5	38.7	0.6	30.4	0.4	31.5	0.4	-4.52%	4.71%	-2.26%	0.89%
		Brasil	52.9	1.7	145.4	2.4	184.4	2.7	216.6	3.0	5.18%	8.06%	8.17%	8.31%
		México	32.4	1.1	63.8	1.0	163.1	2.4	128.7	1.8	4.87%	4.87%	4.53%	4.11%
		Perú	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Otros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinc (ref.)		Mundo	2 322.4	100.0	5 424.2	100.0	5 700.0	100.0	5 749.3	100.0	4.33%	1.00%	0.65%	0.22%
		A.Latina	296.9	12.8	380.1	7.0	413.2	7.2	393.4	6.8	1.24%	1.68%	0.38%	-1.22%
		Argentina	23.7	1.1	41.7	0.8	28.7	0.5	25.5	0.4	2.45%	-7.20%	-5.32%	-2.91%
		Brasil	10.0	0.4	85.0	1.6	72.9	1.3	88.3	1.5	11.31%	3.02%	4.42%	4.91%
		México	186.2	8.0	149.1	2.7	201.9	3.5	182.2	3.2	-1.11%	6.25%	2.25%	-2.53%
		Perú	74.1	3.2	87.3	1.6	83.3	1.5	73.4	1.3	0.82%	-0.93%	-1.91%	-3.11%
		Venezuela	-	-	10.0	0.2	20.0	0.4	18.0	0.3	14.87%	6.75%	-2.60%	-2.60%
		Otros	0.9	0.0	7.0	0.1	6.4	0.1	6.0	0.1	10.87%	-1.70%	-1.70%	-1.60%

Fuente: Cepal, sobre la base de: World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics Yearbook", 1987 y 1990
 Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, "Examen de las Estadísticas del Mineral de Hierro",
 TD/B/C.1/IRON 082/3, 25 de julio de 1990; U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook", 1983

(Cont.)

