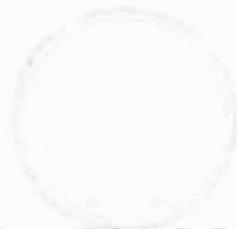


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



**EL PROCESO DE DESARROLLO
DE UNA MINA**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN DE MINAS Y METALURGIA

Título de la obra en inglés:
The Mine Development Process

Copyright © 1991, Placer Dome Inc.,
Vancouver, British Columbia, Canada



Traducción al español:
Ing. Gustavo Camacho Ortega
Profesor del Departamento de Explotación de
Minas y Metalurgia,
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

El proceso de desarrollo de una mina

2001, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Primera edición en español, marzo de 2001.

Impreso en México.

APUNTE
164

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



612396

2001
G.- 612396

PRESENTACIÓN

G- 612396

La importante empresa minera canadiense Placer Dome Inc., editó un libro titulado *The Mine Development Process*, para dar a conocer a sus accionistas, empleados y personal de las empresas proveedoras de la industria minera y sus familiares, las diversas etapas de la explotación de minerales.

Este libro fue muy bien recibido no sólo por las personas a quienes en principio fue dirigido, sino también por escuelas, universidades e institutos técnicos de Canadá y Estados Unidos.

Al suscrito le pareció muy conveniente darlo a conocer en español tanto a estudiantes de preparatoria como de las carreras de Ingeniero de Minas y Metalurgista, Ingeniero Geólogo e Ingeniero Geofísico, las cuales se imparten en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

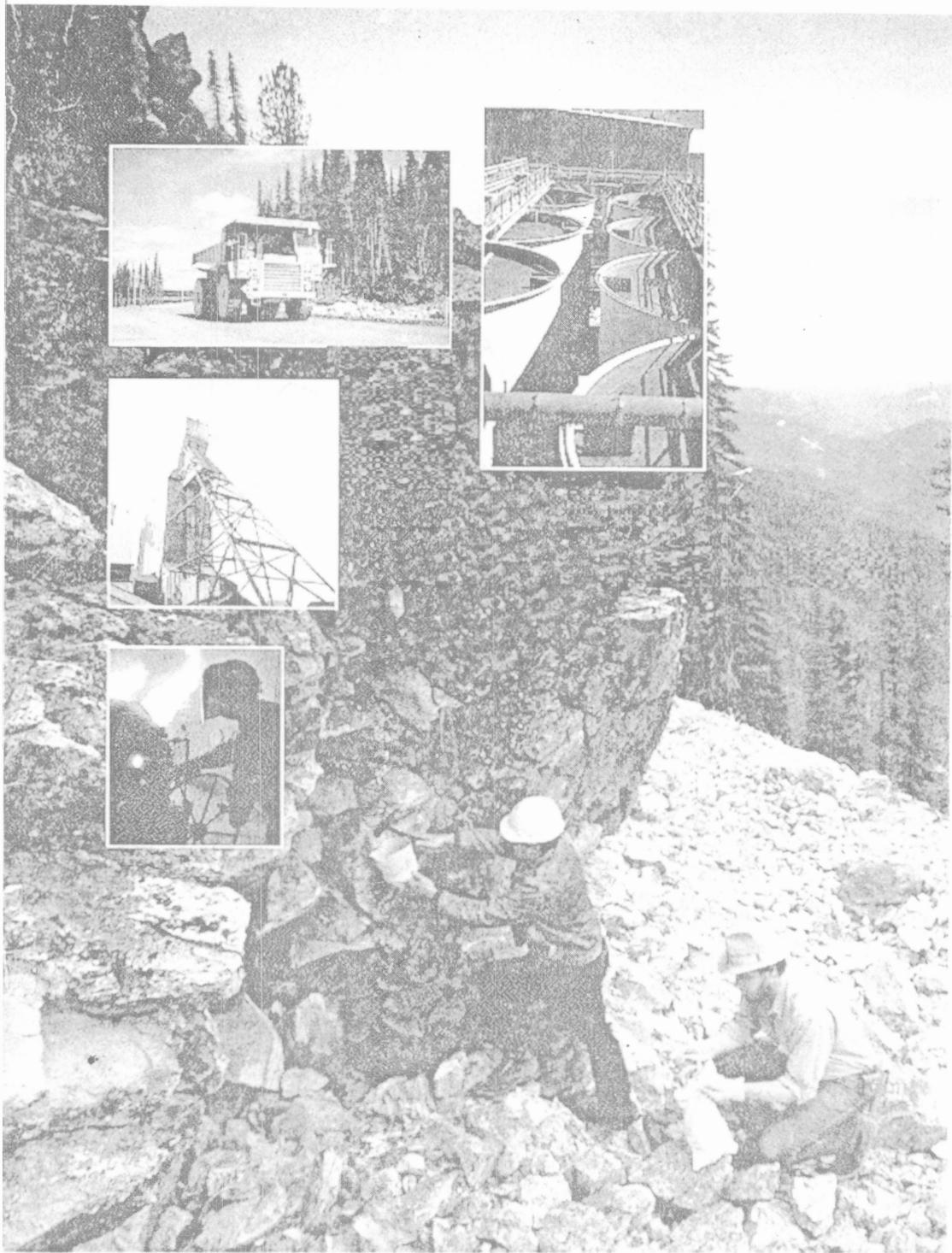
Finalmente agradezco la valiosa colaboración, que llevó a feliz término esta traducción, de nuestra Unidad de Apoyo Editorial a cargo de la Mtra. María Cuairán Ruidíaz y, en particular, de la Lic. Amelia Guadalupe Fiel Rivera por la corrección de estilo y a la Srita. Ana María Sánchez Téllez por la captura de correcciones y edición de las ilustraciones.

GUSTAVO CAMACHO ORTEGA

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| PRESENTACIÓN | III |
| CAPÍTULO 1. GÉNESIS | 1 |
| Minería: variaciones sobre un tema | 3 |
| Exploración: siguiendo los indicios geológicos | 3 |
| Evaluación: ¿cuándo un depósito mineral es ya una mina? | 7 |
| Minado y beneficio: desde las entrañas de la Tierra hasta la industria | 9 |
| | |
| CAPÍTULO 2. ADMINISTRACIÓN | 13 |
| El informe de factibilidad | 16 |
| Comercialización | 18 |
| Financiamiento | 19 |
| La decisión de entrar en producción | 21 |
| | |
| CAPÍTULO 3. EXPLORACIÓN | 25 |
| Exploración moderna: reducción de las desventajas | 27 |
| Los fundamentos: desde la piel de la oreja de un cerdo hasta hacer con ella una bolsa de dama | 31 |
| Métodos aplicados: hitos en la ciencia | 32 |
| Geofísica | 33 |
| Geoquímica/biogeoquímica | 34 |
| Geología | 34 |
| Prácticas de exploración: cambiando las leyes de la probabilidad | 35 |
| Conclusión | 36 |
| | |
| CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN | 37 |
| Descubrimiento y evaluación | 38 |
| El estudio de factibilidad | 39 |
| La necesidad de rapidez | 39 |
| Inicio de actividades | 40 |
| Programación | 41 |
| Construcción | 42 |
| El minado tiene un inicio temprano | 43 |
| Contratación del personal para la operación | 44 |
| Conclusión | 45 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 5. MINADO | 47 |
| Minado: vital para todos, familiar para pocos | 49 |
| Adecuación del sistema a las circunstancias | 51 |
| Estabilidad de las rocas: en el subsuelo | 52 |
| La larga lista de límites | 53 |
| Estabilidad de las rocas: en los tajos | 55 |
| Explosivos: fracturadores eficientes de las rocas | 55 |
| Costos: las máquinas los han disminuido mucho | 57 |
| Conclusión | 58 |
| | |
| CAPÍTULO 6. BENEFICIO DEL MINERAL | 59 |
| Alquimia en el siglo XXI | 59 |
| Trituración y molienda: adecuar el tamaño | 60 |
| Beneficio del mineral: separando el trigo de la paja | 61 |
| Tecnología del oro: el borde de ataque | 62 |
| Lixiviación en montones: la clave para menas de muy baja ley | 62 |
| Rompiendo las ligaduras con sulfuros | 64 |
| Jales: una parte necesaria del proceso | 65 |
| | |
| CAPÍTULO 7. FINANZAS | 67 |
| Dinero: sangre que da vida al desarrollo mineral | 68 |
| Finanzas: desde el principio | 69 |
| Tiempo: la otra parte de cualquier préstamo | 70 |
| Condiciones del préstamo: es bueno tener una poca de flexibilidad | 70 |
| Ciclos del mercado: ¿qué sube? | 71 |
| Conclusión | 73 |
| | |
| CAPÍTULO 8. EL AMBIENTE | 75 |
| Desde el principio hasta el fin | 76 |
| Prioridades ambientales | 77 |
| Hablando en concreto | 78 |
| Haciendo frente a los retos globales | 79 |
| Minería en una economía sustentable | 80 |
| | |
| CAPÍTULO 9. EL SECTOR SERVICIOS | 83 |
| Mantenimiento | 84 |
| Recursos humanos | 85 |
| Siguiendo la pista | 86 |
| Problemas especiales-soluciones especiales | 87 |



EL PROCESO DE DESARROLLO DE UNA MINA

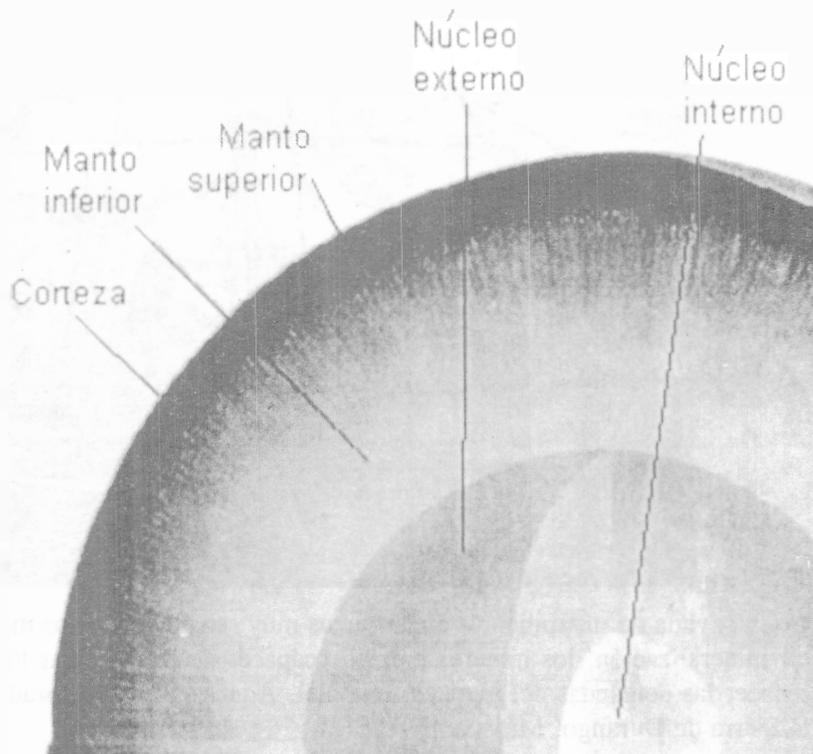
CAPÍTULO 1

G É N E S I S

La *minería*, o sea, la extracción de minerales de la Tierra, es una de las actividades comerciales más antiguas del hombre. Su influencia en la historia y desarrollo de la humanidad se indica con designaciones, tales como la “Edad de Hierro” y la “Edad de Bronce”. Tan importante como fue en el pasado, la minería actualmente tiene una relevancia difícil de medir. Pocos de los cinco mil millones de individuos que poblamos la Tierra pasamos un día sin hacer uso o depender de algún producto de esta industria. La Oficina de Minas de los Estados Unidos (US Bureau of Mines) ha estimado que el ciudadano promedio de ese país, requiere durante su vida un poco más de 1,050 libras de plomo, 1,050 libras de zinc, 1,750 libras de cobre, 4,500 libras de aluminio, 91,000 libras de hierro y acero, 360,500 libras de carbón y 1,000,000 de libras de piedra, arena, grava, cemento y arcilla.

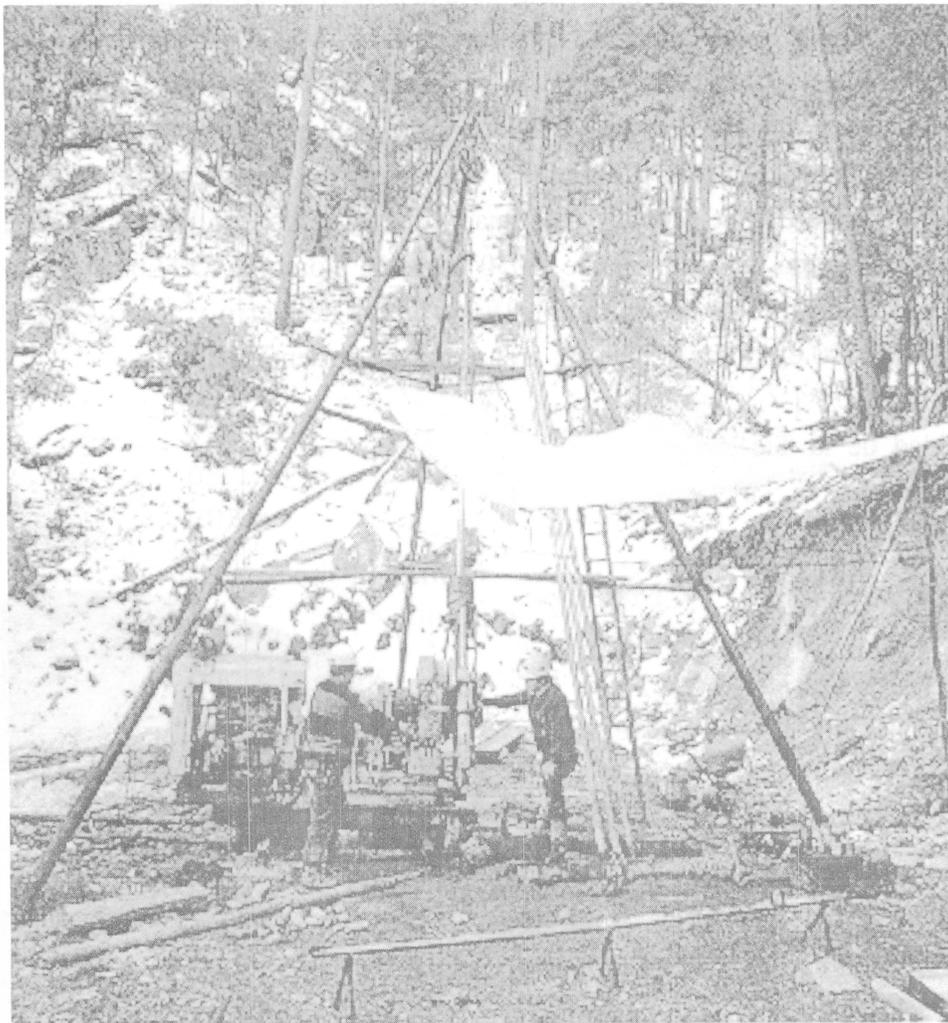
La capacidad de la Tierra para sostener a su población se basa en esos y muchos otros minerales que provee la industria minera para, con ellos, hacer herramientas, máquinas y procesos que son esenciales para la vida moderna.

Además de este hecho, estamos entrando a una nueva era basada en la información y el rápido procesamiento de datos.



El microprocesador, que ha hecho posible esta nueva edad, depende de ciertas propiedades muy especiales de algunos minerales. Mediante estos, los minerales están ayudando en la investigación espacial, en el creciente uso de computadoras personales y en las industrias que abastecen alimento, vestido y vivienda.

Tales aplicaciones están creciendo en todo el mundo y subrayan la importancia de las industrias que producen minerales. En este texto, titulado *El proceso de desarrollo de una mina*, se resume, en un lenguaje común, cómo se descubren las minas, cómo se desarrollan, cómo se operan y cómo se rehabilitan los terrenos cuando una mina deja de operar. Otras actividades conexas, como finanzas, protección ambiental y servicios, también están incluidas.



Con la ayuda de instrumentos electrónicos muy sensibles y otros métodos sofisticados para detectar mineralización, los mineros han sido capaces de incrementar los recursos necesarios para satisfacer las demandas del mercado mundial. Aquí con una perforadora de diamante se explora en la Sierra de Durango, México.

Minería: variaciones sobre un tema

Los objetivos de la minería no han cambiado a través de los siglos. Algún mineral de uso potencial y, por tanto, de valor, se extrae del lugar donde ocurre naturalmente en o bajo una parte de la superficie de la Tierra. Sin embargo, ésta es casi la única semejanza entre los métodos de minado actuales y los antiguos. En lugar del trabajo manual de miles para producir unas cuantas toneladas diarias de mena rica y accesible, la moderna minería aplica tecnología para alcanzar exactamente la fórmula inversa: los esfuerzos de relativamente pocos ahora producen miles de toneladas de mena por día, frecuentemente de yacimientos de baja ley y en localidades difíciles. Este avance en la capacidad de la minería ha sido posible por que la industria adopta nuevas tecnologías con una gran rapidez. Las matemáticas, economía, física, química y metalurgia, cuando se combinan con el juicio de gente experimentada, son herramientas importantes en la industria minera actual.

Las compañías mineras hoy en día son capaces de encontrar y procesar menas en las que el mineral está tan disperso, que anteriormente fue difícil o imposible sospechar su presencia. Las historias de muchas minas generalmente enseñan que hay cinco fases mayores en su vida: exploración, evaluación, desarrollo, operación y agotamiento y restauración del sitio. La primera fase es la fundamental, puesto que todas las otras dependen de la clase y calidad de información que se obtenga mediante la exploración.

Exploración: siguiendo los indicios geológicos

Tanto se ha dicho acerca de la “suerte” involucrada en encontrar un cuerpo mineral que otros aspectos importantes a veces son pasados por alto. Aunque la búsqueda de minerales puede aún compararse con la búsqueda de “una aguja en un pajar”, el uso creciente de la ciencia y la tecnología ha hecho mucho para reducir el papel de la casualidad. Por ejemplo, las ciencias de la geología, sismología y mineralogía aplicadas a la minería han ayudado a explicar los procesos físico-químicos por los cuales los minerales se forman, se depositan, se alteran y se redepositan.

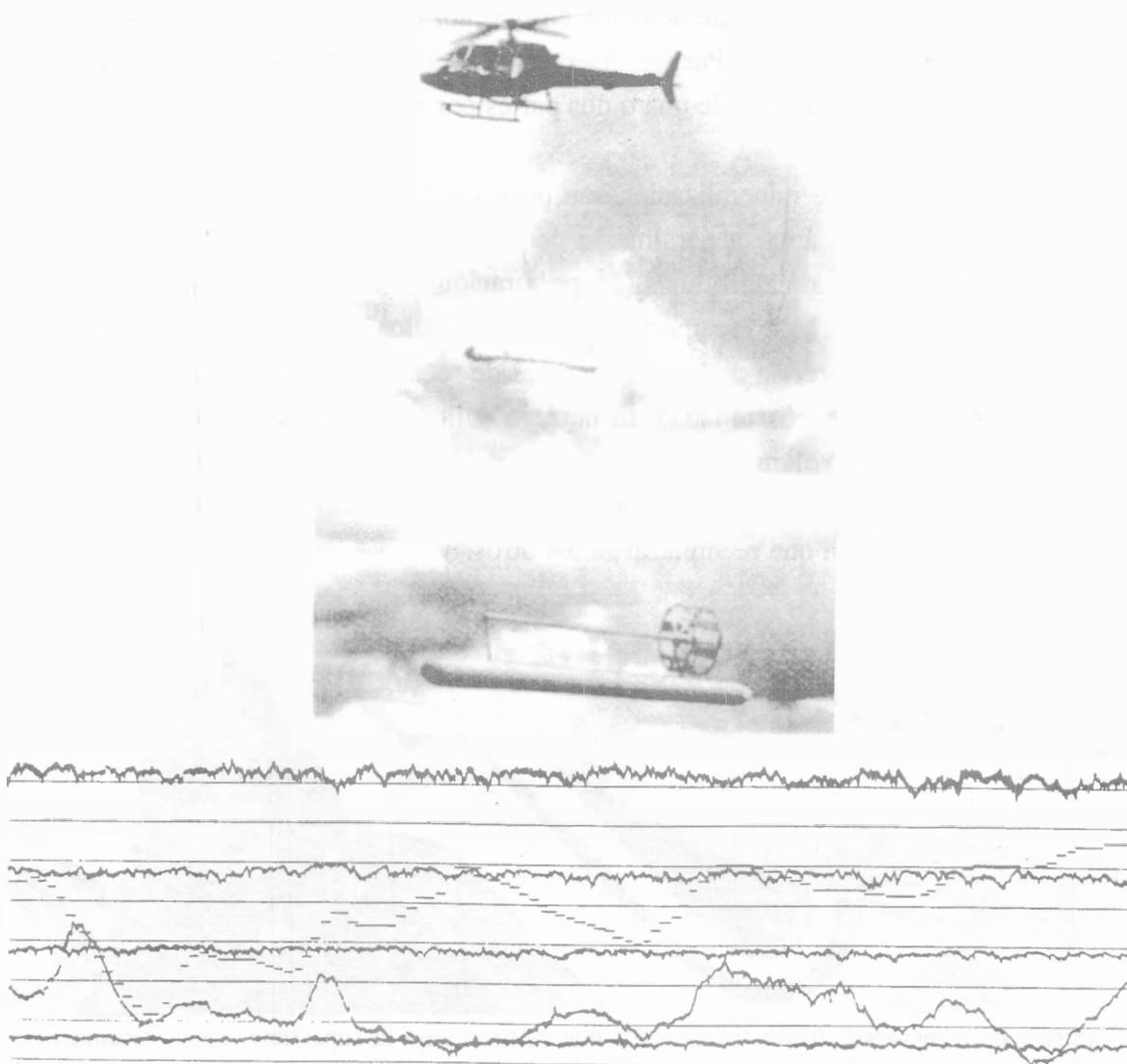
La exploración minera en el siglo XX arranca con una apreciación de nuestro planeta. La Tierra tiene tres capas: la superficie o costra tiene aproximadamente 25 millas de espesor; sigue el manto, con 1800 millas de espesor y está compuesto de rocas más densas y pesadas. Al final está el núcleo, que se cree está principalmente constituido de hierro y níquel en un estado fundido o semifundido. De manera adicional, la Tierra es un planeta dinámico y cam-

biente constantemente. En una escala humana, estos cambios son graduales y sólo ocasionalmente nos recuerdan su existencia en la forma de erupciones volcánicas y de terremotos. Los reajustes estructurales en la costra son producidos por corrientes de convección en el manto, que producen movimientos en la superficie de la Tierra. Estos movimientos dan por resultado fracturamientos por los que se puede liberar y canalizar material fundido llamado magma. El movimiento también crea cavidades en las que penetra el magma, se enfría y cristaliza como intrusiones. Los minerales comerciales con frecuencia ocurren como sulfuros y si éstos están presentes en el magma, su concentración puede suceder en la última parte de la fase intrusiva, porque hay una tendencia de algunos minerales metalíferos para segregarse durante el enfriamiento.

El globo terrestre está formado de un gran número de elementos, entre los cuales, el oxígeno, el silicio, el aluminio y el hierro son los más abundantes. Éstos generalmente ocurren en combinación con uno o más de los otros elementos, para producir una gran variedad de compuestos. Las rocas, constituidas por los elementos más comunes, pueden contener compuestos minerales que tienen valor comercial. Si estos compuestos pueden extraerse y los minerales separarse con utilidad económica, se conocen como *menas*. Los *minerales* en la ubicación y condición de su depósito original se llaman *primarios*, mientras que los que se han movido o alterado por otras fuerzas de la naturaleza, tales como el agua o el intemperismo, se llaman *secundarios* o *supergénicos*.

En las primeras fases de la exploración se emplean técnicas muy generales para examinar grandes áreas. Por lo común están diseñadas para medir parámetros amplios no específicos, sino simplemente indicativos de que ciertas localidades podrían hospedar yacimientos minerales. Los mapas geológicos, por ejemplo, proporcionan información preliminar para indicar áreas donde existan irregularidades en la costra terrestre. Para cubrir grandes áreas, se utilizan levantamientos aéreos que miden variaciones magnéticas o radiométricas pequeñas en la Tierra que pueden indicar concentraciones minerales bajo la superficie.

Se usan técnicas más específicas cuando el tamaño del área con potencial se ha reducido y hay una indicación de que “algo” existe en un área definida. Estas técnicas generalmente miden propiedades de los minerales mismos, en contraste con las de las estructuras vecinas y abarcan una variedad de técnicas tanto físicas como químicas, incluyendo radioactividad, conductividad eléctrica, densidad y campo magnético.



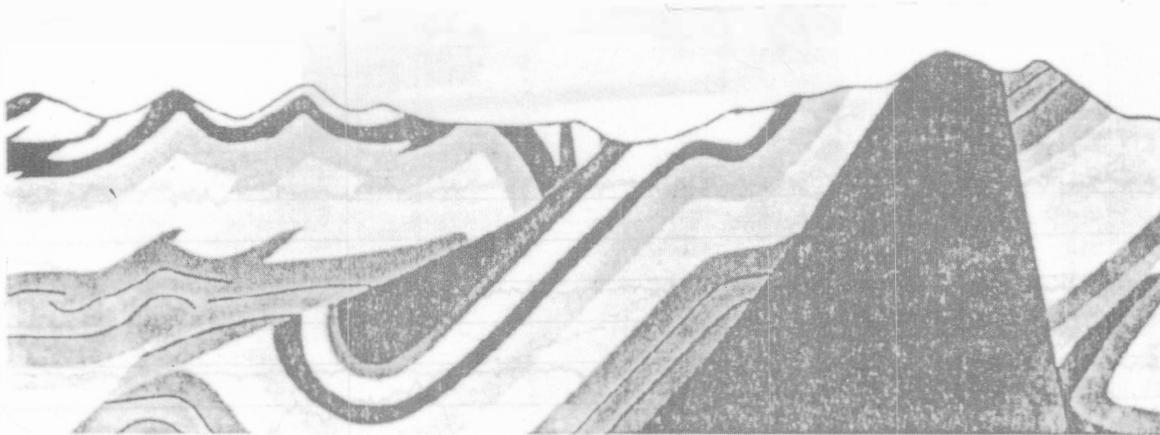
Estos registros de un levantamiento aéreo, efectuado mediante cintilómetro y magnetómetro, ayudan a los geofísicos mineros a “ver” lo que hay debajo de la superficie de la Tierra. Mediante su interpretación correcta, con tales registros se pueden delimitar áreas en las que deban usarse técnicas de exploración más precisas.

