

## **TEMA 4.- TOPOGRAFÍA Y FOTOGRAMETRÍA EN EXPLOTACIONES MINERAS A CIELO ABIERTO.**

### **4.1.- Introducción.**

La minería a cielo abierto es una de las actividades humanas que en mayor medida alteran la morfología de las zonas a las que afecta. Este sistema de producción de materias primas supone la extracción de los materiales estériles que se superponen a las masas mineralizadas, creando huecos de considerables proporciones que sólo en ocasiones vuelven a llenarse. Las tierras estériles, si el método de explotación no permite volver a depositarlas en el hueco creado, se almacenan en vertederos (vacies) cuya forma y dimensiones varían continuamente a medida que avanza la explotación minera. La normativa medio-ambiental obliga al minero a prever y desarrollar una serie de medidas que minimicen el impacto de las labores mineras y que van a suponer nuevas modificaciones de la morfología del terreno.

Los trabajos topográficos en explotaciones de este tipo deben adecuarse al ritmo con que la minería moderna modifica el entorno en el que se asienta. Algunas de las tareas con las que se enfrenta el equipo topográfico de una empresa minera adquieren un carácter crítico, debido a las limitaciones de tiempo para realizarlas y a que condicionan otros trabajos posteriores, que a su vez son vitales para el funcionamiento de la mina.

El equipo se ocupa también de apoyar a los restantes equipos técnicos de la mina en la elaboración y seguimiento de los distintos proyectos y planes que van a guiar la marcha de la explotación. En todos estos trabajos van a emplearse distintas técnicas topográficas, aplicadas a levantamientos planimétricos y altimétricos, a replanteos y a cubicaciones.

Los trabajos topográficos en una explotación minera a cielo abierto presentan una serie de características propias:

- Se localizan en un área relativamente pequeña.- Aunque algunas explotaciones afectan a superficies importantes (figura 4.1), la actividad de una mina a cielo abierto se desarrolla en una zona cuyo tamaño máximo alcanza algunos centenares de hectáreas. En esta zona se localiza la corta o cortas, los vertederos y las instalaciones que completan el complejo minero.
- Se desarrollan a lo largo de un periodo de tiempo extenso, comenzando varios años antes de que la mina entre en producción y, con frecuencia, terminando después de que el yacimiento se haya agotado, mientras se

completan las últimas fases de los trabajos de restauración del área afectada.

- Son de tipo muy variado y en ellos se aplican técnicas muy diferentes.
- En algunos de ellos, especialmente los de carácter más sistemático, el factor tiempo es crítico: se dispone de pocos días (o pocas horas) para su realización y hay que evitar, en lo posible, que puedan afectar a la producción.
- Determinan, en buena medida, la correcta marcha de la explotación. Por tanto, también son críticos en este sentido.