PRODUCCION MUNDIAL Y DE AMERICA LATINA, DE LOS PRINCIPALES MINERALES

METAL	UNIDAD	Tasas promedio de crecimiento											
		1960	%	1980	%	1985	%	1989	%	1980-1985	1985-1989	1985-1989	
Arenita (cont.)	Mundo	53 342.2	100.0	63 212.0	100.0	56 111.0	100.0	56 676.0	100.0	0.85%	-2.35%	-1.21%	0.25%
	A.Latina	10 683.4	19.7	18 908.0	29.9	14 053.0	25.0	12 879.0	22.7	2.79%	-5.76%	-4.18%	-2.16%
	Bolivia	5 327.0	10.0	15 463.0	24.5	8 925.0	15.9	9 332.0	16.5	5.47%	-10.41%	-5.46%	1.12%
	Brasil	-	-	28.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	Guatemala	108.0	0.2	556.0	0.9	90.0	0.2	1 335.0	2.4	8.54%	-30.52%	10.22%	96.25%
	Honduras	-	-	28.0	0.0	320.0	0.6	-	-	62.78%	-	-	-
Bismuto (cont.)	Mundo	4 231.1	7.9	2 176.0	3.4	4 266.0	7.6	2 200.0	3.9	-3.27%	14.41%	0.12%	-15.26%
	A.Latina	817.4	1.5	655.0	1.0	452.0	0.8	12.0	0.0	-1.10%	-7.15%	-35.89%	-59.63%
	México	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Perú	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mundo	2 404.1	100.0	3 608.7	100.0	4 247.1	100.0	3 156.1	100.0	2.05%	3.31%	-1.48%	-7.15%
	A.Latina	873.8	36.3	1 271.0	35.2	1 281.4	30.2	1 411.4	44.7	1.59%	0.16%	1.17%	2.45%
Cadmio (ref.)	Mundo	11 476.0	100.0	18 691.4	100.0	19 485.7	100.0	20 960.4	100.0	2.47%	0.85%	1.28%	1.84%
	A.Latina	165.1	1.4	1 087.0	5.8	1 594.5	8.2	2 008.2	9.6	9.95%	7.92%	7.05%	5.54%
	Argentina	-	-	18.0	0.1	46.0	0.2	263.0	1.4	20.64%	10.97%	10.97%	0.00%
	Brasil	-	-	40.0	0.2	223.6	1.1	283.2	1.4	41.09%	24.29%	24.29%	6.09%
	México	81.2	0.7	857.0	4.6	904.9	4.6	1 207.0	5.8	12.51%	1.09%	3.88%	7.47%
	Perú	83.9	0.7	172.0	0.9	420.0	2.2	472.0	2.3	3.65%	19.55%	11.87%	2.96%
Cromo (crómica y concentrada)	Mundo	4 431.6	100.0	9 578.3	100.0	9 545.6	100.0	10 862.6	100.0	3.93%	-0.07%	1.41%	3.28%
	A.Latina	35.6	0.8	341.1	3.6	302.0	3.2	350.0	3.2	11.95%	-2.41%	0.29%	3.76%
	Brasil	5.7	0.1	313.1	3.3	264.3	2.8	290.0	2.7	22.21%	-3.33%	-0.85%	2.76%
	Cuba	29.7	0.7	28.0	0.3	37.7	0.4	60.0	0.6	6.13%	8.84%	8.84%	12.32%
	Otros	0.3	0.0	-	-	-	-	-	-	-0.30%	-	-	-
	Mundo	93.0	100.0	319.1	100.0	329.0	100.0	349.5	100.0	6.35%	0.61%	1.02%	1.52%
Manganeso (minerales y conc.)	Mundo	13 570.5	100.0	25 865.7	100.0	23 883.6	100.0	23 472.3	100.0	3.28%	-1.58%	-1.07%	-0.43%
	A.Latina	1 352.4	10.0	3 240.0	12.5	2 532.4	10.6	1 995.1	8.5	4.47%	-4.81%	-2.24%	-5.79%
	Argentina	22.0	0.2	6.1	0.0	1.7	0.0	2.6	0.0	-6.21%	-22.55%	-9.04%	11.21%
	Bolivia	-	-	0.9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	Brasil	999.2	7.4	3 064.3	11.8	2 320.1	9.7	1 800.0	7.7	5.73%	-5.29%	-5.67%	-6.15%
	Chile	45.9	0.3	27.7	0.1	35.6	0.1	43.7	0.2	-2.49%	5.15%	5.20%	5.26%
Molibdeno (cont.)	México	155.5	1.1	161.0	0.6	175.0	0.7	148.8	0.6	0.17%	1.68%	-0.87%	-3.97%
	Otros	129.8	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mundo	40.4	100.0	114.6	100.0	98.5	100.0	115.6	100.0	5.35%	-2.95%	0.09%	4.07%
	A.Latina	1.9	4.7	16.9	14.7	26.4	26.8	24.0	20.8	11.51%	9.33%	3.97%	-2.35%
	Chile	1.9	4.6	13.7	12.0	18.4	18.7	16.6	14.4	10.52%	6.08%	2.16%	-2.54%
	México	0.1	0.1	0.5	0.4	4.3	4.4	4.2	3.6	11.20%	53.76%	26.68%	-0.94%
Perú	-	-	2.7	2.4	3.7	3.8	3.2	2.8	-	-	-	-	

Fuente: Cepal, sobre la base de: World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics Yearbook", 1987 y 1990

(Cont.)

CONCLUSIÓN Cuadro II)

