
TOPOGRAFÍA MINERA II

Rubén Ferrer Burgos

TOPOGRAFÍA MINERA II

Ing. Rubén Ferrer Burgos



Editorial
Pueblo y Educación

Este libro,
en tus manos de estudiante,
es instrumento de trabajo
para construir tu educación.
Cuidalo.

Diseño: Olga Luisa Domínguez Sánchez
Lizabeth Álvarez de la Torre
Ilustración: José Carlos Chateloin Soto

© Rubén Ferrer Burgos, 1987
© Editorial Pueblo y Educación, 1987

EDITORIAL PUEBLO Y EDUCACIÓN
Calle 3ra. A No. 4605, entre 46 y 60,
Playa, Ciudad de La Habana

SNLC:CU01.43042.4

AL LECTOR

La publicación de esta obra como texto provisional responde al interés conjunto de la Editorial Pueblo y Educación y el Ministerio de Educación Superior de satisfacer, en mayor medida, la edición de los libros de texto que están siendo elaborados por autores cubanos y, en algunos casos, traducidos por especialistas también cubanos.

En este propósito se conjugan tres objetivos de gran importancia: el crecimiento de las necesidades docentes por el surgimiento de nuevas especialidades y disciplinas; la disminución de los plazos en que se logre el completamiento de las asignaturas con carencia de textos; la conveniencia —por evidentes razones económicas— de que obras con mayor calidad en sus aspectos editoriales y poligráficos se editen sobre la base de su validación previa en la práctica.

Hay que señalar que la concepción del texto provisional implica una mayor flexibilidad en los indicadores de calidad de la obra terminada y una adecuación del trabajo editorial, el cual no puede ser exhaustivo.

El libro de texto provisional cuyo contenido y su correspondencia con el programa de estudio están avalados por comisiones de especialistas, resulta de utilidad para estudiantes y profesores, y su publicación constituye, además de un estímulo a sus autores o traductores, el punto de partida para su perfeccionamiento en futuras ediciones.

PRÓLOGO

El presente libro es la segunda parte del texto de la asignatura Topografía minera que se imparte en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Consta de siete capítulos, en los que se trata toda la temática de los trabajos de la Topografía minera durante la explotación del yacimiento por los métodos a cielo abierto y subterráneo.

Aunque es un libro de texto, puede ser empleado por los ingenieros y técnicos afines a la rama.

Por constituir este libro nuestros pasos iniciales, rogamos se sirvan señalar nos cualquier observación crítica, ya que esto redundará en beneficio de futuras ediciones.

EL AUTOR

ÍNDICE

Capítulo 1 Levantamiento de las excavaciones de corte y arranque/1

- 1.1 Objetivo de los levantamientos de las excavaciones de corte y arranque/1
- 1.2 Brújula y semicírculo de suspensión/1
- 1.3 Levantamiento con la brújula de suspensión/5
- 1.4 Levantamiento de cámaras subterráneas/8

Capítulo 2 Mediciones de la topografía minera/18

- 2.1 Las mediciones de la topografía minera y su importancia/18
- 2.2 Mediciones en las excavaciones preparatorias/18
- 2.3 Mediciones en las excavaciones de arranque/24
- 2.4 Documentación de las mediciones/24
- 2.5 Cálculo de los volúmenes de mineral extraídos sobre la base de las mediciones en las excavaciones/25
- 2.6 Mediciones de las reservas de mineral en los almacenes/26

Capítulo 3 Controles topográficos en la construcción de las excavaciones mineras/31

- 3.1 Cuestiones generales/31
- 3.2 Fórmulas iniciales para la resolución de las tareas de dar dirección a las excavaciones mineras/32
- 3.3 Dirección de las excavaciones construidas desde la superficie/35
- 3.4 Tarea de dirección de excavaciones mineras construidas por frentes de encuentro/37
- 3.5 Dirección de las excavaciones mineras en un plano horizontal/41
- 3.6 Dirección de las excavaciones mineras en un plano vertical/45
- 3.7 Dirección de las curvaturas en las excavaciones mineras/47
- 3.8 Trabajos topográficos en la construcción de pozos inclinados/51
- 3.9 Trabajos topográficos en la construcción de excavaciones verticales/54

Capítulo 4 Trabajos topográfico mineros en la construcción de las empresas mineras/62

- 4.1 Objetivos e importancia de los trabajos de topografía minera en la construcción de las empresas mineras/62

- 4.2 Trabajos de replanteo para el trazado de las construcciones en la superficie de la mina/63
- 4.3 Trabajos preparatorios para la ejecución de los trazados en la superficie de una mina/76
- 4.4 Explanación de la superficie del patio de la mina/78
- 4.5 Trazado de las construcciones/80
- 4.6 Trazado de las vías de acceso/82
- 4.7 Trazado y fijación del centro y los ejes del pozo vertical de la mina/86
- 4.8 Generalidades sobre el trazado y las mediciones de control en la construcción de los dispositivos de ascenso en la mina/89
- 4.9 Trabajos topográficos en el laboreo y la fortificación de los pozos mineros/106
- 4.10 Trabajos de topografía en el laboreo de excavaciones en la estación del pozo. Apertura de la estación del pozo/116
- 4.11 Documentación topográfica de una mina entregada para la explotación/119

Capítulo 5 Trabajos topográfico mineros en la explotación de los yacimientos por el método a cielo abierto/120

- 5.1 Objetivos y aspectos de los levantamientos topográficos en las canteras/120
- 5.2 Red de apoyo del levantamiento topográfico minero en las canteras/121
- 5.3 Red de puntos para el levantamiento en las canteras/123
- 5.4 Transmisión de la cota a los puntos de la red para el levantamiento/127
- 5.5 Levantamiento de situación en las canteras/128
- 5.6 Mediciones topográficas en los trabajos de perforación y explosión/131
- 5.7 Trabajos topográficos en la construcción de las canteras/132
- 5.8 Trabajos topográficos en la construcción de trincheras/132
- 5.9 Trabajos topográficos en el trazado de vías de transporte y canales/135
- 5.10 Determinación del volumen de mineral y roca extraído en una cantera/137

Capítulo 6 Movimiento de las rocas bajo los efectos de las excavaciones mineras y protección de las construcciones contra sus efectos nocivos/142

- 6.1 Movimiento de las rocas bajo los efectos de las excavaciones mineras/142
- 6.2 Zona, hondonada y ángulos de movimiento/144
- 6.3 Factores que influyen en el proceso de movimiento de las rocas/149
- 6.4 Métodos de estudio del proceso de movimiento de las rocas/150
- 6.5 Influencia de la deformación en la hondonada de movimiento en las construcciones. Profundidad de laboreo segura y categorías de protección de los objetos/166
- 6.6 Métodos de protección de las construcciones contra la influencia nociva de las excavaciones mineras/168
- 6.7 Construcción de los pilares de seguridad/169
- 6.8 Movimiento de las rocas mineras y protección de las construcciones durante la explotación de los yacimientos a cielo abierto/174

Capítulo 7 Documentación de la topografía minera/177

- 7.1 La documentación en la topografía minera/177
- 7.2 Clasificación de la documentación topográfica/178
- 7.3 Documentación gráfica de las excavaciones de arranque/182
- 7.4 Documentación gráfica en la explotación de los yacimientos por el método a cielo abierto/184
- 7.5 Solución de tareas en los planos topográfico mineros/185
- 7.6 Cuidado y conservación de la documentación topográfica/189

Bibliografía/191

LEVANTAMIENTO DE LAS EXCAVACIONES DE CORTE Y ARRANQUE

1.1 OBJETIVO DE LOS LEVANTAMIENTOS DE LAS EXCAVACIONES DE CORTE Y ARRANQUE

Los levantamientos de las excavaciones de corte y arranque son necesarios para realizar correctamente un dibujo de las referidas excavaciones en el plano de la mina.

Las maquinarias empleadas para la extracción y carga del mineral alcanzan su mayor productividad en los frentes largos, cuando estos presentan una configuración recta, condición esta que es controlada cuando realizamos las mediciones y levantamientos de los frentes de arranque.

El levantamiento de detalles tiene una gran significación en los frentes de arranque, ya que permite controlar en forma óptima la extracción del mineral. Este levantamiento facilita el trazado del estado actual de los frentes, en los planos principales, es decir, sirve para la actualización de los frentes de arranque, y brinda, además, la posibilidad de calcular el volumen del espacio laboreado, lo que nos permite saber, en un periodo dado, la cantidad de mineral extraído de los frentes.

Las condiciones de los frentes de arranque son difíciles debido a lo reducido del espacio de trabajo y a la gran cantidad de personal y equipos, lo que hace del levantamiento en las excavaciones de arranque un trabajo duro y complicado.

La exactitud requerida para estos levantamientos es inferior a la exigida para los levantamientos de las excavaciones preparatorias y el tiempo de ejecución también es menor.

Por las características del levantamiento, señaladas con anterioridad, los instrumentos que se emplean deben ser poco voluminosos y de simple construcción.

Estos instrumentos se dividen en dos tipos: de suspensión, provistos de una aguja magnética (brújula de suspensión), y los goniómetros.

1.2 BRÚJULA Y SEMICÍRCULO DE SUSPENSIÓN

La *brújula de suspensión* (fig. 1.1) está compuesta de una caja circular (1) y un soporte (2), donde va colgada la brújula. El eje horizontal de giro de la caja

se fija al anillo de suspensión (3), cuya función es permitir que la brújula ocupe la posición horizontal, independientemente de la inclinación del cordel.

La brújula posee un limbo acimutal con una graduación 0 a 360°, en sentido inverso a las manecillas del reloj.

Los detalles de la brújula están representados en el corte vertical mostrado en la figura 1.2 donde se observa la aguja magnética (1) con el cojinete de ágata (2), que gira en la punta de la aguja de acero (3). El giro de la aguja magnética es controlado por el tornillo (4), que al ser enroscado hace que el cojinete se despegue de la punta y se pegue al cristal de protección de la brújula (5).

La inclinación de la aguja, provocada por la acción de la componente vertical de la fuerza del magnetismo terrestre, se compensa desplazando el contrapeso (6) hacia el extremo sur de la aguja.

Antes de iniciar un levantamiento es de obligatorio cumplimiento comprobar la sensibilidad de la brújula. Con este fin colgamos la brújula en un cordel tenso, aflojamos el tornillo de fijación (4) y, después de la estabilización del movimiento de la aguja, tomamos la lectura en uno de los extremos. A continuación acercamos un instrumento con carga magnética y volvemos a tomar la lectura.

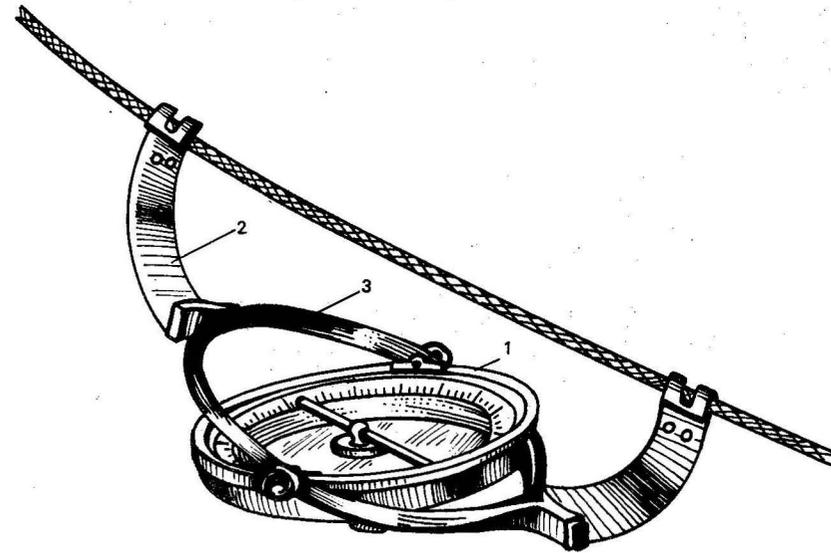


Fig. 1.1 Brújula de suspensión

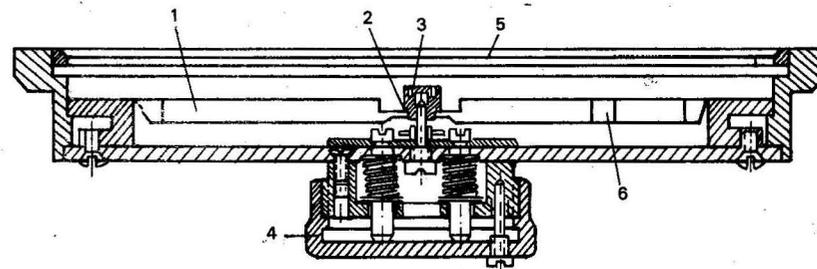


Fig. 1.2 Corte vertical de la brújula de suspensión

Si la diferencia entre las lecturas es igual a la apreciación de la brújula, podemos afirmar que esta se encuentra en condiciones de trabajar. Si se obtienen resultados negativos, es necesario investigar los motivos de la falta de sensibilidad que puede ser originada por dos causas: mecánicas y físicas. Las causas de origen mecánico son los defectos de la aguja (curvatura, punta irregular) y los del cojinete esférico (polvo y grietas en su superficie). Estos defectos pueden observarse con la ayuda de una lupa, procediéndose a la limpieza o sustitución por piezas nuevas. Si la falta de sensibilidad continúa, será necesario imantar la aguja. Para esto, la aguja se coloca en un dispositivo (fig. 1.3) y se pasan por encima de ella los imanes (2). La operación se comienza por el centro de la aguja y se repite de 15 a 20 veces.

La imantación se realiza en los dos extremos de la aguja de manera que por cada polo de la aguja pase el polo contrario del imán.

Cuando se utiliza la brújula, es necesario tener en cuenta el valor de la declinación magnética θ . Para determinar dicho valor, tomaremos dos puntos pertenecientes a una poligonal, cuyas coordenadas han sido determinadas con suficiente exactitud; en nuestro caso dichos puntos serán designados por las letras A y B (fig. 1.4).

Entre los puntos A y B tendemos un cordel y próximo al punto A situamos la brújula, haciendo coincidir el valor cero con la dirección hacia el punto B. Liberamos la aguja por medio del tornillo (4) hasta su estabilización (ver figura 1.2) y tomamos la lectura de los grados y fracciones por el extremo norte de la aguja y las fracciones de grado por el sur. El valor del acimut estará dado por el valor en grados tomado por el extremo norte, más el promedio aritmético de las fracciones tomadas por ambos extremos. Con el fin de realizar un control de la medición, la brújula se cuelga nuevamente cerca del punto B y se mide el acimut. La diferencia de los acimuts determinados en ambos extremos del cordel sirve para controlar la presencia de masas magnéticas.

El valor de la declinación magnética θ , estará dado por la siguiente expresión:

$$\theta = \alpha_{AB} - \alpha_m \quad (1.1)$$

donde:

- θ - declinación magnética;
- α_{AB} - acimut del lado AB calculado sobre la base de las coordenadas de los puntos;
- α_m - acimut magnético medido con la brújula.

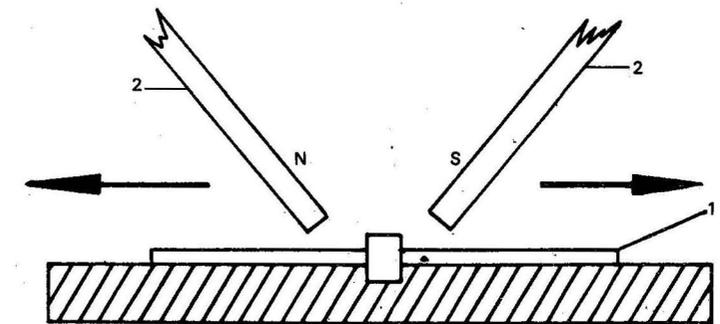


Fig. 1.3 Imantación de la aguja

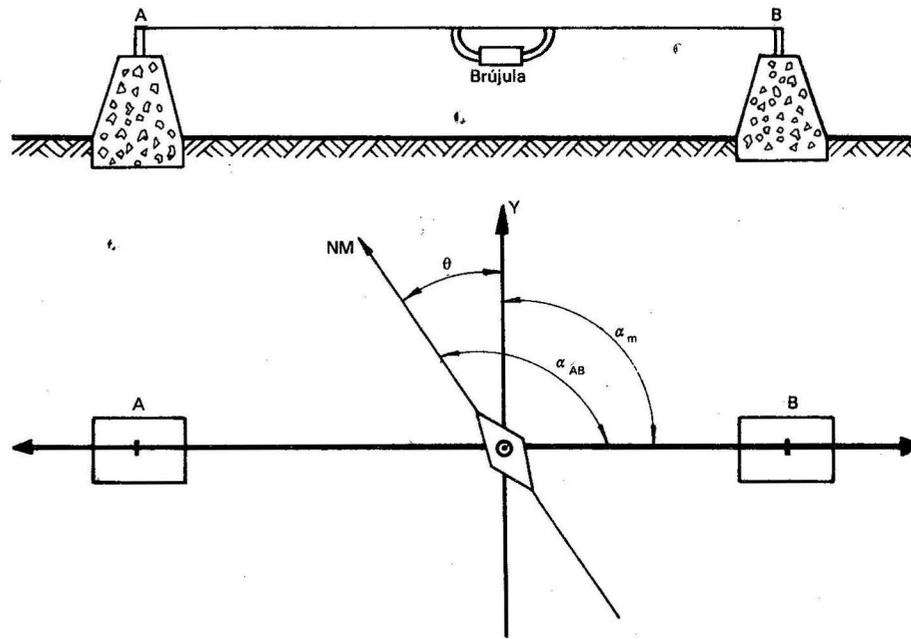


Fig. 1.4 Determinación de la declinación magnética

El *semicírculo de suspensión* (fig. 1.5) se utiliza para la medición de los ángulos de inclinación de los lados en los recorridos realizados con la brújula. Está compuesto del limbo (1) con graduaciones que van de 0 a 90° en ambas direcciones; la plomada (2), cuyo cordel está sujeto al centro del semicírculo (O) y los puntos de suspensión (3). La porción del cordel de la plomada en cualquier posición del semicírculo siempre será vertical (fig. 1.6). El ángulo de inclinación del cordel δ se determina tomando la lectura por el cordel de la plomada. El valor del ángulo se debe tomar con una precisión de $\pm 15^\circ$. El ángulo de inclinación tomado en el semicírculo es igual al ángulo de inclinación del cordel si concurren las siguientes condiciones:

- coincidencia del punto de sujeción de la plomada con el centro del semicírculo;
- paralelismo entre la línea del cordel y la línea que une las marcas de 90°.