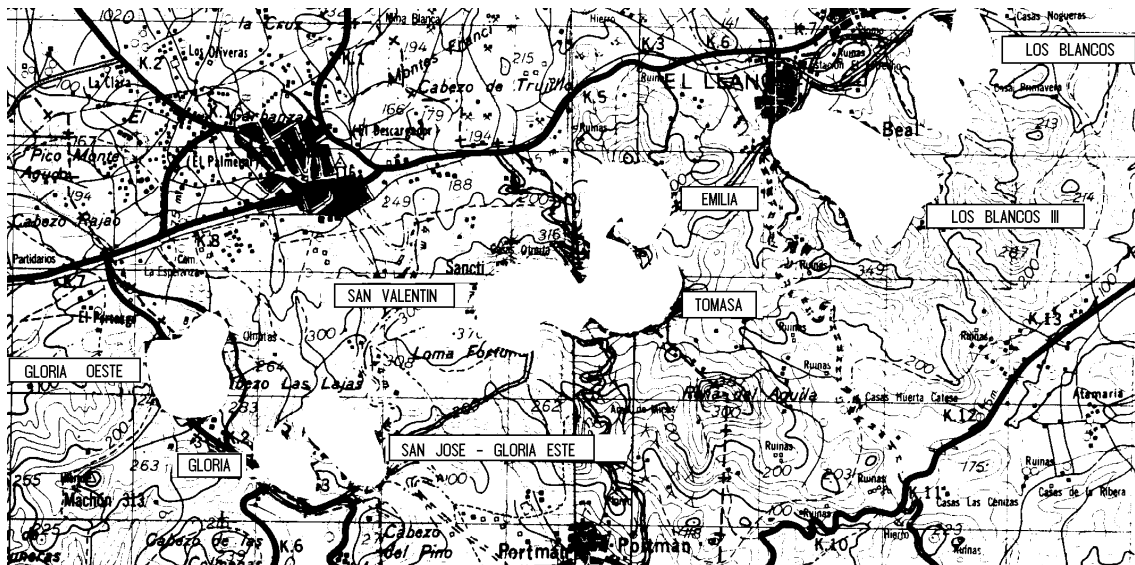


Fig. 4.1. Explotaciones mineras de la SMMPE en la Sierra de Cartagena-La Unión

Se han considerado tres etapas distintas de la actividad minera. Conviene señalar que esta división es una simplificación de la realidad, ya que muchas de las tareas contempladas se extienden en el tiempo y coexisten con las de etapas posteriores. Estas etapas son las siguientes:

- Trabajos topográficos iniciales: Consisten en el establecimiento de la infraestructura topográfica (redes de vértices) y en la elaboración de la cartografía inicial de la zona afectada, necesaria para los distintos proyectos (explotación, restauración, instalaciones, etc.):
  - Establecimiento de la red trigonométrica.
  - Levantamiento topográfico inicial.
- Trabajos topográficos de apoyo a la elaboración del proyecto de explotación:
  - Investigación geológica.
  - Proyecto de explotación. Vertederos. Planes de restauración.
  - Proyectos de instalaciones, accesos, líneas eléctricas, etc.
- Trabajos topográficos durante la etapa de producción de la explotación: Se trata de trabajos, con frecuencia sistemáticos, que posibilitan la marcha correcta de la explotación minera:

- Levantamiento de los avances de frentes de trabajo y vertederos. Marcaje de las separatrices entre mineral y estéril.
- Marcaje de sondeos de control de leyes. Levantamiento y/o marcaje de barrenos de voladura.
- Nivelación de plantas de trabajo.
- Control de estabilidad de taludes.
- Apoyo topográfico a los trabajos de restauración.

Vamos a suponer que todos estos trabajos serán realizados por el equipo topográfico de la explotación minera, aunque en la práctica algunos de ellos (especialmente los iniciales) suelen contratarse a empresas especializadas, incluso si la explotación dispone de su propio equipo.

#### 4.2.- Trabajos topográficos iniciales.

Este apartado se refiere a todos los trabajos topográficos destinados a proporcionar las redes de apoyo y la cartografía necesaria para el desarrollo de las primeras fases de la actividad minera: exploración inicial, investigación geológica, adquisición de terrenos, etc., hasta la elaboración del proyecto de explotación.

##### 4.2.1.- Establecimiento de la red trigonométrica.

Es la primera etapa del trabajo topográfico y, en principio, se aplican los métodos habituales para el establecimiento de este tipo de redes: intersección directa para la red de vértices, intersección inversa para determinar puntos trigonométricos complementarios, itinerario para establecer las redes topográficas. La red trigonométrica puede sustituirse por un levantamiento con equipos GPS, dando coordenadas a un número suficiente de puntos bien repartidos por la zona afectada.

En el establecimiento de redes de vértices en minería a cielo abierto hay que tener en cuenta que:

- la actividad minera puede durar muchos años y las redes de vértices de apoyo deben estar disponibles en todo momento.
- sin embargo, la propia naturaleza de la actividad minera puede suponer la desaparición de algunos de estos vértices, especialmente de los

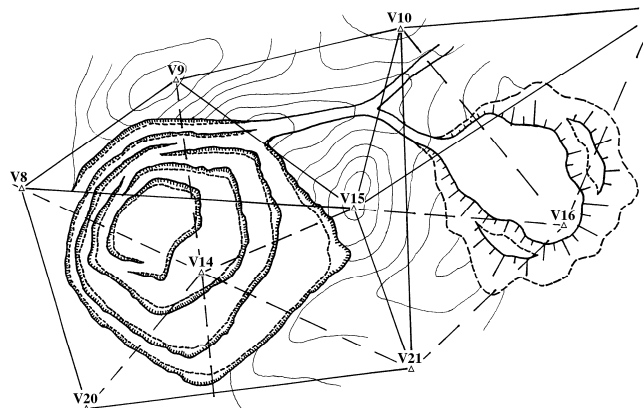


Fig. 4.2. Red trigonométrica

situados en zonas afectadas por la corta o el vertedero (figura 4.2). En otros casos, las señales permanentes que marcan los vértices pueden desaparecer debido a los trabajos de infraestructura, al transporte, etc.