PRODUCCION MUNDIAL Y DE AMERICA LATINA, DE LOS PRINCIPALES MINERALES

METAL	UNIDAD	Tasas promedio de crecimiento											
		1960	1960	1965	1969	1980-1980	1980-1985	1980-1989	1985-1989				
Platino (cont.)	Mundo	41.0	100.0	103.4	100.0	108.2	100.0	120.8	100.0	4.73%	0.91%	1.74%	2.79%
	A.Latina	0.9	2.3	5.6	5.4	0.4	0.4	1.0	0.8	9.41%	-41.01%	-17.42%	25.74%
	Colombia	0.9	2.3	5.6	5.4	0.4	0.4	1.0	0.8	9.41%	-41.01%	-17.42%	25.74%
Titanio(cont.) Miles ton.	Mundo	2 105.7	100.0	3 440.5	100.0	3 237.7	100.0	3 728.3	100.0	2.49%	-1.21%	0.90%	3.59%
	A.Latina	0.2	0.0	9.8	0.3	37.5	1.2	90.0	2.4	21.02%	30.79%	27.94%	24.47%
	Brasil	0.2	0.0	9.8	0.3	37.5	1.2	90.0	2.4	21.02%	30.79%	27.94%	24.47%
Tungsteno (cont.) Toneladas	Mundo	65 498.4	100.0	54 146.0	100.0	46 158.0	100.0	41 063.5	100.0	-0.95%	-3.14%	-3.03%	-2.89%
	A.Latina	5 321.5	2.1	4 298.0	7.9	3 830.0	8.3	3 275.0	8.0	-1.06%	-2.28%	-2.95%	-3.84%
	Argentina	810.1	1.2	4.0	0.0	21.0	0.0	40.0	0.1	-23.32%	39.33%	29.15%	17.48%
	Bolivia	2 153.0	3.3	2 662.0	4.9	1 672.0	3.6	1 135.0	2.8	1.07%	-8.89%	-9.04%	-9.25%
	Brasil	1 693.7	2.6	838.0	1.5	1 090.0	2.4	791.0	1.9	-3.46%	5.40%	-0.65%	-7.73%
	México	179.6	0.3	211.0	0.4	276.0	0.6	200.0	0.5	0.81%	5.32%	-0.59%	-7.74%
Uranio (cont.) Toneladas	Mundo	17 312.3	100.0	43 917.0	100.0	35 219.0	100.0	69 773.0	100.0	0.82%	-4.32%	5.23%	18.64%
	A.Latina	6.4	0.0	187.0	0.4	208.0	0.6	34 895.0	50.0	18.43%	2.15%	78.75%	259.89%
	Argentina	6.4	0.0	187.0	0.4	136.0	0.4	95.0	0.1	18.43%	-6.17%	-7.25%	-8.53%
Brasil	72.0	0.2	34 800.0	49.9	.	.	.	368.89%	

Fuente: Cepal, sobre la base de: World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics Yearbook", 1990.
U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook", 1963

CUADRO III

AMERICA LATINA: PRODUCCION Y CONSUMO DE METALES, 1986

(Porcentajes)

PRODUCTOS	Grado de elaboración de la producción minera	Participación en la producción mundial de metales	Consumo (1) a producción mundial de metales
Antimonio	14.8	4.0	205.0
Bauxita	27.9	6.0	65.0
Bismuto	41.7	17.0	108.2
Cadmio	26.6	2.1	166.7
Cobre	69.2	18.0	35.6
Cromo	93.8	3.0	143.3
Estaño	92.0	23.0	21.7
Hierro	20.2	4.0	77.5
Litio	4.7	1.0	129.0
Manganeso	84.6	11.0	101.8
Mercurio	13.8	0.8	662.5
Molibdeno	4.0	1.0	280.0
Níquel	39.4	5.0	44.0
Oro	20.6	2.0	110.0
Plomo	55.6	8.0	97.5
Selenio	11.6	1.0	150.0
Tungsteno	41.7	3.0	113.3
Uranio	80.0	0.4	200.0
Vanadio	100.0	1.3	130.8
Zinc	42.2	7.0	80.0

Fuente: Cuadro N°2 y Minería año 2000 - La dependencia del desarrollo minero-metalúrgico en América Latina y el Caribe, LC/R.808, 13 de octubre de 1989

(1) Utilización industrial

PRODUCTO BRUTO INTERNO POR RAMAS DE ACTIVIDAD ECONOMICA
ESTRUCTURA PORCENTUAL DE AMERICA LATINA PARA
MINAS Y CANTERAS

PAIS	1961	1961	1961	1961	1965	1961	1965	1961	1965	1961	1965	1961	1965	1961	1965	1961	1965	1961	1965
Argentina	2.8	2.9	2.3	2.5	2.5	2.4	2.6	2.7	2.9	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Bolivia	14.1	13.2	11.2	11.2	11.2	11.2	16.5	16.8	16.8	16.5	16.5	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2
Brasil	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
Colombia	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
Costa Rica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chile	5.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
Ecuador	3.52	7.28	3.91	3.91	3.91	3.91	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
Guatemala	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Haiti	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Honduras	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Mexico	4.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Nicaragua	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Panamá	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Paraguay	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Peru	6.7	5.01	7.11	1.31	5.3	5.3	15.2	14.2	14.1	14.1	14.1	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
R. Dominicana	3.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
Uruguay	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
Venezuela	1.32	2.12	7.12	6.02	4.0	4.0	22.0	22.1	22.1	22.1	22.1	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
SUB-TOTAL	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Barbados	0.9	0.9	1.1	1.2	1.2	1.2	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Guyana	8.8	8.8	9.5	8.7	8.7	8.7	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
Jamaica	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
Trinidad Tobago	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6
AMERICA LATINA	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