Las condiciones anteriores se comprueban midiendo los ángulos de inclinación del cordel (δ_1 y δ_2) en dos posiciones del semicírculo.

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \quad (1.2)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta_1 - \delta_2}{2} \quad (1.3)$$

donde:

- δ - valor medio del ángulo, libre de los errores del semicírculo;
- ε - ángulo entre el cordel y el diámetro del semicírculo.

Si el valor de ε es menor que 30° , el ángulo de inclinación puede medirse en una sola posición. Si ocurre lo contrario, como ángulo de inclinación del cordel se toman los valores de las mediciones en las dos posiciones del semicírculo.

Cuando el ángulo de inclinación del cordel es mayor que 30° , el semicírculo debe colocarse en el medio del cordel.

En los casos en que el cordel tenga una inclinación considerable no es necesario tener en cuenta la catenaria, pues los efectos de esta se eliminan al aplicarle al cordel una tensión de 8 a 10 kgf. y al no ser grandes los lados de la poligonal, los valores de dichas correcciones se encuentran dentro del intervalo de precisión de las lecturas en el semicírculo.

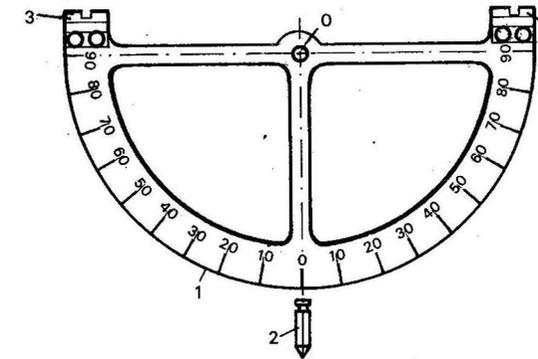


Fig. 1.5 Semicírculo de suspensión

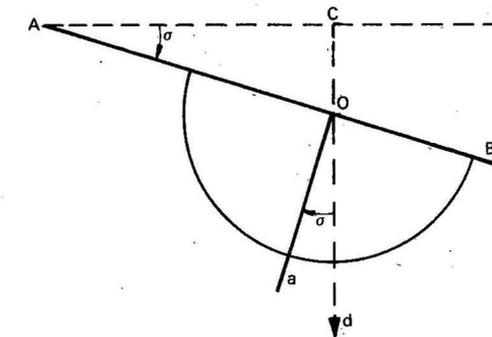


Fig. 1.6 Medición del ángulo de inclinación con el semicírculo de suspensión

1.3 LEVANTAMIENTO CON LA BRÚJULA DE SUSPENSIÓN

El levantamiento con brújula consta de las etapas siguientes:

- Trazado de los recorridos con la brújula a través de las excavaciones.
- Medición de los acimuts magnéticos y de los ángulos de inclinación.
- Medición de las longitudes y levantamiento de situación.

En la figura 1.7 se representa la tarea de ejecución del levantamiento del frente de trabajo que se extiende entre las galerías 204 y 205. El recorrido con la brújula lo efectuamos próximo al frente, entre los puntos C y D del levantamiento con teodolito. A todo lo largo del frente se sitúan los puntos 1, 2, 3 y 4 en los peones de la fortificación. Entre los puntos C y D se tiende un cordel de forma tal que pase por los puntos 1, 2, 3 y 4.

En cada tramo mediremos el acimut magnético, el ángulo de inclinación del cordel y la longitud del tramo. El acimut se debe medir en dos posiciones de la brújula en cada extremo del cordel. El ángulo de inclinación también debe medirse en dos posiciones del semicírculo, mientras que las distancias se miden con una cinta de acero o de tela, estableciéndose como forma de control la medición doble con desplazamiento de la cinta. El levantamiento del frente se efectúa por el método de las coordenadas, midiendo las ordenadas desde el cordel hasta los puntos característicos del frente de trabajo.

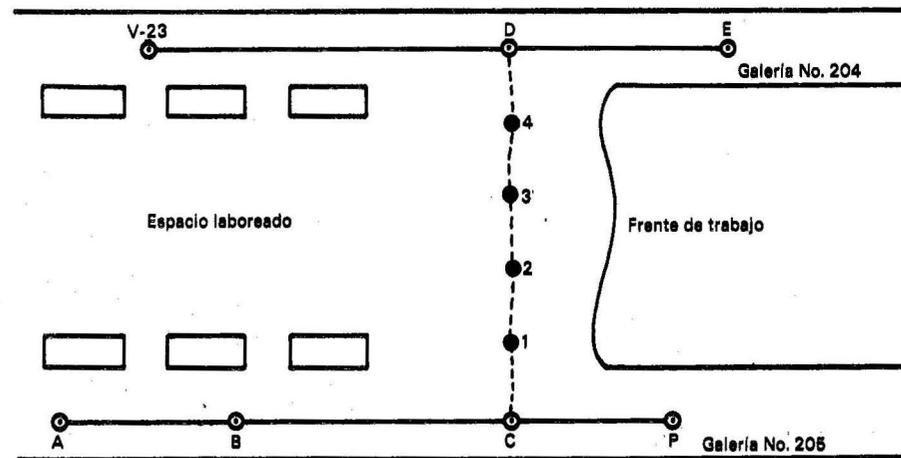


Fig. 1.7 Levantamiento con la brújula de suspensión

El trabajo de gabinete comprende la revisión inicial de las mediciones para continuar con el cálculo de los valores promedio de los acimuts y de los ángulos de inclinación, con lo que se obtienen fácilmente las proyecciones horizontales de las longitudes de los lados.

Después de efectuar los cálculos realizamos el dibujo del plano, que iniciaremos situando los puntos del recorrido con la brújula, tarea que puede ejecutarse por las coordenadas de los puntos o por los acimuts y las proyecciones horizontales de las longitudes de los lados.

Para situar los puntos, sobre la base de los acimuts y las proyecciones horizontales de los lados del recorrido, es necesario trazar en el punto inicial C el eje de las ordenadas YY (fig. 1.8). En dicho punto y con ayuda de un transportador marcaremos el acimut α_1 correspondiente al tramo C1; de acuerdo con la escala del plano trazaremos la distancia horizontal d_1 , y de esta forma queda definida la posición del punto 1. Para situar el punto 2 trazamos a través del punto 1 un eje paralelo al YY y sobre la base del acimut α_2 y la distancia horizontal d_2 si-

tuamos el punto 2. Los restantes puntos se sitúan en forma análoga. El punto final del recorrido D_1 no coincidirá con el punto D de la poligonal subterránea debido a los errores en las mediciones de los ángulos y de las longitudes.

La diferencia entre la posición de los puntos D y D_1 se llama error lineal DD_1 . Cuando el error lineal no es mayor de 1/200 del perímetro del recorrido, puede distribuirse gráficamente, según el criterio de que el error crece proporcionalmente a medida que nos alejamos del punto inicial C. Para distribuir gráficamente el error, trazaremos en todos los puntos del recorrido segmentos paralelos a la línea DD_1 . En los referidos segmentos, y en sentido contrario al error, indicaremos los tramos para la corrección del recorrido, los cuales pueden determinarse en forma gráfica o calcularse a partir de las expresiones:

$$\begin{aligned} 1 - 1' &= md_1 \\ 2 - 2' &= m(d_1 + d_2) \\ 3 - 3' &= m(d_1 + d_2 + d_3) \\ 4 - 4' &= m(d_1 + d_2 + d_3 + d_4) \end{aligned} \quad (1.4)$$

El valor de m lo obtenemos por la fórmula:

$$m = \frac{DD_1}{d_1 + d_2 + \dots + d_n} \quad (1.5)$$

El itinerario corregido de la brújula pasará a través de los puntos C, 1', ... D. El levantamiento de situación lo dibujaremos en el plano de acuerdo con el itinerario corregido.

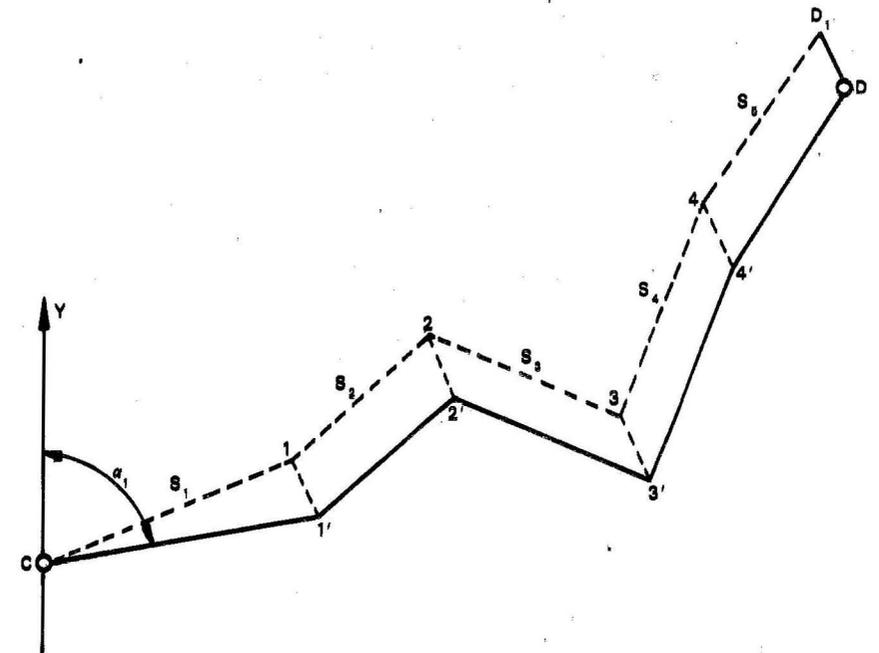


Fig. 1.8 Construcción gráfica del plano del recorrido con la brújula

1.4 LEVANTAMIENTO DE CÁMARAS SUBTERRÁNEAS

Durante el transcurso de la explotación de los yacimientos de minerales que poseen una gran potencia, es frecuente la formación de grandes cámaras (vacíos), cuyas dimensiones alcanzan algunas decenas de metros y alturas de 6 a 20 m y aún más. Estos vacíos se presentan mucho en la explotación de los yacimientos de sal, hierro y cobre y en los de carbón de gran potencia.

Esas enormes cámaras que se forman durante la explotación de los yacimientos presentan partes inaccesibles, lo que trae como consecuencia que durante los levantamientos sea necesario emplear métodos y equipos especiales. Los levantamientos de estas cámaras son indispensables para conocer los volúmenes de mineral extraído y también como medida de precaución contra posibles derrumbes.

El levantamiento de estas grandes cámaras se puede efectuar mediante mediciones directas o con la ayuda de goniómetros especiales.

El levantamiento directo de las cámaras en dependencia de sus dimensiones puede realizarse a su vez por diferentes métodos. En el levantamiento de grandes cámaras trazaremos un recorrido a través de la parte central de esta (fig. 1.9), que se enlaza con los puntos de una excavación vecina. Si la cámara tiene las paredes lisas, el levantamiento se puede hacer por el método de las coordenadas o por un método combinado (polar y coordenadas) como se muestra en la figura 1.9, en el cual, en

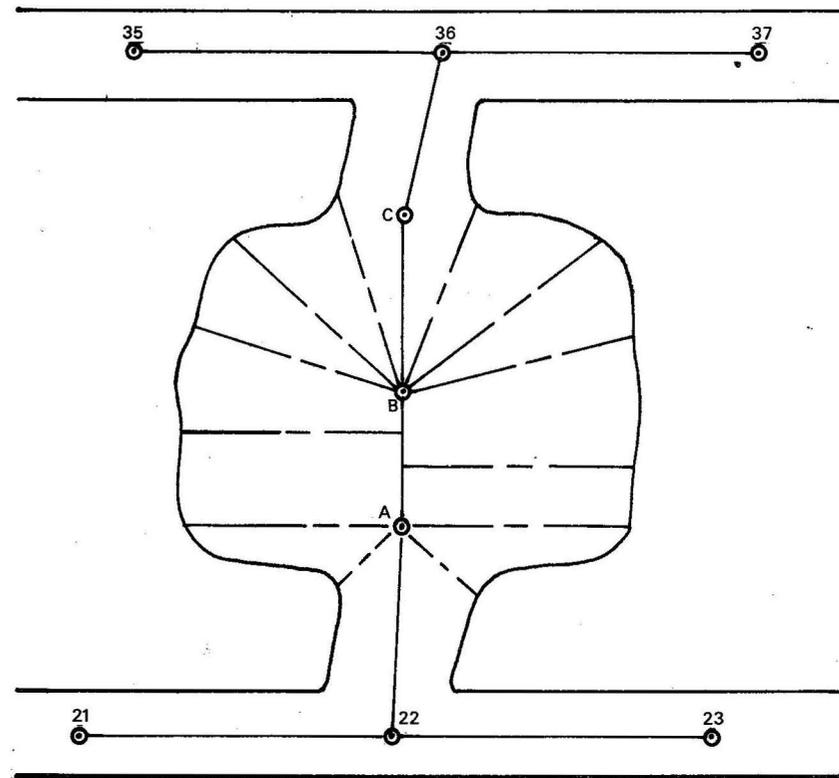


Fig. 1.9 Levantamiento de una cámara

los puntos A y B se utiliza el método polar y el tramo AB sirve de base para el empleo del método de las coordenadas. Si la cámara tiene una forma irregular es posible emplear secciones transversales a una distancia de 5 a 10 m en dependencia de la irregularidad de la cámara (fig. 1.10). La tarea más compleja en el levantamiento de las cámaras es la medición de las alturas, las cuales pueden medirse con una mira plegable o con una cinta de tela en cuyo extremo superior está amarrada una bolsita de gas.

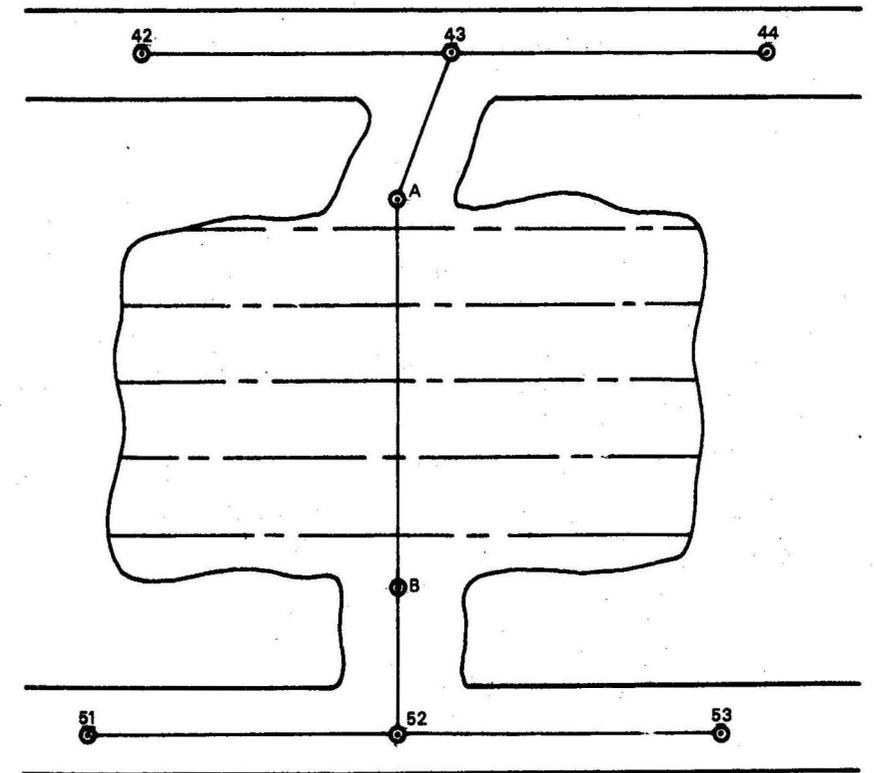


Fig. 1.10 Levantamiento de una cámara por secciones transversales

Las cámaras de dimensiones pequeñas en los yacimientos en declives pueden ser levantadas con la ayuda de un cordel. En este caso, entre los puntos de apoyo de las excavaciones colocamos un cordel desde el cual se realizará la medición de las secciones transversales cada 5 o 10 m. El ángulo de inclinación del cordel lo medimos con el semicírculo de suspensión y la dirección con la brújula de suspensión.

Los resultados de los levantamientos de las cámaras se dibujan en los planos que sirven para controlar las dimensiones de las cámaras, los pilares de protección, la extracción del mineral y el cálculo del volumen de mineral extraído.

En la ejecución de los levantamientos en las cámaras, con el fin de calcular el volumen de mineral extraído y determinar su posterior representación en los

planos, es posible el uso del método de intersección directa con dos instrumentos, desde dos puntos cuyas coordenadas son conocidas. Para darle solución a esta tarea nos apoyamos en el levantamiento de la mina, al cual pertenecen los puntos B y C (fig. 1.11), y desde los cuales es posible ver los puntos característicos del contorno de la cámara.