- las características de muchos de los trabajos mineros exigen disponer de un gran número de vértices de apoyo permanentes, cubriendo toda la zona de actividad minera.

Por estas razones puede ser recomendable establecer una red de vértices trigonométricos y topográficos mucho más densa que las habituales en trabajos topográficos no mineros. Una posible solución consiste en establecer dos redes, una con unos pocos triángulos de lados más grandes y vértices situados en puntos seguros; otra más densa, completada con puntos trigonométricos complementarios y vértices topográficos.

Toda la red debe revisarse con frecuencia (mejor si se establecen revisiones sistemáticas) y mantenerse totalmente operativa, especialmente en las proximidades de las zonas en producción.

#### **4.2.2.- Levantamiento inicial.**

Las distintas fases del trabajo minero se apoyarán en planos a distintas escalas. En su caso, los planos y sus escalas deben elaborarse de acuerdo con la legislación vigente. Los siguientes valores se dan simplemente a título de referencia, ya que en la práctica puede haber variaciones importantes:

- Trabajos de exploración/investigación: escalas 1/10.000 a 1/2.500.
- Proyecto de explotación: 1/5.000 a 1/1.000.
- Planes de restauración: 1/10.000 a 1/2.500.
- Otros proyectos: 1/1.000 a 1/200. Incluye infraestructuras, instalaciones, accesos y, eventualmente, algunas fases del plan de restauración.

La escala determinante suele ser la del proyecto de explotación y, por tanto, esta será la que hay que tener en cuenta a la hora de planificar el levantamiento. Otros proyectos pueden necesitar planos a escalas mayores, que suelen ser objeto de levantamientos específicos.

Una forma apropiada de realizar el levantamiento inicial es, por supuesto, el empleo de fotogrametría aérea. La elección de la escala y condiciones del vuelo se hará en función de la escala determinante en los planos, es decir, de aquella que vaya a emplearse para elaborar el proyecto de explotación. Los trabajos fotogramétricos serán realizados por el equipo topográfico de la propia empresa, si ésta dispone de los medios necesarios, o se contratarán. La cartografía a mayor escala, para proyectos de instalaciones,

etc., puede realizarse por fotogrametría terrestre, si el terreno lo admite, o por métodos topográficos convencionales.

La otra posibilidad es realizar un levantamiento taquimétrico clásico. En ambos casos, los trabajos se apoyarán en las redes de vértices previamente establecidas.

#### 4.3.- Trabajos topográficos en la fase de proyecto.

En este apartado agrupamos todos los trabajos topográficos de apoyo a las fases de investigación geológica, elaboración del proyecto de explotación, vertederos de estériles, plan de restauración, proyectos de instalaciones, accesos, líneas eléctricas, etc.

##### 4.3.1.- Apoyo a la investigación geológica.

Según los primeros estudios geológicos (escalas 1/10.000 a 1/2.500) y con apoyo de la cartografía inicial, se diseña la malla de sondeos de investigación, definiendo sus dimensiones y su orientación. Las direcciones principales de la malla no tienen por qué coincidir con la dirección de la meridiana ni con ninguna otra orientación preestablecida, sino que vendrán condicionadas por la naturaleza del yacimiento. Se elige un punto inicial, que será una de las esquinas de la malla, y se calculan a partir de él las coordenadas de todas las intersecciones de la malla, donde irán ubicados los sondeos. Normalmente se comienza con mallas amplias, que luego se van cerrando a medida que se conocen los primeros resultados de los sondeos.