Aquí es donde la accesibilidad del depósito también se vuelve un factor importante. Algunos depósitos minerales están cerca de la superficie, pero la mayor parte de éstos hace tiempo que fueron descubiertos, especialmente si su presencia estaba indicada por afloramientos visibles.

La exploración actual demanda métodos capaces de detectar sulfuros de minerales a mucha profundidad bajo la superficie de la Tierra. Una técnica, la geoquímica, identifica y mide trazas de elementos que existen en la superficie y se acumulan en plantas, agua y suelos su-

perficiales, en niveles más altos que aquellos en que normalmente se encuentran donde no hay concentraciones subterráneas. Pueden detectarse cantidades muy pequeñas de minerales, en algunos casos en concentración de una o dos partes por millón.

Si todas las indicaciones de mineralización son positivas hasta este punto, el siguiente paso es el muestreo directo del área, generalmente por perforación de diamante, para traer a la superficie ejemplares de la roca profunda. La perforación de diamante produce un cilindro o núcleo de la roca que está bajo la superficie, lo cual da a los geólogos y a los laboratorios analíticos una indicación precisa de las formaciones de roca que existen muy abajo de la superficie del terreno. Tiene que tomarse un número suficiente de núcleos para obtener una perspectiva adecuada del volumen y configuración del depósito. Rara vez una sola técnica produce toda la información requerida y, por tanto, se usa una variedad de métodos para reforzar o calificar, más bien que reemplazar, a los otros.

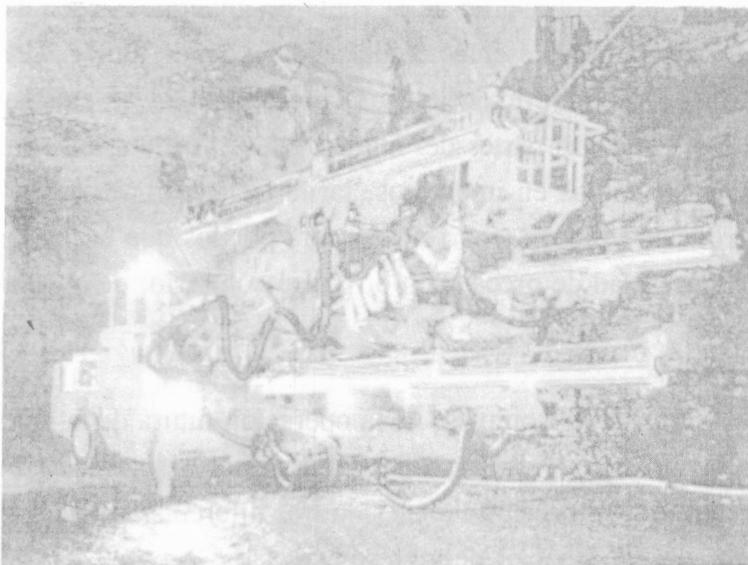


Esta sección transversal ilustra los cambios que ocurren bajo la superficie, como resultado de las fuerzas geológicas. Los estratos sedimentarios, que en algún momento fueron piso oceánico horizontal, han sido plegados, inclinados y deslizados hacia arriba sobre otros adyacentes. A la derecha, las rocas sedimentarias han sido penetradas por una gran intrusión magmática que puede contener minerales metálicos.

Como la inversión potencial en una mina es muy grande, es mejor que la fase de evaluación sea muy cautelosa y completa. Posteriormente, cuando empiecen los gastos fuertes de la construcción, es conveniente un avance rápido; pero en la etapa de evaluación, la calidad de los datos es importante. No es raro, por tanto, que se dediquen dos o tres años para obtener una base de información completa, primero sobre la geología y después de todo el proceso de minado.

Evaluación: ¿cuándo un depósito mineral es ya una mina?

Eventualmente, los resultados de todo este trabajo se revisan, evalúan y proyectan contra las realidades económicas de la producción, comercialización, protección ambiental y otros parámetros prácticos. *La evaluación económica* juega un papel muy importante en el proceso de desarrollo, puesto que constituye la base para la decisión de seguir adelante y, si se acepta, también la de un programa para el desarrollo futuro. Es de notarse que aun la tecnología más sofisticada no puede reemplazar la experiencia de individuos calificados en la evaluación de una mina en potencia. Las mediciones más precisas y detalladas, inevitablemente dejan huecos que deben llenarse por la predicción; por tanto, la decisión final, para desarrollar o no, es humana y está basada sobre la evidencia presente y la experiencia pasada.



La minería subterránea abarca una de los mayores concentraciones de talentos y de conocimientos y equipo especializado que cualquier otra actividad industrial. El resultado es que podemos usar minerales que se encuentran bajo la superficie, a veces a gran profundidad.

como la *reserva geológica*. Pero como la cantidad total de *mena* presente puede ser sumamente diferente de la que es extraíble con ganancia, una *reserva minera* se calcula tomando en cuenta las condiciones económicas, las limitaciones del método de explotación y la dilución del mineral por roca estéril.

También se propone un plan o secuencia de minado con base en las diversas características de la mena y de la roca encajonante y se requiere efectuar pruebas metalúrgicas para determinar el proceso de beneficio más eficaz para un mineral en particular. Hay algunos minera-

Se deberá preparar un *análisis o estudio de factibilidad*, que abarque tanto el pasado como el futuro para apoyar sus conclusiones. Se basará en los resultados del programa de exploración y en las proyecciones ingenieriles de los costos de producción, tipos de equipos que tendrán que usarse y un conjunto de otras variables y algunos factores, tales como las tendencias del mercado, en el mejor de los casos se calculan como hipótesis.

La ley y cantidad estimada de *mena* en el terreno se conoce

les que contienen metales comerciales para los cuales no existe tratamiento práctico de beneficio. El proceso metalúrgico seleccionado generalmente se prueba en escala piloto, de manera que los parámetros de diseño de una planta de producción industrial puedan estimarse con precisión.

Con los esquemas del minado y del beneficio en la mano y las reservas indicadas de mena, podrán estimarse los costos probables de operación de una instalación, las utilidades esperadas, la rentabilidad global y la vida de la operación. La vida de una mina depende no sólo del tamaño del cuerpo del mineral, sino también de la rapidez con la que la mena sea extraída. Comparando los costos de desarrollo y operación con las utilidades, podrán estimarse tanto la rapidez de explotación como la vida que se espera.

Las utilidades o beneficios de una mina que se derivarán de la venta de minerales deben estimarse con base en valores del mercado, tanto presentes como posibles en el futuro. Una proyección de las tendencias del mercado deberá prever las variaciones posibles en existencias, demanda y precios. Los sucesos en muchas partes del mundo pueden influenciar, por ejemplo, cualesquiera de estos factores: cambios en impuestos, tarifas o recesiones comerciales, que afectarán el precio del producto y deben tenerse en cuenta por los que hacen los planes. El resultado puede indicar la necesidad de precaución o, por el contrario, de apresurar el desarrollo de la mina.

El estudio de factibilidad es, entonces, un análisis completo de la operación futura de la mina que toma en cuenta todo, desde la maquinaria y metalurgia hasta impuestos y transporte. A veces para agregar una medida de precisión, se hacen no uno, sino tres diferentes proyectos, usando suposiciones pesimistas, optimistas y probables de ingresos y costos.

Muchos inversionistas y desarrolladores han encontrado, para su tristeza, que mucho entusiasmo y pocos hechos son la mejor fórmula para el fracaso de una mina. Por eso es que debe dedicarse tiempo a la formación de una base de datos confiable. Desde el descubrimiento inicial hasta el primer embarque de productos de una mina en operación, pueden pasar hasta ocho años. Hechos tales como desórdenes en los mercados, pánicos energéticos o cambios políticos pueden agregarse a este lapso.

Llegará el momento en que tendrá que considerarse la pregunta final: “¿Debería esta ocurrencia mineral desarrollarse hasta llegar a ser una mina?”. Esta es la decisión única más crítica que se hará no sólo con respecto al futuro de la mina, sino también para el éxito del negocio del desarrollador y del inversionista.

Minado y beneficio: desde las entrañas de la Tierra hasta la industria

Una predicción razonable en cuanto a las utilidades abre la puerta al paso final del desarrollo de la mina: la construcción de las instalaciones para el minado en gran escala y para el beneficio de la mena. La organización básica de estos procesos deberá existir en el estudio de factibilidad, pero como tales planes se basan en predicciones, deberá tenerse en cuenta un cierto grado de flexibilidad en el diseño para permitir cualesquiera cambios que puedan requerirse durante la vida de la mina.

El *minado* es el proceso de remover la mena de su sitio original bajo la superficie de la Tierra. Sin embargo, como no hay cuerpos minerales iguales tampoco hay trabajos mineros iguales.

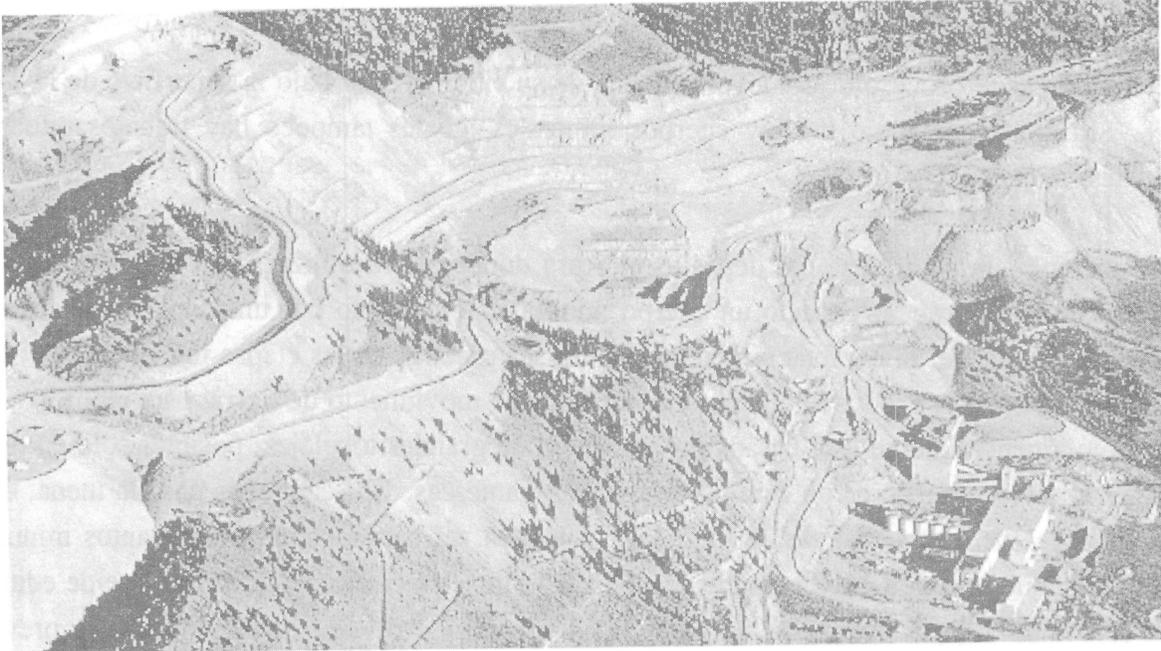
Por ejemplo, la naturaleza del depósito indicará dónde podrá utilizarse un tajo abierto o la extracción subterránea. Cuando un cuerpo mineral esté cubierto por una capa relativamente delgada de encape, la explotación en tajo podrá ser práctica en las etapas iniciales. Este tipo de minado utiliza métodos altamente mecanizados de movimiento de tierras; sin embargo, su economía generalmente está basada en el manejo de grandes tonelajes, posibles sólo en operaciones en la superficie con camiones y palas gigantescas. Los camiones para la mena, con capacidades de 100 a más de 200 toneladas, pueden ser cargados en unos cuantos minutos por palas que levanten 15 yardas cúbicas (12 m³) o más en cada palada. Esta clase de equipo ha cambiado significativamente la factibilidad económica de ocurrencias minerales previamente antieconómicas.

Donde una capa gruesa de encape hace que no sea práctico el minado superficial, el método tradicional subterráneo será el que deba usarse. Aun aquí, la adaptación rápida de la tecnología moderna ha cambiado la economía, haciendo que concentraciones de menas de baja ley se puedan explotar en una mina subterránea. Sin embargo, los costos de colar tiros verticales o inclinados, o socavones (una entrada casi horizontal desde la superficie) para acceder a la mena, son altos y requieren que las minas subterráneas trabajen generalmente con leyes más altas que las de las minas a cielo abierto.

La *trituration* es el primer paso en el beneficio de la mena y generalmente se hace en la mina. En ciertos casos, como con algunas menas auríferas, este tratamiento da por resultado la extracción de un producto terminado (oro metálico) en el sitio mismo. Sin embargo, muchos metales básicos se encuentran en una forma química compleja que no puede ser convertida económicamente en metal en la mina. En tales casos, el *beneficio* simplemente concentra el

mineral, de manera que pueda ser enviado económicamente a plantas de fundición y refinación.

Todos los *procesos de beneficio* comienzan con la trituración y molienda de la mena a un tamaño adecuado para las operaciones subsiguientes. Estos procesos producen una partícula lo suficientemente pequeña para asegurar la liberación o separación del mineral que interesa, de los otros minerales de la roca huésped.



Hay muchas minas a cielo abierto (tajos) en las zonas occidentales de Norte y Sudamérica y en Australia. Las tecnologías que se han desarrollado especialmente para este tipo de explotación mineral han contribuido a los inventarios globales con enormes cantidades de minerales necesarios y han ayudado a mantener los precios en niveles razonables.

El *quebrado*, la primera etapa de este proceso, reduce el material burdo de la mina a tamaños de gujarros en preparación para la molienda, que es el término usado para designar a la etapa final de la reducción del tamaño de las partículas.

La molienda ocurre en grandes cilindros rotatorios en los cuales bolas o barras de acero que van rodando y a veces trozos del mismo mineral, trituran los gujarros a un grado de finura que asegura la liberación del mineral valioso.

Los *procesos de separación* se diseñan para remover las partículas finas del mineral valioso contenido en la roca huésped. Han sido diseñados distintos procesos para diferentes minerales, pero todos logran separar pequeñas cantidades de minerales valiosos de grandes masas de roca. Por ejemplo, en la actualidad una mena típica de oro puede tener un promedio de tan sólo un vigésimo de onza troy del metal precioso en dos mil libras de mena*. Realmente esto es una relación muy pequeña, siendo aproximadamente igual a dos partes de oro por millón de partes de roca. Sin embargo, los procesos de recuperación modernos son tan eficientes, que muchas minas pueden barrenar, tumbar, cargar, acarrear, moler y tratar 20 toneladas de mineral para recuperar una onza de oro, vendiéndola a un precio de mercado de U.S. \$365 por onza (el rango bajo a mediados de 1990) y aún tener una utilidad.

La *flotación* es el método más común de concentrar minerales de los metales básicos, muchos de los cuales se depositaron en forma de compuestos sulfurosos. La mena finamente molida se mezcla con agua para formar una pulpa. Se agregan pequeñas cantidades de ciertas sustancias químicas o reactivos que recubren sólo los componentes minerales deseados. Las burbujas de aire que van subiendo capturan las partículas de mineral recubiertas con los reactivos y flotan con ellos a la superficie, donde con la espuma se pasan a un circuito separado. La roca estéril, ahora llamada colas o jales, permanece en la pulpa. Este proceso es capaz de incrementar la concentración de los minerales muchas veces y de separar diferentes minerales de un cuerpo mineralizado complejo.

El *embarque de los concentrados* a una fundición o a una planta refinadora es el paso final en la serie de eventos que empezaron con el interés de un explorador en una muestra de roca o con las variaciones de una aguja en un instrumento electrónico.

Pero la historia no termina aquí. Con el tiempo, en toda mina se agota la mena. La *fase de cierre* comienza entonces: su objetivo es preparar el sitio de manera que permanezca en una condición segura y estable no muy diferente de la del área que lo rodea. Los edificios tienen que demolerse y hacerse preparativos para la relocalización de los empleados.

Siempre habrá nuevos trabajos mineros, porque a medida que las minas cierran son reemplazadas por otras nuevas. La secuencia completa de los hechos descritos aquí se repetirá una y otra vez, para hacer posible la continuación de nuestra forma de vida en “La Edad de la Tecnología”.

* Una onza troy 31.1035 g es la unidad estándar para medir metales preciosos. Hay 13.166 onzas troy en una libra avoirdupois. A veces las leyes de la mena se dan en gramos por tonelada métrica. Una ley de 0.05 onzas por tonelada corta equivale a 1.7143 gramos por tonelada métrica.

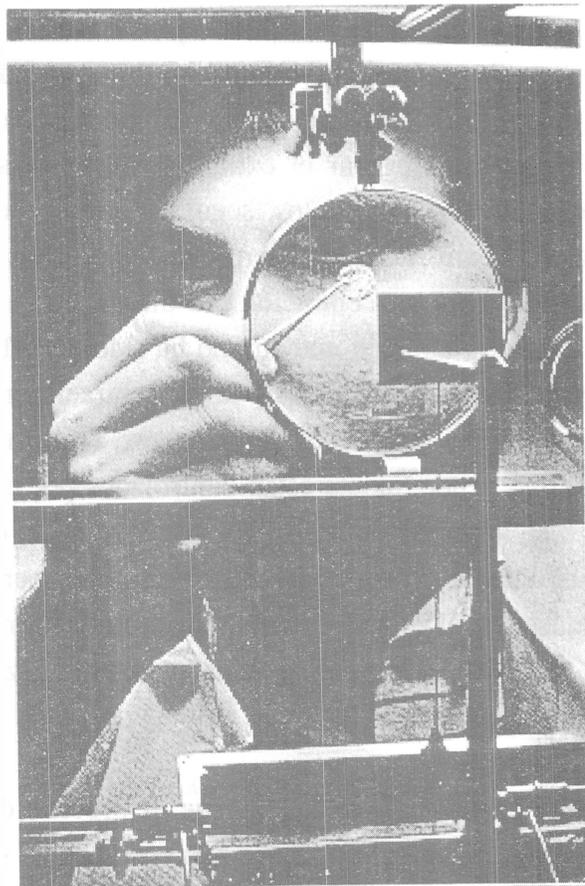
CAPÍTULO 2

ADMINISTRACIÓN

Como el mortero que une los ladrillos en un edificio, la calidad de las decisiones en el desarrollo de una mina nueva es primordial para dar resistencia a la estructura final. A semejanza de un mortero de mala calidad, las malas decisiones dan lugar a problemas costosos; mientras mejor sea la calidad de juicio menos se notará su papel. Esto es así, especialmente en el desarrollo de una mina en la que la eficiencia en conjunto se determina mucho antes de que empiece la construcción.

La evaluación y el desarrollo de una mina son áreas especializadas del conocimiento dentro de la industria minera. Son tan importantes para el éxito a largo plazo de una mina nueva, que las compañías que no tienen especialistas dentro de su personal, deben recurrir a ingenieros consultores para planear y hacer sus minas. Las firmas de consultoría pueden mantener a varios especialistas continuamente ocupados en los proyectos de varios clientes.

Algunas compañías grandes, como Placer Dome, tienen la suerte de trabajar con regularidad en el desarrollo de minas y cuentan con un departamento de ingeniería propio, con la ventaja extra de tener un mayor control de los proyectos durante la fase costosa y crítica de la construcción.



La atención minuciosa a los detalles y la cuidadosa interpretación de datos iniciales de una propiedad son parte de la fórmula para evitar problemas posteriores.

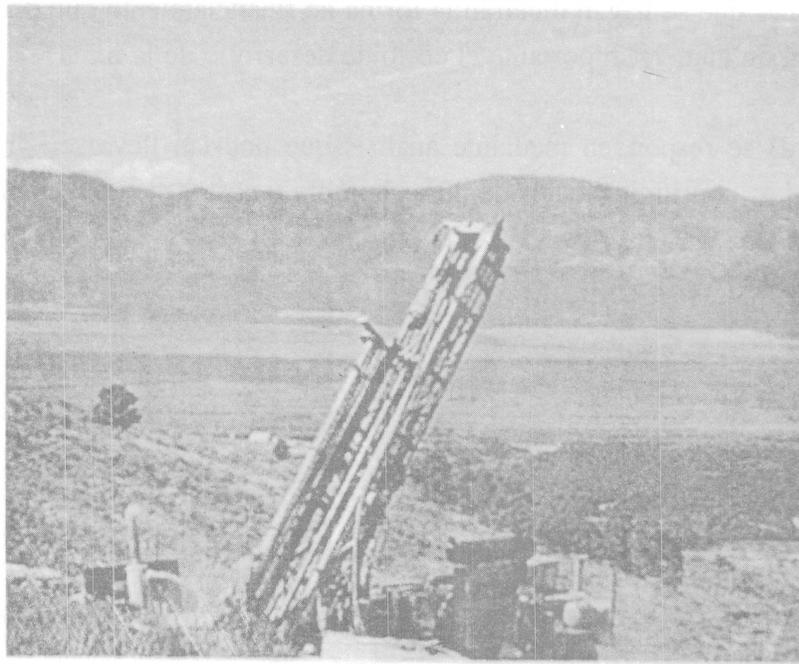
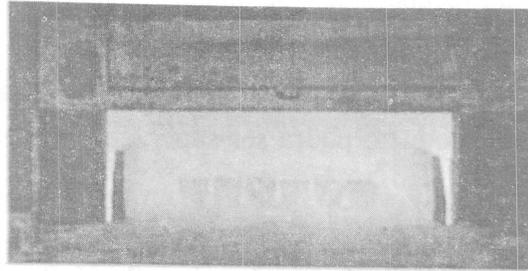
El objetivo es tener una mina que trabaje eficientemente, pero el costo de construcción debe controlarse de manera que el flujo de efectivo, proveniente de las ventas de mineral, pueda cubrir los costos de operación y dejar margen para aquellos que invirtieron el capital. Abundan historias terribles que relatan la gravedad de un deficiente control de costos en la fase de construcción. Por otra parte, algunas operaciones que podrían ser exitosas, se empantanaron por deudas abrumadoras que provienen de costos de construcción sin control.

En el desarrollo de una mina hay periodos en que la materia prima llamada tiempo es el enemigo y la rapidez es esencial para controlar costos (por ejemplo, cuando se usa financiamiento externo, los primeros pagos del préstamo generan intereses, aun cuando las primeras ventas de mineral vayan a ser muchos meses después).

Hay otros periodos en los que las prisas causan riesgos innecesarios. Durante la exploración avanzada, la evaluación y el estudio de factibilidad, es conveniente que sean lentos, cautelosos y metódicos. En esta fase, mientras más tiempo y esfuerzo se empleen, mayor será la posibilidad de asegurar el éxito final. Es frecuente, por tanto, que para la exploración se empleen de uno a tres años, seguidos por periodos similares cada uno, para la evaluación y la construcción. Para los cuerpos mineralizados que requieran procedimientos de extracción complejos cuya concentración sea difícil, es normal emplear de cinco a nueve años. Debemos recordar también que aún no ha sido descubierta la mina ideal cuyo mineral sea simple, la extracción sin problemas y la concentración rápida y fácil. Las grandes compañías (aquellas que tienen facilidades para planear, construir y operar minas) adquieren prospectos mineros que generalmente están controlados por compañías mineras medianas (que se dedican más bien a la exploración). Si estas últimas les ofrecen un buen prospecto, aceptarán la responsabilidad de convertirlo en una mina en operación. En correspondencia a su compromiso de conseguir el financiamiento, encontrar, desarrollar y aplicar la tecnología adecuada, diseñar, construir y operar la mina y comercializar el producto, obtendrán una posición de igualdad en la mina.

En este capítulo se considera que el proceso de tomar decisiones, comienza en un punto donde toda la información que pueda obtenerse sobre una ocurrencia mineral esté incluida en un estudio de factibilidad completo. Supongamos que, en esta etapa, se ve promisorio. Es ahora cuando la gente con experiencia minera tiene el difícil trabajo de reunir y evaluar gran cantidad de información, con objeto de llegar a una decisión lógica sobre la economía de una mina en potencia. Por supuesto, la prueba final del valor de una zona mineralizada sería explotar y concentrar la mena, pero el costo de tal prueba si la ocurrencia es antieconómica,

hace impráctico este método. Por tanto, los encargados de planear la mina primero crean una mina teórica en el papel.



Una mina empieza mucho antes de que se coloquen los primeros cimientos o se extraigan las primeras toneladas de mineral. Sus principios pueden consistir en la investigación de varios procesos metalúrgicos, de una discusión de los salarios y de los costos en el área, o de información de campo.

Se emplean con prodigalidad tiempo y esfuerzo en el estudio de factibilidad de una mina porque el riesgo disminuye a medida que la calidad del análisis aumenta. Ciertas preguntas dentro del estudio de factibilidad no pueden responderse con datos empíricos. Para éstas lo mejor que puede hacerse es tomar en cuenta las opiniones de alguien con experiencia sobre lo que el futuro pueda traer. Por ejemplo:

- ¿El precio y la demanda tienen la tendencia de ser suficientemente estables por bastante tiempo de manera que los costos previstos de construcción, procesamiento, transporte y comercialización puedan recuperarse y se obtenga una utilidad?
- ¿Los mercados para el producto continuarán sujetos a las fuerzas normales de abastecimiento y demanda, o el producto podrá ser superado por sustitutos o escasear por desórdenes políticos?
- ¿Cuál es la tendencia en los tipos de interés y la inflación?