Cuadro IV

PRODUCTO BRUTO INTERNO POR RAMAS DE ACTIVIDAD ECONOMICA
ESTRUCTURA PORCENTUAL DE AMERICA LATINA PARA
MINAS Y CANTERAS

PAIS	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Argentina	2.2	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3
Bolivia	17.3	18.4	20.0	21.7	20.2	18.6	17.9	17.8	17.0	15.6	15.8
Brasil	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1
Colombia	4.8	4.4	4.4	4.3	3.0	3.1	2.9	2.4	2.1	2.0	2.3
Costa Rica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chile	7.9	7.6	7.4	7.6	9.2	9.3	10.0	9.5	8.9	8.7	9.6
Ecuador	1.1	1.6	15.1	31.4	26.5	21.4	23.1	21.2	22.1	22.1	21.2
El Salvador	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Guatemala	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7
Haiti	2.2	2.4	2.0	2.2	2.2	1.6	1.9	1.9	1.6	1.4	1.3
Honduras	2.2	2.4	2.5	3.0	2.5	2.1	2.1	2.5	2.5	2.5	2.1
Mexico	2.6	2.5	2.4	2.3	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.9	3.2
Nicaragua	2.2	3.3	2.6	2.9	3.2	3.2	1.5	3.6	2.4	1.1	0.7
Panamá	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Paraguay	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
Peru	10.9	9.8	10.1	10.0	9.7	8.6	8.9	10.7	14.0	15.5	15.2
R. Dominicana	1.1	1.3	4.3	6.0	6.2	6.5	7.4	6.9	5.4	6.6	5.3
Uruguay	1.1	1.9	1.1	1.1	1.2	1.0	0.8	1.1	1.1	1.3	1.4
Venezuela	4.1	3.7	3.1	3.0	3.7	28.8	26.4	24.6	23.9	25.4	24.5
SUB-TOTAL	7.9	7.0	6.5	6.6	6.0	5.1	4.9	4.8	4.8	4.9	4.7
Barbados	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7
Guyana	25.0	23.5	21.6	20.5	20.5	18.6	16.1	16.8	15.3	14.2	14.8
Jamaica	10.7	11.1	10.8	12.4	14.0	11.3	9.8	11.8	12.1	12.2	14.2
Trinidad Tobago	42.1	39.6	40.5	44.2	46.2	49.3	47.3	46.8	44.4	42.0	39.6
AMERICA LATINA	7.9	7.3	6.8	7.0	6.4	5.5	5.3	5.2	5.2	5.2	5.0

(CONT.)

FORMACION DE CAPITAL EN EL SECTOR MINERO

	Tasa anuales de crecimiento 1970-1969		Coeficientes de correlación (Núm. índice)		
	Capital total	Capital sector minero	Capital minero (Y) a capital total (X)		
	%	%	(a)	(b)	R ²
AMERICA LATINA Y EL CARIBE	3.5	1.5	68.14	0.285	0.73
Argentina	1.4	2.1	-51.46	1.475	0.08
Barbados	2.1	15.6	-2473.79	24.926	0.11
Bolivia	2.1	2.2	47.24	0.704	0.15
Brasil	5.6	7.2	-119.50	1.668	0.00
Colombia	4.6	7.3	-148.28	1.879	0.04
Chile	2.6	3.6	-62.33	1.654	0.04
Ecuador	6.3	25.8	-210.18	24.145	0.75
El Salvador	2.2	1.4	39.21	0.474	0.68
Guatemala	3.2	12.1	-1335.38	12.084	0.03
Guyana	1.1	0.0	100.00	0.609	1.00
Haití	2.4	1.1	97.52	0.148	0.04
Honduras	3.8	2.9	47.86	0.673	0.08
Jamaica	0.7	1.8	-218.84	3.195	0.74
México	4.0	5.9	20.20	1.573	0.93
Micaragua	2.0	0.7	58.20	0.386	0.83
Panamá	3.8	4.2	14.11	1.041	0.91
Paraguay	6.0	16.6	-14.03	5.062	0.45
Perú	2.8	3.8	-102.80	1.918	0.79
Rep. Dominicana	10.5	4.9	-104.36	3.588	0.72
Trinidad y Tabago	3.7	4.9	-44.83	1.404	0.93
Venezuela	0.5	0.0	100.00	0.000	1.00