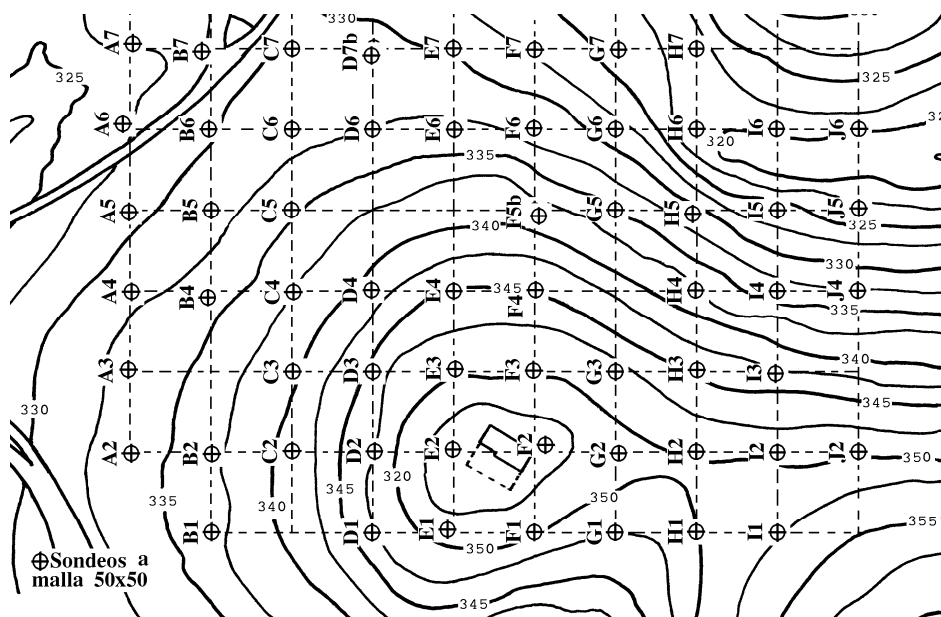


Fig. 4.3. Malla de sondeos de investigación

Antes de perforar cada sondeo, su situación teórica dentro de la malla debe replantearse y marcarse en el terreno, siguiendo los procedimientos clásicos de replanteo de puntos y alineaciones rectas, con apoyo en la red de vértices trigonométricos y topográficos. Los sondeos se realizan sobre el terreno virgen por lo que, en muchos casos, los accidentes del mismo impiden que la máquina sondeadora se posicione exactamente sobre el punto replanteado. Una vez efectuado cada sondeo es preciso levantar su situación real, por intersección o itinerario.

Una vez finalizada la campaña se elabora una cartografía geológica local, completada por el levantamiento de fallas, afloramientos, etc. Finalmente se realiza un modelo geológico tridimensional, integrando toda la información geológica y topográfica. Este modelo se materializa en una serie de secciones paralelas y equidistantes, que pueden ser horizontales y/o verticales (figura 4.4).

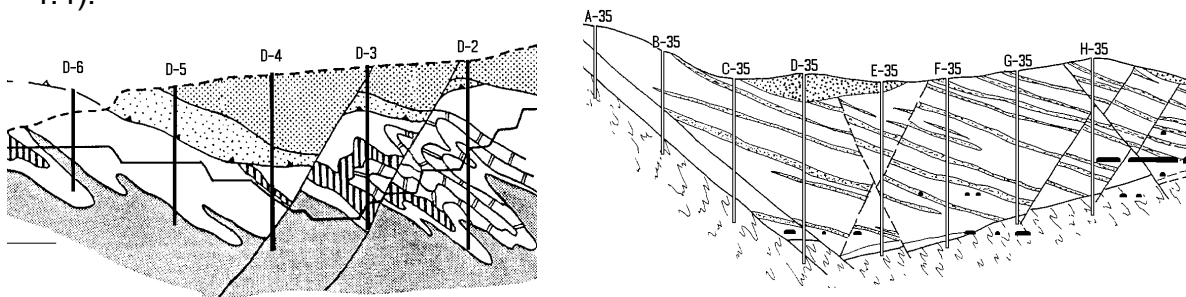


Fig. 4.4. Cortes geológicos

#### 4.3.2.- Modelización y diseño de la explotación.

La siguiente fase consiste en la elaboración de un modelo completo del yacimiento, integrando la información geológica, análisis de muestras de sondeos, tests mineralúrgicos y otros datos de interés, además de la información topográfica.

La tendencia actual (figura 4.5) es utilizar modelos numéricos (o discretizados) dividiendo el yacimiento en bloques de base cuadrada o rectangular y de altura igual a la de banco, definidos por las coordenadas espaciales de sus centros y cuyos parámetros (leyes, leyes recuperables, potencias, etc.) se estiman, a

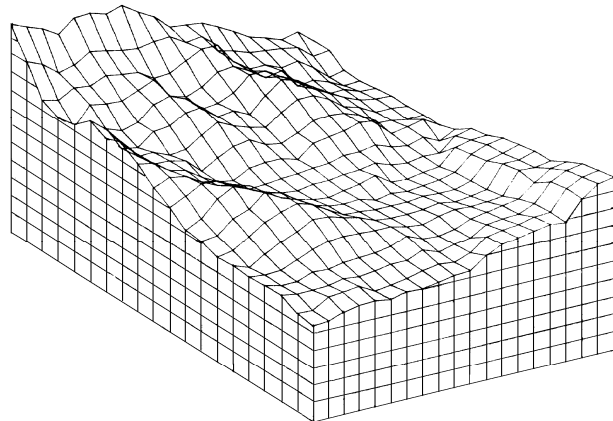


Fig. 4.5. Modelo de bloques

partir de la información de los sondeos, por procedimientos matemáticos o geomatemáticos con ayuda del ordenador. Las dimensiones y la orientación de la malla de bloques dependerán de las de la malla de sondeos y de las características del yacimiento (tamaño, continuidad, etc. de los cuerpos mineralizados).