Para efectuar el levantamiento, hacia uno de los puntos característicos del contorno de la excavación se emite un rayo de luz con una linterna, la observación se realiza simultáneamente con los instrumentos situados en los puntos B y C, tomando las lecturas por los limbos vertical y horizontal. De esta forma se va llevando a cabo el levantamiento del contorno de la cámara con las mediciones a cada uno de los puntos del contorno; el croquis debe irse dibujando al mismo tiempo que se hacen las mediciones.

La elaboración de gabinete de los materiales del levantamiento comprende lo siguiente:

1. Determinación de la distancia (base) entre los puntos B y C por medio de la tarea topográfica inversa.
2. Sobre la base de los acimuts conocidos de los lados BC y CD, y de los ángulos medidos, determinamos los acimuts de las direcciones hacia los puntos 6, 7, 8 y 9.

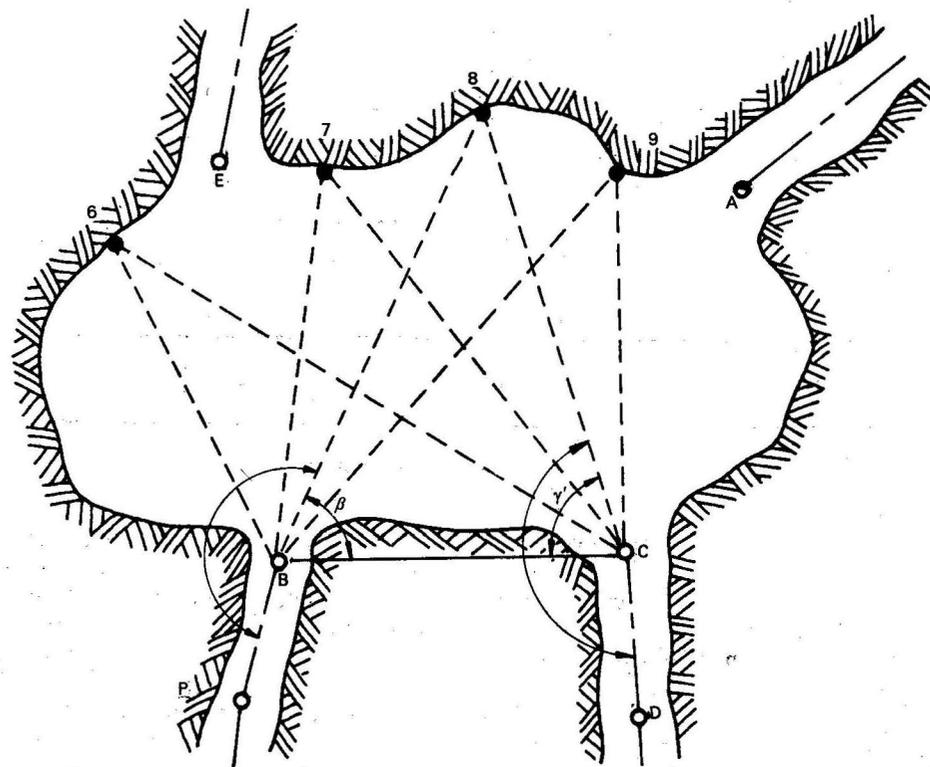


Fig. 1.11 Levantamiento de una cámara subterránea por el método de las intersecciones

3. Conocidos los valores de los acimuts de las direcciones determinamos los ángulos β y γ' entre ellos.
4. Con los ángulos β y γ' y la distancia calculada entre los puntos B y C (D_{BC}) establecemos la distancia horizontal a los puntos 6 y 9.
5. Al obtener las distancias inclinadas hasta los puntos, medimos los ángulos de inclinación de los rayos visuales.

Al elaborar de esta forma las observaciones en todos los puntos, obtendremos los datos para el cálculo de las coordenadas de los puntos del levantamiento y por consiguiente los datos necesarios para la confección de los planos.

Los gráficos de estas excavaciones y de las secciones longitudinales y transversales se confeccionan generalmente a escalas grandes (1: 200 a 1: 1 000). La elección de la escala estará en función de las dimensiones de la cámara y de la exactitud requerida para el levantamiento.

La ejecución y elaboración del método de levantamiento de una cámara, a pesar de su simplicidad aparente, requiere de un personal calificado y con experiencia.

Hoy día, para ejecutar el levantamiento de los vacíos producidos por la explotación subterránea de los yacimientos, se utilizan los telémetros de doble imagen con la base variable. Como ejemplo tenemos el telémetro Teletop, de base variable en el interior, fabricado por la firma Carl Zeiss, Jena (RDA).

El Teletop (fig. 1.12) es un telémetro topográfico que se utiliza no solamente para levantamientos topográfico-taquimétricos, sino también para la medición de distancias, alturas y direcciones en los levantamientos de carácter geográfico, geológico, agrícola, forestal y de ingeniería.

La gran ventaja del Teletop es que las mediciones se pueden realizar sin tener que colocar la mira en el punto. Cuando se trata de puntos que no son de fácil localización se puede utilizar un jalón. El Teletop tiene un amplio campo de aplicación en la medición de puntos de difícil acceso, de ahí su empleo para el levantamiento de cámaras y vacíos. Además, se usa para mediciones en cavernas, líneas eléctricas, torres, e incluso puede utilizarse para la determinación de diámetros y alturas de árboles, y, con una modificación del instrumento, se puede emplear para medir alturas.

Para medir las distancias se usan las cuñas de medición cambiabile. El instrumento posee cinco cuñas (1: 100, 1: 250, 1: 500, 1: 1 000, 1: 2 000), cuyo uso depende de la distancia y de la exactitud. Para calcular la distancia a cualquier punto, dirigimos hacia este el anteojo y vemos en el campo visual dos imágenes de la señal de puntería, separadas por una fina línea horizontal (fig. 1.13a).

Por medio del prisma colocado en el carril de medición, se desplazan las dos imágenes hasta que coincidan (fig. 1.13b), después de lo cual tomamos la lectura en la escala de distancias.

La distancia horizontal entre los puntos estará dada por la fórmula:

$$D = d - \Delta d \quad (1.6)$$

donde:

D - distancia horizontal;

d - distancia inclinada;

Δd - corrección para la distancia.

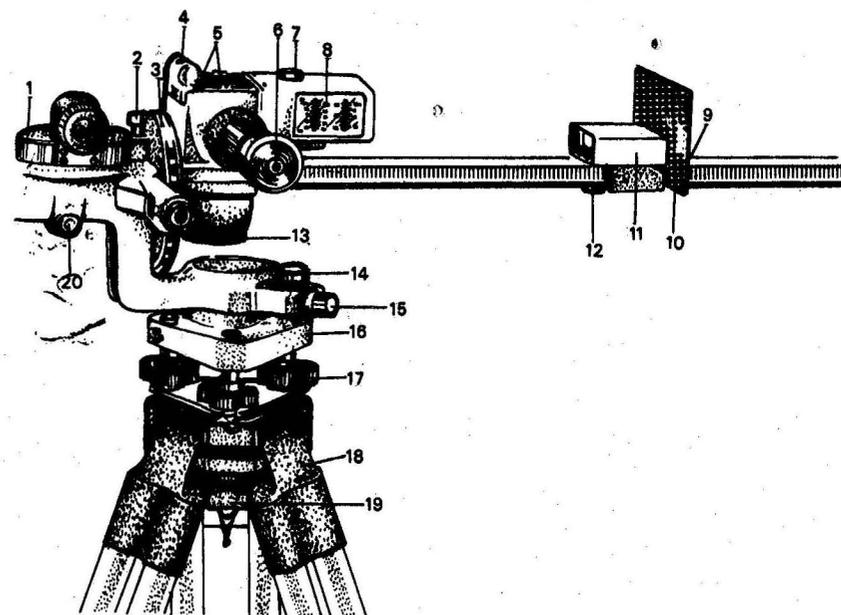


Fig. 1.12 telémetro Teletop: 1, brújula circular; 2, tornillo de sujeción de la brújula; 3, limbo vertical con tapa de lectura; 4, nivel para nivelaciones; 5, visor auxiliar; 6, anteojo reversible; 7, tornillo de regulación; 8, tabla de las inclinaciones; 9, escala e índice para la medición de distancias verticales; 10, diafragma; 11, prisma corredizo; 12, escala de distancia e índice de lectura; 13, tornillo para fijar el telémetro; 14, nivel esférico; 15, tornillo nivelante; 16, plataforma nivelante; 17, tornillo nivelante; 18, tripode V; 19, tornillo de sujeción central ASI; 20, tornillo de presión para la inclinación del anteojo; 21, mango; 22, tapa; 23, cuña de medición cambiabile

El valor de d lo obtendremos al multiplicar la lectura en la escala de las distancias por el denominador de la cuña empleada.

$$d = bn \quad (1.7)$$

Δd se calcula por la siguiente expresión:

$$\Delta d = 2d \operatorname{sen}^2 \delta / 2 \quad (1.8)$$

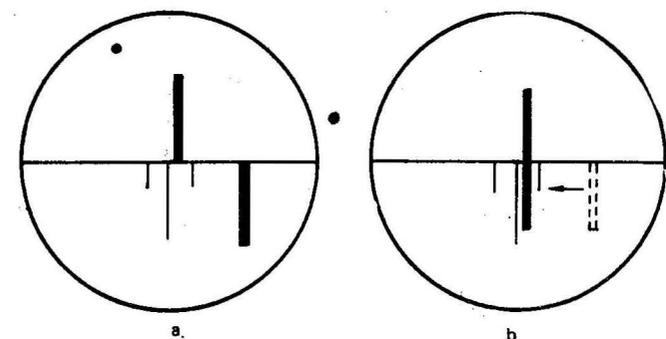


Fig. 1.13 Campo visual del anteojo: a) antes de la medición; b) en el instante de realizar la medición

donde:

δ - ángulo de inclinación.

También es posible calcular el valor de Δd con la ayuda de las tablas de reducción para el Teletop (tabla 1).

Ejemplo: El valor de la lectura en la escala de distancias es $b = 147.3$ mm, la cuña empleada es la de 1: 1 000 y $\delta = 16.2^\circ$.

Iniciamos el cálculo por la determinación de la distancia inclinada d :

$$d = bn = (0.1473) (1\ 000)$$

$$d = 147.3 \text{ m}$$

perc

$$D = d - \Delta d$$

La determinación de Δd la haremos auxiliándonos de la tabla de reducción. Para efectuar el cálculo, la cifra 147.3 se descompone en 100, 40 y 7.3 y se buscan en la tabla los valores de Δd en dependencia del ángulo de inclinación.

$$\delta = 16.2$$

$$\Delta_{100} = 4.0 \text{ (de la columna 100)}$$

$$\Delta_{40} = 1.5 \text{ (de la columna 40)}$$

$$\Delta_{7.3} = 0.3 \text{ (de la columna 70)}$$

$$\Delta d = 5.8 \text{ m}$$

Finalmente

$$D = 147.3 - 5.8$$

$$D = 141.5 \text{ m}$$

Cuando se emplea la cuña 1: 100 en distancias cortas hay que tener en cuenta la constante de adición de 3 cm. Esta distancia es la comprendida entre la cara frontal de la cuña y el punto medio del carril de medición (tabla 2). Para las restantes cuñas no es necesario tomar en consideración este valor.

Tabla 1

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2
3	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4
4	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.8	1.1
5	-	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	1.1	1.6
6	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	1.5	2.2
7	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.9	2.9
8	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	2.5	3.7
9	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	3.0	4.6
10	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	3.0	4.6
11	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	3.7	5.5
12	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	4.4	6.6
13	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	5.1	7.7
14	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	5.9	8.9
15	0.3	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4	6.8	10.2
16	0.4	0.8	1.2	1.5	1.9	2.3	2.7	3.1	3.5	3.9	7.7	11.6
17	0.4	0.9	1.3	1.7	2.2	2.6	3.1	3.5	3.6	4.4	8.7	13.1
18	0.5	1.0	1.5	2.0	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9	9.8	14.7
19	0.5	1.1	1.6	2.2	2.7	3.3	3.8	4.4	4.9	5.4	10.9	16.3
20	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	12.1	18.1
21	0.7	1.3	2.0	2.7	3.3	4.0	4.6	5.3	6.0	6.6	13.3	19.9
22	0.7	1.5	2.2	2.9	3.6	4.4	5.1	5.8	6.5	7.3	14.6	21.8
23	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.1	7.9	15.9	25.9
24	0.9	1.7	2.6	3.5	4.3	5.2	6.0	6.9	7.8	8.6	17.3	25.9
25	0.9	1.9	2.8	3.7	4.7	5.6	6.6	7.5	8.4	9.4	18.7	28.1
26	1.0	2.0	3.0	4.0	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	20.2	30.4
27	1.1	2.2	3.3	4.4	5.4	6.5	7.6	8.7	9.8	10.9	21.8	32.7
28	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7.0	8.2	9.4	10.5	11.7	23.4	35.1
29	1.2	2.5	3.8	5.0	6.3	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5	25.1	37.6
30	1.3	2.7	4.0	5.4	6.7	8.0	9.4	10.7	12.1	13.4	26.8	40.2
31	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.6	10.0	11.4	12.8	14.3	28.6	42.8
32	1.5	3.0	4.6	6.1	7.6	9.1	10.6	12.2	13.7	15.2	30.4	45.6
33	1.6	3.2	4.8	6.4	8.1	9.7	11.3	12.9	14.5	16.1	32.3	48.4
34	1.7	3.4	5.1	6.8	8.5	10.3	12.0	13.7	15.4	17.1	34.2	51.3
35	1.8	3.6	5.4	7.2	9.0	10.8	12.7	14.5	16.3	18.1	36.2	54.3
36	1.9	3.8	5.7	7.7	9.5	11.5	13.4	15.3	17.2	19.1	38.2	57.3
37	2.0	4.0	6.0	8.0	10.1	12.1	14.1	16.1	18.1	20.1	40.3	60.4
38	2.1	4.2	6.4	8.5	10.6	12.7	14.8	17.0	19.1	21.2	42.4	63.6
39	2.2	4.5	6.7	8.9	11.1	13.4	15.6	17.8	20.1	22.3	44.6	66.9
40	2.3	4.7	7.0	9.4	11.7	14.0	16.4	18.7	21.1	23.4	46.8	70.2
41	2.4	4.9	7.4	9.8	12.3	14.7	17.2	19.6	22.1	24.5	49.1	73.6
42	2.6	5.1	7.7	10.3	12.8	15.4	18.0	20.5	23.1	25.7	51.4	77.1
43	2.7	5.4	8.1	10.7	13.4	16.1	18.8	21.5	24.2	26.9	53.7	80.6
44	2.8	5.6	8.4	11.2	14.0	16.8	19.6	22.4	25.3	28.1	56.1	84.2
45	2.9	5.9	8.8	11.7	14.6	17.6	20.5	23.4	26.4	29.3	58.6	87.9

Tabla 2

Cuña de medición	Intervalo de medición		Precisión de la medición en tanto por ciento de la distancia
	metros	pies	
1: 100	2 - 30	6,5 - 97	±0,2
1: 250	4 - 75	13 - 243	±0,3
1: 500	8 - 150	26 - 485	±0,5
1: 1 000	15 - 300	50 - 970	±1,0
1: 2 000	30 - 600	100 - 1 940	±2 - ±3

Antes de cada medición de una distancia es necesario comprobar la posición cero del telémetro. Con este fin, el prisma corredizo se sitúa debajo de la tabla de las inclinaciones para hacer coincidir las dos imágenes. El valor que se lee en el índice servirá de medida para aplicar la corrección necesaria a la posición cero; esta corrección se aplicará a la distancia medida.

El levantamiento de las cámaras subterráneas con el Teletop se realiza en forma análoga al levantamiento taquimétrico según el orden siguiente:

1. Estacionamos el telémetro en un lugar seguro que domine una gran parte de la cámara. En estos puntos se sitúan señales topográficas. Los puntos se seleccionan en aquellos lugares que, además de ofrecer seguridad, proporcionen la mayor cantidad de datos posibles para representar en el plano el contorno de la cámara.
2. Se efectúa el enlace de los puntos que se van a utilizar para el levantamiento con los puntos de coordenadas conocidos.
3. El instrumento se sitúa en el trípode o en la consola y se realiza su centración.
4. Previamente al levantamiento haremos una planificación sobre la forma y el orden de ejecución.
5. Iniciamos el levantamiento dirigiendo el anteojo a la señal trasera y tomamos la lectura en el limbo horizontal. Seguidamente dirigimos el anteojo hacia la fuente de luz que señala el punto y tomamos las lecturas de los ángulos horizontales y verticales. Además, se anota el tipo de cuña de medición cambiante. De esta forma se van visando los restantes puntos que conforman el contorno de la cámara.
6. Durante la ejecución del levantamiento es obligatorio la confección del croquis y tomar nota de aquellos datos que sean de interés geológico.
7. En el gabinete se efectúan los cálculos de las distancias horizontales, los acimuts y las coordenadas de los puntos.
8. Basándonos en los datos obtenidos se confecciona el plano de la cámara y los cortes verticales.

Es recomendable durante la ejecución del levantamiento con telémetros de doble imagen, que la luz empleada para indicar los puntos tenga una buena intensidad y que en el instante de la medición de la distancia las dos imágenes tengan una perfecta coincidencia. Además, recomendamos no hacer mediciones de distancias muy grandes.