Las estimaciones que se hagan dictarán la forma de financiamiento que deba usarse, el cual a su vez afectará de manera importante el costo de desarrollo de la mina.

Estas preguntas se responden mediante análisis que podrían llevarse varios miles de hojas mecanografiadas, consumir cientos de horas hombre y costar cientos de miles de dólares.



Personal, en oficinas muy alejadas, comienza a trabajar para responder a la pregunta: ¿llegará a ser una mina?

El informe de factibilidad

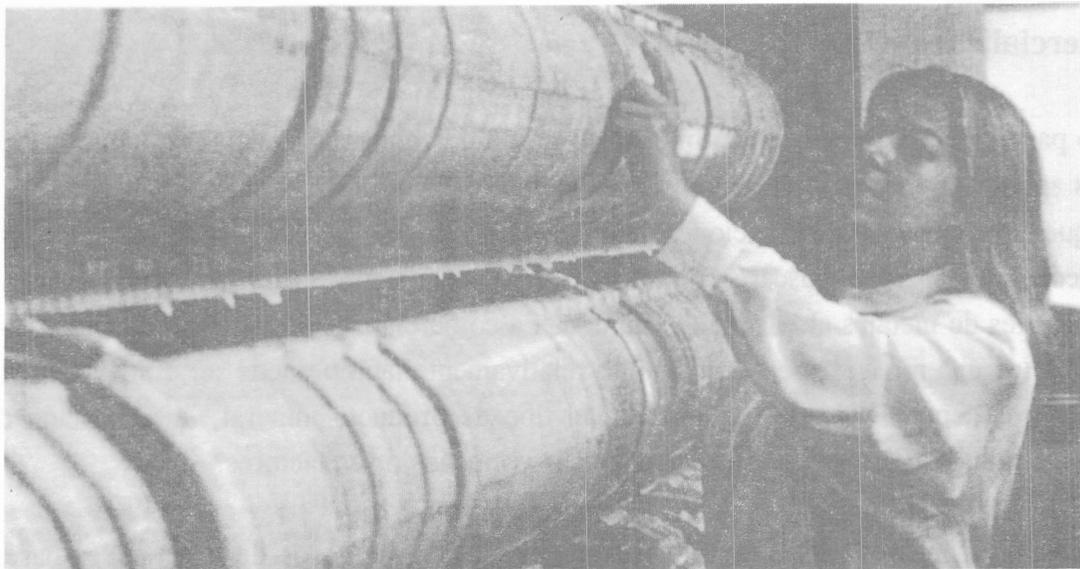
Esencialmente, el estudio de la probable economía de una mina, o sea, el informe de factibilidad, tiene que considerar todos los aspectos de desarrollo y operación. Confirma o rechaza las estimaciones preliminares, ampliando y detallando los costos y las cifras de recuperación. Se usan datos de muchas fuentes para crear la mina teórica. Son consideraciones básicas las reservas de mineral y la ley y tipo del minado más adecuado para el caso. Se forman modelos en plástico tridimensionales o modelos computarizados de la zona de mena con base en-

los datos obtenidos por las perforaciones de exploración; miles de cifras en las impresiones de la computadora mostrarán una configuración ideal de un tajo o del plan de extracción



subterránea; listas, tablas y cartas proveerán programas de producción y estimaciones de ingresos y costos.

Los costos de energía, agua, protección ambiental y rehabilitación del sitio, así como también la mano de obra local se factorizan en la fórmula, así como el efecto de los impuestos al ingreso de las personas, regalías, impuestos sobre ventas y legislación. Finalmente, todo lo que deba conocerse acerca del proyecto deberá calcularse o estimarse. El objetivo es proveer a quienes tengan que tomar las decisiones, con toda la información que puedan necesitar para llegar a una decisión acerca de si los riesgos serán compensados por las recuperaciones potenciales.



A medida que avanza el proyecto, se va incorporando cada vez más personal. El volumen de planos, tablas y gráficas aumenta constantemente; los preparativos empiezan a tocar costos, tales como seguros, impuestos y energía, y el tiempo de computación se eleva.

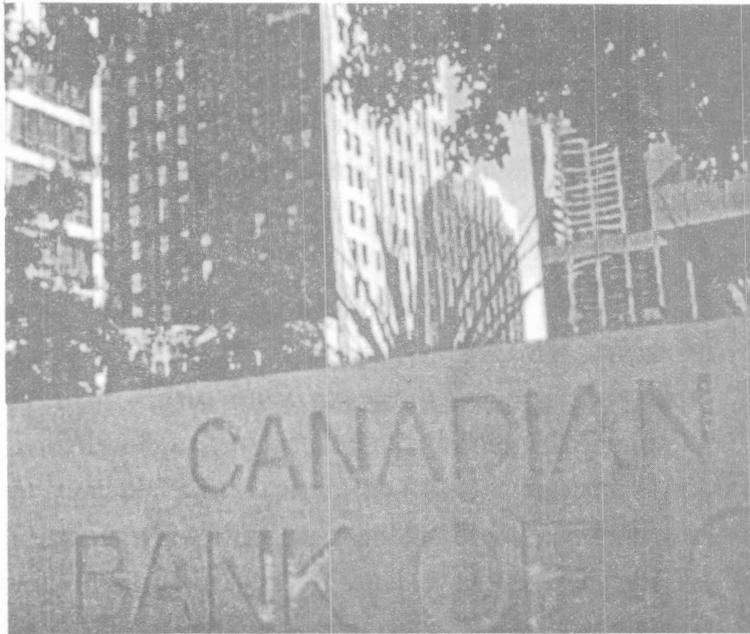
Muchos de los datos en el informe están basados en proyecciones y pueden hacer variar, a veces drásticamente, los resultados que se obtendrían bajo las condiciones actuales de trabajo. Por esto es que los riesgos del minado nunca pueden ser eliminados. Por ejemplo, en un proyecto financiado por préstamos, si las estimaciones del costo de capital son demasiado bajas, mientras que las tasas de interés tiendan a subir durante la construcción, el sobrecosto compuesto puede llegar a ser de decenas de miles de millones de dólares. Si las proyecciones del mercado, siempre sujeto a muchas variables, también cambian drásticamente, entonces las inexactitudes son peores y el proyecto completo es riesgoso. La situación ideal por la que luchan los desarrolladores y planeadores de una mina, es terminar a tiempo, dentro del presupuesto y con montos de producción anticipados. Si pueden mejorar cualquiera de estos objetivos, mucho mejor. Las preguntas básicas sobre factibilidad, mercados y financiamiento están interrelacionadas. La mina no puede construirse sin financiamiento, el cual a su vez no puede garantizarse sin mercados que por su parte necesitan asegurarse que una mina será construida y se llegará a obtener un producto. Eventualmente, la solución a este acertijo triangular de “¿Por dónde debemos empezar?”, es comunicación y paciencia. Los financieros y compradores estarán vigilando el desarrollo potencial desde una etapa inicial, posiblemente aún antes de que el estudio de factibilidad haya empezado. El desarrollador mantiene comunicaciones con estos grupos interesados, proporcionándoles informes completos del avance, a medida que el proyecto pasa por las etapas teórica, posible, probable y concreta. Así, la discusión sobre comercialización y financiamiento se acercará al mismo tiempo a una conclusión que se aproxime a la decisión de desarrollar o no desarrollar.

Comercialización

Como parte de un informe de factibilidad, el grupo de comercialización habrá hecho estimaciones anticipadas sobre la demanda y precios futuros para la producción de la mina. A medida que se obtengan las indicaciones de que será positiva la decisión de llegar a la etapa de producción, este grupo buscará contratos, por lo menos sobre una base condicional, con compradores de metales alrededor del mundo. La comercialización de la producción de concentrados de una mina puede ser un asunto relativamente fácil o puede ser el mayor obstáculo de todos, dependiendo de la demanda, el tipo de producto mineral, la reputación de la compañía minera, las proyecciones económicas y muchos otros factores.

Los mercados del oro tienen pocas semejanzas con los mercados de los metales base. La demanda es excepcionalmente estable, expresada primeramente en los movimientos de precio de unos cuantos dólares durante un día quieto en el mercado del oro.

Con frecuencia se tendrán que llevar a cabo negociaciones en países extranjeros, donde las dificultades más notables no sean únicamente el lenguaje y las costumbres. La habilidad del grupo de comercialización para encontrar compradores para la futura producción de la mina ejercerá una influencia favorable sobre el financiamiento, aunque la producción de los concentrados pueda tardar todavía muchos meses y sólo haya en proyecto cifras de producción, fechas, cantidades y ley. La fundición requerirá una gran cantidad de informes sobre estos y otros puntos, puesto que sus instalaciones deben ser capaces de procesar el concentrado y obtener un producto comercializable. La fundición también deberá ser capaz de manejar las



Las instituciones financieras juegan un papel vital en el desarrollo de la mina.

impurezas y productos secundarios del concentrado. Un acuerdo entre un comprador y un vendedor tendrá que formalizarse mediante un contrato, lo cual es un paso esencial puesto que están involucrados muchos millones de dólares de concentrados producidos a lo largo de meses o años. Cada punto en la transacción, como transferencia de la propiedad, seguro, frecuencia y volumen de los embarques, métodos de transporte y términos de pago, serán objeto de largas negociaciones antes de llegar a un acuerdo final.

Financiamiento

La obtención de los fondos para financiar la construcción de una mina y la planta de concentración es el tercer requerimiento básico. El financiamiento finalmente elegido está gobernado por cierto número de consideraciones: el acuerdo con el dueño del denuncia; el tiempo requerido para pagar un préstamo si es que se toma este camino; el clima político del país donde se localiza la mina. La planeación debe prever la necesidad de tener fondos disponibles para responder a la rapidez de gasto durante el período de construcción y para tener capital de trabajo hasta que los ingresos propios de la mina sean suficientes. Durante los años

setentas, la forma más favorecida de financiar una mina hasta su producción en Canadá fue a través de préstamos, generalmente arreglados con bancos canadienses legalmente establecidos que han contribuido a la expansión de la industria minera y a su récord de éxitos. Para las minas en países en desarrollo, los constructores de minas frecuentemente consiguen préstamos a través de grupos internacionales de bancos.

La forma peculiar de comercializar el oro ha dado lugar a una forma relativamente nueva de financiamiento llamada “préstamo oro”. Quien está desarrollando una mina toma prestado no efectivo, sino oro que está en depósito en los bancos. Normalmente tales depósitos ganan poco o ningún interés de manera que el que está desarrollando la mina, que vende el oro y usa los productos para construir una mina de oro, es capaz de negociar un tipo de interés mucho más bajo y más favorable que lo que hubiera pagado por un préstamo en efectivo. Cuando la mina esté operando podrá devolver el préstamo en forma de oro proveniente de la producción.



Miles de pruebas se tendrán que llevar a cabo en diferentes partes del cuerpo mineral para determinar con más precisión las leyes que encontrará el minero al efectuar la explotación.

Si los cargos por financiamiento de los bancos fueran demasiado altos, existen otros métodos como puede ser el de asociarse con otra compañía para formar una nueva empresa, conservando la propiedad del mineral y de la mina mientras ésta se construye. La compañía que está haciendo el desarrollo compra la mayor parte de las acciones de esa nueva empresa, puesto que continuará siendo el factor de mayor influencia en el desarrollo de la mina y de las utilidades esperadas.

Para minas situadas fuera de los Estados Unidos y Canadá, deberán tomarse en cuenta otros aspectos. Muchos países tienen alguna forma de control monetario o de exportaciones. Comprensiblemente, los bancos buscarán asegurarse que se pueda disponer de fondos para la recuperación de sus préstamos en la misma moneda que el préstamo. Debido a esto y a otros factores de incertidumbre como, por ejemplo, la devaluación monetaria, este tipo de riesgo necesita una planeación extremadamente cuidadosa y puede requerir programas de seguridad arriba del promedio y de pagos rápidos. Para el momento en que una mina sea financiada para producción, deberán haberse tomado en cuenta otros compromisos, tales como pagos a bancos o a tenedores de bonos, pagos obligatorios a los gobiernos

y a los dueños originales de los denuncios, pagos de amortización sobre los servicios de energía eléctrica y transporte, y provisiones para los servicios sociales a la población. En realidad es una indicación de optimismo, así como de confianza profesional, cuando quienes tienen que tomar las decisiones aceptan tales compromisos en la creencia de que los futuros ingresos serán adecuados para cumplir con ellos.



Los mercados para la producción de la mina son una consideración fundamental y tendrán que efectuarse reuniones con representantes de las posibles fundiciones maquiladoras para conocer sus requerimientos.

La decisión de entrar en producción

Hasta este momento los clientes y financieros potenciales de la mina habrán sido mantenidos informados del avance del estudio de factibilidad. Si las indicaciones son favorables para el desarrollo, deberán simultáneamente ser informados y requeridos para confirmar sus posiciones. Ahora, con la seguridad tanto de los mercados como de la disponibilidad de fondos

más un informe completo y detallado de factibilidad, el desarrollador de la mina decidirá si sigue adelante o no. El informe de factibilidad desglosará el tamaño del riesgo, una cantidad que puede llegar a ser de cientos de millones de dólares. Con tal riesgo, los ejecutivos superiores, que serán los que actualmente deben tomar la decisión, llevan una pesada responsabilidad. Recuérdese que el informe de factibilidad es esencialmente una predicción del futuro basada en experiencias pasadas: ¿son confiables los datos?, ¿son sólidas todas las suposiciones?, ¿ha sido tomado todo en cuenta?

Han sido considerados muchos aspectos del problema, pero constantemente aparecerán factores nuevos. Sin embargo, en algún momento tendrá que tomarse una decisión, porque como Samuel Johnson sabiamente dijo: “Nada se intentaría si no se eliminaran todas las objeciones posibles”.



La decisión de establecer una mina, después de muchos meses de estudio y de gastar millones de dólares, se justifica cuando principia la construcción.

La mejor garantía de que el juicio del que está desarrollando la mina es correcto y que la jugada no se perderá, es la experiencia y el saber de aquellos que contribuyeron al informe de factibilidad. Si este reporte no da una expectativa clara y razonable de que la inversión se recuperará, la decisión debe ser la de no seguir adelante, a pesar de que ya hubiera sido hecho un gran gasto. Por otra parte, si la oportunidad de una recuperación importante está indicada y el proyecto se autoriza, muchísimas cosas empezarán a ocurrir en el momento en que el informe de factibilidad, hasta ahora sólo un estudio técnico, se convierte en el plan de

acción. La primera fase quizá crítica, de una mina nueva, ha sido superada. En vez del trabajo efectuado para crear y sostener una teoría, de aquí en adelante la teoría se transformará en hechos de concreto, acero, actividad y, finalmente, producción.

De la mina resultante se extraerá material de poco valor que se convertirá en minerales y metales necesarios. Se crearán nóminas, impuestos, créditos de exportación y dividendos y se proporcionarán los medios, gracias a la exploración continua, para encontrar abastecimientos futuros de metal.

En resumen, las diferentes aptitudes y conocimientos empleados por el desarrollador de la mina, habrán dado por resultado la creación de un activo de valor de larga duración para la sociedad. El sistema mediante el cual se crea una mina es complicado, pero si se le da la oportunidad de funcionar como se planeó, trabajará muy bien.

CAPÍTULO 3

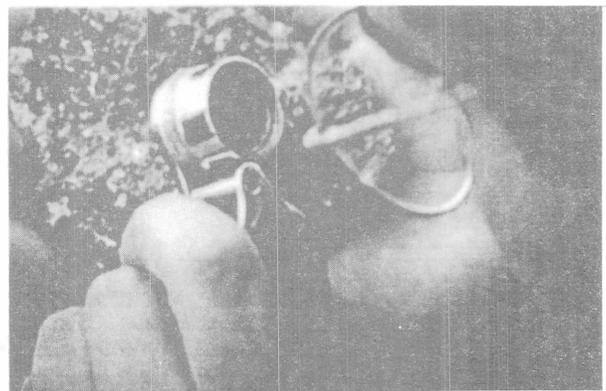
EXPLORACIÓN

La palabra “exploración” tiene connotaciones románticas que no se captan en las definiciones que dan los diccionarios. Quizá es la promesa de cosas interesantes por descubrirse o la promesa de ricos hallazgos para quienes perseveran.

Cualesquiera que sean las asociaciones emocionales de la palabra, basta dar un vistazo a los aspectos prácticos de la exploración mineral para destacar algunas verdades duras.

Para empezar, el 98.59% de la costra de la Tierra, de la cual obtenemos minerales útiles, está compuesta de sólo ocho elementos comunes. De éstos, cuatro: aluminio, hierro, magnesio y silicio, tienen valor comercial, y rara vez ocurren en concentraciones suficientes para soportar el costo del minado.

Los siguientes quince elementos más comunes se encuentran en sólo el 1.124% de la costra e incluyen unos cuantos de los metales más importantes, como el titanio, manganeso, cromo y níquel.



El geólogo explorador continúa siendo una de las piezas importantes en el propósito de encontrar nuevas fuentes de minerales. Generalmente se apoya en las técnicas antiguas pero efectivas, que consisten simplemente en “caminar sobre el terreno” y examinar trozos de roca “flotantes”, colectados con la ayuda de su ojo experto.

Los restantes metales “comunes” como el cobre, plomo, zinc, molibdeno y estaño, junto con más de otros setenta elementos, existen en una fracción del 0.286% de la costra terrestre.

Muchos de estos yacimientos son prácticamente inalcanzables por encontrarse abajo de los océanos, mientras que otros, bajo los 147.2 millones de kilómetros cuadrados de la superficie de tierra firme, están en la jungla, desiertos o áreas árticas, o están ocultos por rocas geológicamente más jóvenes y por suelos superficiales. Aun cuando estas condiciones no siempre sean las de las áreas mineralizadas, éstas pueden estar alejadas de los transportes y de la fuerza eléctrica requerida para efectuar un minado económico.

El lector podrá sorprenderse de que alguien intente buscar cuerpos minerales ante tales desventajas. Pero nuestra cultura y civilización requieren minerales industriales mucho más que lo que necesitan de otras cosas, excepto alimentos y aun los alimentos no podrían producirse ni distribuirse sin los minerales; por tanto, no hay alternativa para la producción mineral y la exploración mineral.

Historia

Desde sus primeros intentos para competir en un mundo en el que generalmente estaba en desventaja, el hombre ha usado metales. Las canteras, el minado y la prospección están entre las actividades humanas más antiguas. En el principio de la historia, los requerimientos humanos de metales fueron relativamente modestos, pues sólo unos cuantos, como cobre nativo, oro y plata fueron conocidos y sólo se usaron en pequeñas cantidades.

Las fuentes de dichos metales fueron afloramientos minerales de alta ley y el hombre primitivo rasguñó muchos de estos yacimientos, extrayendo el mineral en forma rudimentaria. Cuando una de tales fuentes se volvía demasiado difícil para trabajarse, se veía forzado a buscar otras y a veces se decepcionaba.

A medida que el tiempo pasó, los metales llegaron a ser materias primas importantes para comerciar, y aumentó su variedad y cantidad. Eventualmente, las manifestaciones superficiales de alta ley se escasearon y se requirió mayor ingenio para resolver el problema del minado de depósitos a la profundidad y para desarrollar otros de bajas leyes. Con mano de obra barata y abundante, podían emplearse muchas horas hombre para extraer unas cuantas libras de metal, y civilizaciones como los fenicios, griegos y romanos llegaron a ser



Aun un arroyo puede tener algo que decir. Pueden detectarse trazas de compuestos metálicos en los sedimentos de un arroyo. Aquí un geoquímico se dispone a probar y registrar una muestra.

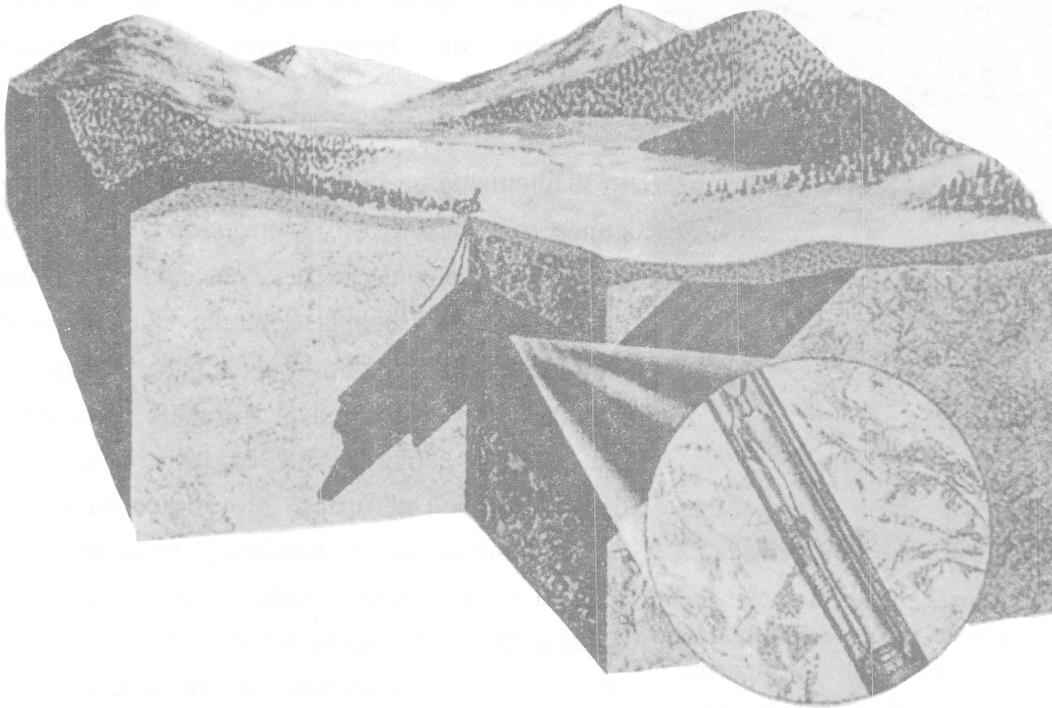
verdaderos expertos en trabajar a mano yacimientos minerales de bajas leyes a profundidades considerables.

Probablemente en la Edad Media evolucionaron algunos especialistas en prospección y el prospectador fue el elemento esencial en cualquier esfuerzo de exploración hasta la Segunda Guerra Mundial. Aunque el prospectador puede haber tenido algún conocimiento geológico, su trabajo generalmente era efectivo debido a que era directo y sencillo, desarrollaba un verdadero ojo clínico para visualizar la mineralización metálica y tenía sensibilidad para la roca. Hacía tentaduras de muestras de la mineralización y seguía los derrubios (fragmentos de roca que se encuentran con frecuencia en las laderas de los cerros abajo de un afloramiento o veta) hasta su fuente; hacía zanjas, catas y exponía la roca firme mediante traspaleo en cualesquiera áreas

favorables. Los prospectadores han sido siempre quienes primero han penetrado en áreas remotas e inexploradas y han sido eminentemente exitosos en encontrar ocurrencias de mineral cercanas a la superficie. Muchas de las minas más grandes en producción actual son el resultado de un esfuerzo iniciado por los prospectadores. Durante los últimos cuarenta años, los avances en la tecnología minera y en las ciencias de la Tierra, particularmente en geología, física y química, han producido cambios radicales a los métodos usados en exploración para buscar y encontrar recursos minerales. Mediante técnicas sofisticadas, actualmente se localizan depósitos que están muy abajo de la superficie o bajo agua.

Exploración moderna: reducción de las desventajas

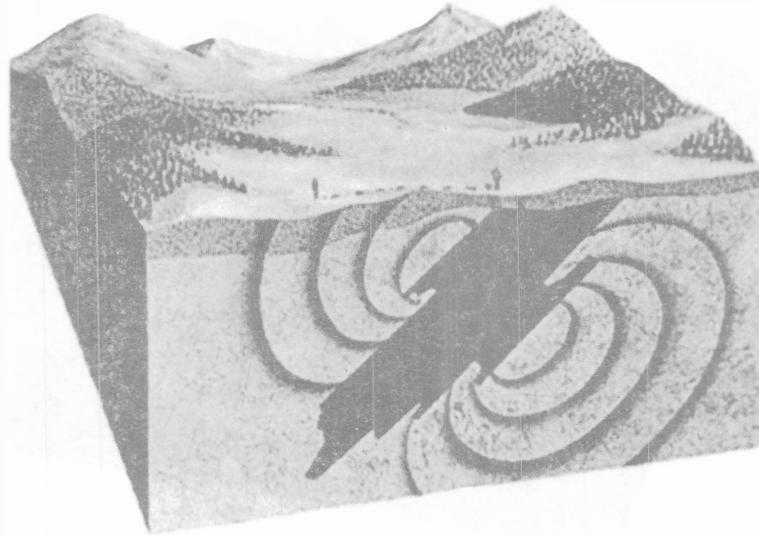
Se dice que la suerte juega un papel importante para encontrar una mina, pero más bien la exploración puede compararse a un trabajo detectivesco. Deben reunirse guías, o indicios, clasificarse e interpretarse. El éxito más que nunca depende de la iniciativa, la aplicación de las técnicas correctas de exploración y del razonamiento deductivo.