Con modelos de este tipo resulta muy adecuado disponer de la topografía superficial en un formato similar, lo que nos lleva a la elaboración de un modelo digital del terreno (DTM o MDT, figura 4.6) basado en una red de puntos que coincidirá, en planta, con la de bloques del modelo del yacimiento o será un submúltiplo de ella.

| Modelo del yacimiento | Modelo topográfico         |
|-----------------------|----------------------------|
| Morfológico           | Continuo (curvas de nivel) |
| Numérico              | Numérico (DTM)             |

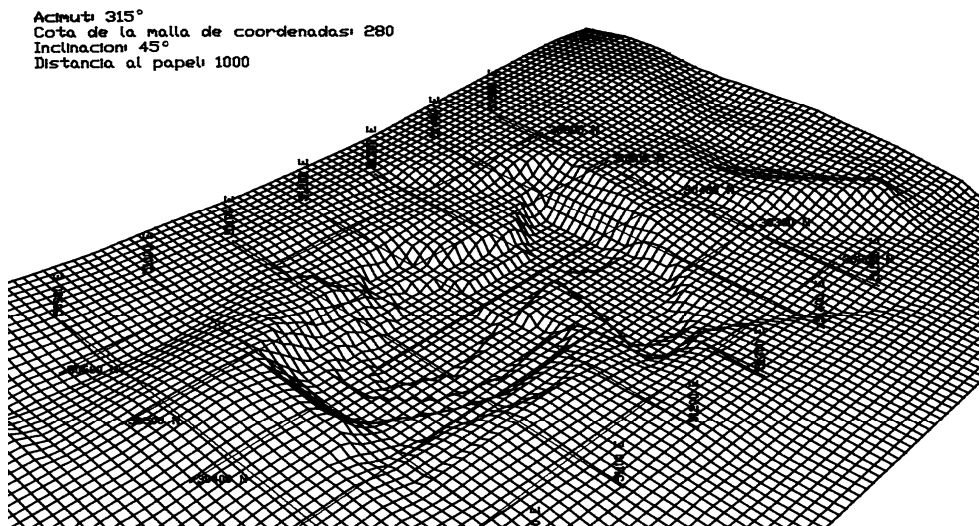


Fig. 4.6. Representación de un modelo digital del terreno

Normalmente, las direcciones del DTM y las de la red de bloques se harán coincidir con las direcciones principales de la malla de sondeos de investigación. En esta etapa es frecuente trabajar en coordenadas locales, con ejes cartesianos paralelos a estas direcciones principales.

El diseño del vaso de explotación y de los accesos se hará por procedimientos que pueden ir desde los puramente automáticos (algoritmos matemáticos) a los manuales y se basan en criterios económicos y mineros. Se obtendrá una serie de diseños, de entre los cuales se elige el más conveniente. El diseño del vaso debe repercutirse hasta la superficie del terreno, para determinar su intersección con ella y el volumen total de tierras e extraer. Dentro de cada proyecto se calculan los tonelajes de mineral y estéril. La

cubicación se efectuará por procedimientos automáticos (conteo de bloques) o manuales (sobre secciones verticales o sobre curvas de nivel).

El diseño de vertederos, por su parte, supone:

- Elegir su ubicación: Criterios económicos y medioambientales.
- Calcular su capacidad.
- Diseñar el sistema de vertido, los accesos, etc.

Los planes de restauración también se elaboran en esta etapa. Los trabajos de restauración no van a ponerse en marcha cuando se agote el yacimiento sino, preferiblemente, en paralelo a la marcha de la mina. Se basan en la cartografía inicial y en el diseño del vaso y de los vertederos y suponen:

- Relleno de huecos de la explotación.
- Suavizado de taludes en corta y vertederos.
- Infraestructuras, etc.