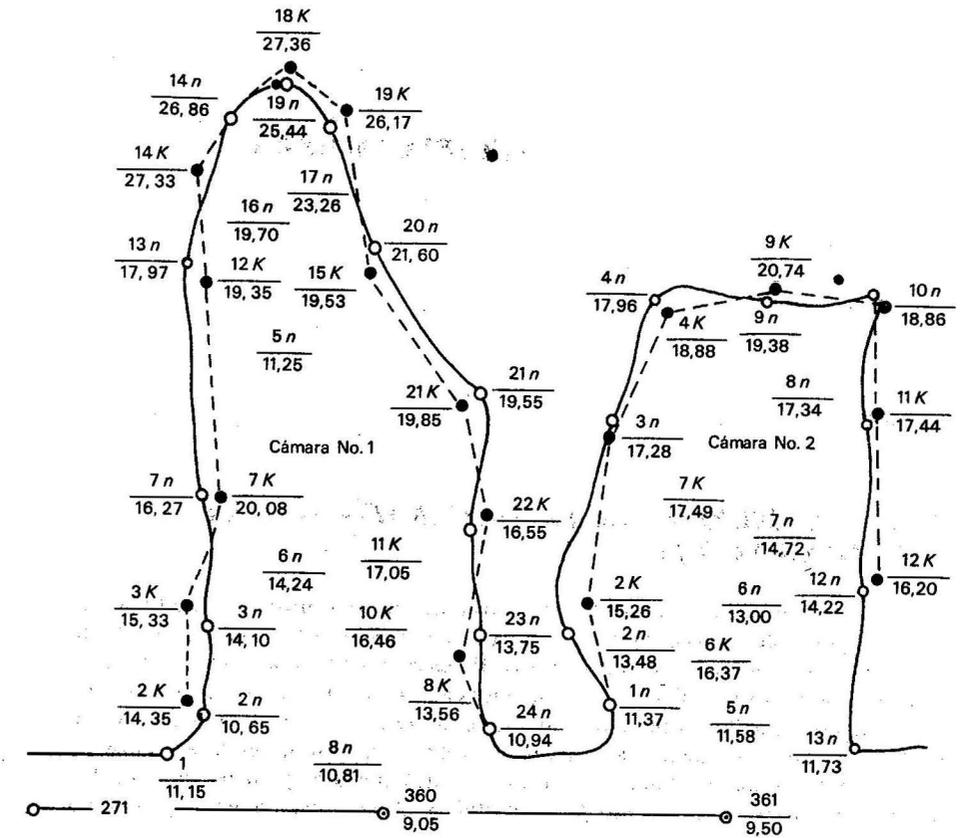


Fig. 1.14 Plano y sección de una cámara subterránea

El ejemplo de un levantamiento en una cámara subterránea se muestra en la figura 1.14. El levantamiento de dicha cámara fue realizado desde los puntos 11K, 15K (cámara No. 1) y 7K (cámara No. 2). Estos puntos fueron enlazados con los puntos de coordenadas conocidos situados en las excavaciones preparatorias (360 y 361).

MEDICIONES DE LA TOPOGRAFÍA MINERA

2.1 LAS MEDICIONES DE LA TOPOGRAFÍA MINERA Y SU IMPORTANCIA

En las tareas de levantamiento en los trabajos de topografía minera tienen un peso considerable las mediciones de las excavaciones mineras, que se realizan generalmente sin instrumentos (teodolitos). Pueden considerarse como un levantamiento semiinstrumental, en el cual se emplean cintas metálicas y de tela y otros instrumentos sencillos como son el semicírculo de suspensión y la brújula minera. El objetivo fundamental de estas mediciones es la obtención de los datos necesarios para la documentación gráfica de los trabajos topográficos, el control de los trabajos mineros, el cálculo de la pérdida y el empobrecimiento del mineral extraído.

Por medio de estas mediciones es posible controlar la ejecución de algunos trabajos mineros, como son: los pasaportes de fortificación de las excavaciones preparatorias y de arranque, la observación de la situación de las diferentes rocas próximas a las excavaciones mineras, etcétera.

La necesidad de estas mediciones surge porque los levantamientos instrumentales no reflejan el estado de los frentes de trabajo, debido al retraso que presentan las mediciones instrumentales en relación con el avance de los frentes. Además, algunos datos proporcionados por los trabajos de la topografía minera no requieren una elevada precisión y se pueden realizar con simples mediciones lineales, por ejemplo, los gráficos que representan las diferentes rocas en las excavaciones.

Estas mediciones se llevan a cabo tanto en las excavaciones mineras como en la superficie, con una frecuencia de una a tres veces al mes, de acuerdo con lo establecido en la organización de los trabajos topográficos y mineros.

2.2 MEDICIONES EN LAS EXCAVACIONES PREPARATORIAS

Las tareas a cumplimentar en el transcurso de las mediciones en las excavaciones preparatorias son las siguientes:

1. Medición del avance de las excavaciones preparatorias, con el fin de determinar o controlar el volumen de los trabajos mineros realizados.

2. Mediciones de las longitudes de las líneas de los frentes para controlar que las secciones de las excavaciones preparatorias correspondan con lo establecido en el proyecto.
3. Determinación del lugar y las dimensiones de los pilares de seguridad y de las excavaciones de corte que no requieren de levantamientos con instrumentos precisos con vista a completar los planos topográficos.
4. Determinación de la potencia, elementos de la estratificación en los puntos característicos, dislocaciones tectónicas y otros elementos geológicos.

Las mediciones en las excavaciones preparatorias se efectúan a partir de los puntos del levantamiento con teodolito o desde otros puntos especiales. Como puntos especiales se consideran los lugares de intersección de las paredes de la excavación, los puntos provisionales marcados en la fortificación, etc. La posición de estos puntos se determina con mediciones de distancia desde los puntos del levantamiento con teodolito.

Periódicamente, desde los puntos de medición y auxiliados de una cinta, medimos las distancias comprendidas entre estos puntos y los frentes de las excavaciones labreadas en mineral o en roca. Como puntos extremos de los frentes de las referidas mediciones se toma la última rama de la fortificación y el fin de la vía de transporte. La diferencia entre las mediciones al inicio y al final del periodo de balance nos da el índice del avance experimentado en el laboreo de las excavaciones y también nos proporciona la información necesaria en relación con el incremento de la fortificación y de las vías de transporte.

Al mismo tiempo que se realizan estas mediciones, se dibujan y se marcan en el croquis las distancias hasta las excavaciones que interceptan el frente, los caracteres geológicos, los estrechamientos y todo aquello que consideremos de utilidad. La longitud del frente de la excavación preparatoria se mide por el mineral.

En los lugares característicos de la yacencia del mineral se hacen dibujos y se determinan los elementos de esta.

Mediante las mediciones desde los puntos del levantamiento con teodolito es posible determinar la posición y las dimensiones de los pilares de seguridad y de las excavaciones de corte que no requieren gran exactitud.

Los resultados de las referidas mediciones sirven para el completamiento de los planos de las excavaciones mineras. De acuerdo con los resultados obtenidos durante las mediciones trazaremos en dichos planos el avance experimentado en el laboreo de las excavaciones principales y secundarias.

Además de las mediciones anteriormente descritas, se efectúan las de las secciones de las excavaciones y de las zanjas de desagüe.

La medición de la sección de una excavación debe hacerse tomando en consideración el contorno del arranque y cuando está fortificada la sección se mide desde su interior.

Cuando estamos en presencia de una sección trapezoidal (fig. 2.1) mediremos las dimensiones siguientes: la altura h_0 desde el techo hasta el piso de la excavación, la altura h comprendida desde el sombrero de la excavación hasta el cabezal de los rieles, el ancho A entre las paredes de la excavación, el ancho a de la excavación fortificada, el ancho C entre las paredes de la excavación y el ancho c de la excavación fortificada. Los anchos B y b se miden en las mismas condiciones anteriores a nivel del piso, también se miden las distancias r entre los peones y la parte superior de la vagoneta. Además, es recomendable medir la distancia entre los peones y las paredes de la excavación.

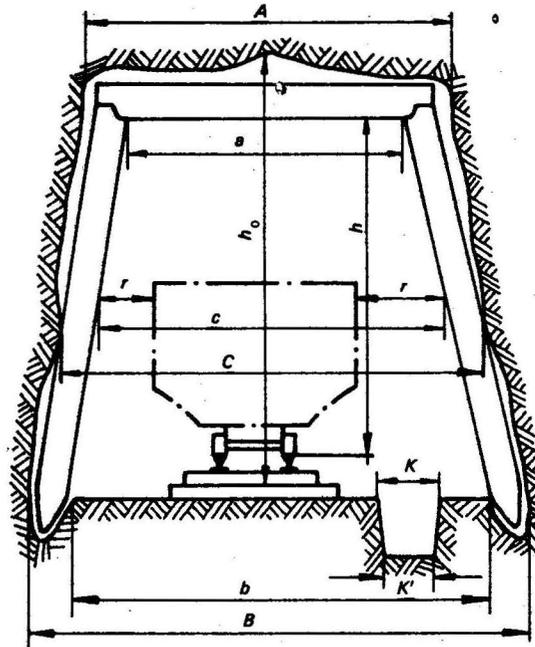


Fig. 2.1 Medición de la sección de una excavación trapezoidal

A lo largo de las excavaciones mineras se tienden tubos de ventilación y cables; debe medirse la distancia entre las referidas instalaciones y la vagoneta. Cuando estemos en presencia de tramos de la excavación no fortificados, el ancho lo medimos arriba, abajo y en el medio, y se toma como ancho definitivo el promedio de estos tres. Si la sección de la excavación fuera mayor que la del mineral, mediremos el mineral al descubierto en el frente y su potencia.

Los parámetros que definen la zanja de desagüe son la profundidad y el ancho en la parte superior (K) y en el fondo (K').

Para realizar la medición de las secciones que poseen un contorno curvo, es posible utilizar tres métodos: el patrón, el polar y las intersecciones lineales.

El método del patrón (fig. 2.2), consiste en un peón con un listón móvil que describe un arco de acuerdo con el contorno de la bóveda de la excavación.

El peón se sitúa debajo de la plomada colgada en el eje de la excavación. Cuando conocemos la distancia desde el peón del patrón hasta las paredes de la excavación comprobamos si la sección corresponde con lo establecido en el pasaporte. Si medimos los ángulos de inclinación del listón móvil del patrón con un transportador o un semicírculo de suspensión y, además, medimos la distancia desde el punto inicial del listón hasta el perímetro de la excavación tomada por su eje, es posible obtener el contorno real de la excavación.

El método polar (fig. 2.3), se basa en el uso de una cinta unida a una especie de transportador colocado en el eje de la excavación sobre un estempe telescópico. La medición consiste en determinar con la cinta las distancias desde el centro del transportador hasta el perímetro de la excavación, midiendo también el ángulo de inclinación de la cinta en sus distintas posiciones.

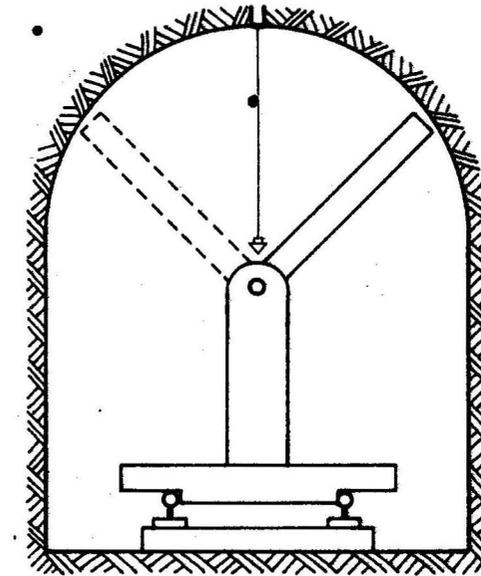


Fig. 2.2 Patrón para comprobar las secciones de las excavaciones

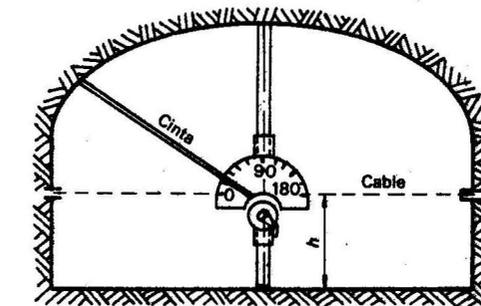


Fig. 2.3 Levantamiento de la sección de la excavación por el método polar

Conocidas estas medidas y la altura h del centro del transportador, estaremos en condiciones de dibujar la sección de la excavación.

El método de las intersecciones lineales (fig. 2.4), se fundamenta en la medición de la distancia $l_1, l_2, l_3, l_4, \dots$ desde dos puntos situados en los laterales de la excavación (A y B) hasta los puntos característicos del perímetro. Con estos datos y conociendo la altura de los puntos A y B respecto al suelo, es fácil dibujar la sección de la excavación.

El topógrafo de mina tiene entre sus tareas realizar un control sistemático durante el laboreo de las excavaciones principales. El control comprende las mediciones de las secciones de las excavaciones, entre las cuales están las alturas h y h_0 , los anchos a, A, c y C y las restantes dimensiones señaladas en la figura 2.1. Además, es necesario controlar el estado de las fortificaciones y la limpieza de las excavaciones, el levantamiento de las secciones en los lugares donde han

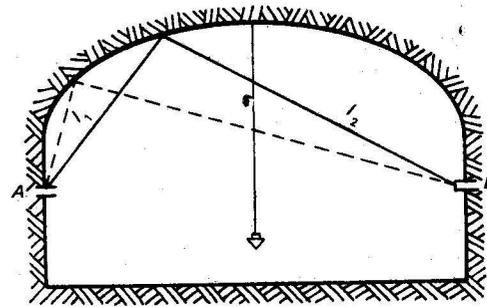


Fig. 2.4 Levantamiento de la sección de la excavación por el método de las intersecciones lineales

ocurrido derrumbes de rocas y, fundamentalmente, la verificación de las secciones después de haberlas fortificado.

Se concede una gran importancia al dibujo de las estructuras y la medición de la potencia de las capas, ya que este último es uno de los parámetros fundamentales empleados en los cálculos de la técnica minera. Es conocido que existen varios tipos de potencias, la normal m , la horizontal m_h y la vertical m_v . En los yacimientos en forma de mantos, tiene mayor interés la potencia normal, cuya relación con las otras dos se obtiene, a partir de la figura 2.5, por la siguiente expresión:

$$m = m_h \operatorname{sen} \omega = m_v \operatorname{cos} \omega \quad (2.1)$$

donde:

ω - ángulo de buzamiento del manto.

También existe la llamada *potencia completa* (geológica), que es la distancia desde el suelo hasta el techo, incluyendo todas las capas de rocas intermedias.

La *potencia completa útil* es la potencia completa menos la potencia de las capas de rocas.

La *potencia de extracción* es la potencia total de las intercalaciones de mineral y de las capas de roca comprendidas entre el piso y el techo de la excavación.

La *potencia útil de extracción* es la potencia de extracción menos la suma total de las potencias de rocas no útiles contenidas en los límites entre el piso y el techo de la excavación.

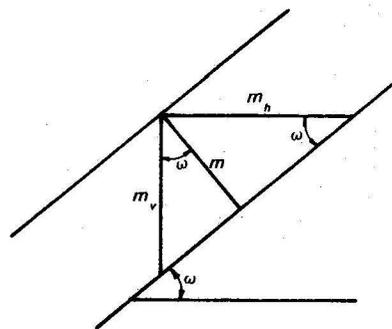


Fig. 2.5 Relación entre las potencias del manto

La medición de las potencias la efectuamos generalmente con una cinta de tela. La potencia vertical se mide colocando la cinta en forma vertical; para medir la horizontal la cinta se coloca en una posición transversal con respecto a la dirección de la yacencia del manto.

Para medir la potencia normal colocamos la marca cero de la cinta en algún punto del techo o del suelo del manto y el otro extremo en diferentes lugares del suelo o del techo hasta obtener la lectura mínima. Esta lectura será el valor de la potencia normal, puesto que la cinta en esta posición coincide con la normal a los planos de la estratificación.

Los resultados de las mediciones de las potencias se presentan en forma de una columna estructural normal, en la cual se representan las diferentes capas e intercalaciones (fig 2.6) con los valores de las potencias medidas.

En aquellos puntos donde no dibujamos completamente la estructura del manto, los resultados de la medición los anotamos en forma de quebrado, donde el numerador es la potencia completa o de extracción y el denominador es la potencia de extracción útil. Cuando la potencia no experimenta ninguna variación, las mediciones se realizan en un intervalo de 15 a 20 m. Si la potencia experimenta variaciones considerables, la frecuencia de las mediciones debe aumentarse en dependencia del grado de variabilidad y exigencia en la exactitud de la extracción del mineral útil en la excavación donde efectuamos las mediciones.

Con el fin de aumentar la exactitud en la medición de la potencia de extracción útil, esta no se calcula por medio de la suma de las capas intercaladas de mineral útil y de roca que van a ser extraídas, sino por medio de la resta de la potencia extraída y la potencia total de las rocas intercaladas.

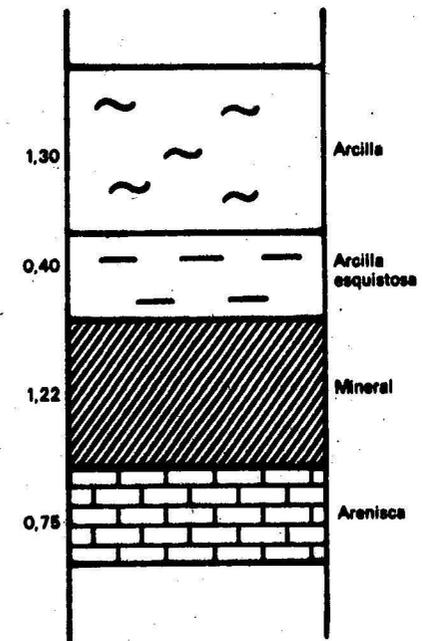


Fig. 2.6 Columna estructural normal

2.3 MEDICIONES EN LAS EXCAVACIONES DE ARRANQUE

Las mediciones en las excavaciones de arranque las realizamos para determinar: las longitudes de los frentes de arranque durante el periodo de balance, los detalles de los espacios laboreados para completar los planos, el control de la fortificación, el cálculo de la extracción, las pérdidas y los ciclos en los trabajos.