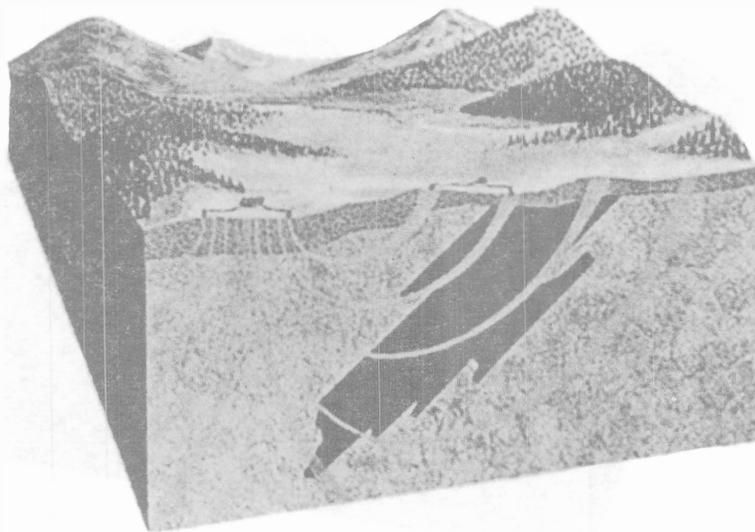
La comprobación final de la mineralización es la perforación. Esta ilustración muestra una perforadora de diamante que, desde una misma localización en superficie, puede penetrar las formaciones geológicas en forma de pirámide. Se obtienen cilindros de roca llamados “núcleos” de profundidades que de otra manera serían inaccesibles. Mediante el análisis y pruebas de un conjunto de tales núcleos, tomados a intervalos dentro de una anomalía conocida, se determina el contenido mineral y su ley (que es la relación del metal recuperable sobre la roca estéril).

Las oportunidades de que un prospecto llegue a ser una mina han sido estimadas burdamente en mil a uno. Si no fuera por la eliminación metódica de áreas de baja probabilidad y una aproximación disciplinada a la exploración de lo que queda, esta cifra sería bastante más alta. Además, la naturaleza de este trabajo es tal, que no puede darse ninguna cifra exacta sobre los costos de exploración. Es por eso que sólo se dispone de capital para exploración mineral cuando las ganancias potenciales sean suficientemente grandes para compensar el riesgo.

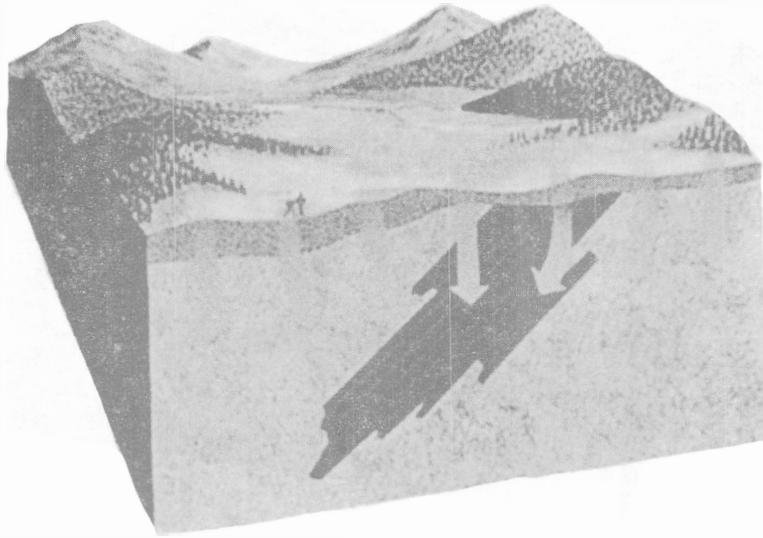
Generalmente, los fondos para exploración provienen de explotaciones mineras exitosas o de inversiones públicas. Se utilizan para equipar y sostener programas, usando un rango diverso de aptitudes y métodos.



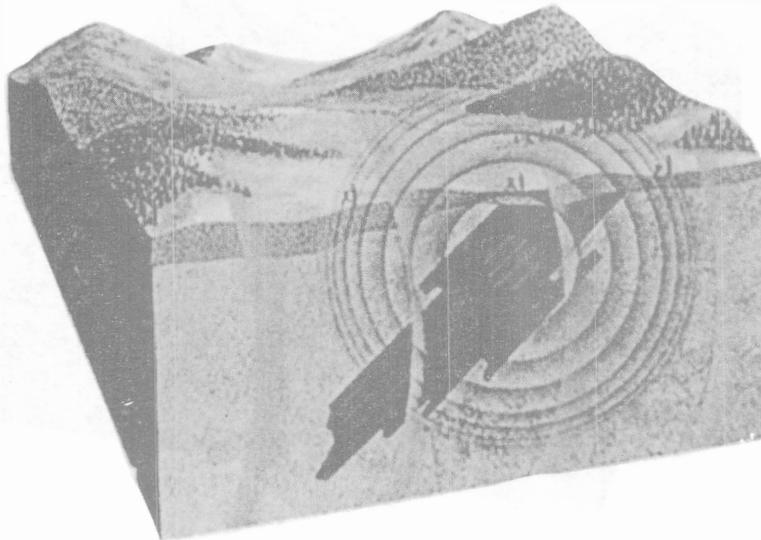
- a) Auto-potencial: El agua subterránea puede actuar sobre un depósito mineral para producir una carga eléctrica débil (acción de batería). Las medidas sistemáticas de los voltajes en la superficie, pueden mostrar un cambio importante cuando existe mineralización bajo la superficie.



- b) Polarización inducida: Puede crearse un campo eléctrico en el terreno haciendo pasar una corriente eléctrica medida a través de éste, usando dos electrodos y un generador. Los geofísicos pueden calcular la propiedad eléctrica del terreno llamada resistividad, midiendo el voltaje ocasionado por este campo mediante otro par de electrodos colocados a cierta distancia. Si existen aunque sean cantidades pequeñas de minerales, el campo eléctrico puede llegar a cargarse y producir una polarización inducida.



- a) Electromagnetismo de muy baja frecuencia (VLF): las comunicaciones militares internacionales utilizan ondas electromagnéticas de muy baja frecuencia (very low frequency, VLF). Las zonas de fallas geológicas pueden estar mineralizadas y pueden producir ondas secundarias medibles de esta energía.

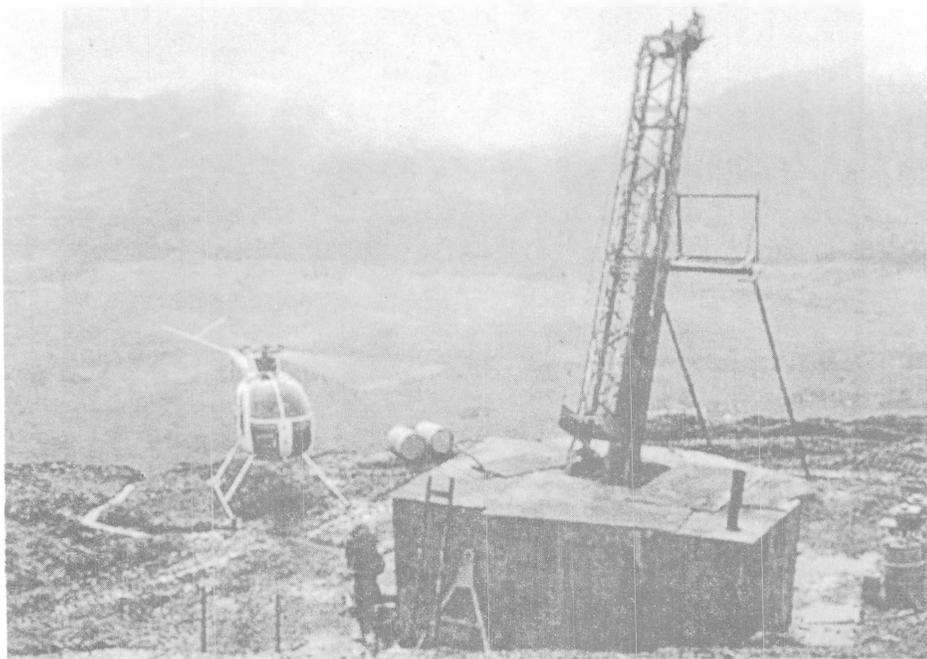


- b) Gravedad: La atracción de la gravedad de la Tierra cambia muy ligeramente con la altitud, latitud y quizá con la presencia de formaciones de roca densa; con un gravímetro se puede detectar una variación de una parte por cien millones, lo cual significa que pueden notarse cambios medibles por cada cinco centímetros que se suba o se baje el instrumento. La mineralización puede distorsionar y aumentar la atracción de la gravedad en forma cuantificable.

Como un ejemplo de esta diversidad, comúnmente trabaja en exploración cierto número de especialistas. Además de los prospectores, hay geólogos, geofísicos, geoquímicos, técnicos de campo, pilotos, ensayadores, laboratoristas, especialistas en computación e ingenieros de minas. Todos ellos y otros están involucrados en la cadena crítica de recolectar datos, procesarlos, evaluarlos, interpretarlos y reinterpretarlos.

Los fundamentos: desde la piel de la oreja de un cerdo hasta hacer con ella una bolsa de dama

Algunos yacimientos minerales son geológicamente muy viejos mientras otros son relativamente jóvenes. Ocurren dentro de rocas intrusivas volcánicas, sedimentarias y metamórficas. Algunos se formaron al mismo tiempo que la roca huésped y han permanecido virtualmente sin perturbaciones. Otros han sufrido historias complejas de deformación y redepositación.



Pocas minas se descubren en lugares accesibles. El geólogo de exploración tiene que afrontar condiciones de frontera, pero en cambio, vive y trabaja en lugares que es poco probable que otros visiten. Aquí, un helicóptero llega a recoger a dos geólogos de un punto de perforación de diamante en el Yukón.

El propósito esencial de la exploración es encontrar yacimientos minerales y comprobar su potencial como mena. Por definición se entiende por *mena* una mezcla de minerales que puede desarrollarse, extraerse y procesarse con una utilidad. Que pueda derivarse utilidad de la explotación de un depósito mineral, depende de muchos factores técnicos y económicos. Aspectos tales como el tonelaje, la ley y la recuperación del metal pueden establecerse con gran precisión y permanecer relativamente invariables. En cambio, los factores económicos, como son los precios de los metales, los costos de capital y de operación, infraestructura, transporte y los impuestos, cambian constantemente. Además, los cambios tecnológicos, la legislación y las influencias legales y sociales pueden afectar de un modo dramático la viabilidad de una mina en potencia. Como resultado, lo que constituye una mena varía en cuanto a los lugares y el tiempo. La industria mineral es extremadamente sensitiva a esos cambios y está revisando constantemente los desarrollos internacionales para determinar las áreas más favorables para desarrollar reservas minerales económicas.



La exploración es una actividad constante: área de El Chico, estado de Hidalgo, México.

Métodos aplicados: hitos en la ciencia

Diferentes avances científicos, algunos de ellos desconocidos hace apenas una generación, actualmente son una herramienta normal de la exploración moderna.

Geofísica

Durante las últimas décadas el papel del geofísico en exploración ha crecido. Sus conocimientos y habilidades se requieren para interpretar una gran cantidad de sistemas sofisticados de levantamientos geofísicos aéreos y terrestres, que han sido desarrollados para detectar diferentes depósitos minerales.

Cada uno de estos sistemas está basado en la suposición de que una anomalía geológica tendrá una diferencia física medible de los parámetros correspondientes a la roca circundante. Se usan comúnmente levantamientos magnéticos, electromagnéticos, radiométricos, de resistividad, de gravedad, sísmicos y de polarización inducida, para buscar mineralización. Como cada tipo de depósito mineral tiene diferentes características físicas, las técnicas de levantamiento se seleccionan sobre la base del tipo previsto de mineralización.

Se han combinado dos áreas separadas de avances técnicos para proporcionar una herramienta geológica con excelente potencial. Muchas personas han visto imágenes producidas por satélites que vuelan a más de 600 km sobre la superficie de la Tierra. Aunque éstas al principio parecían ser únicamente una curiosidad, actualmente constituyen una herramienta valiosa para los exploradores.

Las imágenes están formadas por millones de bits de datos recibidos de los satélites que son "leídos" por computadoras, las que los recomponen en algo parecido a las fotografías. Mediante programas de cómputo se les puede asignar colores que representan valores altos o bajos en diferentes levantamientos, producidos previamente para una región para probar anomalías que puedan corresponder a concentraciones de minerales. Por ejemplo, los levantamientos magnetométricos aéreos, sobrepuestos a una imagen Landsat, pueden revelar o confirmar sutiles variaciones no evidentes a los geólogos sobre la superficie y no siempre claramente delineados en las fotografías aéreas.

Además, gracias a dichas imágenes, los geólogos pueden reconocer ciertas características de grandes áreas de la superficie de la Tierra que se manifiestan debido a la reflexión de los rayos solares, sin importar que se interpongan las nubes o no y, mediante la computadora, el geólogo puede controlar la posición del sol, moviéndolo alrededor de la imagen. Cada ángulo revela diferentes peculiaridades de la superficie y proporciona nuevas guías a los exploradores.

Por supuesto que cada sistema de detección tiene limitaciones, la penetración efectiva varía entre 250 a 300 m y cada uno registra anomalías producidas por otras características diferentes a la mineralización. En muchos casos, estas otras anomalías pueden usarse indirectamente en la búsqueda de menas, pero la interpretación de todos estos datos geofísicos y la selección de anomalías favorables depende muchísimo del talento de un geofísico experimentado.

Geoquímica/biogeoquímica

Muchos yacimientos minerales esparcen pequeñas cantidades (trazas) de metales en el aire, suelo, agua y, por tanto, en el material orgánico en su cercanía. Se han desarrollado ciertas técnicas para detectar esos elementos traza hasta de unas cuantas partes por millón, y aun por mil millones, en muestras de roca, suelo, sedimentos en los arroyos, agua o en la vegetación. De nuevo se requiere habilidad para determinar qué sistemas geoquímicos son los más efectivos para indicar anomalías y cuáles anomalías son las más importantes.

Que haya elementos traza detectables o no, depende de muchas variables, incluyendo el tipo de drenaje y del suelo, la profundidad del encape, la alteración mecánica y química de la fuente, y la composición del agua subterránea. Cada elemento puede comportarse de manera distinta bajo diferentes condiciones y estas condiciones deben conocerse y anticiparse antes de que se pueda hacer uso efectivo de los levantamientos geoquímicos.

Geología

El trabajo del geólogo de exploración es reconocer áreas de buen potencial tan pronto como sea posible y dirigir sus recursos y esfuerzos hacia ellas. La información geológica es la clave de la exploración mineral. Se requiere desde la selección inicial de una región general que deba explorarse y continúa hasta la evaluación de las ocurrencias específicas del mineral.

Mediante el mapeo de superficie y exámenes geológicos detallados, el geólogo primero produce planos diagramáticos de la porción de tierra que está siendo estudiada, en los que se muestran la composición, distribución, edad y relaciones de las diferentes unidades de roca y con esos datos pueden interpretarse las estructuras y secuencias de los eventos geológicos. Con cuidado el geólogo puede, con frecuencia, extrapolar las características geológicas observadas a las áreas vecinas a través del encape y hasta a alguna profundidad dentro de la Tierra.

Gracias a los procedimientos de mapeo, se podrán observar áreas de mineralización, de alteración y características periféricas asociadas que podrían indicar la cercanía de un yacimiento de mena oculto.

Prácticas de exploración: cambiando las leyes de la probabilidad

La *exploración moderna*, en teoría, es la aplicación de metodología lógica a la búsqueda de recursos minerales, utilizando personal especializado y una variedad de técnicas científicas. El geólogo formula un concepto geológico sobre la base de la comparación con depósitos conocidos y del conocimiento de los procesos geológicos básicos y de los esquemas de distribución del mineral. Entonces se seleccionan las áreas más favorables para el tipo particular de mineralización buscada. Mediante estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos se determinan áreas para investigación más intensa hasta que pueda reconocerse una anomalía importante.

En este punto, el programa se vuelve más específico al buscar muestras actuales, se usa el zanjeo si los minerales están razonablemente cerca de la superficie; de otra manera, la perforación y las obras subterráneas son la única forma de obtener las muestras sobre las que se basarán todos los cálculos y decisiones posteriores.

El principio de perforación para obtener muestras es sencillo: un vástago de perforación, movido desde la superficie, penetra las rocas del área de interés. Se obtienen muestras para análisis en laboratorio en forma de esquirlas o de núcleo. El mayor gasto ocurre al mover el equipo a áreas remotas y en la preparación del sitio de perforación. A veces es necesario construir largos caminos o utilizar helicópteros, planear la operación durante meses y establecer un campamento autosustentable antes de que pueda llevarse a cabo la perforación para determinar el tamaño y ley de una anomalía.

Aunque la exploración es cada vez más disciplinada, metódica y científica, lo único cosa que nunca puede ser es estática. El hecho de que la tecnología y las condiciones económicas estén cambiando constantemente significa que los programas de exploración, aun aquellos que estén en proceso, pueden requerir modificaciones y reinterpretación de los datos. En ocasiones, como resultado de nueva información y reevaluación, puede deducirse la existencia de una estructura mineralizada completamente imprevista.

Conclusión

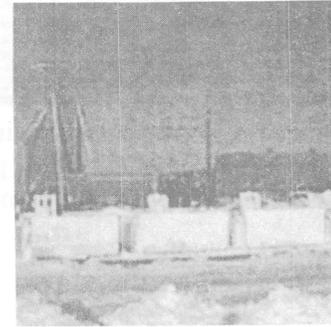
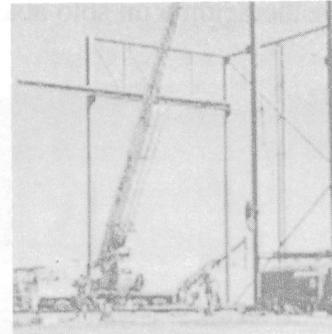
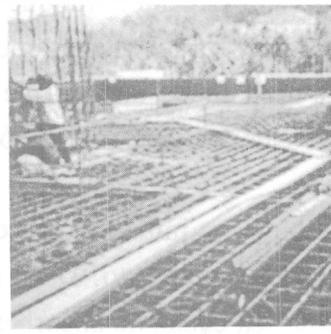
Hay aún muchas zonas mineralizadas esperando ser descubiertas bajo los continentes y océanos de nuestro globo. Algunas de ellas podrían ser más ricas que cualesquiera de las conocidas actualmente, pero debido a que se encuentran a profundidades más allá del alcance de los actuales métodos de detección, su desarrollo depende de la aplicación de métodos de exploración nuevos y más imaginativos.

Ese es el reto y, considerando la versatilidad y el talento del hombre para resolver problemas, hay buenas razones para esperar que la exploración mineral en el futuro sea excitante y remuneradora.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN

A un caricaturista que observaba la construcción de un puente desde sus extremos hacia el centro, le pareció chistoso que a medida que los extremos se acercaban al centro, era obvio que no iban a dar uno con otro. Esta situación nos indica que la planeación es importante, particularmente en la construcción de una mina.



Existen muchos factores que afectan la productividad de una mina; entre los más importantes se encuentran el diseño básico, la ingeniería y la construcción, puesto que éstos ejercerán influencia en mayor o menor grado sobre todos los futuros costos de operación. Este capítulo sobre la construcción de una mina delinea el proceso de desarrollo y hace ver que hay más de lo que salta a la vista.

Descubrimiento y evaluación

Los minerales se encuentran en todo el mundo, pero rara vez reúnen los dos requisitos que se requieren para minarlos: ley económica (concentración de mineral) y un volumen total de mena suficiente para compensar la inversión y dejar utilidades.

De las muchas ocurrencias minerales, unas cuantas parecerán tener buen potencial y deben probarse extensamente. Aunque es imposible de establecer a priori la prueba absoluta de que una mina operará provechosamente, quien desarrolle una mina se esforzará por acercarse a esa meta preparando un informe de factibilidad, que es un plan teórico que proyecta en papel todos los aspectos de la operación de la mina en potencia.

Por ejemplo, una mina debe diseñarse y construirse para que opere en el extremo inferior de la escala global de costo. Debe tender a asegurar que la estructura de costos durante la vida de la mina sea capaz de absorber las variaciones cíclicas de los precios, ya que la demanda y los precios subirán y caerán sin consideración a un solo abastecedor.



Los caminos son vitales para las minas en áreas remotas. Aquí, en Papua occidental, Nueva Guinea, todo, desde concreto hasta clips para papel, jabón y combustibles, tiene que traerse a la mina a través de muchos kilómetros de caminos como éste.

El estudio de factibilidad

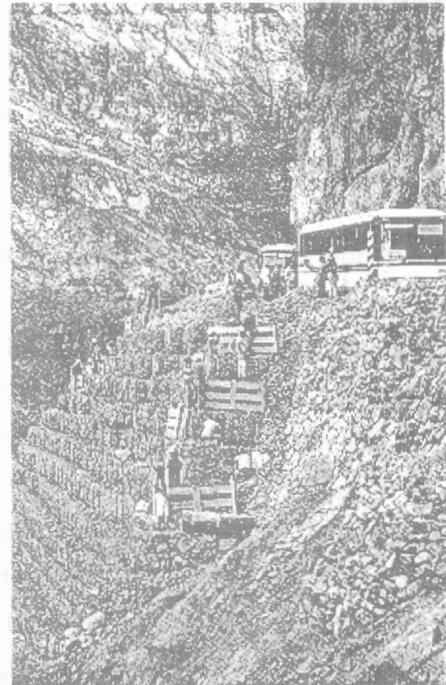
Entre los objetivos del informe de factibilidad se encuentra el de indicar oportunamente las debilidades de la operación proyectada, lo cual permita a quien trate de desarrollar una mina, modificar o adoptar otro enfoque. En resumen, le ayudará a construir puentes que se encuentren en el centro.

Todos y cada uno de los factores que puedan influir sobre los costos propuestos de la mina, deben medirse, pesarse y estimarse. También deben tenerse en cuenta en el informe de factibilidad, aspectos tan diversos como las fuentes de financiamiento y los procesos metalúrgicos más adecuados. Si el informe proporciona una indicación firme de que un depósito mineral puede realmente llegar a ser una mina, la decisión será proceder con la fase siguiente del proceso de desarrollo: *construcción*.

La necesidad de rapidez

La minería moderna ha hecho posible desarrollar yacimientos de baja ley, extrayendo grandes tonelajes de mena y bajando los costos unitarios. Pero la inversión para hacer una mina sobre esos parámetros, aunque sólo sea de tamaño mediano, se acerca a 200 millones de dólares y por ello se debe considerar muy seriamente la decisión de desarrollarla, con todas las variables tomadas en cuenta cuidadosamente.

La rapidez es uno de los factores fundamentales. Si el desarrollo se financia con préstamos, los intereses comienzan a generarse desde el momento en que se reciba la primera suma de dinero y continuarán durante todo el desarrollo y aun durante la etapa de producción hasta que se pague el préstamo. Aunque los fondos para el desarrollo provengan de los accionistas o de los socios en un riesgo compartido (*joint venture*), es necesario llevar la inversión a producción, establecer un flujo de efectivo y repartir dividendos lo antes posible.



Muchos profesionistas tienen empleo en la minería, incluyendo a los ingenieros civiles que pueden tener más oportunidades en pocos años, que otros en toda su carrera.

Las suposiciones en que se apoya el informe de factibilidad pueden cambiar con el tiempo. Puede preverse uno que otro cambio, pero muchos cambios en un lapso de varios meses alterarán de modo importante la fórmula sobre la que se base el desarrollo.

Inicio de actividades

Al tomarse la decisión de iniciar el desarrollo, suceden muchas cosas al mismo tiempo. Los transportistas locales y los proveedores de artículos diversos, material de construcción o servicios, son llamados para que colaboren en sus respectivas áreas. Se tiene que organizar una gran fuerza de construcción, incluyendo a muchos trabajadores especializados. Se solicitará a los fabricantes de una gran variedad de componentes en distintas partes del mundo, que presenten cotizaciones que en conjunto pueden representar muchos millones de dólares. Se revisarán y actualizarán tiempos, guías, especificaciones, fechas de entrega, etc., relativas a este proyecto, desde las correspondientes a grandes bancos hasta los de flotas de barcos de alta mar.

La responsabilidad total del programa de construcción recae sobre el departamento de ingeniería de la compañía minera o su equivalente, el cual supervisará el trabajo de diseño y construcción que pueda hacerse en instalaciones propias o a contrato. Además, se contratarán consultores y subcontratistas en el diseño, construcción y prueba de instalaciones eléctricas y de presas de jales.

Se requiere contar con diversos permisos y autorizaciones otorgados por diversas dependencias de los gobiernos municipales y estatales y, en algunos casos, del federal. El departamento legal de la compañía deberá tramitar los derechos superficiales de las áreas de mina y planta, así como los de vía para caminos, ductos y líneas de fuerza. También hacer los arreglos necesarios para contar con servicios como electricidad, gas natural, agua y teléfonos.

Una de las áreas más importantes en cuanto se refiere a planeación, es la de protección ambiental. Se debe llevar a cabo un estudio, previo al desarrollo, de las características de la flora, fauna, agua y aire, y deberán incluirse en el diseño básico los instrumentos para el control de la contaminación. Asimismo, se tiene que preparar un programa de rehabilitación del terreno, para que éste vuelva a su estado natural cuando terminen las operaciones mineras.



Los artistas pueden trabajar con los ingenieros para pintar paisajes de cómo se verán en el futuro las áreas minadas, lo cual ayuda tanto a los que proyectan las minas como a quienes tengan a su cargo establecer las medidas de protección al medio ambiente que requiera el proyecto.

Otro aspecto del desarrollo de una mina es el sociológico. En los países industrializados el establecimiento de una nueva industria tiene un efecto insignificante; pero en culturas agrarias se requiere un acercamiento lento, con énfasis en la comunicación con todos los niveles de la sociedad. Las minas proporcionan empleos y nóminas seguras, así como educación, servicios de salud, transporte y comunicaciones donde antes no los había; pero en tales áreas una mina puede crear la necesidad de que la cultura circundante se adapte a la nueva presencia.

Programación

El clima tiene influencias sobre todas las decisiones relativas a la construcción. Por ejemplo, en Norteamérica la llegada de la época de las heladas impide algunas actividades a la intemperie, por lo menos durante tres meses, y en los trópicos no se sabe si los monzones o las sequías son los que dan los mayores problemas.