El proyecto debe estudiarse cuidadosamente para minimizar impactos, no sólo cuando termine la explotación sino también durante la vida de la misma. Los planes de restauración suelen plasmarse sobre planos a distintas escalas, pero también se emplean otros soportes: planos-esquema mostrando las fases del plan, ortofotos, maquetas, etc.

#### 4.3.3.-Proyectos de instalaciones, accesos, transportes, líneas eléctricas.

Se trata de proyectos puntuales aunque, con frecuencia, de gran envergadura. Se apoyan en levantamientos topográficos a distintas escalas e implican a técnicos de distintas especialidades, según su naturaleza. Puede tratarse de instalaciones nuevas o de modificación de otras ya existentes.

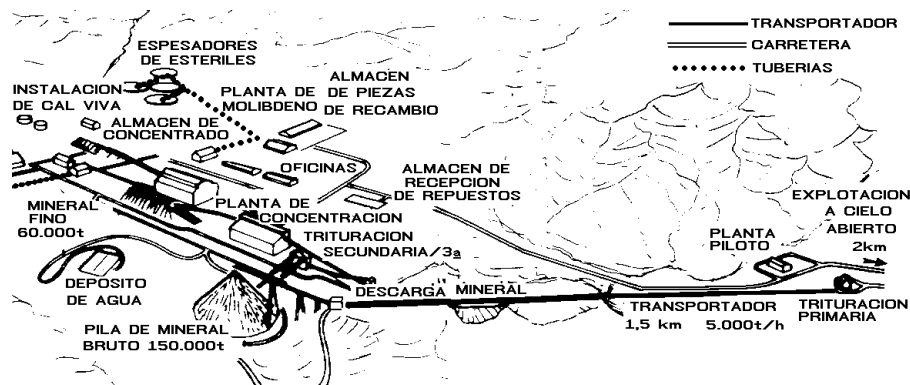


Fig. 4.7. Instalaciones de una mina de cobre

Los trabajos topográficos necesarios son los propios de cualquier proyecto de ingeniería civil: levantamientos, replanteos, nivelaciones, etc.



#### **4.4.- Trabajos topográficos en la fase de producción.**

Estos trabajos suelen tener un carácter sistemático y una periodicidad fija, que depende de las características de la explotación. El factor tiempo suele tener una importancia fundamental.

##### **4.4.1- Levantamiento de frentes de trabajo y vertederos.**

Suele realizarse mensualmente, coincidiendo con el fin de mes y, por tanto, con los trabajos de planificación a corto plazo de la explotación minera. El levantamiento de frentes constituye una operación crítica, ya que:

- Existe una importante limitación de tiempo: Se realizan en momentos muy concretos y en poco tiempo, ya que suelen condicionar la planificación a corto plazo.
- No deben alterar el ritmo de producción. Esto puede presentar problemas en frentes que estén activos en el momento de realizar el levantamiento.

Estos trabajos deben planificarse cuidadosamente, comprobando que toda la infraestructura topográfica necesaria (vértices) está operativa y estableciendo los apoyos topográficos necesarios en cada caso. La organización de los trabajos se hará con pocos días de antelación, ya que sólo entonces puede conocerse cuál va a ser la situación aproximada de frentes y vertederos y cuáles van a ser, por tanto, las necesidades en cuanto a infraestructuras topográficas.

Las escalas suelen oscilar entre 1/2.500 y 1/500, dependiendo de la utilización que vaya a darse a los planos obtenidos. Se han descrito distintas formas de realizar estos trabajos, entre ellas:

- Taquimetría, con itinerarios encuadrados aproximadamente paralelos al frente y situados a cierta distancia del mismo. Las estaciones extremas estarán marcadas en el terreno y se habrán levantado previamente (normalmente, por intersección). Las estaciones del itinerario pueden estar marcadas de antemano y servirán para levantar por radiación los puntos de interés. Se levantan puntos de la cabeza y el pie del banco. Si el avance es reducido, se puede levantar desde una sola estación.
- Fotogrametría terrestre: Las bases se sitúan fuera de la zona de actividad y se levantan con antelación. Las señales se colocan en el momento de tomar los fotogramas y se levantan desde los puntos de la base. Por este sistema se pueden trazar curvas de nivel, además de las líneas de cabeza y pie de banco.

Los resultados se emplean para cubicar los volúmenes de mineral y estéril extraídos, pero también para actualizar los planos sobre los que se realiza la planificación a corto plazo y que sirven de guía para la operación minera. En estos planos se incorpora la información geológico-minera del control de leyes y/o del proyecto. También se emplean para actualizar el inventario de reservas y para otros tipos de aplicaciones (figura 4.8).