Cuando la forma del frente es recta y no es muy grande, es posible realizar la medición con la ayuda de una cinta.

El valor medio de la longitud del frente lo determinamos como la media aritmética de todas las mediciones realizadas durante el periodo de balance. El balance de la línea del frente lo determinamos como el promedio de las diferencias entre las distancias desde los puntos de medición hasta el frente, al final y al principio del periodo de balance.

Cuando la línea del frente es muy grande puede adquirir una configuración muy irregular. En este caso, es posible determinar la configuración del frente mediante levantamientos con instrumentos de baja precisión como son los goniómetros, brújulas, etc. De acuerdo con los resultados obtenidos en el levantamiento, la posición de la línea del frente, al inicio y al final del periodo de balance, se dibuja en el plano, con lo que se puede obtener el avance de dicho frente en el periodo de balance. Para obtener un valor confiable del avance de la línea del frente, su valor promedio lo calcularemos por la fórmula:

$$L_m = \frac{A}{D_m} \quad (2.2)$$

donde:

A - área de extracción, m^2 ;

D_m - avance promedio del frente en el periodo de balance, m.

Las mediciones y los levantamientos de los frentes de arranque se realizan al mismo tiempo que se confecciona el croquis con los detalles reales del espacio laboreado. Además, durante la medición en las excavaciones de arranque, determinamos la posición y las dimensiones de los pilares de seguridad, los lugares donde han ocurrido derrumbes, los espacios rellenados, los lugares donde se han construido caravanas, el control de la fortificación y algunas mediciones como son: elementos de yacencia, dislocaciones tectónicas, agrietamientos y todas aquellas cuestiones de interés para los trabajos geológicos y mineros.

2.4 DOCUMENTACIÓN DE LAS MEDICIONES

Los resultados de las mediciones realizadas en las diferentes excavaciones se registran en forma de croquis, dibujos y anotaciones numéricas en libretas especiales para los trabajos topográficos.

Sobre la base de los datos de las libretas, efectuamos la actualización de los planos topográficos de las excavaciones mineras, calculamos el mineral extraído y elaboramos los planos de las mediciones. En las libretas empleadas para la medición en las excavaciones preparatorias y de arranque, es obligatorio hacer un croquis de-

tallado de las mediciones. En los croquis debemos representar los puntos empleados para las mediciones, las distancias de estos puntos hasta la línea del frente al principio y al final del periodo de balance, la posición y dimensiones de los pilares, las dimensiones de la sección de la excavación, los dibujos de la estructura del manto y otros datos que consideremos necesarios.

Además de confeccionar el croquis, en las libretas anotamos la magnitud del avance del frente de las excavaciones, sus secciones, el área extraída, el peso volumétrico del mineral y la productividad del manto que estará representada por la cantidad de mineral útil extraído (t) en un metro cuadrado de área del manto.

Con los datos anotados en las libretas es posible calcular el volumen y el peso del mineral útil extraído de las excavaciones preparatorias y de arranque. El volumen de mineral calculado lo comparamos con el volumen obtenido por el método operativo, que se fundamenta en el número de medios de transporte contabilizados.

Los datos anotados en las libretas permiten calcular el volumen de los trabajos ejecutados en algunas excavaciones aisladas, en determinados sectores y en la mina en general con el fin de determinar el largo de las líneas de los frentes en explotación, calcular las reservas y los ciclos de trabajo.

En aquellos casos en que los planos fundamentales de la mina estén confeccionados a una escala que no sea la más apropiada para representar las mediciones en las excavaciones preparatorias y de arranque, recurriremos a la confección de los planos de medición en una escala mayor, donde representaremos el estado del frente para los distintos periodos de balance, los pilares de seguridad, los valores numéricos de la potencia, columnas estructurales y otros elementos geológicos y mineros de interés.

Los planos de medición los confeccionamos generalmente para cada excavación y, en aquellos casos en que la longitud del frente sea muy larga y con un contorno muy irregular, el área de extracción, el largo y el avance del frente, se determinan en el plano de medición.

2.5 CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE MINERAL EXTRAÍDOS SOBRE LA BASE DE LAS MEDICIONES EN LAS EXCAVACIONES

El peso del mineral extraído de una excavación durante un periodo de balance se calcula por la fórmula:

$$P = VP_{vm} \quad (2.3)$$

donde:

V - volumen de mineral útil extraído, m^3 ;

P_{vm} - peso volumétrico del mineral, t/m^3 .

El peso volumétrico de una roca o mineral se puede determinar por el método de corte de prueba. Este método consiste en hacer una excavación en forma de nicho de un volumen no menor de $1 m^3$. El mineral extraído de dicha excavación se somete al pesaje y se determina el peso que corresponde al volumen extraído. Existen también otros métodos para determinar el peso volumétrico en condiciones de laboratorio que son objeto de estudio de la geometría minera y de la mecánica de rocas.

El volumen extraído de las excavaciones preparatorias se determina multiplicando el área media de la sección de la excavación por el avance durante el periodo de balance, en caso de que toda la sección de la excavación esté en el mineral. Cuando la sección de la excavación está fuera de los límites de la capa, el volumen se obtiene multiplicando el área de denudación de la capa en el frente por el avance durante el periodo de balance.

El área de denudación la obtenemos multiplicando la longitud de la denudación de la capa en el plano del frente por el valor medio de la potencia útil de extracción de la capa mineral.

En las excavaciones de arranque, el volumen extraído se calcula mediante el producto del área de extracción por la extracción media de la potencia útil del manto. El área de extracción la determinamos en el plano con la ayuda de un planimetro, de acuerdo con los levantamientos y las mediciones al inicio y al final del periodo de balance.

Del área de extracción que tomamos para efectuar los cálculos debemos eliminar el área total de los pilares dejados en la excavación de arranque. La potencia del mineral la calculamos como el promedio de todas las mediciones realizadas en el espacio laboreado. El valor de la potencia útil del mineral en puntos aislados la obtenemos como la diferencia entre la potencia útil del manto y la suma de las potencias de las capas intermedias no extraídas. De la cantidad de mineral extraído debemos excluir las pérdidas debido al mineral arrancado, cuya cantidad se determina experimentalmente o se toma (de la experiencia de la producción) sobre la base de un porcentaje determinado de la extracción.

La información obtenida de las mediciones en las excavaciones de arranque se emplean para el cálculo de las reservas, las pérdidas, y para controlar la correcta ejecución del cálculo operativo de la extracción de mineral.

2.6 MEDICIONES DE LAS RESERVAS DE MINERAL EN LOS ALMACENES

Los cálculos de mineral en los almacenes los efectuamos con el fin de ejecutar un control sobre el cálculo operativo del mineral extraído.

La extracción de mineral útil en un turno, en un día o en un mes se determina operativamente multiplicando la cantidad de camiones, vagones o *skips* por su capacidad o pesando directamente el equipo con el mineral.

Una de las formas de control del cálculo operativo es la que emplea las mediciones de las excavaciones de arranque (ver fórmula 2.5). El referido control hace posible la comparación de la cantidad de mineral extraído calculado por el método operativo y la obtenida por las mediciones en las excavaciones. No obstante, el cálculo efectuado sobre la base de las mediciones en las excavaciones de arranque con ciertas condiciones geológicas y mineras desfavorables proporciona datos que no son del todo confiables. El control más seguro para determinar la cantidad de mineral extraído es la medición del mineral en los almacenes, que se realiza todos los meses al final del último turno laboral.

La cantidad Q de mineral extraído durante el mes, la obtenemos por la fórmula siguiente:

$$Q = Q_1 - Q_2 + Q_3 \quad (2.4)$$

donde:

Q_1 - cantidad de mineral enviado al consumidor (antes del periodo de balance);
 Q_2 y Q_3 - residuo de mineral en los almacenes, en las plataformas, en las tolvas y en los vagones de ferrocarril, que están cargados en el instante inicial y final del periodo de balance.

El valor de Q_1 lo obtenemos de la contabilidad y los valores de Q_2 y Q_3 mediante las mediciones topográficas.

Los residuos de mineral en los almacenes, al final y al principio del periodo de balance, es mucho menor que la extracción mensual, de ahí que los errores cometidos durante la medición en los almacenes no altere considerablemente el error relativo en la determinación mensual de la extracción en la mina, lo que constituye una gran ventaja. La deficiencia fundamental de este método es la imposibilidad de establecer un control del mineral extraído en las distintas secciones de la mina, ya que solo es posible obtener los datos de la extracción completa de la mina.

La cantidad de residuo (Q , en toneladas) lo obtendremos por el producto del volumen de las pilas V (o las partes llenas de las tolvas) por el peso volumétrico del mineral en las tolvas.

$$P = VP_{vt} \quad (2.5)$$

donde:

V - volumen de las pilas de mineral;

P_{vt} - peso volumétrico del mineral en las tolvas.

El peso volumétrico en las pilas (peso de 1 m^3 de mineral *in situ*) puede determinarse por vía experimental, dividiendo el peso del mineral cargado en un vagón por el volumen que este ocupa en el vagón. También es posible calcularlo pesando el mineral cargado, en un recipiente cuya capacidad en metros cúbicos es conocida.

El volumen de una tolva parcialmente llena se calcula a partir de la capacidad conocida de esta y de la medición de la parte que no está llena.

Para determinar el volumen de las pilas de mineral existen varios métodos, entre los cuales se encuentran las mediciones con cintas, el trazado de perfiles y los levantamientos taquimétricos y con plancheta.

El volumen de una pila puede calcularse si se conocen el relieve de su superficie y el de la plazoleta donde se encuentra.

Para determinar el relieve de la plazoleta del almacén es necesario hacer planos topográficos a escala 1:200 o 1:500 con curvas de nivel a una equidistancia de 0,25 a 0,50 m, empleándose las copias de estos planos durante el periodo de las mediciones.

El volumen de una pila de mineral que tiene una forma regular puede determinarse mediante mediciones con cintas. La esencia de este método es que las pilas de mineral aisladas, o partes de ellas, tienen formas semejantes a diferentes cuerpos geométricos. Con la ayuda de una cinta medimos las magnitudes lineales que caracterizan sus formas y dimensiones, tales como la altura, el perímetro de la base, etc. Para obtener resultados más precisos en las mediciones, usaremos el semicírculo de suspensión y la brújula colgante (con el fin de determinar los ángulos de inclinación de los costados de las pilas, realizar levantamientos de sus contornos, determinación de alturas, etcétera).

Las miras de nivelación, las estacadas y otras construcciones se emplean para calcular la altura de las pilas. Los resultados de las mediciones, el contorno y las dimensiones, los anotamos en las copias del plano de la plazoleta del almacén.

Los volúmenes los calculamos por las fórmulas geométricas del volumen de un cono, una pirámide, una cuña, un prisma, etc. También es posible calcular el volumen mediante la fórmula del prismoide, cuya expresión es la siguiente:

$$V = \frac{H}{6} (A_1 + 4A_2 + A_3) \quad (2.6)$$

donde:

- H - altura del cuerpo;
- A_1 - área de la base inferior del cuerpo;
- A_2 - área de la sección media (superficie de la sección, que es perpendicular a la altura H y divide a esta altura por la mitad);
- A_3 - área de la base superior.

La fórmula del prismoide puede emplearse para la gran mayoría de los cuerpos geométricos regulares. Para el caso de un cono entero y truncado, una pirámide completa o truncada, un prismoide, o un prisma, $A_3 = 0$.

El área de la sección media la obtendremos de los planos o midiendo directamente en el terreno.

En la determinación del volumen de grandes pilas de mineral de forma irregular es posible usar el método del levantamiento taquimétrico por medio de perfiles.

Para la ejecución del levantamiento, en calidad de puntos de apoyo usaremos los puntos situados en las proximidades de la plazoleta del almacén, por medio de una poligonal, o de intersecciones.

De acuerdo con los resultados de las mediciones, situamos los puntos de detalle en la copia del plano de la plazoleta del almacén, y anotamos sus cotas. Después, delimitamos el contorno de la pila y trazamos las curvas de nivel. La elección de la equidistancia depende de la forma de la superficie y de la altura de la pila. Cuando la altura media de la pila es inferior a 3 m la equidistancia es de 0,25 a 0,50 m y para una altura promedio mayor de 3 m la equidistancia es de 0,50 a 1,00 m.

Con el plano topográfico de la plazoleta del almacén y de las pilas es fácil calcular el volumen. Este cálculo puede realizarse por las secciones verticales y horizontales de la superficie de la pila. En las secciones verticales procedemos de la siguiente manera: en el plano, y perpendicularmente a la línea del eje de la pila, trazaremos las líneas paralelas I-I', II-II', III-III', ... (fig. 2.7) la distancia entre la línea es de 5 a 10 m en dependencia de las dimensiones y la complejidad de la pila.

Se coloca una hoja de papel de forma que su borde coincida con una de las líneas paralelas, y se marcan en dicho borde las curvas de nivel que se cortan con la paralela; seguidamente se trazan las secciones verticales de la referida línea, repitiendo la operación en las restantes (fig. 2.8). Valiéndonos de un planímetro calculamos el área de las secciones, que nos permitirán obtener el volumen. El cálculo del volumen se efectúa entre dos secciones contiguas, aplicando la fórmula siguiente:

$$V_{1-2} = \frac{A_1 + A_2}{2} D_{1-2} \quad (2.7)$$

donde:

- V_{1-2} - volumen entre las secciones 1 y 2;
- A_1 y A_2 - área de las secciones 1 y 2 respectivamente;
- D_{1-2} - distancia entre las secciones.

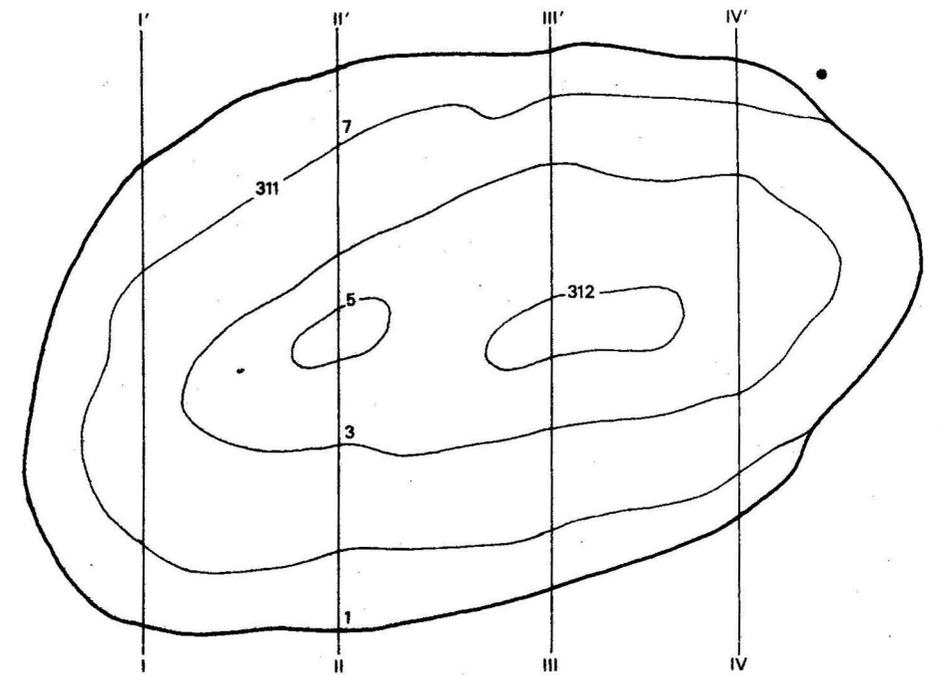


Fig. 2.7 Plano topográfico para calcular el volumen de mineral en el almacén

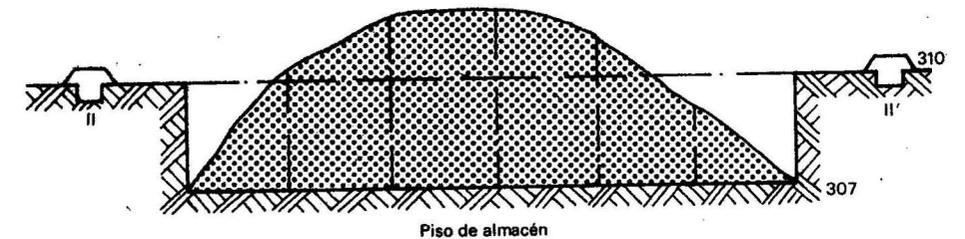


Fig. 2.8 Sección vertical de una línea transversal

Para los cálculos de volúmenes mediante la fórmula (2.7) también es posible usar las áreas de las secciones horizontales, empleando para ello el área entre dos curvas de nivel contiguas de la superficie de la pila. En este caso, en la fórmula (2.7) en lugar de D usaremos el valor de la equidistancia entre las curvas de nivel.

Los resultados de los cálculos nos darán el volumen del mineral de la parte de la pila comprendida entre las secciones horizontales contiguas. El método más usado, por su comodidad, es el de las secciones verticales.