Se utiliza una gráfica de “ruta crítica” para preprogramar la construcción. Para preparar esta gráfica, se elabora una lista completa de los cientos de trabajos individuales que tendrán que realizarse. Se estima el tiempo de realización de cada trabajo y su relación secuencial con otros. Por ejemplo, se tendrá en cuenta la instalación de maquinaria fija y la cimentación misma no podrá construirse si antes su ubicación no ha sido excavada y preparada.

Las adquisiciones pueden ser particularmente determinantes respecto a los tiempos del programa de construcción. Los equipos grandes, como palas y camiones para un tajo o malacates, perforadoras y rezagadoras para minas subterráneas, así como quebradoras y molinos para la planta de concentración, no pueden comprarse “del armario”, pues tienen que ordenarse hasta con dos años de anticipación a la fecha de entrega indicada en el diagrama de ruta crítica. También deberá especificarse con anticipación la forma en que el equipo se trasladará, en particular para equipo muy grande o pesado. Por último, se necesita adelantar los trámites aduanales cuando se embarcan bienes de capital que tienen que cruzar fronteras entre naciones.

Construcción

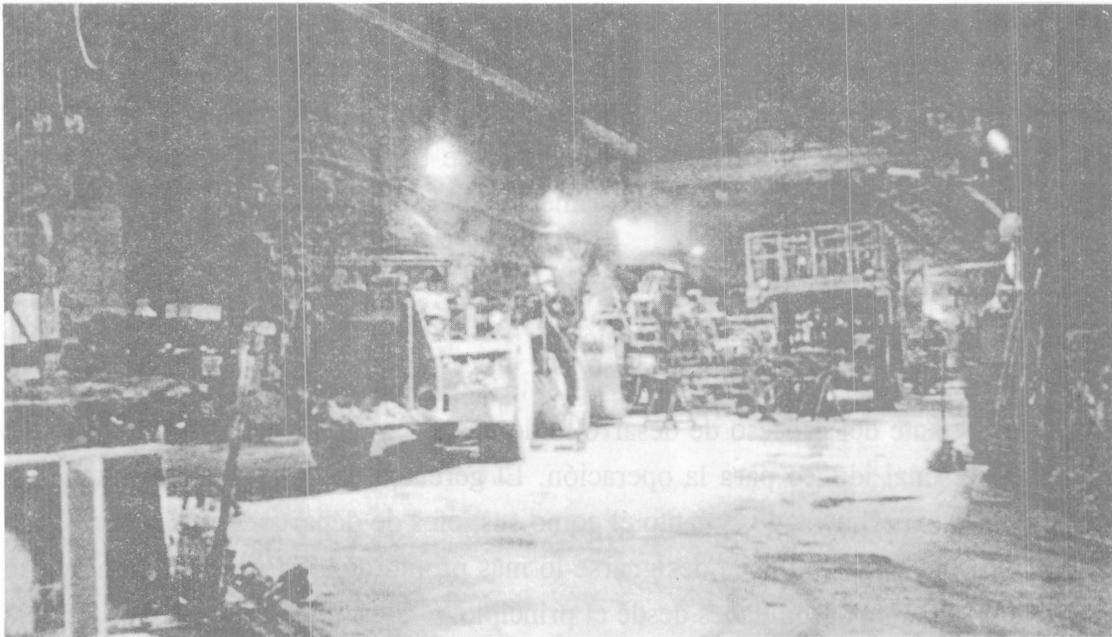
La planeación y desarrollo de una mina es algo tan complejo como mantener un ejército en el campo. El contratista principal es el responsable de la comida, salud, alojamiento y recreación para los cientos de comerciantes y personal de apoyo que trabaje en el lugar del desarrollo.

El contratista deberá abastecer de agua, electricidad, comunicaciones y drenaje y traer una gran cantidad de equipo para construcción, como grúas, cargadores, excavadoras y bulldozers. Tendrá que instalar talleres provisionales para soldadores, carpinteros y pintores, así como oficinas para los ingenieros, dibujantes y supervisores. En lugares lejanos, ver muchas caras nuevas, equipos extraños y actividades inexplicables, puede constituir para los lugareños uno de los hechos más memorables de que tengan memoria.

Las grandes etapas a través de las cuales el desarrollo avanza son: limpieza y emparejado del sitio; excavaciones en general, excavaciones detalladas, cimentación del equipo mayor y de las construcciones y alojamiento; creación de estructuras, instalación de equipo mayor; estructuras interiores, plomería y cableado eléctrico; prueba del equipo para, finalmente, entregar y responsabilizar de la nueva mina a los operadores. El propósito es hacer una relación de los trabajos individuales de modo que la congestión sea mínima y la demanda de

personal, equipo y requerimientos de campamento se distribuyan uniformemente durante el período de construcción.

El desarrollo del yacimiento para el minado generalmente principia inmediatamente después de la decisión de desarrollar y de la obtención de todas las autorizaciones requeridas. Sin embargo, puede adelantarse algún tiempo a la decisión, si los parámetros de ley de la mena, tonelaje, metalurgia y demanda del mercado son todos positivos y las únicas dudas no son *querer*, sino *cuándo* y *cómo* se desarrollará la mina.



Una de las últimas actividades que se efectuará para completar una mina subterránea consiste en introducir el equipo de producción. Mucho de ese equipo permanecerá abajo por años, recibiendo mantenimiento y reparaciones en talleres subterráneos.

El minado tiene un inicio temprano

Mientras la construcción de la planta esté aún en proceso, las labores subterráneas o del tajo pueden empezar con el minado de roca firme, que puede ser tepetate o mena. Durante esta etapa inicial del minado, el personal operativo adquiere experiencia con el equipo y se familiariza con las condiciones del terreno. Se abrirá suficiente espacio de trabajo dentro del cuerpo mineral y empezarán los preparativos para producir un tonelaje diario acorde con los requerimientos de la planta de tratamiento, cuando ésta empiece a trabajar.

En minas a cielo abierto, el diseño del tajo reviste la máxima importancia. El objetivo es tener un diseño que permita un acarreo mínimo de tepetate y máximo de mena que sea posible. En minas subterráneas, el método de extracción es tan importante como el diseño de tajos en cuanto se refiere a la economía a largo plazo. Además, las previsiones de seguridad y la introducción de aire fresco a los trabajos subterráneos, así como la extracción de humos y agua son tan importantes como la producción de mineral. Estas condiciones se deben manejar simultáneamente con la planeación de la producción de mineral porque, en una mina subterránea, hacer correcciones posteriormente puede ser imposible o, en el mejor de los casos, muy costoso.

Deberá terminarse en una etapa temprana la perforación de diamante suficiente para la estimación de reservas que se tomen en cuenta para el informe de factibilidad. Posteriormente, junto con la producción de mineral, podrán perforarse barrenos adicionales de relleno que ayudarán en la planeación detallada en los primeros años del minado.

Contratación del personal para la operación

Una parte importante del proceso de desarrollo de una mina es la que corresponde a la contratación del personal idóneo para la operación. El gerente debe ser un hábil administrador así como minero experimentado, y tanto él como sus jefes de departamento (minería, beneficio, mantenimiento y otros) deben designarse lo más pronto que sea posible, para que se familiaricen con sus responsabilidades desde el principio.

Tan pronto como se disponga de suficiente equipo, se agregarán cuadrillas de mineros. Para establecer rutinas de mantenimiento se buscará gente experimentada, al mismo tiempo que la sección administrativa crezca hacia su rango final de funciones, incluyendo contabilidad y personal de administración. El personal de la planta de beneficio se contratará al último. Aquí se requerirá un núcleo de gente con experiencia para entrenar a otros empleados durante el período de desarrollo.

Las minas se tienen que establecer donde se encuentran los minerales y esto rara vez es cerca de escuelas y tiendas. La construcción de un campamento de la compañía cerca de la localización de la mina tiene la ventaja de la cercanía, pero estará sujeta a la prosperidad futura de aquélla.

En ocasiones es preferible que los empleados se instalen en poblaciones existentes, a pesar de que haya que emplear tiempo y costo en traslados. En este caso, las casas tienen un valor de rescate, además de que las familias generalmente disfrutan los diferentes servicios que ya existen. También les resulta atractivo que haya gran variedad de relaciones y actividades sociales.

Otra forma de resolver el problema de alojamiento, desarrollada recientemente, es la de “volar a/volar de”, para minas en regiones remotas, que consiste en trasladar al personal por vía aérea a y de poblaciones relativamente distantes, esto combinado con períodos de trabajo continuo por otros de descanso con sus familias.

Conclusión

Como el desarrollo se ha efectuado durante varios meses, la mina está lista para abastecer a la planta de beneficio con el tonelaje diario requerido. En el caso de minado a cielo abierto, se dispone de una flotilla de enormes camiones que operan en los anchos caminos fuera del tajo. En una mina subterránea, habrá una transición entre el desarrollo minero, que abre el acceso al subsuelo de hombres y equipos, y la extracción de la mena para la planta. Las cuadrillas de mineros ya estarán familiarizadas con las características de la roca y aplicarán diferentes técnicas para la producción de mineral y de la seguridad.

Se ha terminado la construcción de la planta de beneficio y los servicios auxiliares están ya instalados y conectados; el reclutamiento de la mano de obra virtualmente está completo. Se ha probado y ajustado el equipo y se ha puesto en manos de la gente que lo operará.

La mena llega a la planta, normalmente a la sección de trituración, donde se podrá almacenar en tolvas o en montones en el patio, como parte del circuito, lo cual permite que algunas otras secciones puedan suspender su trabajo durante lapsos breves para mantenimiento y reparaciones.

En seguida se prueban los equipos de molienda y de flotación. Se hacen los ajustes necesarios para lograr la finura deseada y la separación óptima de mena y ganga en las celdas de flotación. Finalmente, se ponen a trabajar los sistemas de manejo de los concentrados.

Cuando la mina y la planta están completos y se ha demostrado que trabajan como se habían diseñado, su control se transfiere del departamento de ingeniería o planeación al de operación.

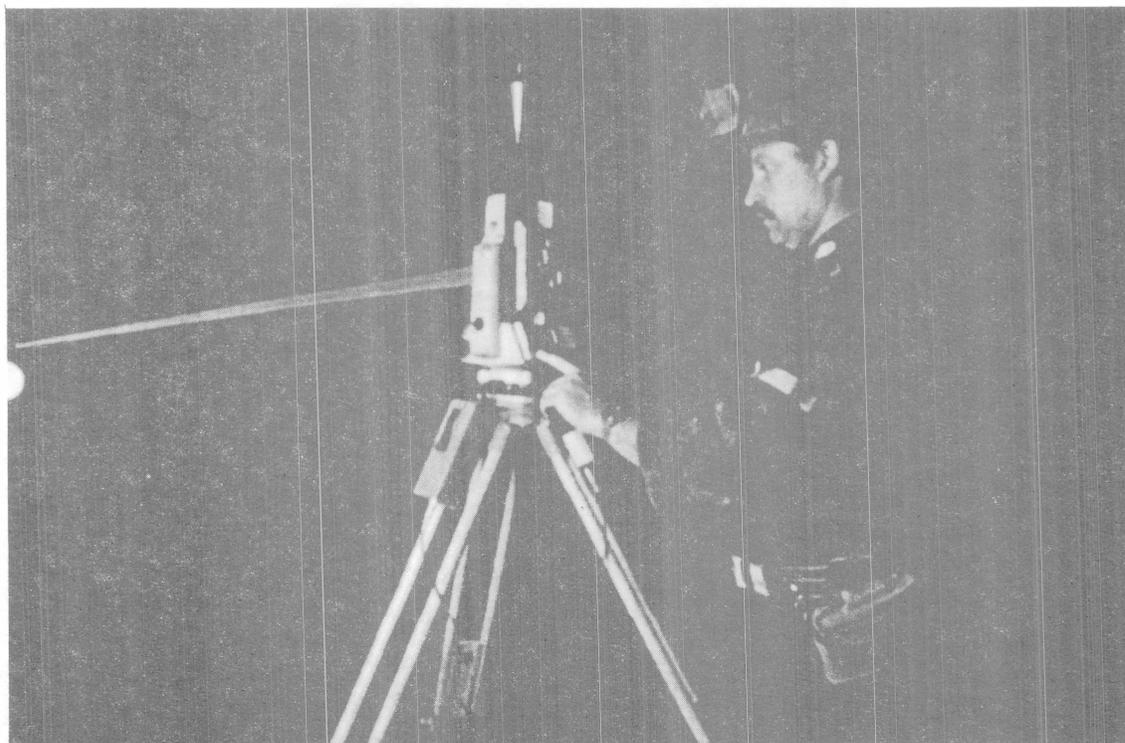
Sin embargo, aun ahora, la mina tiene una labor de máxima importancia: si el financiamiento fue con base en un préstamo, debe pagarlo tan rápidamente como sea posible para colocarse en una base financiera segura. No es raro que una mina grande comience sus operaciones con una deuda mayor a 200 millones de dólares.

Dado un grado razonable de precisión en las suposiciones en que se basó el informe de factibilidad (precios del mercado, estructura de impuestos, etc.), la empresa minera será capaz de pagar la deuda a tiempo. Las utilidades que entonces producirá la mina se emplearán en nuevas exploraciones, mantenimiento, expansión de la planta y en pagar dividendos.

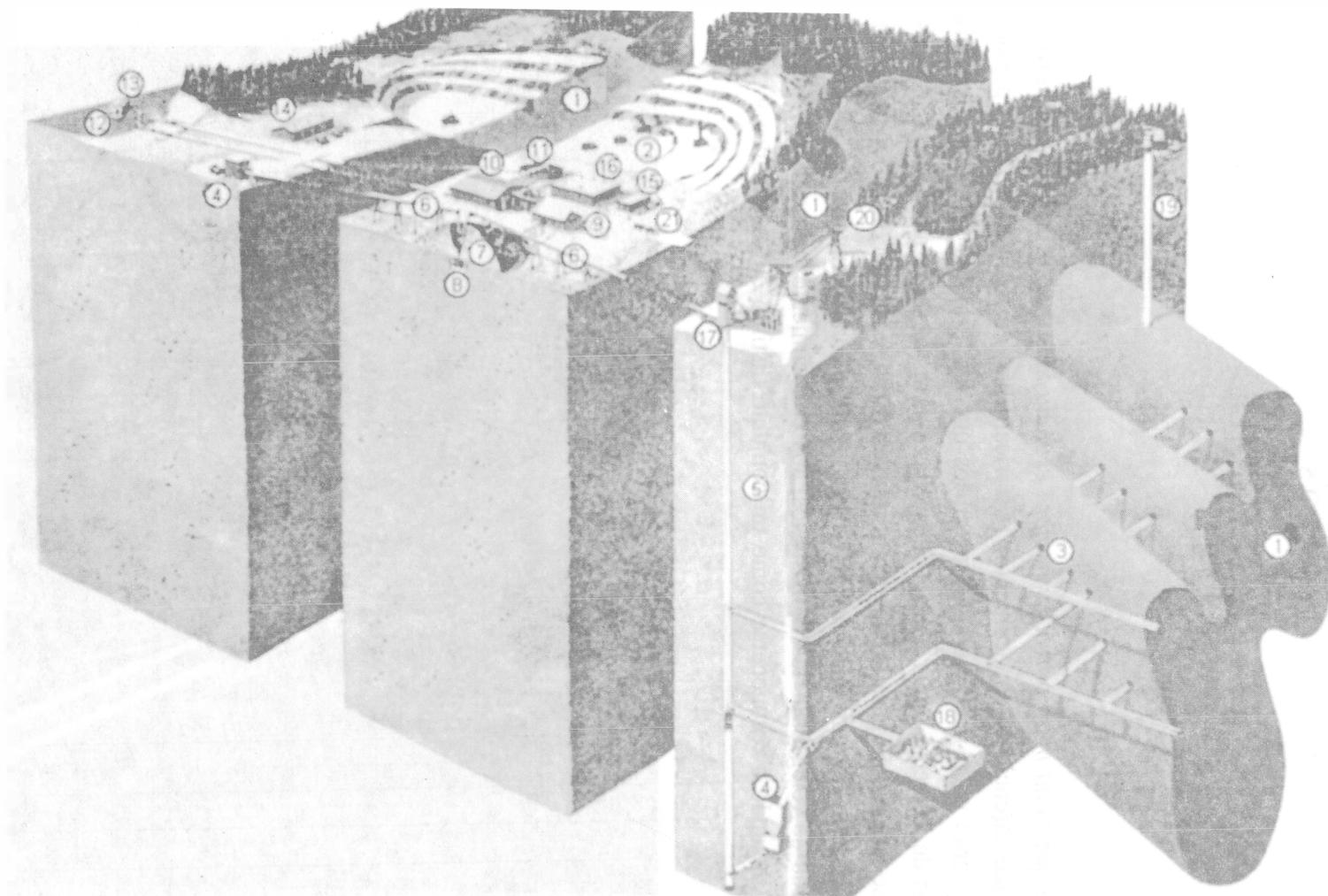
CAPÍTULO 5

MINADO

Shakespeare dijo que *“una mina por otro nombre es nada más que un hoyo en la tierra”*. Esto no es más que carencia de conocimiento. Históricamente, en realidad hubo un período en que las minas eran poco más que agujeros en los que los hombres se arrastraban para arrancar esquiras de la mena, llenar costales con ellas y arrastrarse de nuevo para sacarlas. Pero el hombre se las ingenió para lograr que el minado fuera menos incómodo y se aumentara la producción. Aun durante el llamado “oscurantismo”, cuando mucha de la sabiduría humana acumulada se relegaba a los monasterios, los conocimientos mineros continuaron desarrollándose, llegando a reconocerse como un conjunto distinto de habilidades y prácticas.



De gran ayuda en la topografía subterránea son los instrumentos que miden distancias mediante rayo láser.



En este esquema se muestran los componentes principales de una mina en operación.

El cuerpo mineral (1) tiene echado pronunciado de izquierda a derecha, de manera que la explotación minera en tajo (2) puede dar lugar a extracción subterránea (3) cuando la profundidad de las áreas mineralizadas aumente. También se muestran: (4) quebradoras primarias para triturar el mineral producido tanto superficial como subterráneamente; (5) malacate y bote que alimentan a (6) sistemas de bandas transportadoras del mineral quebrado procedente tanto del subsuelo como de superficie, a (7) montón de mineral grueso. De aquí se saca mineral para el (8) sistema de bandas alimentadoras de la (9) quebradora secundaria, con la que el mineral se reduce a tamaño de guijarros que pasarán a la molienda final en la (10) planta de concentración o beneficio, donde se separa el mineral valioso de la masa de roca estéril, llamada colas o jales.(11) Después de espesarlas, las colas se llevan a la (12) presa de jales donde se quedarán indefinidamente. Uno de los objetivos más importantes de las presas de jales es evitar que el material fino, como arenas y limos, llegue a los arroyos o lagos regionales. El agua que se usa para transportar los jales se decanta y por medio de una (13) bomba flotante se regresa a la planta de concentración para volver a usarla. Otros detalles que se ilustran son: (14) taller de mantenimiento para el equipo que se usa en el tajo; (15) oficina, (16) almacén (17) horca (18) taller de mantenimiento para el equipo subterráneo, (19) tiro de ventilación, (20) línea de fuerza eléctrica, (21) concentrados minerales que salen de la mina, embarcados en trailers construidos especialmente.

Minado: vital para todos, familiar para pocos

En el libro sobre minado mejor conocido en todo el mundo, *De Re Metallica*, escrito en 1556 por Georgius Agrícola, aparece el siguiente párrafo:

Muchas personas opinan que las industrias de los metales son casuales y que es un trabajo sórdido y al mismo tiempo una clase de negocio que requiere no tanto saber como trabajo. Pero en cuanto a mí, cuando reflexiono con cuidado sobre sus puntos especiales uno por uno, me parece que están muy lejos de que las cosas sean así. Porque un minero debe tener el mayor conocimiento de su trabajo para que pueda saber en qué montaña o cerro, en qué valle o planicie, pueda prospectar con mejor provecho o cuáles abandonar; además, debe entender las vetas, hilos y vetillas en las rocas. Además, debe estar muy familiarizado con las muchas y variadas especies de tierras, jugos, gemas, piedras, mármoles, rocas, metales y compuestos. También debe tener un conocimiento completo de los métodos para hacer todos los trabajos subterráneos. Finalmente, hay varios sistemas para ensayar sustancias y para prepararlas para la fundición; y aquí de nuevo hay muchos y muy diversos métodos...

Si la descripción de Agrícola era oportuna en el siglo XVI, es mucho más hoy, ya que los avances en los conocimientos sobre minería podrían compararse con lo que ha sucedido entre volar un papalote y lanzar un cohete.

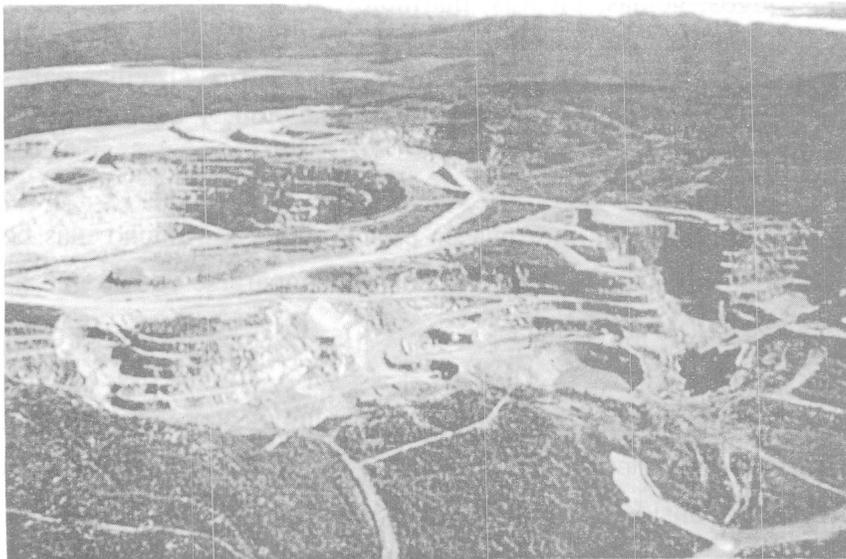
Cuando un cuerpo mineral ha sido descubierto y su volumen, ley y características metalúrgicas se han evaluado hasta el punto en que parece que puede explotarse con utilidad, entonces, por definición se considera “mena”. Pero esto de inmediato da lugar a interrogantes respecto a su desarrollo.

Es esencial la planeación anterior al trabajo de desarrollo para asegurarse de que todas las fases del proceso de producción mineral hayan sido tomadas en cuenta. Por ejemplo, la mena deberá extraerse en un tonelaje suficiente para satisfacer el que requiera la planta de beneficio, lo cual, a su vez, está influenciado por las finanzas, el monto de la deuda contraída y los costos de operación previstos. La competencia de la roca encajonante y la distancia de la zona mineral a la superficie son, entre otros, algunos de los factores que definen la naturaleza de la mina.

Con una ley y un precio de mercado del mineral o minerales de la mena dados, se puede calcular el valor de cada parte del cuerpo mineral. Abajo de cierto nivel de mineralización, llamado la *ley de corte*, no hay suficiente mineral que pague su extracción, por lo que el ma-

terial que rodea al recuperable, llamado *de desecho* (en México, “tepetate”) o *de baja ley*, se extraerá sólo para permitir el tumbe del mineral de ley superior a la de corte. Al planear una mina nueva, se deberán destinar áreas para ubicar permanentemente al material de desecho y el de baja ley, separadamente, por si en el futuro la economía y/o la tecnología hacen posible recuperar el mineral que contenga.

Igual que en cualquier otro negocio, mientras mejor sea la planeación previa, más segura será la rentabilidad a largo plazo de la mina. La relación de desecho a mena es fundamental para estimar los costos de acarreo de grandes tajos, pero no lo es tanto en operaciones subterráneas más selectivas. En este caso, deberá haber suficiente mineral en cada tonelada de mena que cubra las costos de barrenación, voladura, rezagado y acarreo de esa tonelada de mena, así como de la roca estéril que la rodee.



En esta panorámica de la operación de un tajo se indica la economía del minado de superficie. Equipo masivo manejado por unos cuantos operadores calificados puede transportar miles de toneladas por hora de mineral a la planta de beneficio. A veces el mineral es de alta ley, aunque más frecuentemente es de ley media o baja. En la mina se hace todo lo posible por aplicar economías de escala, de modo que mover y beneficiar cada tonelada cueste centavos en vez de pesos.

La pregunta inicial y fundamental para quienes tengan que preparar el plan de desarrollo es: ¿mina subterránea o tajo? Afortunadamente las respuestas a esta pregunta con frecuencia son más visibles y fáciles que las de otras que siguen. En la minería a cielo abierto, el cuerpo mineralizado debe estar cerca de la superficie y pueden tolerarse leyes más bajas que en el minado subterráneo.

Adecuación del sistema a las circunstancias

La clave en la minería de superficie es la posibilidad de usar equipo grande. Muchas zonas de mineral de baja ley han podido explotarse sólo porque se han desarrollado enormes camiones y palas que mueven a bajo costo mayores volúmenes de desechos y mena.

También se dispone de grandes máquinas perforadoras rotarias capaces de perforar más de 3000 pies por día de barrenos de 12" de diámetro en roca firme, para voladuras que producen más de medio millón de toneladas de mena y material estéril.