Fuente: Cuadros N°3, 4 y 5

AMERICA LATINA: EVOLUCION DE SU PARTICIPACION EN EL COMERCIO EXTERIOR

CUCI, Rev.2 y 3

(Porcentajes)

	1970	1980	1983	1985	1986	1988
I. EXPORTACIONES						
1. Totales	5.77	5.39	5.88	5.65	4.23	3.89
2. Minerales, metales y manufacturas de base minera (27, 28,67, 68, 691-695, 699 y 812)	7.11	5.67	6.05	7.50	8.05	6.90
3. Minerales (27 y 28)	15.20	12.71	17.01	14.24	14.95	13.28
II. IMPORTACIONES						
1. Totales	5.77	6.30	6.15	4.79	-	4.07
2. Minerales, metales y manufacturas de base minera (27, 28,67, 68, 691-695, 699 y 812)	4.25	4.90	4.55	3.60	-	3.30
3. Minerales (27 y 28)	1.06	2.77	2.10	3.48	-	3.46
Números índice						
I. EXPORTACIONES						
1. Totales	100	93	102	98	73	67
2. Minerales, metales y manufacturas de base minera (27, 28,67, 68, 691-695, 699 y 812)	100	80	85	105	113	97
3. Minerales (27 y 28)	100	84	112	94	98	87
II. IMPORTACIONES						
1. Totales	100	109	107	83	-	71
2. Minerales, metales y manufacturas de base minera (27, 28,67, 68, 691-695, 699 y 812)	100	115	107	85	-	78
3. Minerales (27 y 28)	100	261	198	326	-	326
COMERCIO INTRARREGIONAL						
1. Totales	16.6	21.3	20.4	11.9	16.8	14.1
2. Minerales, metales y manufacturas de base minera (27, 28,67, 68, 691-695, 699 y 812)	6.3	12.3	7.9	9.3	12.4	13.0
3. Minerales (27 y 28)	0.9	6.6	2.1	7.4	10.7	9.9
Números índice						
1. Totales	100	128	122	72	101	85
2. Minerales, metales y manufacturas de base minera (27, 28,67, 68, 691-695, 699 y 812)	100	195	125	138	197	206
3. Minerales (27 y 28)	100	735	235	802	1189	1100

Fuente: Cuadro N°6 y Estudios e Informes de la CEPAL N°48

AMERICA LATINA: IMPORTACIONES DEL RESTO DEL MUNDO

(Millones de dólares)

CUCI Rev.2 y 3	Producto	1980	1985	Tasa anual 1980-1985	1988	Tasa anual 1985-1988
27	Fertilizantes y minerales	455	479	1.03	502	1.64
28	Minerales metálicos	385	368	-0.90	485	9.64
67	Hierro y acero	4 522	1 902	-15.90	2 350	8.03
68	Metales no ferrosos	929	929	0.00	764	-6.31
691-695, 699 y 812	Manufacturas de metales	2 414	1 389	-10.46	1 932	11.63
	Sub-total	8 705	5 067	-10.26	6 082	6.28
7	Maquinaria y equipo de transporte	37 524	29 937	-4.42	42 448	12.34
	Total productos básicos	46 229	35 004	-5.41	48 530	11.51
	TOTAL IMPORTACIONES EXTRANJERAS	103 117	79 588	-5.05	92 681	7.79

Fuente: Cuadro N°6 y "Minería año 2000 - El papel del sector minero-metalúrgico en las diferentes etapas del desarrollo de América Latina y el Caribe", LC/R.810

Cuadro 2 III

PRECIOS DE MINERALES Y METALES (DÓLARES POR UNIDAD DE FINO)