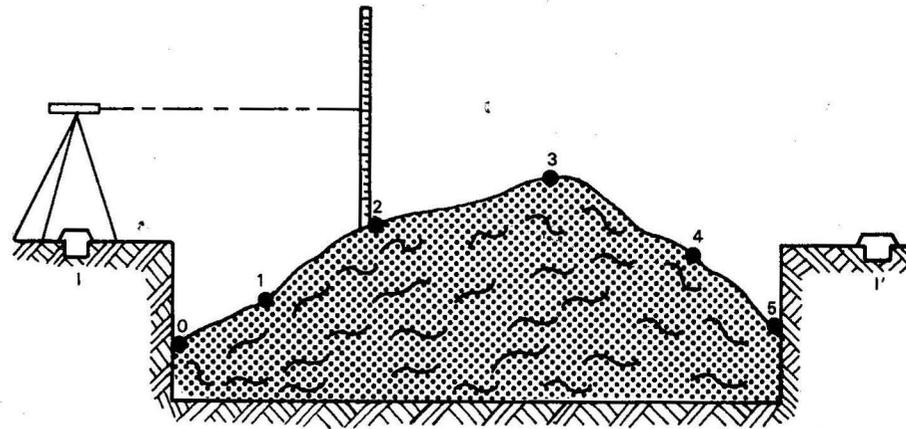


Fig. 2.9 Determinación del perfil de una línea transversal

Además de los métodos explicados, existe el llamado método de los perfiles que es muy usado para calcular los volúmenes de las pilas de mineral de forma alargada. Por este método el cálculo del volumen lo efectuamos por la fórmula (2.7), mediante la construcción de las secciones verticales a partir de los datos del levantamiento directo de los perfiles en la pila de mineral. El levantamiento de los perfiles lo realizamos a través de líneas transversales, que están marcadas en el terreno.

La distancia entre las líneas transversales es de 5 a 10 m y sus extremos deben estar marcados por puntos permanentes a los cuales se les determinan la cota y las coordenadas.

Los perfiles se confeccionan a partir de un levantamiento de las líneas transversales y para ello medimos la distancia desde el punto inicial de la línea transversal hasta la base de los puntos característicos del contorno de la pila. Al mismo tiempo que efectuamos la medición de distancias, con un nivel y una mira determinamos las cotas de los puntos característicos (0,1,2,3,...) del contorno del perfil (fig. 2.9). Para efectuar la determinación de las cotas es posible utilizar el nivel NL-3 (URSS) provisto de movimiento en el anteojo o cualquier otro nivel.

Las mediciones realizadas dan la posibilidad de confeccionar las secciones de la pila de mineral por las líneas transversales y calcular las áreas que nos permitirán obtener el volumen de mineral depositado en los almacenes.

CONTROLES TOPOGRÁFICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS EXCAVACIONES MINERAS

3.1 CUESTIONES GENERALES

La explotación de los yacimientos se realiza de acuerdo con un proyecto que se compone de: las particularidades geológicas del yacimiento, la determinación del lugar de ubicación, el método de fortificación y sección de las excavaciones mineras, así como las tareas de dirección de las construcciones mineras.

Toda excavación minera se ejecuta según un plan basado en el desarrollo perspectivo de los trabajos mineros de explotación.

Una de las tareas de la topografía minera es la ejecución de las excavaciones mineras necesarias para llevar a cabo la explotación del yacimiento. La tarea fundamental en dichos trabajos es darle dirección a las excavaciones previstas en el proyecto, tanto en el plano vertical como en el horizontal, lo que requiere que el topógrafo indique a los mineros la dirección del eje de la excavación y se establezcan controles periódicos durante el transcurso de los trabajos.

Los métodos para dar dirección a las excavaciones están determinados en gran medida por las condiciones de trabajo, los elementos de yacencia de los mantos, y el carácter del corte de las rocas en dirección de la excavación.

Así, por ejemplo, las excavaciones con gran frecuencia siguen la orientación de un objeto de referencia natural, como es el plano de contacto del suelo o del cuerpo mineral con la roca. Este tipo de objeto es conocido con el nombre de conductor. La presencia de un conductor facilita considerablemente la orientación de las excavaciones; por ejemplo, para una galería en un cuerpo inclinado, si existe un conductor, solo es necesario orientar la galería en un plano vertical.

En la construcción de galerías inclinadas que sigan la dirección del buzamiento del cuerpo mineral, solamente se da orientación en el plano horizontal a las galerías transversales; a los pozos de mina se les da tanto orientación vertical como horizontal.

En los trabajos de orientación de las excavaciones se realizan las operaciones principales siguientes:

Levantamiento del lugar de situación de la excavación.

Determinación de dirección para la construcción de la excavación.

Replanteo y fijación de la dirección.

Control de la dirección de la excavación de acuerdo con el proyecto, con observaciones del perfil del proyecto y el pasaporte de perforación.

3.2 FÓRMULAS INICIALES PARA LA RESOLUCIÓN DE LAS TAREAS DE DAR DIRECCIÓN A LAS EXCAVACIONES MINERAS

Para solucionar la tarea de dar dirección a las excavaciones mineras, frecuentemente tenemos que realizar algunas de las tareas que se detallan a continuación:

Tarea 1 (fig. 3.1). Dadas las coordenadas del punto A (X_A, Y_A, H_A) y del punto B (X_B, Y_B, H_B), determinar lo siguiente:

- a) el acimut de la dirección desde el punto A hacia el punto B;
- b) la proyección horizontal de la línea que une los puntos A y B;
- c) el ángulo de inclinación de la línea AB;
- d) la longitud de la línea que une los puntos A y B.

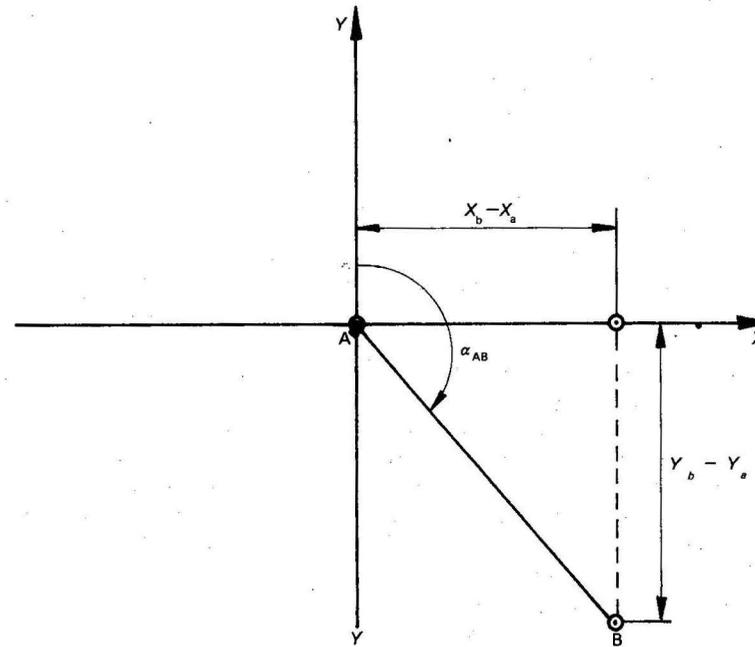


Fig. 3.1 Resolución de la tarea topográfica inversa

Para el cálculo de los parámetros se utilizarán, según el caso, las siguientes expresiones:

- a) para el acimut de la dirección de la línea AB:

$$\tan \alpha_{AB} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \quad (3.1)$$

- b) para la proyección horizontal de la longitud de la línea AB:

$$D_{AB} = \frac{X_B - X_A}{\text{sen } \alpha_{AB}} = \frac{Y_B - Y_A}{\text{cos } \alpha_{AB}} \quad (3.2)$$

$$D_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (3.3)$$

- c) para el ángulo de inclinación de la línea AB:

$$\tan \delta = \frac{H_B - H_A}{D} \quad (3.4)$$

- d) para la longitud de la línea inclinada AB:

$$l = \frac{D}{\text{cos } \delta} \quad (3.5)$$

$$l = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (H_B - H_A)^2} \quad (3.6)$$

Tarea 2 (fig. 3.2). Determinar los ángulos horizontales comprendidos entre dos direcciones cuyos acimuts son conocidos.

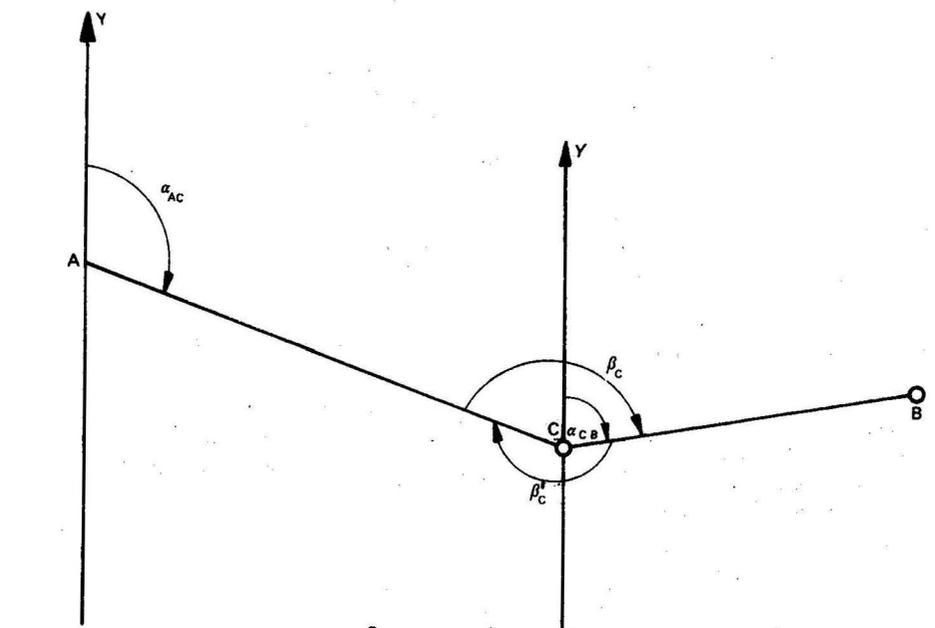


Fig. 3.2 Determinación del ángulo entre dos direcciones

Entre las direcciones AC y BC, de acimut conocido, se encuentran los ángulos β_C y β'_C cuyos valores se determinan de las expresiones:

$$\begin{aligned} \beta_C &= \alpha_{CB} - \alpha_{CA} \\ \beta'_C &= \alpha_{CA} - \alpha_{CB} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Si en el cálculo de los ángulos por las fórmulas (3.7) las diferencias se obtienen con signo negativo, los ángulos deben calcularse por las expresiones:

$$\begin{aligned} \beta_C &= \alpha_{CA} + 360^\circ - \alpha_{CB} \\ \beta'_C &= \alpha_{CB} + 360^\circ - \alpha_{CA} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Tarea 3 (fig. 3.3). Determinar las coordenadas del punto de intersección de las rectas AB y DC.

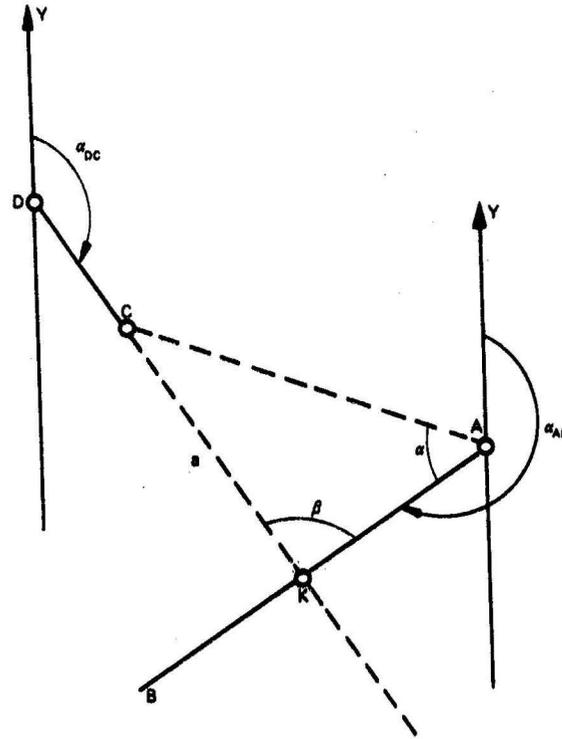


Fig. 3.3 Determinación de las coordenadas del punto de intersección de dos rectas

De la línea AB se conocen las coordenadas del punto A (X_A, Y_A) y el acimut α_{AB} . De la línea DC se conocen el acimut α_{DC} y las coordenadas del punto C (X_C, Y_C). Las coordenadas del punto de intersección K (X_K, Y_K) se determinan a partir de la resolución del triángulo CAK:

$$X_K = X_C + a \cos \alpha_{DC} \quad (3.9)$$

$$Y_K = Y_C + a \sin \alpha_{DC} \quad (3.10)$$

$$a = \frac{AC \sin \alpha}{\sin \beta} \quad (3.11)$$

En la fórmula (3.11) es necesario determinar previamente el acimut α_{AC} por la fórmula (3.1) y la longitud AC por la (3.2). Para la determinación de los ángulos α y β es posible aplicar la fórmula (3.8). Las coordenadas del punto K se pueden determinar mediante la resolución de la ecuación de la intersección directa:

$$X_K = \frac{X_C \tan \alpha_{DC} - X_A \tan \alpha_{AB} - Y_C + Y_A}{\tan \alpha_{DC} - \tan \alpha_{AB}} \quad (3.12)$$

$$Y_K = \frac{Y_C \cot \alpha_{DC} - Y_A \cot \alpha_{AB} - X_C + X_A}{\cot \alpha_{DC} - \cot \alpha_{AB}}$$

3.3 DIRECCIÓN DE LAS EXCAVACIONES CONSTRUIDAS DESDE LA SUPERFICIE

Primer caso.

Proyecto de construcción de un socavón desde el punto A, de coordenadas X_A, Y_A siguiendo la dirección AB (fig. 3.4).

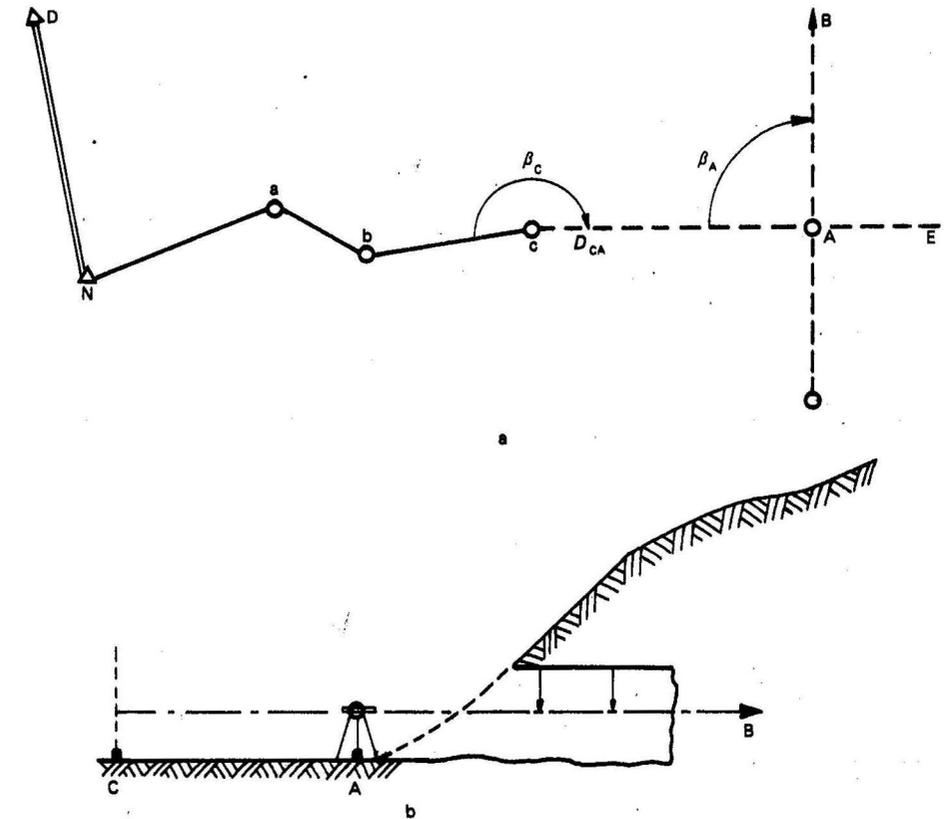


Fig. 3.4 Tarea de dirección de un socavón: a) vista en planta; b) corte por el eje del socavón

De acuerdo con el proyecto es necesario determinar en el terreno la posición del punto A y señalar la dirección AB del eje del socavón.

En el plano determinamos aproximadamente el lugar de inicio del socavón y desde el punto de triangulación o poligonometría C trazaremos el recorrido Nabc. Es recomendable que la poligonal trazada sea cerrada o en dos direcciones.

Como resultado de las mediciones de los ángulos y de las distancias, se calculan todos los acimuts y las coordenadas de los vértices, concluyendo en el acimut del lado bc y las coordenadas del punto c (X_c , Y_c).

Con las coordenadas de los puntos A y C calcularemos el acimut y la proyección horizontal de la línea CA.

Por la fórmula (3.8) calcularemos los ángulos:

$$\beta_c = \alpha_{cA} - \alpha_{cb}$$

$$\beta_A = \alpha_{AB} - \alpha_{Ac}$$

Después de calcular los datos anteriores estacionamos el teodolito en el punto c y con el ángulo β_c trazamos la dirección cE y con la distancia D_{cA} replanteada obtendremos la posición del punto A. Situando el teodolito en el punto A giramos el ángulo β_A que nos dará la dirección del eje del socavón en un plano horizontal.

Segundo caso

Señalización en la superficie del lugar seleccionado para la construcción de un pozo de sondeo, que debe estar unido con una excavación subterránea en el punto m (fig. 3.5).