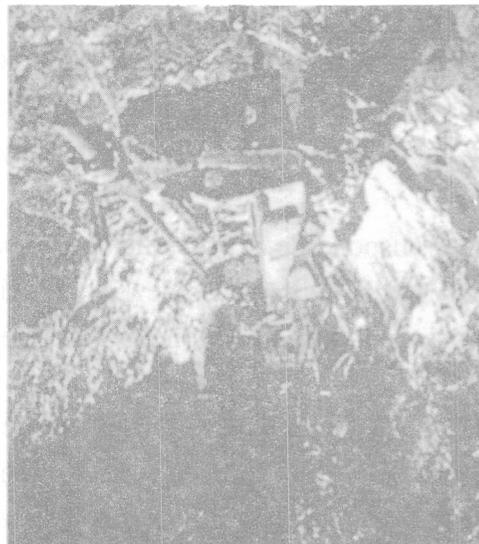
Igualmente, se utilizan palas eléctricas capaces de cargar camiones de 100 a 200 toneladas en dos o tres minutos, con lo que se asegura un flujo constante de mineral a la planta de beneficio. En tajos grandes hay dos o tres de esas palas trabajando día y noche para cargar una hilera continua de camiones. Es tan potente el par motor que se requiere en esos camiones, que no es práctica la transmisión mecánica directa y, por tanto, la fuerza motriz es proporcionada por motores eléctricos en las ruedas a los que se abastece la energía que produce un motor generador diesel con capacidad que puede exceder a 2000 caballos de fuerza.

La minería subterránea utiliza equipo muy diferente del usado en las operaciones superficiales. Se ha diseñado especialmente equipo de perforación, de rezagado y de acarreo que pueda trabajar en los espacios reducidos en que aquélla se desarrolla. La profundización de tiros o cuele de frentes, cruceros o contrapozos son caros y, por consecuencia, esas obras no son más grandes de lo indispensable. Mover una mena en espacios restringidos significa usar equipo más pequeño y volúmenes menores que los de minería de superficie, por lo que los costos unitarios son, por consiguiente, más altos y, por esta razón, se requiere que la mena sea de una ley más alta. La mena puede tumbarse selectivamente y dejarse en su lugar la roca con un nivel de mineralización subeconómico. En cambio, en el minado a cielo abierto, tienen que removerse todos los materiales que estén arriba o a los lados de la mena.

Se ha escrito mucho sobre los retos que han enfrentado y resuelto los mineros subterráneos durante siglos. Esta clase de minado se efectúa en un medio que pocos llegamos a ver, a gran profundidad del terreno, en cavidades abiertas a gran costo y que requieren amplios y avanzados conocimientos de ingeniería para reforzarlas y mantenerlas en condiciones seguras. La variedad de tipos de rocas con las que se encuentran los mineros es muy grande, no sólo de una mina a otra, sino a veces entre diferentes partes de una misma mina.



En contraste con el equipo para tajo abierto, la maquinaria subterránea tiende a ser pequeña y se diseña para trabajar en los espacios angostos de las minas subterráneas.



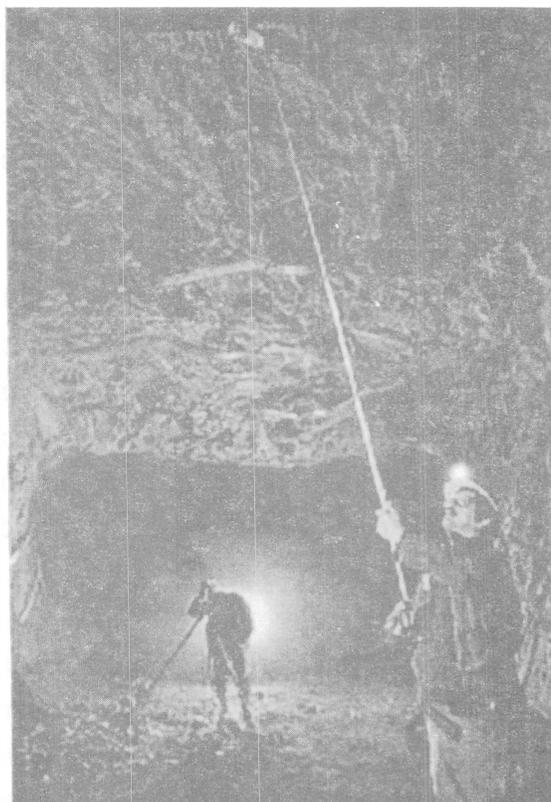
Esta perforadora se diseñó para ayudar a los mineros a colar en roca dura.

Las estructuras mineralizadas varían desde vetas angostas o mantos a grandes masas o bloques de mineral más o menos diseminado de manera uniforme. La competencia de la roca también varía bastante, frecuentemente dentro de un mismo cuerpo, desde completamente inestable, como son arenas sueltas, hasta muy competente, como es el caso de caliza o granito. Las estructuras mineralizadas pueden encontrarse de manera horizontal, vertical o en cualquier ángulo entre esas posiciones.

Estabilidad de las rocas: en el subsuelo

Algunas estructuras rocosas tienen esfuerzos internos que tienden a liberarse hacia cualquier abertura artificial, produciendo lo que se llama *explosión de roca*. Esto es particularmente notable a grandes profundidades, y en tales minas es necesario seguir procedimientos muy estrictos de extracción y seguridad.

Parte fundamental del diseño de una mina es la extracción del agua subterránea, así como la instalación de las complejas redes de ductos de ventilación, líneas de fuerza, aire comprimido y agua. Se proporciona aire fresco a los mineros, el cual es introducido desde la superficie hasta las frentes de trabajo por conductos adecuados, alimentados por grandes ventiladores. El aire viciado y gases se extraen por otros tiros. Esto y otros retos especiales que varían de una mina a otra, y aun entre partes de una misma mina, son manejados en forma rutinaria por los ingenieros de minas y operadores.



La larga lista de límites

La naturaleza del cuerpo mineral usualmente dicta el método de explotación, el cual a su vez pone límites a lo que los ingenieros de minas pueden hacer. En el minado subterráneo, el ingeniero de minas tiene primero que decidir cuál es el método de extracción más adecuado, dadas la profundidad del cuerpo, su echado, su potencia y también la competencia de la roca encajonante. En seguida se da una lista parcial de estos métodos de minado o explotación:

La minería subterránea no sólo consiste en tumbar y acariciar mineral. Esta brigada pone marcas para las perforadoras que vendrán después para colar una galería.

| Método | Echado del cuerpo mineral |
|-------------------------------|---------------------------|
| Barrenos largos | Abrupto |
| Corte y almacenamiento | Abrupto |
| Corte y relleno | Mediano |
| Corte y relleno | Abrupto |
| Frentes largas | Sensiblemente horizontal |
| Hundimiento de bloques | Abrupto |
| Hundimiento por subniveles | Abrupto |
| Salones y pilares | Sensiblemente horizontal |
| Salones y pilares escalonados | Mediano |
| Salones y pilares inclinados | Mediano |

ha dado por resultado el desarrollo de muchos métodos de fortificación o estabilización de las rocas, como los pernos de anclaje de fricción, los de cubierta de expansión, anclas de cable, anclas cementadas, mallas de alambre y concreto lanzado.

Aunque la minería de roca dura aún utiliza el viejo método de perforar y tronar para romper la roca, se están probando constantemente métodos nuevos. En casos especiales, se están usando rompedoras hidráulicas de roca y máquinas perforadoras capaces de colar túneles y tiros de 20 pies de diámetro en roca firme. En las minas de carbón, la tecnología hidráulica ha desarrollado sistemas que usan chorros de agua a alta presión, primero para fracturar y derrumbar el carbón para luego sacarlo de la frente en la corriente de drenaje.

Estabilidad de las rocas: en los tajos

Las minas a cielo abierto presentan mucho menos problemas en este aspecto que las minas subterráneas, pero de todos modos tienen algunos. A medida que un tajo se va profundizando, los taludes pueden moverse. Por eso es que los tajos se desarrollan en una serie de grandes escalones o bancos más bien que en una pendiente continua. La altura y ancho de los bancos están en función de la resistencia y estabilidad naturales de la roca, así como también del costo. En algunas localidades los taludes son sumamente estables y requieren poco refuerzo, aunque en algunos puntos en que haya roca suave o fracturada se requiera suavizar la pendiente y pueda incrementarse mucho la relación de encape a mineral e impactar la economía de la mina.

En cualquier caso, no pueden pasarse por alto las normas de seguridad requeridas en la explotación minera. Los distanciómetros de rayo láser que se utilizan para detectar movimientos en los taludes son tan precisos, que cualquier pequeño movimiento se registra mucho antes de que el ojo humano alcance a apreciarlo. Como resultado, cuando el monitoreo revele que el movimiento ha llegado a tal punto que constituya un peligro potencial, se suspenden las operaciones y se toman medidas para estabilizar esa sección del tajo.

Explosivos: fracturadores eficientes de las rocas

En el minado el perforista debe tener la habilidad para colocar y detonar los altos explosivos usados para tumbar la mena. Primero se tiene que perforar en la roca una plantilla de barrenos. La plantilla, la longitud de los barrenos y los explosivos y sus fulminantes son variables

debe observar e informar las fluctuaciones del tipo de cambio y de las tarifas de transporte terrestre o marino, así como de los seguros.

Cada unidad minera tiene la responsabilidad de comprar sus propios materiales y otros abastecimientos. En el curso del año adquiere desde prensas "C" hasta bujías; llantas de 35 lb de peso hasta enormes llantas para grandes camiones de 7500 lb.

Los *encargados de compras* de la unidad, localizan, evalúan y comparan en forma rutinaria. Nada es demasiado grande o muy pequeño, cuyo precio no pueda conseguirse más bajo, mejorar su plazo de entrega o aumentar su rendimiento en servicio. Este grupo puede ayudar a los proveedores y fabricantes transmitiéndoles sugerencias de los empleados que usan u operan sus productos.

En empresas que operan varias unidades, los intercambios de información frecuentes entre ellas las ayuda a realizar su trabajo con mayor eficiencia.

Tales grupos proporcionan beneficios adicionales; por ejemplo, se puede aprovechar la capacidad de un *centro de cómputo* que puede servir a todas las minas cuando se requieran utilizar algunas características particulares. En pocos minutos la computadora puede ayudar a un ingeniero en el diseño de un tajo, mandar los datos de una nómina a cientos de kilómetros de distancia para que se impriman los cheques localmente en la unidad; estimar el costo del desarrollo de una mina en potencia, aplicando un modelo económico histórico; prever la posible demanda del mercado y los precios de los metales por años en el futuro.

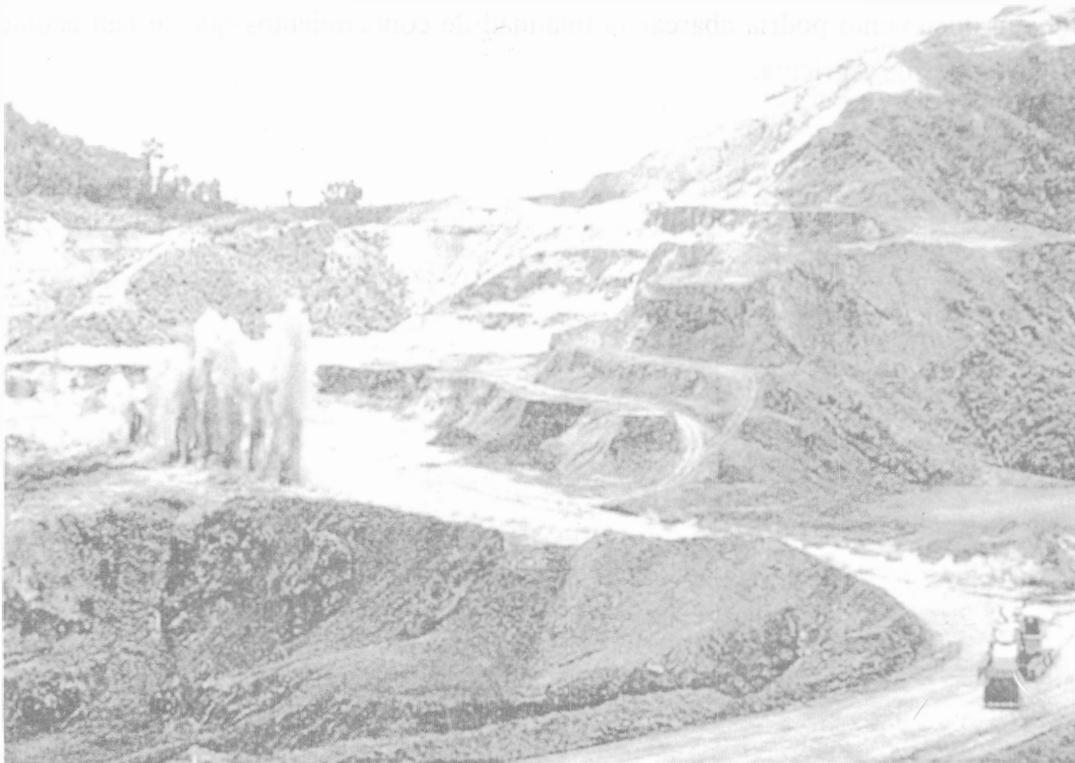
Los *expertos en comunicación* ayudan a la unidad a informar a los accionistas trimestral o anualmente de los asuntos de la empresa. De cuando en cuando la unidad podría necesitar imprimir folletos de información escritos, diseñados e impresos para distribución entre los visitantes, escuelas o familiares de los empleados y, en ocasiones, poner anuncios o noticias legales en periódicos distantes.

Problemas especiales-soluciones especiales

Para contribuir al éxito de una mina puede haber un grupo de gente altamente especializada que no esté empleada directamente. Esto incluye consultores como el ingeniero geotécnico cuyos conocimientos verifiquen la estabilidad de una presa de jales; el despacho de abogados especialistas en derecho laboral o en impuestos, que analicen el impacto de la legislación so-

Costos: las máquinas los han disminuido mucho

La frase “se requiere mucha mano de obra” se refiere a un aspecto de la minería que hace bastante tiempo dejó de aplicarse. Los mineros cambiaron el pico y la pala por equipo que ha incrementado su productividad enormemente sobre la de sus antepasados. Tanto en tajos como en minas subterráneas, es común que trabajen sentados confortablemente frente a consolas de control, mediante las cuales dirigen perforadoras, malacates o vehículos, que realizan para ellos mucho del trabajo que anteriormente tenían que efectuar manualmente.



Una voladura en uno de los primeros bancos en un tajo nuevo. El rastro de la mecha (*primacord*) de ignición puede observarse que viene de la derecha. Para su seguridad, el “pegador” se coloca atrás de barreras naturales, o de equipo pesado.

Se han adaptado computadoras para usarse en todas las áreas del minado; ayudan en la planeación, dibujo y control de procesos, así como en las actividades tradicionales de contabilidad, inventarios y mecanografía. En la planta de concentración, las computadoras registran datos de sensores, relativos a la consistencia de pulpas y hacen ajustes muchas veces por minuto. En el pasado, antes de que las hubiera, los operadores con frecuencia tenían que esperar más de una hora antes de que las pruebas de laboratorio les dijeran que tenían que ajustar sus controles.

preventivo. Cada motor, tiro, balero, banda, cadena, llanta o sello es revisado periódicamente, lo cual da por resultado que haya menos fallas imprevistas del equipo. Además, pueden programarse periódicamente paros completos, de manera que puedan llevarse a cabo trabajos mayores de reparación y mantenimiento, sin pérdidas excesivas de la producción.

Todas las industrias modernas descansan en la mecanización, lo cual se refleja en que deben contar con un gran surtido de refacciones y materiales debidamente clasificados y colocados en el almacén, lo cual requiere de personal idóneo para su manejo con el fin de asegurarse que se dispondrá de inmediato de ellos en el momento en que se necesiten.

Recursos humanos

Una responsabilidad de tiempo completo hacia los empleados en la operación que utilicen explosivos y equipo grande, es la *seguridad*. El trabajo del supervisor de seguridad consiste en ayudar a los empleados a evitar lesiones y para ese fin se les proporcionan casco y botas de seguridad, así como protectores para los ojos. Otro tipo de protección puede consistir en ropa especial, aparatos de emergencia contra incendio; rescate en las minas; entrenamiento de primeros auxilios; transporte de accidentados o tratamiento para tipos especiales de lesiones industriales. El entrenamiento individual de los empleados en el sentido de aumentar sus conocimientos sobre seguridad, es otra forma de protección que proporciona una unidad minera.



En una mina típica, se tiene que fabricar en sus propios talleres mucho de lo que se necesita para mantenimiento.

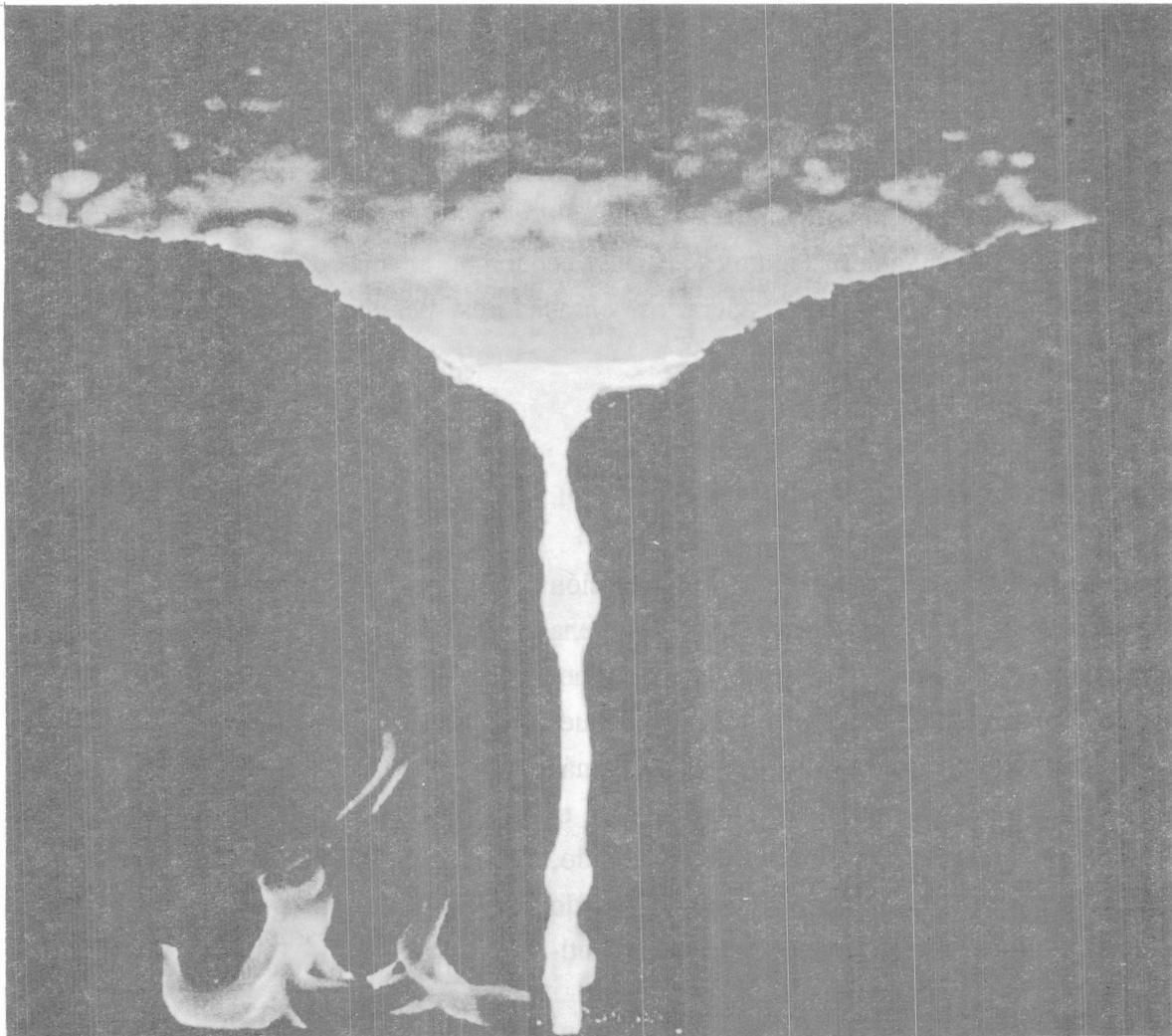
El *departamento de personal* recluta a los individuos capaces para las distintas labores que se han mencionado y administra los programas de beneficios que generalmente provee la mina. Proporciona datos a las oficinas del gobierno que supervisan diferentes aspectos laborales y paga los impuestos que correspondan a las autoridades federales, estatales o municipales. También maneja todo lo relativo al contrato de trabajo y trata con el sindicato lo que se presente día a día.

CAPÍTULO 6

BENEFICIO DEL MINERAL

Alquimia en el siglo XXI

Los antepasados medievales de los químicos modernos trataban de convertir en oro los metales básicos por medio de la alquimia. Hoy sabemos que su búsqueda estaba condenada al fracaso desde el principio y el término "alquimia" ha llegado a denotar un proceso misterioso para transformar minerales venciendo enormes dificultades.



CAPÍTULO 9

EL SECTOR SERVICIOS

Muchas industrias tienen actividades o trabajos tan conocidos que se vuelven símbolos de esas industrias como un todo. La minería, por ejemplo, casi siempre se representa con un hombre en overol, botas de hule y casco de seguridad con una lámpara, aunque actualmente



la figura del minero subterráneo sólo es válida para una parte del negocio. En la minería a cielo abierto, el minero trabaja en la superficie, con frecuencia en la confortable cabina de una enorme máquina, como en un camión fuera de la carretera para acarreo del mineral o con una perforadora o una gran pala. Igualmente importantes son los operadores del equipo que se usa en la concentración del mineral.

Muchos operarios capacitados realizan una interminable sucesión de trabajos de mantenimiento y reparación de los miles de artefactos mecánicos que se necesitan en una mina.

dades que pueden llegar a miles de toneladas por hora y, en seguida, el mineral quebrado alimenta a los molinos, que son grandes cilindros giratorios que contienen bolas o rodillos de acero que ruedan. Éstos reducen las partículas de tamaño de guijarros a arenas muy finas adecuadas para la separación de los minerales. También se usa la molienda autógena cuando las menas no requieren de la acción de las bolas o rodillos; la acción de pulverización la proporciona el propio mineral.

Beneficio del mineral: separando el trigo de la paja

La siguiente etapa es remover de la pulpa el mineral valioso. En una mina de metales básicos el método que se utiliza más comúnmente es el de *flotación*. Se agregan sustancias químicas, llamadas *reactivos*, a la pulpa. Éstas se adhieren al mineral y hacen a su superficie hidrofóbica, pero no se adhieren a las partículas de roca. Se agregan otras sustancias químicas para



El mineral triturado se lleva a la superficie donde mediante la etapa final de molienda se reducirá a tamaño de arena.

ayudar a formar y estabilizar burbujas de aire que son forzadas a través de la pulpa. Las burbujas al subir a la superficie llevan las partículas mineralizadas y forman una espuma, la cual es desnatada y mandada a limpieza en pasos o etapas posteriores de flotación antes de ser desaguada, filtrada y secada. El producto, que ahora se llama “concentrado de mineral”, está listo para embarcarse. La flotación aumenta la concentración del mineral y puede también separar un segundo, tercero o cuarto mineral que algunas minas tienen en la misma mena.

La flotación generalmente es el medio más efectivo de producir concentrados, pero es tal la variedad de minerales en la naturaleza que, no es de sorprender, algunos no son adecuados para esta técnica. Como resultado, la tecnología mineral hace uso de otras características físicas como la gravedad, el magnetismo, la radioactividad, el color y la conductividad eléctrica. Además, la tostación, la oxidación a presión o la oxidación biológica y la lixiviación ácida también se usan para recuperar minerales.

queridas para abastecerlos, están impactando sobre nuestro mundo en forma notablemente significativa.

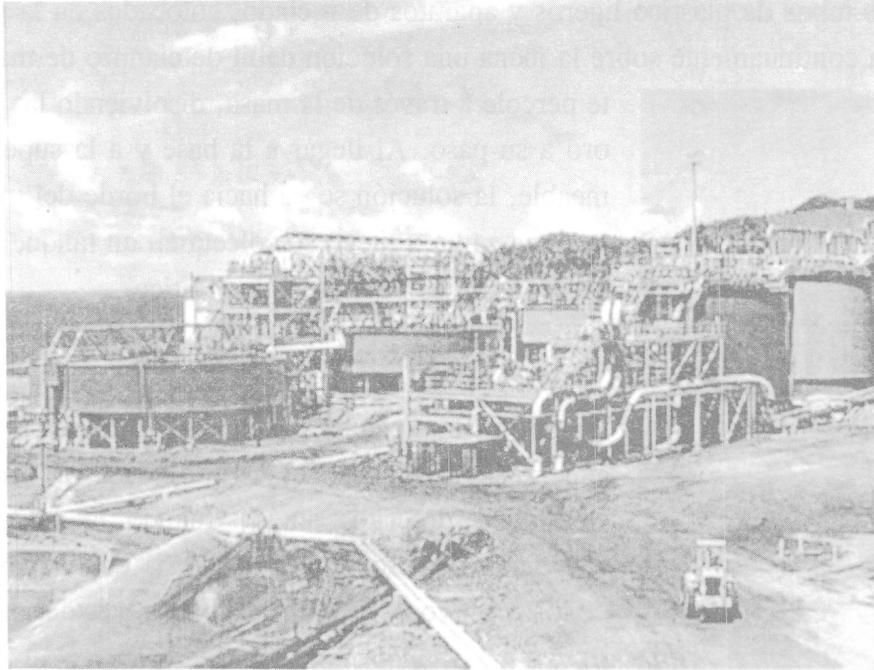
El creciente nivel de preocupación por el medio ambiente, particularmente en los países desarrollados, ha hecho pensar a algunos que es necesario retroceder los actuales niveles de vida. Sobre ese tema, una gran parte del público tiene sentimientos encontrados. Hay quienes quieren proteger el medio ambiente, pero también desean conservar la actual calidad de sus vidas y la posibilidad de que continúe el crecimiento económico.



Algunas presas de jales contienen cianuro, por lo que deben tomarse medidas extraordinarias para evitar la llegada de aves migratorias. Aquí, un artefacto, operado por propano, emite periódicamente un tronido fuerte. En algunos lugares toda la presa de jales se cubre con malla para evitar que las aves acuaticen.