Metales	1960	1965	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Aluminio (dólar por tonelada)	500.00	489.00	540.00	435.00	432.00	663.00	944.00	690.00	862.00	891.00	1045.00
Antimonio (cent dólar por libra)	31.30	45.75	144.19	71.18	59.00	68.50	181.76	176.58	165.26	178.00	175.00
Arsénico (cent dólar por libra)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	15.00	17.00	18.00	27.00
Azufre (dólar por libra)	24.60	34.45	22.78	17.19	16.76	17.86	28.43	44.91	45.72	44.38	45.17
Bauxita (dólar por ton.)	7.50	7.50	12.00	12.00	12.00	12.50	23.20	22.15	25.44	30.25	31.25
Berilio (dólar por un. ton. corta de HoO)	29.00	24.00	33.00	33.00	30.00	30.00	30.00	32.00	36.00	40.00	40.00
Bismuto (dólar por libra)	2.25	3.43	6.00	5.26	3.63	4.92	8.41	7.72	7.50	6.01	3.38
Cromo (cent dólar por libra)	30.75	58.51	64.17	49.09	48.56	80.78	93.33	55.98	63.53	59.34	61.86
Cobre (cent dólar por libra)	22.00	15.50	25.00	23.00	20.00	23.00	50.00	50.00	43.00	40.00	44.00
Granad (cent dólar por libra)	97.59	176.49	166.64	158.93	170.76	218.27	371.47	311.51	343.79	489.52	584.21
Hierro (dólar por ton.)	17.10	15.70	15.20	13.50	12.80	17.10	19.00	22.60	21.90	21.60	19.40
Manganeso (dólar por ton.)	197.86	78.33	82.64	64.07	61.50	78.34	115.87	139.07	141.11	147.50	141.05
Mercurio (dólar por flaska)	1.46	607.85	411.65	282.46	203.01	273.54	267.94	130.11	51.67	140.70	131.57
Niquel (dólar por libra)	1.66	1.75	1.92	1.90	1.90	1.66	2.69	2.95	4.39	6.00	18.00
Oro (dólar por onza troy)	1631	1735	2846	2932	3080	3373	3025	4570	4973	5293	4609
Plata (dólar por onza troy)	0.91	1.29	36.41	41.25	58.60	97.81	159.74	161.49	123.32	148.31	193.55
Platino (dólar por onza troy)	82.00	100.00	135.00	125.00	135.00	150.04	180.85	164.23	161.73	163.00	237.00
Pomo (cent dólar por libra)	9.02	14.39	13.80	11.49	13.69	19.46	26.89	18.93	20.25	20.25	29.95
Selenio (dólar por libra)	7.00	6.00	10.50	11.50	11.50	12.56	19.19	22.00	22.00	20.86	18.00
Tungsteno (dólar por un. ton. métr. de W13)	21.27	28.78	77.60	54.61	39.04	44.45	89.33	91.89	114.82	170.67	163.79
Zinc (cent dólar por libra)	11.17	14.13	13.42	14.05	17.14	30.36	56.26	33.81	32.85	26.74	26.92

FUENTE: Actualizado según

UNCTAD, "Monthly Commodity Price Bulletin", January 1990

IBRD, "Commodity Price Data", 15/5/1987

Mineral Journal, "E & M", March 1987

U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, "Minerals Yearbook 1989"

(Cont.)

(Conclusión Cuadro 7)

P7. PRECIOS DE MINERALES Y METALES (DOLARES POR UNIDAD DE FINO)