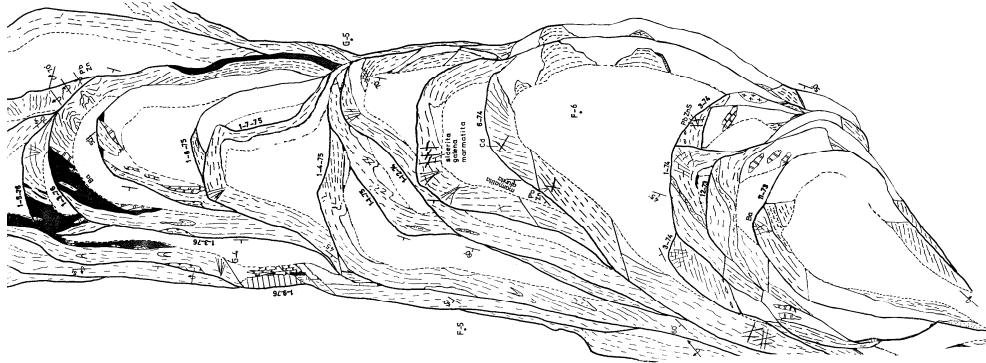


Fig. 4.8. Evolución de los frentes de una corta (SMMPE)

#### 4.4.2- Sondeos de control de leyes. Barrenos de voladura.

En muchas explotaciones se precisa un control geológico-minero más preciso que el que proporciona el proyecto, lo que obliga a efectuar sondeos de control de leyes, a malla más cerrada que la de investigación y submúltiplo de ella. Estos sondeos se perforan una vez retirado el estéril de recubrimiento, por lo que no suele haber problemas para situarlos exactamente en sus posiciones teóricas. La malla de sondeos se replantea y se marca sobre el terreno, empleando los métodos ya conocidos.

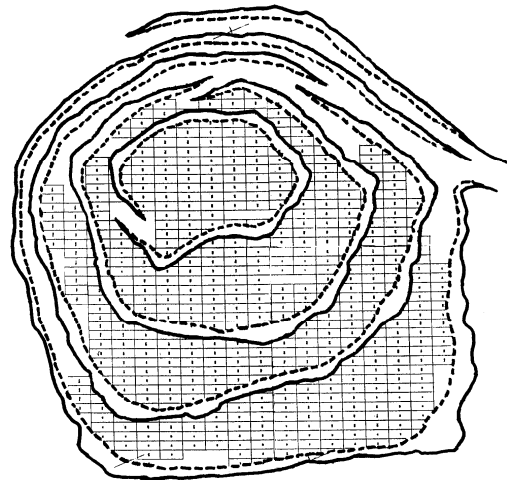


Fig. 4.9. Bloques de control de leyes

En otros casos es suficiente con analizar los detritus de los barrenos de voladura. Esto supone levantar topográficamente la situación de cada barreno, operación para la que se suele disponer de poco tiempo.

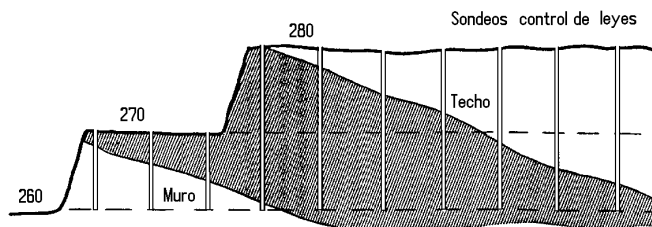


Fig. 4.10. Sondeos de control de leyes

En ocasiones se marcan sobre el terreno los barrenos, según su malla teórica, para facilitar el control de las voladuras. Esto supone levantar previamente el frente y replantear la malla según la forma del mismo. En el caso de barrenos inclinados conviene marcar la situación del barreno y una línea perpendicular al frente (por cada barreno) que permita a la máquina perforadora posicionarse correctamente.

A partir de los análisis realizados sobre muestras de sondeos de control de leyes o de barrenos se determinan, sobre plano, las separatrices entre zonas de mineral y de estéril. En ocasiones, estas líneas se marcan sobre el terreno, para facilitar la tarea del equipo de producción y evitar pérdidas y polución del mineral. También en este caso son de aplicación las técnicas de replanteo.