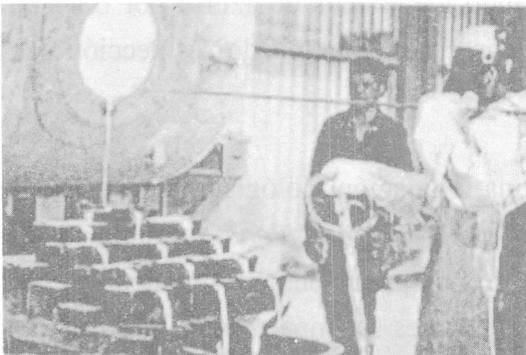
Las empresas mineras serias reconocen que la simple meta de lograr una utilidad inmediata no las exime de su responsabilidad ambiental. Cualquier compañía que piense diferente, indudablemente encontrará que las oportunidades de las que pueda disponer son una base inestable para crecimiento a largo plazo. Las compañías mineras que a la larga encuentren mejor la meta fundamental del éxito, esto es, utilidades, deben primero acatar los principios de los “buenos negocios”, que involucran el respeto por los principios ecológicos. Esto significa ir más allá de los requerimientos legales para satisfacer los valores del público también.

La industria minera contribuye positivamente abasteciendo minerales, metales y materiales que necesitamos o que queremos tener los millones de seres humanos que poblamos la Tierra. Los esfuerzos de las compañías mineras para satisfacer la demanda mundial y, al mismo tiempo, reducir los impactos ambientales, están logrando resultados muy significativos.



En esta foto tomada en la mina de oro de la Isla Misima, Papua, Nueva Guinea, se ve una serie de tanques de lixiviación. Los tanques más grandes y menos profundos que están a la izquierda son espesadores, en los que se decantan los sólidos estériles del licor rico en oro.

Algunos experimentos, efectuados durante los años setenta y principios de los ochenta en una empresa afiliada a Placer Dome en el noreste de Nevada, condujeron a corridas de prueba de uno de los primeros circuitos de *lixiviación en montones*. Desde entonces la lixiviación en montones se ha usado con más frecuencia como una de las formas más eficientes para tratar menas de muy baja ley. Esa tecnología ha permitido que la industria minera del oro del occidente de Estados Unidos crezca rápidamente.



El resultado final del minado del oro se aprecia cada semana creando los cátodos de fibra de acero cubiertos de oro, se funden y vacían. Después del enfriamiento, el doré se separa de la escoria y puede volver a fundirse y colarse en lingotes antes de embarcarse.

En las menas de baja ley no hay suficiente metal por tonelada para cubrir los costos de un tratamiento completo en un circuito convencional. Por tanto, la mena es acarreada desde el tajo hasta una plataforma de lixiviación donde se forma un montón de mena gruesa sobre una superficie impermeable.

En las menas de baja ley no hay suficiente metal por tonelada para cubrir los costos de un tratamiento completo en un circuito convencional. Por tanto, la mena es acarreada desde el tajo hasta una plataforma de lixiviación donde se forma un montón de mena gruesa sobre una superficie impermeable.

planta de concentración y, además, no se afecta la calidad del agua subterránea por filtraciones de las colas. También se involucran consideraciones de seguridad, puesto que los jales secos son más estables si se presenta algún movimiento del terreno.

Otro ejemplo de mejoría en el manejo del medio ambiente en una mina en operación es el caso de la mina Campbell en el noroeste de Ontario. Se tomó la decisión de reducir el impacto sobre el agua y el aire debido a la tostación de los concentrados de sulfuros, cambiando la tostación por un circuito de oxidación a presión. Al emplear esta tecnología moderna, se eliminan las emisiones de bióxido de azufre y se producen otras químicamente más estables, como resultado del proceso.

G 612306

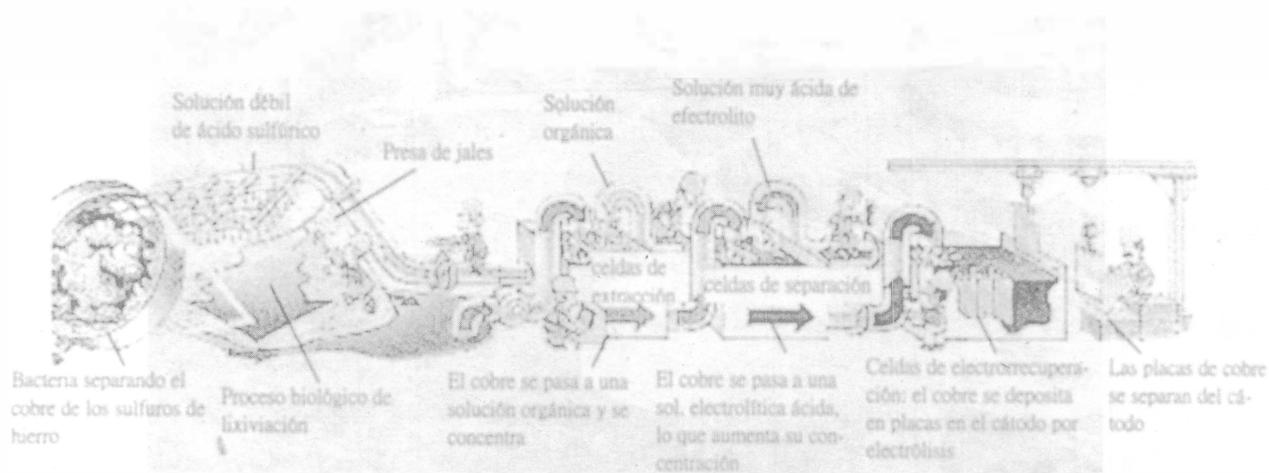
Placer Dome opera una política ambiental detallada que obliga a cada mina a incluir una estimación completa del impacto ambiental, como parte del plan o evaluación de cualquier proyecto. Además, debe tener en operación un plan de protección ambiental y otro de contingencias accidentales del medio ambiente. También un ingeniero especialista en protección ambiental trabaja en todas las operaciones de Placer Dome, en conjunto con las gerencias. Estos ingenieros administran un programa auditado de tres ligas que ayuda a las minas a identificar áreas en las que sean necesarias mejoras y efectúa revisiones críticas, buscando expertos tanto internos como externos para asegurar escrupulosidad y objetividad. Cada nueva mina, después de que ha sido autorizada, se incluye en el procedimiento auditado para asegurar que su acatamiento inicial continúa durante la vida operativa de la mina y aún después.

Los impactos ambientales representan un área importante de la investigación que efectúan las compañías mineras. Por ejemplo, Placer Dome ha hecho importantes contribuciones financieras a varios grupos de investigación conjunta de la industria y el gobierno que están buscando soluciones a los complejos problemas del drenaje ácido, incluyendo su predicción, evaluación, tratamiento y control. Otra área de investigación de esta compañía es la búsqueda de nuevas tecnologías para tratar las emisiones líquidas y gaseosas. Además, hace esfuerzos sobre la marcha para el desarrollo y selección de los mejores métodos metalúrgicos y de tratamiento para los desagües de las plantas de beneficio.

Haciendo frente a los retos globales

Como cada vez más se están requiriendo estrictas salvaguardas ambientales en exploración y minería, el costo de producir minerales se elevará inevitablemente. Aunque las compañías





Las bacterias pueden vivir con o sin aire, a temperaturas que varían desde la congelación hasta la ebullición y alimentarse de sustancias como petróleo y roca. A una cepa le gustan los átomos de azufre que a veces cementan partículas de oro, lo cual hace que la recuperación de éste por los métodos convencionales sea difícil. Aquí se muestra en la versión simplificada del proceso, cómo la lixiviación bacteriana produce una solución en la que se disuelve el metal deseado, en este caso cobre. A la derecha, el líquido se concentra, hasta que al final puede utilizarse la electrólisis para producir el metal en forma pura.

Jales: una parte necesaria del proceso

Los sólidos de desperdicio, ahora llamados *jales* o *colas*, generalmente se depositan en presas o tanques especiales dentro de la propiedad minera. En ciertas operaciones subterráneas se usan para relleno de algunas áreas ya explotadas.

Hay también sitios donde la mejor y más segura forma de acumular colas es un depósito submarino. Esto normalmente será usado cuando no exista otra alternativa satisfactoria y sólo después de una investigación concienzuda y de que la recopilación de datos indique la extensión y costos de los impactos potenciales.

La gente que diseñe los procesos para recuperar partículas pequeñas de mineral valioso de masas de roca estéril, no debería usar la palabra alquimia para describir lo que ellos hacen. Sin embargo, nuestros tubos de agua y alambres eléctricos, lámina galvanizada y refacciones automotrices no estarían disponibles tan baratas si no fuera por la habilidad de los modernos metalurgistas, ingenieros de minas y operarios de plantas de concentración para extraer minerales de la roca.

impactos sobre el ecosistema son los previstos. El monitoreo también puede identificar áreas en donde se requieren medidas correctivas adicionales. Las *medidas preventivas* consideradas en la planeación de la mina para contrarrestar problemas ambientales tienen la ventaja de ser más eficientes y económicas que las *medidas correctivas* que tengan que tomarse con el mismo propósito cuando la mina ya esté operando.



Resultados de un programa de siembra de semillas en los taludes de un terrero.



La rehabilitación del terreno actualmente forma parte de la planeación, operación y abandono de una mina.

Cuando se cierra una mina, el terreno afectado por la minería, incluyendo terreros y presas de jales, debe regresarse a condiciones ambientales aceptables. En muchas partes del mundo, las empresas mineras establecen convenios con las oficinas reguladoras apropiadas para desocupar y restaurar los terrenos desde antes de empezar el desarrollo minero. Generalmente se bosquejan en el estudio de factibilidad los planes del proceso de desocupación y restauración, antes de que empiece la construcción. De hecho, las actividades de restauración se llevan a cabo sobre la marcha, y pueden empezar tan temprano como el primer año de operación y continuar mucho tiempo después del cierre de la mina.

Prioridades ambientales

La primera prioridad de una mina es proteger las aguas y el área que rodea a la mina de las sustancias contaminantes que se generen o usen en la operación. Por ejemplo, la roca con la que la mina esté trabajando, puede contener minerales sulfurosos que cuando se exponen al aire y al agua sufren una reacción natural bacteriológica y química llamada *generación ácida*. Este proceso natural es favorecido por el proceso de minado, ya que la roca fracturada permite una mayor y más rápida reactividad que da por resultado la lixiviación de los meta-

CAPÍTULO 7

FINANZAS

Tan importantes para el desarrollo de la mina, como son el tonelaje y la ley, el método de explotación, la metalurgia, el medio ambiente, o los mercados futuros, también lo es la habilidad para conseguir el capital para la construcción de la mina.



CAPÍTULO 8

EL AMBIENTE

La industria minera de Norteamérica, desde hace algunas décadas, ha incluido consideraciones para la protección del ambiente en todas las etapas del proceso de minado, desde la exploración pasando por el diseño, construcción, operación y rehabilitación. Las disposiciones legales relativas a la protección ambiental constantemente se vuelven más estrictas; sin embargo, en honor de muchas empresas mineras, debe decirse que han tomado medidas para mejorar el funcionamiento ambiental de sus minas para asegurar el cumplimiento de permisos y disposiciones.



Las minas viejas tienden a desaparecer durante la siguiente década posterior a su cierre. En esta presa de jales ya hay nueva vida vegetal y aún existe un pequeño conjunto de construcciones. Se aprecian los lugares que en diferentes épocas ocuparon tres operaciones mineras y un pueblito, en la faja de plomo-zinc del sureste de Columbia Británica; esta localidad cerró alrededor de 1975.

miento y un recurso que por su propio derecho debe estar presente para que una mina pueda desarrollarse. Este capítulo describe algunas de las formas en que se estructura el financiamiento para construir minas y algunas de las variables económicas que imponen las alternativas que puede tener un desarrollador de mina.

Finanzas: desde el principio

Después de los gastos de exploración, la primera forma de financiar y usualmente la más importante durante toda la vida de la mina es la procuración de fondos para la construcción. Las decisiones que se tomen sobre el método de financiamiento, comúnmente conocido en el medio minero como “fondeo”, pueden aumentar o disminuir el éxito de una mina. El fondeo para un proyecto puede ser por hipoteca o por endeudamiento o una combinación de ambos, aunque generalmente se prefiere el fondeo por endeudamiento para evitar la disminución del interés que puedan tener los inversionistas y conservar el capital de trabajo para usarlo en exploración en otras propiedades.



Al estructurar un convenio de préstamo para el desarrollo de una mina, la primera decisión que debe tomarse es acerca de la cantidad que va a sacarse del banco y los términos o periodo de tiempo sobre el cual se extenderá. El préstamo debe ser no sólo para cubrir el costo del desarrollo de la mina, sino proveer del capital de trabajo inicial para permitir que la mina opere hasta que el flujo de caja proveniente de la venta de minerales se establezca de modo regular. El préstamo debe también de proveer suficientes fondos para cubrir los pagos iniciales sobre el interés en que se incurra por los retiros que se hagan durante el periodo de construcción.

Deben hacerse previsiones para cubrir el costo de adelantos o demoras, evitando en esta forma el costoso ejercicio de tener que regresar a pedirles a los banqueros dinero adicional.

Conclusión

Es obvio que poco puede dejarse al azar en cuanto al financiamiento de minas nuevas. La planeación principia en las etapas tempranas del estudio de factibilidad y continúa durante el periodo de construcción y aún más allá. Entonces se utilizarán otros tipos de planeación financiera y continuarán durante el resto de la vida de la mina.

Como en todo lo que se refiere a la creación de una mina, la calidad del plan financiero es tan importante como el diseño de las construcciones de concreto o de acero y del equipo. Pero en esto no puede haber errores, la vida media y la salud económica de la empresa, incluso la cuestión de si llegará a la vida media, a veces es influenciada con años de anticipación por aquellos cuya experiencia falla, no en geología y metalurgia, sino en tasas de interés, periodos de pago y garantías financieras.

Una consideración adicional es el periodo durante el cual se mantenga una tasa de interés. En épocas de baja de tasas, a una compañía le convendría renovar sus préstamos tan frecuentemente como fuera posible, pero cuando las tasas de interés están en el fondo de un ciclo o están elevándose sería preferible tener un periodo de tasas que durara tanto como fuera posible.

Aunque la flexibilidad es un ingrediente clave para el prestatario, la seguridad es lo que más interesa al prestamista. Los proyectos buenos pueden financiarse usando, como garantía de los fondos prestados, el denuncia y los activos del proyecto siempre que los prestamistas estén convencidos de que el proyecto es viable y que funcionará como se establece en el estudio de factibilidad. Esta satisfacción generalmente se asegura por medio de una garantía que dé el dueño o fiador del proyecto de que éste llegará a término y de que funcionará.

Estas garantías aseguran al banco que el proyecto se terminará y trabajará. El banco liberará las garantías cuando esté satisfecho de que se haya alcanzado en el tiempo previsto un conjunto estricto de requerimientos de operación predeterminados. Entonces quedarán liberados tanto el crédito como la capacidad de la compañía prestataria para contraer otras obligaciones financieras, si fueran requeridas cuando un nuevo proyecto llegue al punto en que empiecen pláticas con las instituciones financieras.

Para los proyectos que no califiquen para un “financiamiento de proyecto” puro, los prestamistas podrían solicitar mayores garantías del fiador o de la organización matriz. El grado de mayor garantía dependerá de los riesgos que se perciban en el proyecto y éstos pueden variar desde el precio de soporte u otras áreas específicas de apoyo, hasta un préstamo totalmente garantizado.

Como se mencionó, el plazo del préstamo puede extenderse hasta más de cinco años. Los prestamistas prefieren ver que lo más que sea posible del flujo de efectivo del proyecto se use para el pago del préstamo, mientras que el prestatario generalmente quiere disponer de algo de efectivo para el pago de dividendos y otros usos discrecionales.

Ciclos del mercado: ¿qué sube?

Como los precios de las materias primas son cíclicos, no es raro que los calendarios de pago incluyan la condición de que se pague a los bancos un porcentaje del flujo de efectivo de la

Una consideración adicional es el periodo durante el cual se mantenga una tasa de interés. En épocas de baja de tasas, a una compañía le convendría renovar sus préstamos tan frecuentemente como fuera posible, pero cuando las tasas de interés están en el fondo de un ciclo o están elevándose sería preferible tener un periodo de tasas que durara tanto como fuera posible.

Aunque la flexibilidad es un ingrediente clave para el prestatario, la seguridad es lo que más interesa al prestamista. Los proyectos buenos pueden financiarse usando, como garantía de los fondos prestados, el denuncia y los activos del proyecto siempre que los prestamistas estén convencidos de que el proyecto es viable y que funcionará como se establece en el estudio de factibilidad. Esta satisfacción generalmente se asegura por medio de una garantía que dé el dueño o fiador del proyecto de que éste llegará a término y de que funcionará.

Estas garantías aseguran al banco que el proyecto se terminará y trabajará. El banco liberará las garantías cuando esté satisfecho de que se haya alcanzado en el tiempo previsto un conjunto estricto de requerimientos de operación predeterminados. Entonces quedarán liberados tanto el crédito como la capacidad de la compañía prestataria para contraer otras obligaciones financieras, si fueran requeridas cuando un nuevo proyecto llegue al punto en que empiecen pláticas con las instituciones financieras.

Para los proyectos que no califiquen para un “financiamiento de proyecto” puro, los prestamistas podrían solicitar mayores garantías del fiador o de la organización matriz. El grado de mayor garantía dependerá de los riesgos que se perciban en el proyecto y éstos pueden variar desde el precio de soporte u otras áreas específicas de apoyo, hasta un préstamo totalmente garantizado.

Como se mencionó, el plazo del préstamo puede extenderse hasta más de cinco años. Los prestamistas prefieren ver que lo más que sea posible del flujo de efectivo del proyecto se use para el pago del préstamo, mientras que el prestatario generalmente quiere disponer de algo de efectivo para el pago de dividendos y otros usos discrecionales.

Ciclos del mercado: ¿qué sube?

Como los precios de las materias primas son cíclicos, no es raro que los calendarios de pago incluyan la condición de que se pague a los bancos un porcentaje del flujo de efectivo de la

Conclusión

Es obvio que poco puede dejarse al azar en cuanto al financiamiento de minas nuevas. La planeación principia en las etapas tempranas del estudio de factibilidad y continúa durante el periodo de construcción y aún más allá. Entonces se utilizarán otros tipos de planeación financiera y continuarán durante el resto de la vida de la mina.

Como en todo lo que se refiere a la creación de una mina, la calidad del plan financiero es tan importante como el diseño de las construcciones de concreto o de acero y del equipo. Pero en esto no puede haber errores, la vida media y la salud económica de la empresa, incluso la cuestión de si llegará a la vida media, a veces es influenciada con años de anticipación por aquellos cuya experiencia falla, no en geología y metalurgia, sino en tasas de interés, periodos de pago y garantías financieras.

miento y un recurso que por su propio derecho debe estar presente para que una mina pueda desarrollarse. Este capítulo describe algunas de las formas en que se estructura el financiamiento para construir minas y algunas de las variables económicas que imponen las alternativas que puede tener un desarrollador de mina.

Finanzas: desde el principio

Después de los gastos de exploración, la primera forma de financiar y usualmente la más importante durante toda la vida de la mina es la procuración de fondos para la construcción. Las decisiones que se tomen sobre el método de financiamiento, comúnmente conocido en el medio minero como “fondeo”, pueden aumentar o disminuir el éxito de una mina. El fondeo para un proyecto puede ser por hipoteca o por endeudamiento o una combinación de ambos, aunque generalmente se prefiere el fondeo por endeudamiento para evitar la disminución del interés que puedan tener los inversionistas y conservar el capital de trabajo para usarlo en exploración en otras propiedades.



Al estructurar un convenio de préstamo para el desarrollo de una mina, la primera decisión que debe tomarse es acerca de la cantidad que va a sacarse del banco y los términos o periodo de tiempo sobre el cual se extenderá. El préstamo debe ser no sólo para cubrir el costo del desarrollo de la mina, sino proveer del capital de trabajo inicial para permitir que la mina opere hasta que el flujo de caja proveniente de la venta de minerales se establezca de modo regular. El préstamo debe también de proveer suficientes fondos para cubrir los pagos iniciales sobre el interés en que se incurra por los retiros que se hagan durante el periodo de construcción.

Deben hacerse provisiones para cubrir el costo de adelantos o demoras, evitando en esta forma el costoso ejercicio de tener que regresar a pedirles a los banqueros dinero adicional.

CAPÍTULO 8

EL AMBIENTE

La industria minera de Norteamérica, desde hace algunas décadas, ha incluido consideraciones para la protección del ambiente en todas las etapas del proceso de minado, desde la exploración pasando por el diseño, construcción, operación y rehabilitación. Las disposiciones legales relativas a la protección ambiental constantemente se vuelven más estrictas; sin embargo, en honor de muchas empresas mineras, debe decirse que han tomado medidas para mejorar el funcionamiento ambiental de sus minas para asegurar el cumplimiento de permisos y disposiciones.



Las minas viejas tienden a desaparecer durante la siguiente década posterior a su cierre. En esta presa de jales ya hay nueva vida vegetal y aún existe un pequeño conjunto de construcciones. Se aprecian los lugares que en diferentes épocas ocuparon tres operaciones mineras y un pueblito, en la faja de plomo-zinc del sureste de Columbia Británica; esta localidad cerró alrededor de 1975.

CAPÍTULO 7

FINANZAS

Tan importantes para el desarrollo de la mina, como son el tonelaje y la ley, el método de explotación, la metalurgia, el medio ambiente, o los mercados futuros, también lo es la habilidad para conseguir el capital para la construcción de la mina.



impactos sobre el ecosistema son los previstos. El monitoreo también puede identificar áreas en donde se requieren medidas correctivas adicionales. Las *medidas preventivas* consideradas en la planeación de la mina para contrarrestar problemas ambientales tienen la ventaja de ser más eficientes y económicas que las *medidas correctivas* que tengan que tomarse con el mismo propósito cuando la mina ya esté operando.



Resultados de un programa de siembra de semillas en los taludes de un terrero.

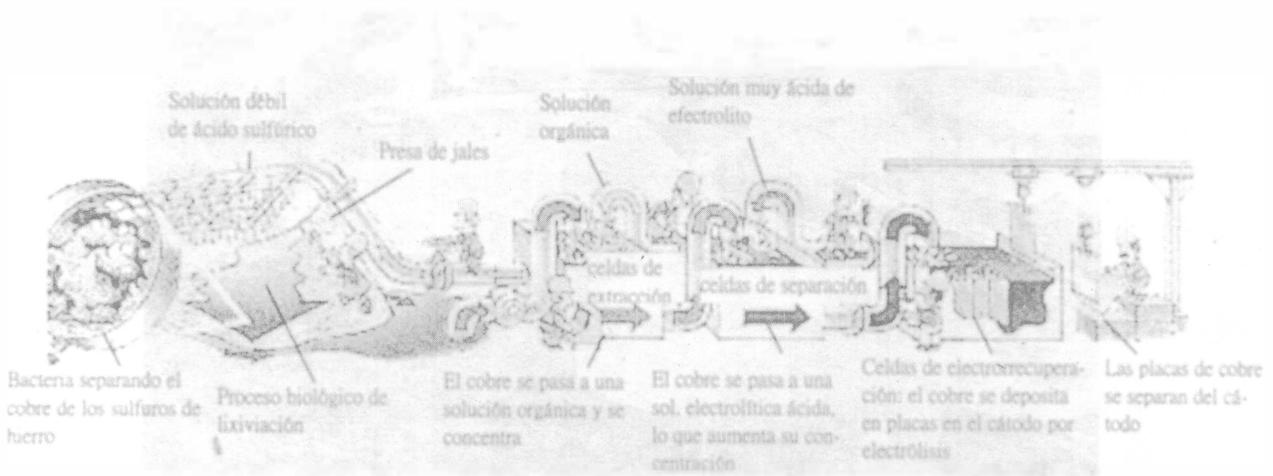


La rehabilitación del terreno actualmente forma parte de la planeación, operación y abandono de una mina.

Cuando se cierra una mina, el terreno afectado por la minería, incluyendo terreros y presas de jales, debe regresarse a condiciones ambientales aceptables. En muchas partes del mundo, las empresas mineras establecen convenios con las oficinas reguladoras apropiadas para desocupar y restaurar los terrenos desde antes de empezar el desarrollo minero. Generalmente se bosquejan en el estudio de factibilidad los planes del proceso de desocupación y restauración, antes de que empiece la construcción. De hecho, las actividades de restauración se llevan a cabo sobre la marcha, y pueden empezar tan temprano como el primer año de operación y continuar mucho tiempo después del cierre de la mina.

Prioridades ambientales

La primera prioridad de una mina es proteger las aguas y el área que rodea a la mina de las sustancias contaminantes que se generen o usen en la operación. Por ejemplo, la roca con la que la mina esté trabajando, puede contener minerales sulfurosos que cuando se exponen al aire y al agua sufren una reacción natural bacteriológica y química llamada *generación ácida*. Este proceso natural es favorecido por el proceso de minado, ya que la roca fracturada permite una mayor y más rápida reactividad que da por resultado la lixiviación de los meta-



Las bacterias pueden vivir con o sin aire, a temperaturas que varían desde la congelación hasta la ebullición y alimentarse de sustancias como petróleo y roca. A una cepa le gustan los átomos de azufre que a veces cementan partículas de oro, lo cual hace que la recuperación de éste por los métodos convencionales sea difícil. Aquí se muestra en la versión simplificada del proceso, cómo la lixiviación bacteriana produce una solución en la que se disuelve el metal deseado, en este caso cobre. A la derecha, el líquido se concentra, hasta que al final puede utilizarse la electrólisis para producir el metal en forma pura.

Jales: una parte necesaria del proceso

Los sólidos de desperdicio, ahora llamados *jales* o *colas*, generalmente se depositan en presas o tanques especiales dentro de la propiedad minera. En ciertas operaciones subterráneas se usan para relleno de algunas áreas ya explotadas.