Metales	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Aluminio (dólar por tonelada)	1520.00	1750.00	1338.00	1061.00	1495.00	1371.00	1110.00	1197.98	1565.59	2586.77	1951.31
Antimonio (cent.dólar por libra)	140.70	150.80	135.50	107.20	91.30	151.22	111.10	121.90	110.60	103.90	
Arsenico (cent.dólar por libra)	30.00	46.00	78.00	59.00	45.00	42.00	42.00	44.00	44.00	pr. susp.	
Azufre (dólar por ton.)	55.75	89.06	111.48	108.27	87.24	94.31	106.46	105.22	89.78	85.95	28.00
Bauxita (dólar por ton.)	30.70	32.00	35.37	40.42	37.40	37.00	35.72	33.66	29.48	28.00	
Berilio (dólar por un. ton. corta de BeO)	47.00	68.99	94.00	121.00	126.00	88.00	87.00	83.00	84.00	93.00	
Bismuto (dólar por libra)	3.01	2.64	2.30	2.30	2.30	4.27	5.18	3.25	3.65	5.78	
Cobre (cent.dólar por libra)	90.01	98.58	79.02	67.15	72.22	62.50	64.30	62.32	80.81	117.94	129.13
Cromo (cent.dólar por libra)	45.00	48.00	48.00	38.00	43.00	45.00	44.00		50.25	50.25	
Estano (cent.dólar por libra)	700.65	761.37	642.08	581.66	589.24	555.15	541.93	250.22	311.84	325.80	393.18
Hierro (dólar por ton.)	23.30	26.70	24.30	25.90	24.00	23.00	22.70		24.50	23.50	26.56
Manganeso (dólar por ton.)	135.00	163.53	171.50	164.27	136.88	136.91	138.54	137.50	127.50	165.00	285.17
Mercurio (dólar por flask)	291.73	398.07	417.52	376.96	313.33	306.40	288.56	193.80	250.36		
Molibdeno (dólar por libra)	15.90	10.20	5.15	4.10	3.65	3.56	3.25	2.92	3.01	3.47	
Niquel (dólar por ton.)	5986	6519	5953	4938	4673	4752	4899	3881.20	4872.70	13777.90	13308.20
Oro (dólar por onza troy)	307.50	612.56	459.64	375.91	424.00	360.56	317.66	367.51	446.47	437.05	381.43
Plata (dólar por onza troy)	11.09	20.63	10.52	7.95	11.44	8.14	6.14	5.47	7.01	6.45	5.50
Platino (dólar por onza troy)	352.00	439.00	475.00	475.00	475.00	357.00	291.00	461.00	553.00	523.00	30.54
Pomo (cent.dólar por onza troy)	54.59	41.13	32.98	24.76	19.30	20.09	17.74	18.43	27.08	29.77	
Selenio (dólar por libra)	15.31	12.66	4.38	3.53	3.87	9.02	7.44	5.70	6.51	9.84	
Tungsteno (dólar por un. ton. metr. de W03)	138.83	144.41	143.47	106.26	80.86	81.17	67.75	47.56	49.07	55.93	56.57
Zinc (cent.dólar por libra)	33.63	34.55	38.40	33.78	34.69	40.63	34.28	32.30	36.24	56.72	75.24

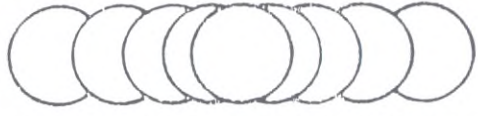
FUENTE: Actualizado según

UNCTAD, "Monthly Commodity Price Bulletin", January 1990

IBRO, "Commodity Price Data", 15/5/1987

Mining Journal, "E & M", March 1987

U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, "Minerals Yearbook 1989"



"Norman Haber's discovery of Electro-Molecular Propulsion will lead to a radical new theory of the liquid state and to our understanding of intermolecular actions. . . It seems to me to be quite analagous to the discovery of X-rays by Roentgen, which ultimately led to a revolution in our understanding of matter."

*Professor L. Pearce Williams
New York Academy of Sciences*

HABER, INC. possesses patents and proprietary expertise on Electro Molecular Propulsion, or EMP, a new method of controlling the movement of molecules and creating electrical conduction. This new development in molecular physics is derived from the discovery by Norman Haber, Founder and President of Haber, Inc. of a remarkable electrokinetic phenomenon that may be inherent in all life forms. The unusual speed, precision, accuracy and versatility with which EMP can facilitate the differential positioning of molecules suggest its broad applications capabilities for the separation and purification of commercial substances. EMP may also open up the field of electronic catalysts for controlling chemical reaction rates and minimizing by-products. In addition, it may one day offer a new dimension in the process control and monitoring of existing techniques, and generate products that require the regulating of molecular position in amorphous state systems, such as those involved in display devices, signal transmission, computer memory storage and the control of optical transmission of light.

"... I would dare to suggest that the discovery of EMP will lead to a radical new theory of the liquid state and of our understanding of inter-molecular actions ... it has wonderfully deep historical roots. When I read Mr. Haber's paper, I felt immediately at home. If Michael Faraday, who is the man I had studied most in my career, were alive today, he could pick up Norman Haber's paper and read it and say, 'But of course! That's what I was saying all along!' Faraday's theory of electro-chemical decomposition was rejected in the middle of the 19th century. There should have been a threshold effect and there was none in ordinary electrolysis. Norman Haber has uncovered a threshold effect ... [His] theory fits beautifully into Faraday's work. It is a continuation, with a 150 year hiatus, of Faraday's concepts of inter-molecular forces ... [We] are in at the very birthday of a very important new scientific discovery ... the ideas here may, indeed, be epic-making ..."