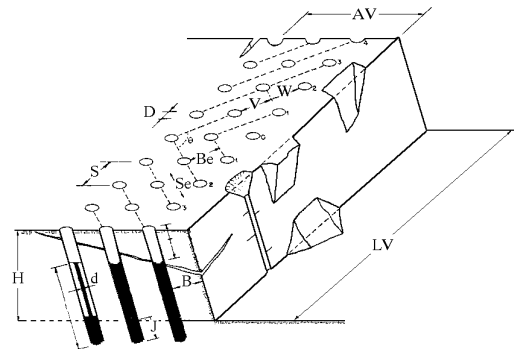


Fig. 4.11. Barrenos

#### 4.4.3- Control de estabilidad de taludes.

Además de los controles de tipo geotécnico, interesa en ocasiones efectuar un seguimiento de los posibles movimientos en los taludes de la explotación. Se emplean los métodos de intersección y trilateración para el levantamiento de puntos aislados del talud o la fotogrametría terrestre para el levantamiento del talud completo.

Los métodos de micro-geodesia permiten precisiones muy superiores, pero la fotogrametría permite levantar el talud completo, lo que a veces es muy conveniente. En caso necesario, ambas técnicas pueden combinarse entre sí. La frecuencia y el tipo de controles vendrán definidos por las características del talud a controlar, por la precisión requerida y por los equipos disponibles.

#### 4.4.4- Nivelación de plantas.

La planificación minera se basa en las plantas teóricas de trabajo, en las que se habrá determinado cuáles son las zonas de mineral y de estéril. La explotación debe seguir estas plantas sin grandes desviaciones, ya que lo contrario supondrá una contaminación del mineral con estéril y una pérdida de reservas, al enviar erróneamente parte del mineral al vertedero.

En el caso de que existan minados en la zona, como resultado de una mina subterránea ya abandonada (figura 4.12), los trabajos de nivelación son fundamentales para poder situar los huecos con precisión y evitar accidentes.

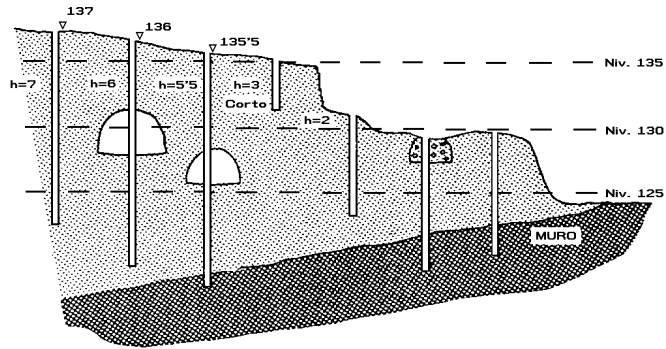


Fig. 4.12. Detección de minados

Para evitar todos estos problemas conviene realizar una nivelación periódica de las plantas de trabajo a medida que avanzan los frentes. En algunos casos basta con una nivelación trigonométrica realizada junto con el levantamiento mensual de los frentes, pero en otros será necesario efectuar nivelaciones geométricas, incluso después de cada voladura, para corregir las posibles desviaciones en la voladura siguiente.

#### 4.4.5- Restauración.

Además de elaborar los planes de restauración, que es una de las etapas del proyecto, es preciso realizar un seguimiento topográfico de la ejecución de los mismos.

En ocasiones, cambios en las condiciones de la explotación, como el descubrimiento de nuevas zonas mineralizadas, obligarán a actualizar y completar estos planes. En todos los casos, el equipo topográfico de la explotación minera jugará un papel importante en este aspecto.

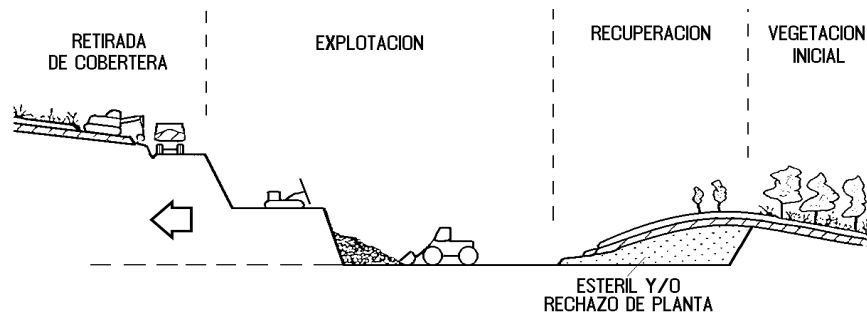


Fig. 4.13. Restauración de terrenos