Hay también sitios donde la mejor y más segura forma de acumular colas es un depósito submarino. Esto normalmente será usado cuando no exista otra alternativa satisfactoria y sólo después de una investigación concienzuda y de que la recopilación de datos indique la extensión y costos de los impactos potenciales.

La gente que diseñe los procesos para recuperar partículas pequeñas de mineral valioso de masas de roca estéril, no debería usar la palabra alquimia para describir lo que ellos hacen. Sin embargo, nuestros tubos de agua y alambres eléctricos, lámina galvanizada y refacciones automotrices no estarían disponibles tan baratas si no fuera por la habilidad de los modernos metalurgistas, ingenieros de minas y operarios de plantas de concentración para extraer minerales de la roca.

planta de concentración y, además, no se afecta la calidad del agua subterránea por filtraciones de las colas. También se involucran consideraciones de seguridad, puesto que los jales secos son más estables si se presenta algún movimiento del terreno.

Otro ejemplo de mejoría en el manejo del medio ambiente en una mina en operación es el caso de la mina Campbell en el noroeste de Ontario. Se tomó la decisión de reducir el impacto sobre el agua y el aire debido a la tostación de los concentrados de sulfuros, cambiando la tostación por un circuito de oxidación a presión. Al emplear esta tecnología moderna, se eliminan las emisiones de bióxido de azufre y se producen otras químicamente más estables, como resultado del proceso.

G 612306

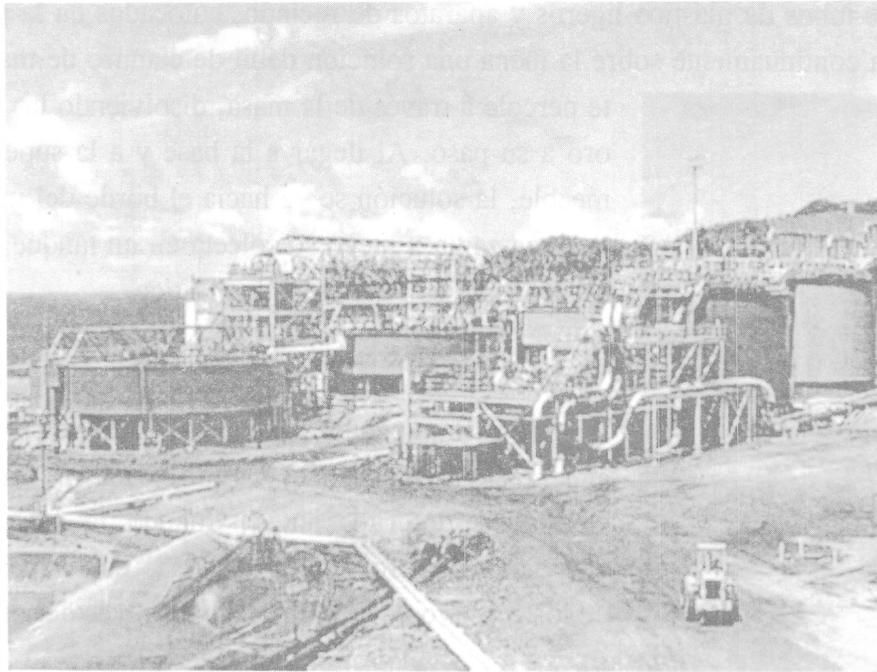
Placer Dome opera una política ambiental detallada que obliga a cada mina a incluir una estimación completa del impacto ambiental, como parte del plan o evaluación de cualquier proyecto. Además, debe tener en operación un plan de protección ambiental y otro de contingencias accidentales del medio ambiente. También un ingeniero especialista en protección ambiental trabaja en todas las operaciones de Placer Dome, en conjunto con las gerencias. Estos ingenieros administran un programa auditado de tres ligas que ayuda a las minas a identificar áreas en las que sean necesarias mejoras y efectúa revisiones críticas, buscando expertos tanto internos como externos para asegurar escrupulosidad y objetividad. Cada nueva mina, después de que ha sido autorizada, se incluye en el procedimiento auditado para asegurar que su acatamiento inicial continúa durante la vida operativa de la mina y aún después.

Los impactos ambientales representan un área importante de la investigación que efectúan las compañías mineras. Por ejemplo, Placer Dome ha hecho importantes contribuciones financieras a varios grupos de investigación conjunta de la industria y el gobierno que están buscando soluciones a los complejos problemas del drenaje ácido, incluyendo su predicción, evaluación, tratamiento y control. Otra área de investigación de esta compañía es la búsqueda de nuevas tecnologías para tratar las emisiones líquidas y gaseosas. Además, hace esfuerzos sobre la marcha para el desarrollo y selección de los mejores métodos metalúrgicos y de tratamiento para los desagües de las plantas de beneficio.

Haciendo frente a los retos globales

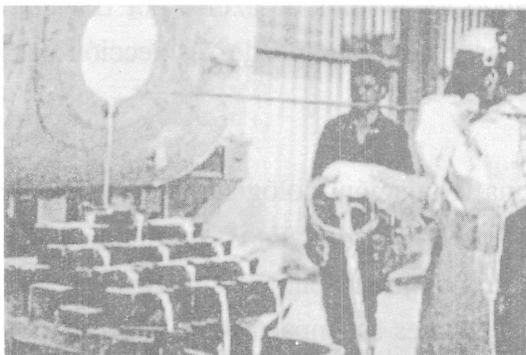
Como cada vez más se están requiriendo estrictas salvaguardas ambientales en exploración y minería, el costo de producir minerales se elevará inevitablemente. Aunque las compañías





En esta foto tomada en la mina de oro de la Isla Misima, Papua, Nueva Guinea, se ve una serie de tanques de lixiviación. Los tanques más grandes y menos profundos que están a la izquierda son espesadores, en los que se decantan los sólidos estériles del licor rico en oro.

Algunos experimentos, efectuados durante los años setenta y principios de los ochenta en una empresa afiliada a Placer Dome en el noreste de Nevada, condujeron a corridas de prueba de uno de los primeros circuitos de *lixiviación en montones*. Desde entonces la lixiviación en montones se ha usado con más frecuencia como una de las formas más eficientes para tratar menas de muy baja ley. Esa tecnología ha permitido que la industria minera del oro del occidente de Estados Unidos crezca rápidamente.



El resultado final del minado del oro se aprecia cada semana creando los cátodos de fibra de acero cubiertos de oro, se funden y vacían. Después del enfriamiento, el doré se separa de la escoria y puede volver a fundirse y colarse en lingotes antes de embarcarse.

En las menas de baja ley no hay suficiente metal por tonelada para cubrir los costos de un tratamiento completo en un circuito convencional. Por tanto, la mena es acarreada desde el tajo hasta una plataforma de lixiviación donde se forma un montón de mena gruesa sobre una superficie impermeable.

En las menas de baja ley no hay suficiente metal por tonelada para cubrir los costos de un tratamiento completo en un circuito convencional. Por tanto, la mena es acarreada desde el tajo hasta una plataforma de lixiviación donde se forma un montón de mena gruesa sobre una superficie impermeable.

queridas para abastecerlos, están impactando sobre nuestro mundo en forma notablemente significativa.

El creciente nivel de preocupación por el medio ambiente, particularmente en los países desarrollados, ha hecho pensar a algunos que es necesario retroceder los actuales niveles de vida. Sobre ese tema, una gran parte del público tiene sentimientos encontrados. Hay quienes quieren proteger el medio ambiente, pero también desean conservar la actual calidad de sus vidas y la posibilidad de que continúe el crecimiento económico.



Algunas presas de jales contienen cianuro, por lo que deben tomarse medidas extraordinarias para evitar la llegada de aves migratorias. Aquí, un artefacto, operado por propano, emite periódicamente un tronido fuerte. En algunos lugares toda la presa de jales se cubre con malla para evitar que las aves acuaticen.

Las empresas mineras serias reconocen que la simple meta de lograr una utilidad inmediata no las exime de su responsabilidad ambiental. Cualquier compañía que piense diferente, indudablemente encontrará que las oportunidades de las que pueda disponer son una base inestable para crecimiento a largo plazo. Las compañías mineras que a la larga encuentren mejor la meta fundamental del éxito, esto es, utilidades, deben primero acatar los principios de los “buenos negocios”, que involucran el respeto por los principios ecológicos. Esto significa ir más allá de los requerimientos legales para satisfacer los valores del público también.

La industria minera contribuye positivamente abasteciendo minerales, metales y materiales que necesitamos o que queremos tener los millones de seres humanos que poblamos la Tierra. Los esfuerzos de las compañías mineras para satisfacer la demanda mundial y, al mismo tiempo, reducir los impactos ambientales, están logrando resultados muy significativos.

dades que pueden llegar a miles de toneladas por hora y, en seguida, el mineral quebrado alimenta a los molinos, que son grandes cilindros giratorios que contienen bolas o rodillos de acero que ruedan. Éstos reducen las partículas de tamaño de guijarros a arenas muy finas adecuadas para la separación de los minerales. También se usa la molienda autógena cuando las menas no requieren de la acción de las bolas o rodillos; la acción de pulverización la proporciona el propio mineral.

Beneficio del mineral: separando el trigo de la paja

La siguiente etapa es remover de la pulpa el mineral valioso. En una mina de metales básicos el método que se utiliza más comúnmente es el de *flotación*. Se agregan sustancias químicas, llamadas *reactivos*, a la pulpa. Éstas se adhieren al mineral y hacen a su superficie hidrofóbica, pero no se adhieren a las partículas de roca. Se agregan otras sustancias químicas para



El mineral triturado se lleva a la superficie donde mediante la etapa final de molienda se reducirá a tamaño de arena.

ayudar a formar y estabilizar burbujas de aire que son forzadas a través de la pulpa. Las burbujas al subir a la superficie llevan las partículas mineralizadas y forman una espuma, la cual es desnatada y mandada a limpieza en pasos o etapas posteriores de flotación antes de ser desaguada, filtrada y seca. El producto, que ahora se llama “concentrado de mineral”, está listo para embarcarse. La flotación aumenta la concentración del mineral y puede también separar un segundo, tercero o cuarto mineral que algunas minas tienen en la misma mena.

La flotación generalmente es el medio más efectivo de producir concentrados, pero es tal la variedad de minerales en la naturaleza que, no es de sorprender, algunos no son adecuados para esta técnica. Como resultado, la tecnología mineral hace uso de otras características físicas como la gravedad, el magnetismo, la radioactividad, el color y la conductividad eléctrica. Además, la tostación, la oxidación a presión o la oxidación biológica y la lixiviación ácida también se usan para recuperar minerales.

CAPÍTULO 9

EL SECTOR SERVICIOS

Muchas industrias tienen actividades o trabajos tan conocidos que se vuelven símbolos de esas industrias como un todo. La minería, por ejemplo, casi siempre se representa con un hombre en overol, botas de hule y casco de seguridad con una lámpara, aunque actualmente



la figura del minero subterráneo sólo es válida para una parte del negocio. En la minería a cielo abierto, el minero trabaja en la superficie, con frecuencia en la confortable cabina de una enorme máquina, como en un camión fuera de la carretera para acarreo del mineral o con una perforadora o una gran pala. Igualmente importantes son los operadores del equipo que se usa en la concentración del mineral.

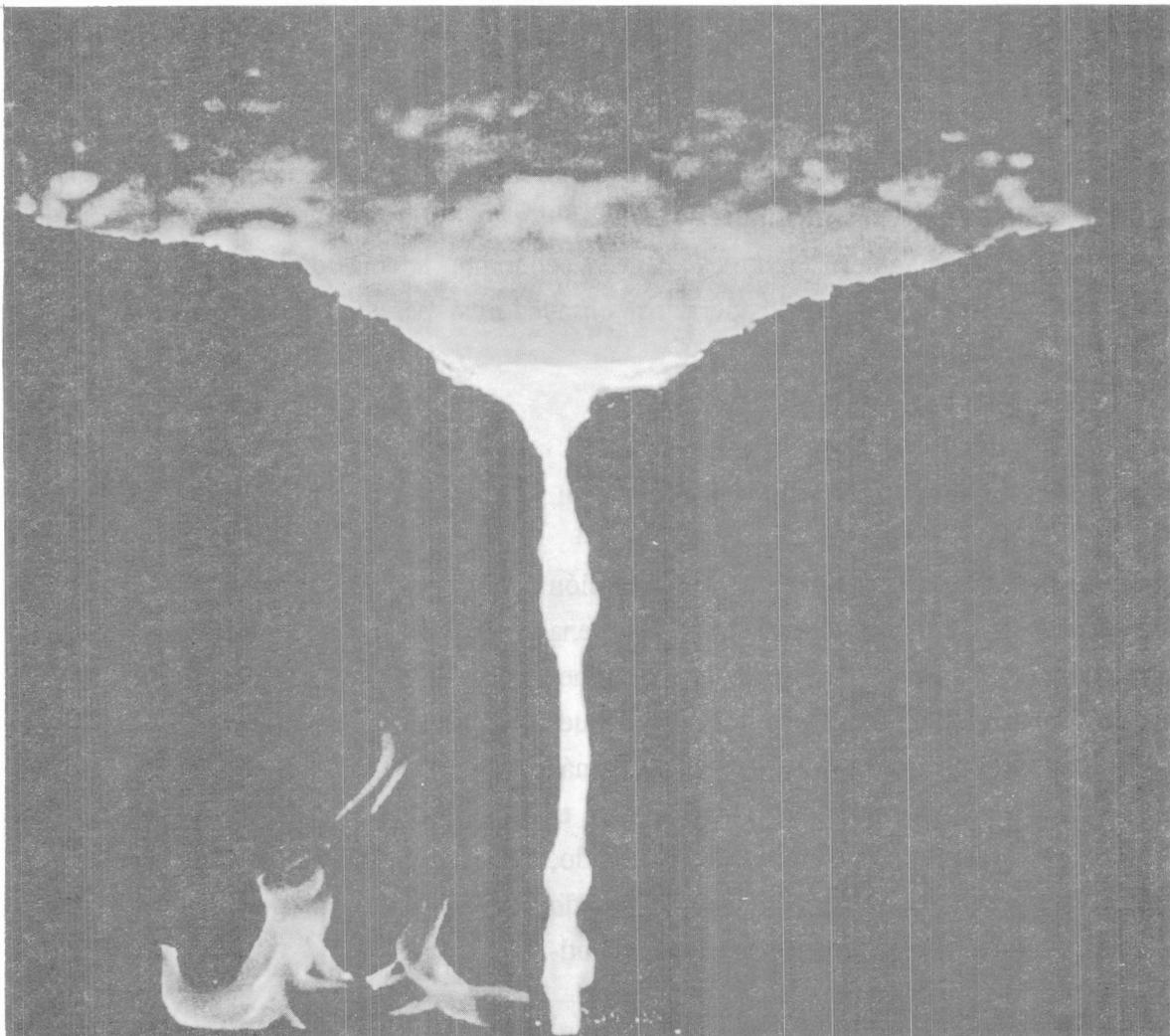
Muchos operarios capacitados realizan una interminable sucesión de trabajos de mantenimiento y reparación de los miles de artefactos mecánicos que se necesitan en una mina.

CAPÍTULO 6

BENEFICIO DEL MINERAL

Alquimia en el siglo XXI

Los antepasados medievales de los químicos modernos trataban de convertir en oro los metales básicos por medio de la alquimia. Hoy sabemos que su búsqueda estaba condenada al fracaso desde el principio y el término “alquimia” ha llegado a denotar un proceso misterioso para transformar minerales venciendo enormes dificultades.



preventivo. Cada motor, tiro, balero, banda, cadena, llanta o sello es revisado periódicamente, lo cual da por resultado que haya menos fallas imprevistas del equipo. Además, pueden programarse periódicamente paros completos, de manera que puedan llevarse a cabo trabajos mayores de reparación y mantenimiento, sin pérdidas excesivas de la producción.

Todas las industrias modernas descansan en la mecanización, lo cual se refleja en que deben contar con un gran surtido de refacciones y materiales debidamente clasificados y colocados en el almacén, lo cual requiere de personal idóneo para su manejo con el fin de asegurarse que se dispondrá de inmediato de ellos en el momento en que se necesiten.

Recursos humanos

Una responsabilidad de tiempo completo hacia los empleados en la operación que utilicen explosivos y equipo grande, es la *seguridad*. El trabajo del supervisor de seguridad consiste en ayudar a los empleados a evitar lesiones y para ese fin se les proporcionan casco y botas de seguridad, así como protectores para los ojos. Otro tipo de protección puede consistir en ropa especial, aparatos de emergencia contra incendio; rescate en las minas; entrenamiento de primeros auxilios; transporte de accidentados o tratamiento para tipos especiales de lesiones industriales. El entrenamiento individual de los empleados en el sentido de aumentar sus conocimientos sobre seguridad, es otra forma de protección que proporciona una unidad minera.



En una mina típica, se tiene que fabricar en sus propios talleres mucho de lo que se necesita para mantenimiento.

El *departamento de personal* recluta a los individuos capaces para las distintas labores que se han mencionado y administra los programas de beneficios que generalmente provee la mina. Proporciona datos a las oficinas del gobierno que supervisan diferentes aspectos laborales y paga los impuestos que correspondan a las autoridades federales, estatales o municipales. También maneja todo lo relativo al contrato de trabajo y trata con el sindicato lo que se presente día a día.

Costos: las máquinas los han disminuido mucho

La frase “se requiere mucha mano de obra” se refiere a un aspecto de la minería que hace bastante tiempo dejó de aplicarse. Los mineros cambiaron el pico y la pala por equipo que ha incrementado su productividad enormemente sobre la de sus antepasados. Tanto en tajos como en minas subterráneas, es común que trabajen sentados confortablemente frente a consolas de control, mediante las cuales dirigen perforadoras, malacates o vehículos, que realizan para ellos mucho del trabajo que anteriormente tenían que efectuar manualmente.



Una voladura en uno de los primeros bancos en un tajo nuevo. El rastro de la mecha (*primacord*) de ignición puede observarse que viene de la derecha. Para su seguridad, el “pegador” se coloca atrás de barreras naturales, o de equipo pesado.

Se han adaptado computadoras para usarse en todas las áreas del minado; ayudan en la planeación, dibujo y control de procesos, así como en las actividades tradicionales de contabilidad, inventarios y mecanografía. En la planta de concentración, las computadoras registran datos de sensores, relativos a la consistencia de pulpas y hacen ajustes muchas veces por minuto. En el pasado, antes de que las hubiera, los operadores con frecuencia tenían que esperar más de una hora antes de que las pruebas de laboratorio les dijeran que tenían que ajustar sus controles.

debe observar e informar las fluctuaciones del tipo de cambio y de las tarifas de transporte terrestre o marino, así como de los seguros.

Cada unidad minera tiene la responsabilidad de comprar sus propios materiales y otros abastecimientos. En el curso del año adquiere desde prensas "C" hasta bujías; llantas de 35 lb de peso hasta enormes llantas para grandes camiones de 7500 lb.

Los *encargados de compras* de la unidad, localizan, evalúan y comparan en forma rutinaria. Nada es demasiado grande o muy pequeño, cuyo precio no pueda conseguirse más bajo, mejorar su plazo de entrega o aumentar su rendimiento en servicio. Este grupo puede ayudar a los proveedores y fabricantes transmitiéndoles sugerencias de los empleados que usan u operan sus productos.

En empresas que operan varias unidades, los intercambios de información frecuentes entre ellas las ayuda a realizar su trabajo con mayor eficiencia.

Tales grupos proporcionan beneficios adicionales; por ejemplo, se puede aprovechar la capacidad de un *centro de cómputo* que puede servir a todas las minas cuando se requieran utilizar algunas características particulares. En pocos minutos la computadora puede ayudar a un ingeniero en el diseño de un tajo, mandar los datos de una nómina a cientos de kilómetros de distancia para que se impriman los cheques localmente en la unidad; estimar el costo del desarrollo de una mina en potencia, aplicando un modelo económico histórico; prever la posible demanda del mercado y los precios de los metales por años en el futuro.

Los *expertos en comunicación* ayudan a la unidad a informar a los accionistas trimestral o anualmente de los asuntos de la empresa. De cuando en cuando la unidad podría necesitar imprimir folletos de información escritos, diseñados e impresos para distribución entre los visitantes, escuelas o familiares de los empleados y, en ocasiones, poner anuncios o noticias legales en periódicos distantes.

Problemas especiales-soluciones especiales

Para contribuir al éxito de una mina puede haber un grupo de gente altamente especializada que no esté empleada directamente. Esto incluye consultores como el ingeniero geotécnico cuyos conocimientos verifiquen la estabilidad de una presa de jales; el despacho de abogados especialistas en derecho laboral o en impuestos, que analicen el impacto de la legislación so-

ha dado por resultado el desarrollo de muchos métodos de fortificación o estabilización de las rocas, como los pernos de anclaje de fricción, los de cubierta de expansión, anclas de cable, anclas cementadas, mallas de alambre y concreto lanzado.

Aunque la minería de roca dura aún utiliza el viejo método de perforar y tronar para romper la roca, se están probando constantemente métodos nuevos. En casos especiales, se están usando rompedoras hidráulicas de roca y máquinas perforadoras capaces de colar túneles y tiros de 20 pies de diámetro en roca firme. En las minas de carbón, la tecnología hidráulica ha desarrollado sistemas que usan chorros de agua a alta presión, primero para fracturar y derrumbar el carbón para luego sacarlo de la frente en la corriente de drenaje.

Estabilidad de las rocas: en los tajos

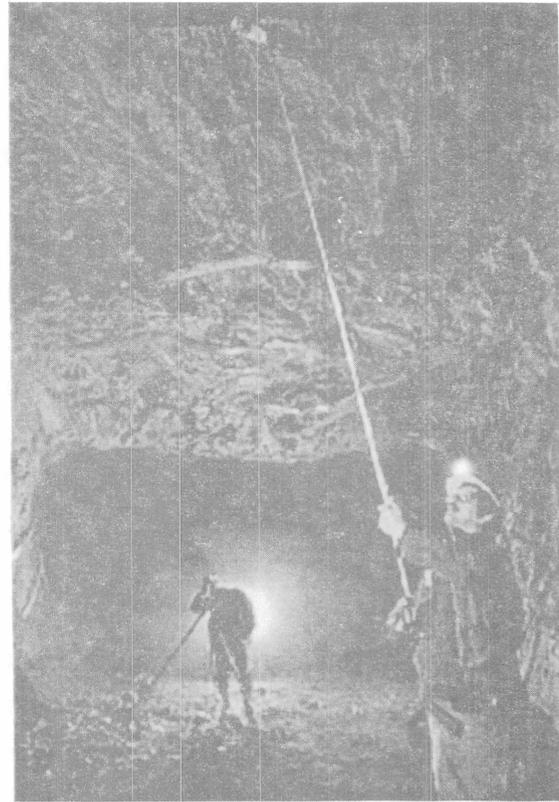
Las minas a cielo abierto presentan mucho menos problemas en este aspecto que las minas subterráneas, pero de todos modos tienen algunos. A medida que un tajo se va profundizando, los taludes pueden moverse. Por eso es que los tajos se desarrollan en una serie de grandes escalones o bancos más bien que en una pendiente continua. La altura y ancho de los bancos están en función de la resistencia y estabilidad naturales de la roca, así como también del costo. En algunas localidades los taludes son sumamente estables y requieren poco refuerzo, aunque en algunos puntos en que haya roca suave o fracturada se requiera suavizar la pendiente y pueda incrementarse mucho la relación de encape a mineral e impactar la economía de la mina.

En cualquier caso, no pueden pasarse por alto las normas de seguridad requeridas en la explotación minera. Los distanciómetros de rayo láser que se utilizan para detectar movimientos en los taludes son tan precisos, que cualquier pequeño movimiento se registra mucho antes de que el ojo humano alcance a apreciarlo. Como resultado, cuando el monitoreo revele que el movimiento ha llegado a tal punto que constituya un peligro potencial, se suspenden las operaciones y se toman medidas para estabilizar esa sección del tajo.

Explosivos: fracturadores eficientes de las rocas

En el minado el perforista debe tener la habilidad para colocar y detonar los altos explosivos usados para tumbar la mena. Primero se tiene que perforar en la roca una plantilla de barrenos. La plantilla, la longitud de los barrenos y los explosivos y sus fulminantes son variables

Parte fundamental del diseño de una mina es la extracción del agua subterránea, así como la instalación de las complejas redes de ductos de ventilación, líneas de fuerza, aire comprimido y agua. Se proporciona aire fresco a los mineros, el cual es introducido desde la superficie hasta las frentes de trabajo por conductos adecuados, alimentados por grandes ventiladores. El aire viciado y gases se extraen por otros tiros. Esto y otros retos especiales que varían de una mina a otra, y aun entre partes de una misma mina, son manejados en forma rutinaria por los ingenieros de minas y operadores.



La larga lista de límites

La naturaleza del cuerpo mineral usualmente dicta el método de explotación, el cual a su vez pone límites a lo que los ingenieros de minas pueden hacer. En el minado subterráneo, el ingeniero de minas tiene primero que decidir cuál es el método de extracción más adecuado, dadas la profundidad del cuerpo, su echado, su potencia y también la competencia de la roca encajonante. En seguida se da una lista parcial de estos métodos de minado o explotación:

La minería subterránea no sólo consiste en tumbar y acariciar mineral. Esta brigada pone marcas para las perforadoras que vendrán después para colar una galería.

| Método | Echado del cuerpo mineral |
|-------------------------------|---------------------------|
| Barrenos largos | Abrupto |
| Corte y almacenamiento | Abrupto |
| Corte y relleno | Mediano |
| Corte y relleno | Abrupto |
| Frentes largas | Sensiblemente horizontal |
| Hundimiento de bloques | Abrupto |
| Hundimiento por subniveles | Abrupto |
| Salones y pilares | Sensiblemente horizontal |
| Salones y pilares escalonados | Mediano |
| Salones y pilares inclinados | Mediano |