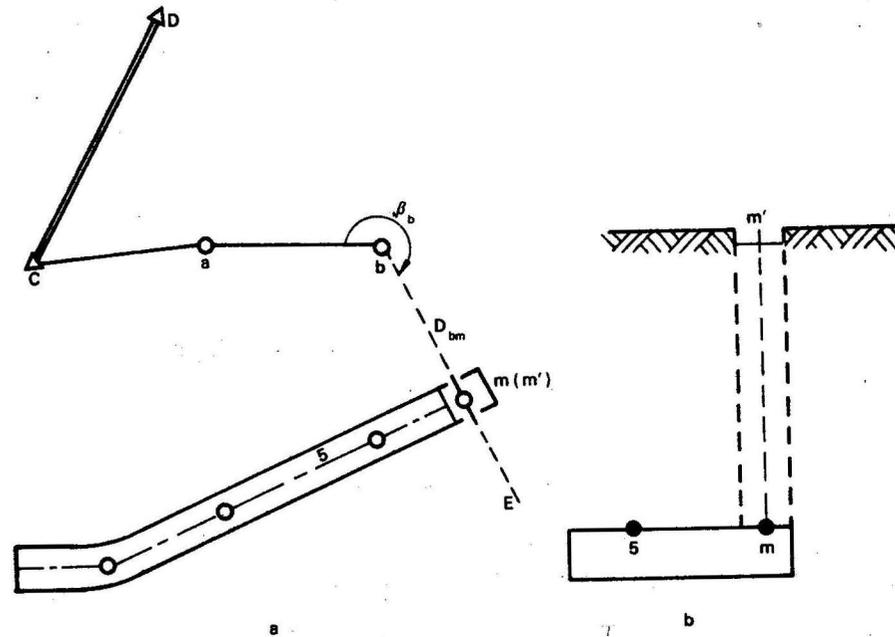


Fig. 3.5 Tarea de dirección de un pozo de sondeo: a) vista en planta; b) corte vertical a través del eje del pozo proyectado

El trabajo topográfico en este caso comienza con el trazado en la superficie de la poligonal CaB. Al mismo tiempo en el subterráneo trazamos una poligonal hacia el punto m, en el cual el lado 5m está situado en la dirección de la excavación.

A continuación calcularemos las coordenadas de los puntos b y m. Por las fórmulas (3.1), (3.2), (3.8) determinamos el acimut de la línea bm, la proyección horizontal D_{bm} y los ángulos horizontales β_b y β_m . Seguidamente estacionamos el teodolito en el punto b y con el ángulo calculado β_b situamos el jalón en el punto E, y medimos la distancia horizontal D_{bm} , obteniendo como resultado la posición del punto m', que será el centro del pozo.

La profundidad del pozo se determina por la diferencia entre las cotas de los puntos m y m'

3.4 TAREA DE DIRECCIÓN DE EXCAVACIONES MINERAS CONSTRUIDAS POR FRENTE DE ENCUENTRO

Para la construcción de las galerías en las minas subterráneas se ha difundido considerablemente la construcción de estas por el sistema de frentes de encuentro, con el fin de acelerar los trabajos. En este caso la galería se comienza a construir desde dos o más puntos, aumentando de esta forma la velocidad de la construcción proporcionalmente al número de frentes de trabajo.

La tarea del topógrafo minero consiste en dar dirección a la galería de acuerdo con el eje proyectado.

En esta tarea se pueden dar dos casos:

Tarea de dirección de una galería transversal construida por frentes de encuentro.

Tarea de dirección de una pendiente ascendente con frente de encuentro.

En el primer caso, la dirección se debe dar en los planos horizontal y vertical y en el segundo caso solo en un plano horizontal, porque en el plano vertical la dirección se controla por el costado colgante del yacimiento.

Primer caso

Dirección de una galería transversal construida por frentes de encuentro.

En la figura 3.6 está representada la galería transversal CD construida entre las galerías L_2 y L_4 . El proyecto establece la construcción de una galería transversal entre los puntos A y B realizándose el laboreo simultáneamente desde los puntos A y B.

En la galería transversal se encuentran los puntos I, II y III, como puntos permanentes de una poligonal subterránea.

En el plano, y de acuerdo con el proyecto, se traza el eje de la galería transversal, y se determinan las coordenadas de los puntos A y B.

La tarea del topógrafo consiste en replantear en la galería transversal los puntos A y B, fijándolos en las galerías L_2 y L_4 . Para llevar a cabo esta tarea, en las inmediaciones de los puntos A y B se colocan los puntos de acceso 1 y 2 por medio de una poligonal trazada a partir de los puntos I y III.

Con el fin de situar en el terreno los puntos A y B, es necesario calcular los ángulos β_2 y β_1 y las distancias horizontales D_{2-A} y D_{1-B} . Además, para dar la dirección del eje proyectado es necesario calcular los ángulos β_A y β_B y la distancia D_{AB} . Con este fin emplearemos las fórmulas (3.1) y (3.2) para calcular los acimuts y las distancias horizontales de los lados 2-A, 1-B y A-B.

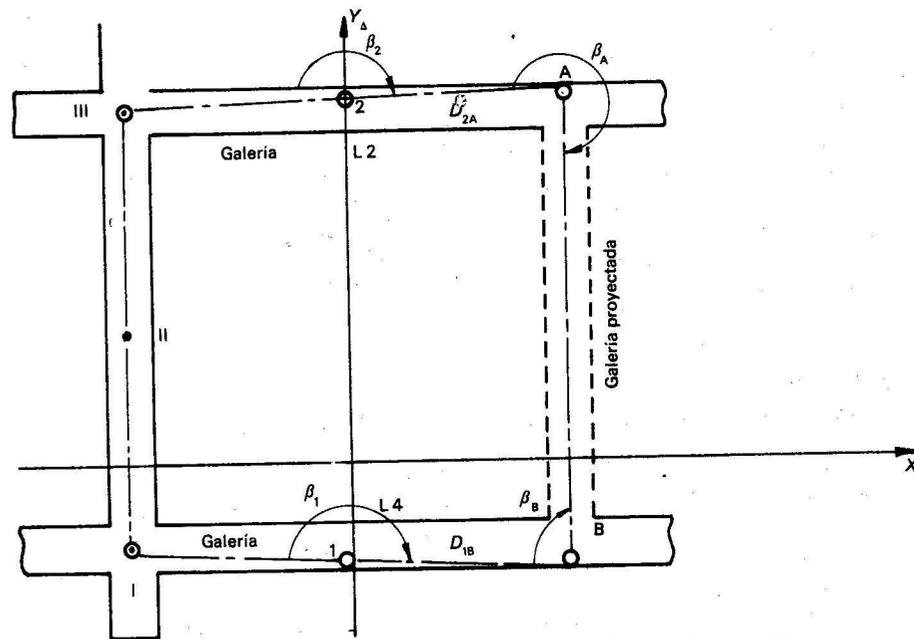


Fig. 3.6 Tarea de dirección de una galería construida por frentes de encuentro

Por la fórmula (3.8) calculamos los ángulos:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \alpha_{1-B} - \alpha_{1-1} \\ \beta_2 &= \alpha_{2-A} - \alpha_{2-11} \\ \beta_A &= \alpha_{A-B} - \alpha_{A-2} \\ \beta_B &= \alpha_{B-A} - \alpha_{B-2} \end{aligned}$$

Después de situar en la galería los puntos A y B, estacionamos debajo de estos el teodolito. Se marcan en el limbo los valores de los ángulos β_A y β_B , y se da dirección a la galería en el plano horizontal.

Para determinar la dirección de la galería en un plano vertical, entre los puntos A y B se realiza una nivelación geométrica, obteniéndose como resultado el desnivel entre ambos puntos.

En la figura 3.7 es posible apreciar que desde el punto B hasta el punto A existe una pendiente ascendente i , cuyo valor se determina por la fórmula:

$$i = \tan \delta \quad (3.13)$$

El ascenso o descenso de la galería se calcula por la fórmula:

$$i = \frac{h_{AB}}{D_{AB} - (a + b)} \quad (3.14)$$

donde:

- D_{AB} - distancia horizontal entre los puntos A y B;
- a y b - distancias entre los puntos A y B y los lados correspondientes de la galería transversal;
- h_{AB} - desnivel entre los puntos A y B.

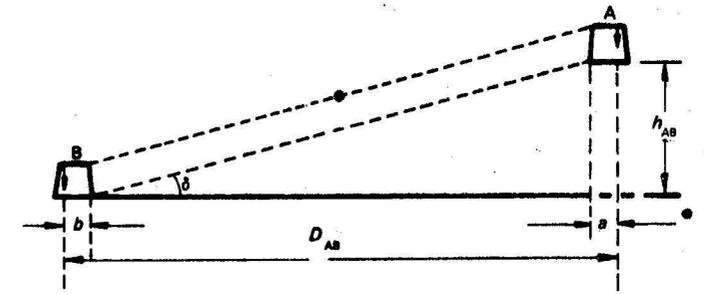


Fig. 3.7 Orientación de una galería transversal en un plano vertical

La tarea de dar dirección a la galería transversal en un plano vertical se puede realizar mediante niveles de albañil y puntos laterales situados en la excavación.

Segundo caso

Dirección de una pendiente ascendente con frente de encuentro.

En la figura 3.8 está representado el plano de las excavaciones mineras, donde ACB es la galería proyectada y los puntos I, II y III pertenecen a la galería existente.

La ejecución de la galería se lleva a cabo desde los puntos A, B y C siguiendo las direcciones de las flechas.

La tarea se soluciona estableciendo un sistema condicional de coordenadas donde el eje Y coincidirá con el eje de la galería existente y el origen de las coordenadas será el punto I.

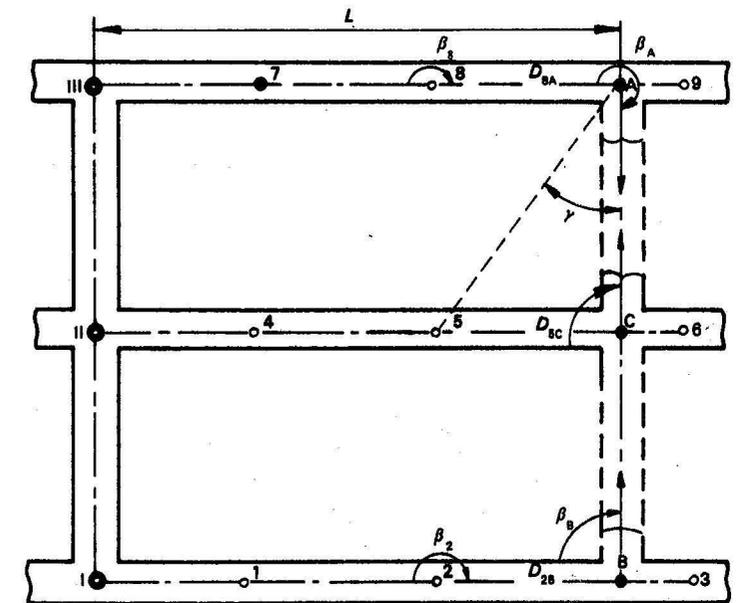


Fig. 3.8 Dirección de una pendiente ascendente por frente de encuentro

Supongamos que para la ejecución de la pendiente ACB se establecen las siguientes condiciones:

1. El eje de la pendiente debe ser paralelo al eje de la pendiente existente.
2. La distancia en metros entre los ejes de ambas pendientes debe ser igual a L .

A través de las galerías y desde los puntos I, II y III trazamos las poligonales I 1 2 3; II 4 5 6; III 7 8 9; con las cuales calculamos las coordenadas X_2 , X_5 , X_8 y los acimuts en el sistema condicional α_{2-3} , α_{5-6} y α_{8-9} . Las distancias horizontales de dichos lados las calculamos por las fórmulas:

$$\begin{aligned} D_{2-B} &= \frac{L - X_2}{\text{sen } \alpha_{2-3}} \\ D_{5-C} &= \frac{L - X_5}{\text{sen } \alpha_{5-6}} \\ D_{8-A} &= \frac{L - X_8}{\text{sen } \alpha_{8-9}} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Por ser:

$$X_A = X_C = X_B = L$$

Los ángulos β_A , β_C y β_B los obtenemos a partir de las fórmulas:

$$\begin{aligned} \beta_B &= 360^\circ - [\alpha_{2-3} + 180^\circ] \\ \beta_C &= 360^\circ - [\alpha_{5-6} + 180^\circ] \\ \beta_A &= 360^\circ - \alpha_{8-9} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Para dar solución al problema, se supone que en la galería existente se encuentran los puntos permanentes I, II y III. A partir de dichos puntos y a través de las galerías se han trazado poligonales y determinado las coordenadas de los puntos 2, 5 y 8, y el valor del acimut α_{5-6} . En el plano determinamos gráficamente las coordenadas de los puntos A y B; además, es necesario determinar los ángulos β_2 y β_8 y las distancias horizontales D_{8-A} y D_{2-B} para replantear los puntos A y B.

Con este fin, por la fórmula (3.1) calculamos los acimuts α_{2-B} , α_{8-A} , α_{A-B} y por la fórmula (3.2) las distancias horizontales D_{2-B} y D_{8-A} . Después, por la fórmula (3.8) calculamos los ángulos β_2 , β_8 , β_A y β_B .

En la galería intermedia es necesario calcular las coordenadas del punto C, para lo cual se pueden emplear las fórmulas (3.11) o (3.12). En el primer caso es necesario resolver el triángulo 5AC.

La longitud del lado 5-C se calcula por la fórmula:

$$D_{5-C} = \frac{D_{5-A} \text{ sen } \gamma}{\text{sen } \beta_C} \quad (3.17)$$

La distancia D_{5-A} se puede obtener por las fórmulas (3.2) y (3.3) y los ángulos γ y β_C por las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} \gamma &= \alpha_{5-A} - \alpha_{B-A} \\ \beta_C &= \alpha_{B-A} - [\alpha_{5-6} \pm 180^\circ] \end{aligned} \quad (3.18)$$

En el ejemplo analizado, la obtención de un buen resultado depende de la exactitud en la medición de los ángulos y las distancias, por lo tanto, es necesario, si se conoce la diferencia permisible en el lugar de unión, determinar la exactitud requerida en la medición de los ángulos y longitudes de la poligonal.

3.5 DIRECCIÓN DE LAS EXCAVACIONES MINERAS EN UN PLANO HORIZONTAL

La tarea de dar dirección a las excavaciones mineras en un plano horizontal consiste en replantear en el terreno el ángulo de giro que define la dirección de la excavación. El valor de este ángulo estará dado en el proyecto o será calculado por el topógrafo de minas, cuando se trate de la construcción de las excavaciones por frente de encuentro.

En el punto inicial del eje B (fig. 3.9) situamos el teodolito con ayuda del cual marcaremos la dirección del ángulo β .

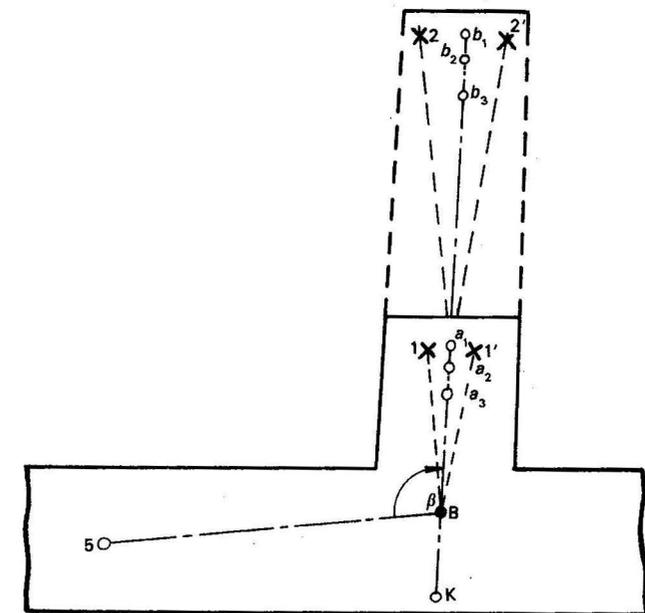


Fig. 3.9 Dirección de la excavación en un plano horizontal

En este caso, la distancia desde el punto B a la pared de la galería puede ser menor que el límite de enfoque del teodolito (1 a 2 m); ante esta situación, en lugar del ángulo β se marca en el limbo el ángulo $(\beta + 100^\circ)$ y se fija en la excavación el punto K. Si persiste la misma dificultad, será necesario tomar la puntería con la mirilla del anteojo. La línea de las plomadas situadas en los puntos K y B definirán de forma provisional la dirección del eje de la excavación. Los puntos K y B servirán para dar la dirección durante la construcción de los primeros metros de la excavación.

Cuando el avance de la excavación se ha alejado de 8 a 10 m será necesario dar la dirección con tres puntos, para lo cual el teodolito se estaciona en el punto B con el fin de trazar en el terreno el ángulo β . Para trazar dicho ángulo β , ponemos el instrumento en la lectura de cero grado y dirigimos el anteojo hacia el punto 5. Liberando el tornillo de fijación de la alidada, giramos el anteojo en el sentido de las agujas del reloj, hasta tener en el limbo horizontal una lectura igual a β , después de lo cual fijamos el limbo horizontal del teodolito y por el eje visual del anteojo marcamos el punto 1 (fig. 3.9). Después de realizada esta operación, damos vuelta de campana y se repiten todas las operaciones.

Si el teodolito no tiene error de colimación, en la segunda posición del anteojo, a través de su eje se observa el punto 1. En caso contrario situaremos el punto 1'.

La distancia entre los puntos 1 y 1' se divide a la mitad, y se marca el punto a_1 que definirá el eje de la excavación. Después, entre los puntos a_1 y B, situaremos dos puntos adicionales a_2 y a_3 . Cada uno de estos puntos se marca con señales permanentes. La distancia entre los puntos que señalan el eje de la excavación oscila de 1 a 3 m.

La dirección de la excavación se debe indicar cuando el avance de la excavación sea de unos 30 m en el caso de excavaciones horizontales o que tengan poco ángulo de inclinación. Cuando las excavaciones sean inclinadas el control de la dirección se debe dar cada 15 a 20 m de avance.