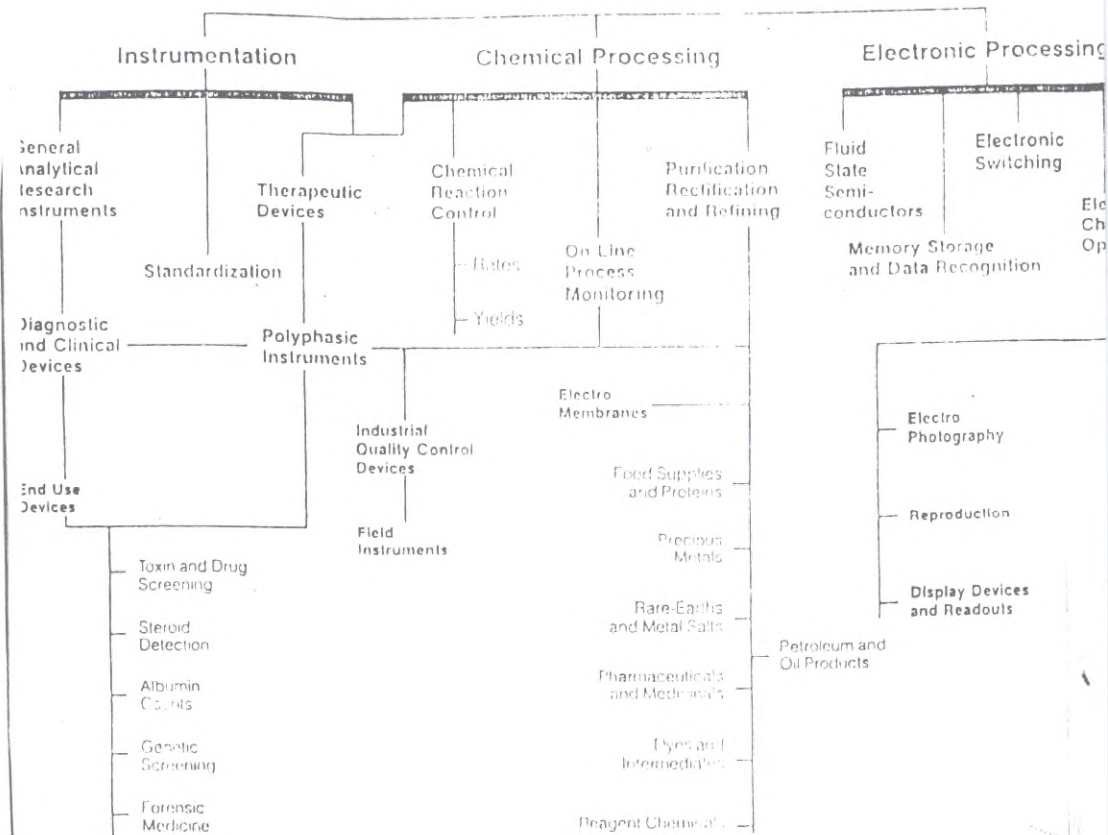
— Professor L. Pearce Williams, Professor of the History of Science, Cornell University.

A NEW PARADIGM

"... Although many of our theories contain the elements to allow us to recapture some of the facts ... it is a very powerful theory and a very rare one, indeed, that predicts well beyond experiments that have already been done. I think I see transports here which are going to have their own theory in time, a more complete theory, in ways ... What enormous power he [Norman Haber] has in controlling the many components of a system! He has all of the solvents, all of the known substances, almost, of chemistry, as part of the material he can use to make infinite variations and adaptations and applications of this system ... the applications are so enormous I can't imagine how many of them there are or what future ones there will be ... a lot of theoretical and, eventually, practical biological applications that can be forthcoming ..."

— Dr. Rollin Hotchkiss, The Rockefeller Institute, Member of the National Academy of Sciences.

EMP
Electro Molecular Propulsion



Primer Seminario Nacional Minero -
Ambiental/Memorias/Tomo II

338.2 P953 v.2 Ej.2

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA PEDIDO	PRESTADO A	FECHA DEVUELTO