Con el fin de realizar esta tarea, el teodolito se sitúa en el punto a_3 , el anteojo apunta al punto B, se da un giro de 180° y se marca el punto 2. Damos vuelta de campana y se repite la operación. Si el teodolito tiene error de colimación se marca el punto 2' y a la mitad entre los puntos 2 y 2' el punto b_1 , que estará en el eje de la excavación; finalmente se sitúan los puntos adicionales b_2 y b_3 . Esta operación continúa repitiéndose de esta forma hasta la conclusión de la excavación.

Los puntos que señalan la dirección de la excavación pueden colocarse al lado derecho o al lado izquierdo, en líneas paralelas al eje de la excavación. En este caso es necesario indicar en el croquis la distancia entre dichos puntos y las paredes de la excavación. Esto se presenta en aquellos casos en que el teodolito se sitúa en una consola fijada en la fortificación.

En las excavaciones inclinadas y muy abruptas, se recomienda estacionar el teodolito de forma que su eje principal ocupe una posición vertical.

En las excavaciones abruptas, la dirección se da con teodolitos con anteojos excéntricos. La tarea de orientación se realiza de la forma siguiente:

Supongamos, que en la excavación abrupta es necesario dar la dirección BA con el ángulo ω desde la dirección 5B (fig. 3.10). Para esto calculamos los ángulos para la tarea de dirección con dos posiciones del anteojo:

$$\begin{aligned} \alpha &= \omega - \gamma \\ \beta &= \omega + \gamma \end{aligned} \quad (3.19)$$

El ángulo γ se calcula por la fórmula

$$\gamma = \rho \frac{e}{D_{5B}}$$

donde:

- ρ - 206 265";
- e - excentricidad del anteojo;
- D_{5B} - distancia horizontal del lado base.

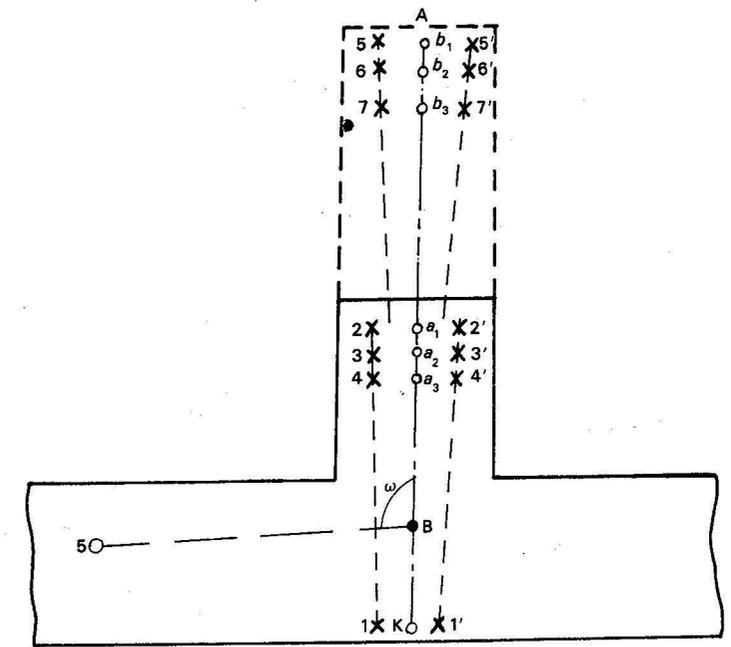


Fig. 3.10 Dirección de una excavación abrupta

Fijamos en el limbo el ángulo α , dando vuelta de campana y por la dirección del rayo visual marcamos el punto temporal 1 y con el ángulo β el punto 1'. Dividiendo el tramo 1-1' a la mitad, se marca el punto K_0 y se eliminan los puntos temporales 1 y 1'. Por la dirección KB la excavación prosigue como en el primer caso hasta el punto A. La dirección permanente de la excavación se marca con los puntos a_1 , a_2 y a_3 , para lo cual se fijan en el limbo los ángulos α y β . Observando hacia la excavación, colocamos el tornillo de elevación de la burbuja del nivel de inclinación en el medio y marcamos los puntos temporales 2, 3, 4, 2', 3' y 4'. Dividiendo la distancia entre ellos a la mitad, obtendremos la posición de los puntos a_1 , a_2 y a_3 , los cuales se marcarán, eliminando los puntos temporales.

La dirección de las excavaciones se controla cada 30 m. En las excavaciones horizontales y en las abruptas e inclinadas cada 15 a 20 m.

Para dar la dirección de la excavación, estacionamos el teodolito en el punto a_1 (ver figura 3.10), dirigimos el anteojo hacia la plomada colocada en el punto B y giramos el limbo un ángulo de 180° . A lo largo de la visual situamos el segundo grupo de puntos y así sucesivamente.

En la actualidad existen indicadores luminicos de direcciones, como el UNS-2 (fig. 3.11) que se asemejan a un equipo de proyección y constan de un tubo (1), en cuyo interior se encuentran, un objetivo, un diafragma con una ranura en forma de cruz, una lámpara eléctrica y un condensador. El anteojo está provisto del anillo (2) para el enfoque del objetivo. El equipo posee un transformador para la alimentación de la lámpara con la electricidad de la mina y, además, un medio de estacionamiento (3) para situarlo en la fortificación, ya sea esta de madera o metálica.

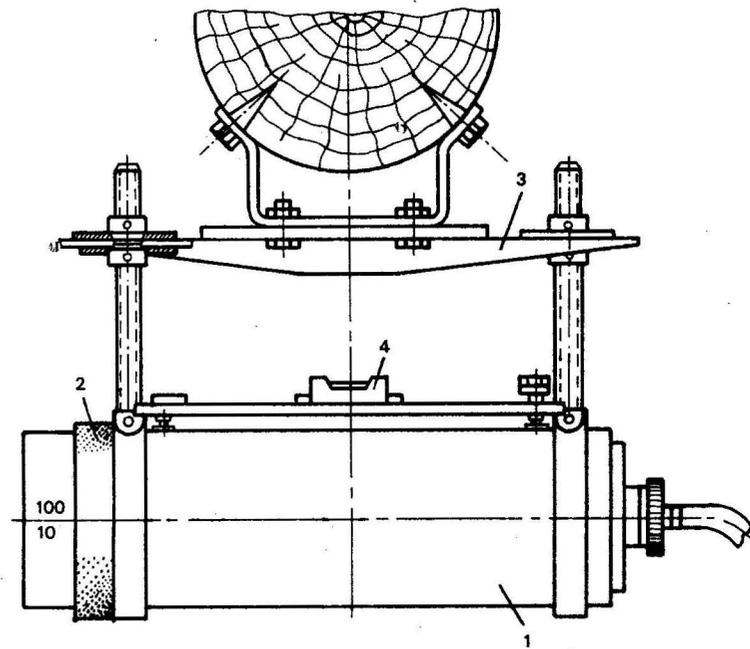


Fig. 3.11 Indicador luminico de direcciones UNS-2

Para estacionar el equipo en la direcci3n dada son necesarias tres plomadas colocadas en puntos topogr1ficos, que deben situarse con un teodolito en la misma alineaci3n.

El equipo se coloca debajo de uno de estos puntos y se toma direcci3n con los otros dos (fig. 3.12).

El instrumento se sitúa para dar direcciones cuando el avance del laboreo de la galería, alcanza de 70 a 80 m.

El uso del equipo UNS-2 es particularmente cómodo cuando el laboreo es combinado. En este caso es necesario tener una pantalla lenticular de estructura orientada. Esta se compone del plano de la pantalla, fijado en la parte delantera de la máquina y lentes biconvexas fijadas en la parte trasera. La distancia focal de la lente debe ser igual a la distancia entre la pantalla y dicha lente. La pantalla tiene una línea vertical y otra horizontal.

Al instalar el equipo en la máquina, su eje (línea que une el centro del lente con la intersección de las líneas) debe quedar paralelo al eje horizontal de la máquina.

Después de fijar la pantalla en la máquina, a 10 m de esta última, colocamos el UNS-2 de forma que su eje sea paralelo al eje de la excavación y coincida con el eje de la pantalla lenticular.

Si con el laboreo la máquina se desvía de la direcci3n dada, en la pantalla veremos tres se~ales o marcas: una marca en forma de cruz que indica la posici3n de la parte delantera de la máquina; un redondel o círculo brillante de luz, que indica la posici3n de la parte trasera de la máquina; y otra marca luminica en forma de cruz. La coincidencia de estas tres se~ales o marcas en la pantalla indica que la máquina va en la direcci3n dada.

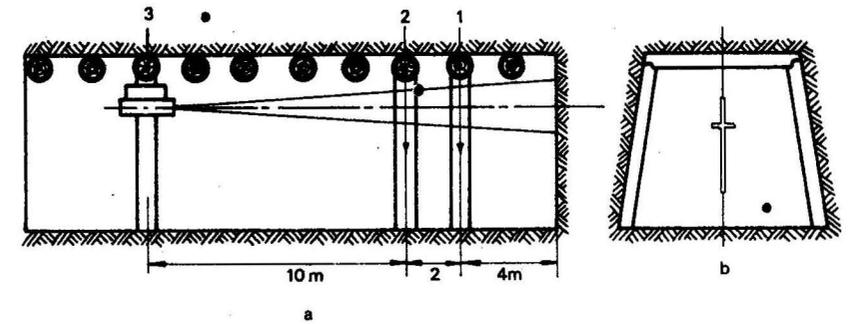


Fig. 3.12 Orientaci3n de una galería con el indicador luminico

3.6 DIRECCI3N DE LAS EXCAVACIONES MINERAS EN UN PLANO VERTICAL

La direcci3n en un plano vertical de las excavaciones mineras se establece de acuerdo con la inclinaci3n del proyecto.

En los trabajos de direcci3n de las excavaciones en un plano vertical con un ángulo mayor de 5° se utiliza el teodolito. Para esto, en el lugar de cambio de la inclinaci3n se coloca un punto fijo en el eje, que sirve de partida, o dos puntos laterales.

El punto inicial I situado en el eje (fig. 3.13) es la parte superior de la plomada, que est1 colocada en el eje de la excavaci3n, de forma que la distancia vertical desde el referido punto hasta la posici3n proyectada del cabezal de los rieles (grapas) equivalga a un n1mero entero de decímetros.

Los puntos de partida laterales son dos marcas colocadas en las paredes de la excavaci3n de forma que la línea que une dichos puntos sea perpendicular al eje de la excavaci3n y la distancia entre la línea mencionada y el cabezal de los rieles, medida a trav1s de la normal, se exprese en un n1mero entero de decímetros.

En los primeros metros de laboreo de la excavaci3n, la direcci3n de la inclinaci3n se da con un semicírculo de suspensi3n.

La tarea de orientaci3n de la excavaci3n con puntos fijos en el eje se inicia estacionando el teodolito debajo del punto I y situando en el limbo vertical la lectura del ángulo proyectado δ (fig. 3.13). Del punto más próximo al frente I hacemos descender una plomada hasta que su parte superior coincida con el hilo horizontal medio del retículo.

La plomada se fija, y se mide la distancia vertical h_1' desde el punto I hasta su parte superior. Después, como comprobaci3n damos vuelta de campana y ponemos en el limbo vertical la lectura $360^\circ - \delta$. Dirigimos el anteojo hacia la plomada, hacemos coincidir el hilo medio del retículo con la parte superior de la plomada y medimos la distancia h_1'' entre el punto I y la parte superior de la plomada, la cual se desplaza por la vertical, de forma que la distancia entre el punto y la parte superior de la plomada sea:

$$h_1 = \frac{h_1' + h_1''}{2}$$

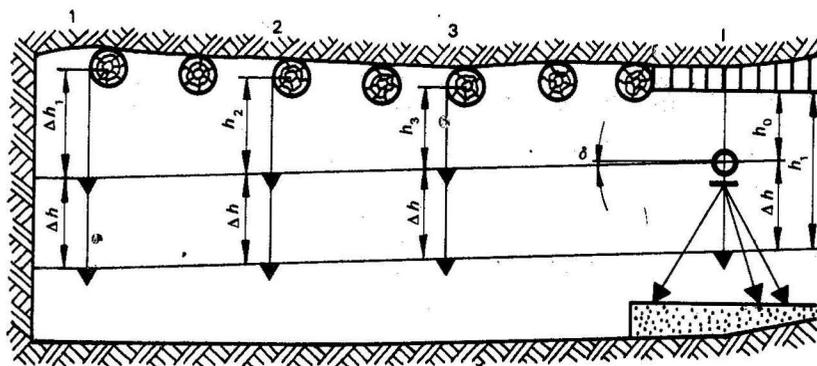


Fig. 3.13 Dirección de una excavación en un plano vertical por medio de puntos axiales

Después, se efectúa la medición de control del ángulo de inclinación. Si la parte superior de la plomada se situó correctamente, el valor del control del ángulo debe coincidir con el valor dado de δ .

Fijamos el anteojo del teodolito y finalmente colocamos el punto 1. Para ello la plomada se baja hasta que la distancia vertical entre el punto 1 y la parte superior de esta sea igual a $h_1 + \Delta h$, donde $\Delta h = h_1 - h_0$. Después la plomada se traslada al punto 2 y se hace coincidir su parte superior con la visual del anteojo. Se mide el segmento h_2 y se hace descender la plomada hasta que la distancia entre el punto 2 y la parte superior de esta sea igual a $h_2 + \Delta h$. De la misma forma se coloca la plomada del punto 3.

La tarea de dar dirección a una excavación mediante los puntos laterales se realiza en el orden siguiente:

Entre los puntos laterales iniciales y los que se desea colocar se sitúa el teodolito en un trípode o en una consola (fig. 3.14). En el limbo vertical se marca una lectura igual al ángulo de inclinación.

Después, apuntamos el anteojo hacia los puntos iniciales (1) y a los del proyecto (2) marcando en los peones de la fortificación el nivel visual. Con el anteojo en la segunda posición se repite la misma operación. La distancia entre los niveles de las visuales se divide a la mitad, se marca el punto medio y calculamos la corrección Δh , por medio de la cual se obtiene el nivel corregido marcándolo en la fortificación:

$$\Delta h = \frac{b^2}{2D} \tan \delta \quad (3.20)$$

donde:

b - distancia desde el teodolito hasta la pared de la excavación en la cual está colocado el punto fijo dado;

D - distancia desde la estación del teodolito hasta el punto fijo, que se mide a lo largo del lado de la excavación con una precisión de ± 10 cm.

Las correcciones se marcan desde el punto medio de la visual hacia abajo si el punto está situado en la dirección de ascenso de la excavación con respecto al teodolito, del punto medio de la visual hacia arriba en la dirección de descenso.

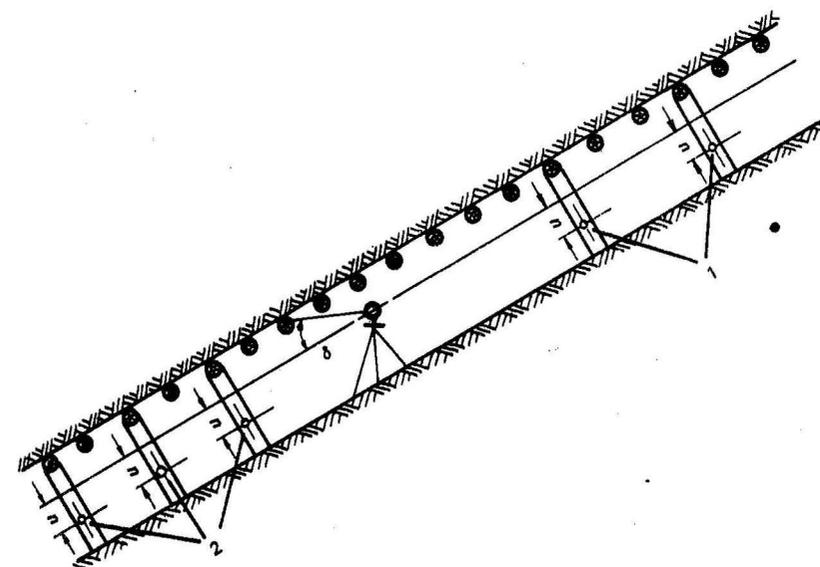


Fig. 3.14 Dirección de una excavación en un plano vertical por medio de puntos laterales

Posteriormente, a partir de la visual corregida, se mide en los puntos fijos iniciales el segmento n a lo largo de la normal del eje inclinado de la excavación. Al marcar la referida distancia a partir de la visual corregida, se fija la posición de los puntos fijos laterales.

3.7 DIRECCIÓN DE LAS CURVATURAS EN LAS EXCAVACIONES MINERAS

La tarea de dar dirección a las curvaturas en las excavaciones mineras puede realizarse por diferentes métodos, aunque los más difundidos son el método de las perpendiculares, el de las cuerdas prolongadas y el de los radios.

Método de las perpendiculares

Entre los puntos 1 y 4 (fig. 3.15) se traza en la excavación una curva de radio R y de ángulo central α_0 en la cual los puntos 1 y 4 son los puntos inicial y final respectivamente.

Conociendo R y α_0 es fácil calcular la longitud de las cuerdas 1-2, 2-3 y 3-4 y los ángulos horizontales en los vértices 1, 2, 3 y 4. De acuerdo con el ángulo calculado β le damos dirección a cada una de las cuerdas.

Para el cálculo de la curva se debe confeccionar un gráfico a escala 1:50 o 1:100 y cada 1 a 2 m trazamos perpendiculares a las paredes de la excavación.

Para obtener los valores de las longitudes de las cuerdas y de los ángulos de giro se debe calcular el ángulo central de una cuerda por la fórmula:

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{n} \quad (3.21)$$

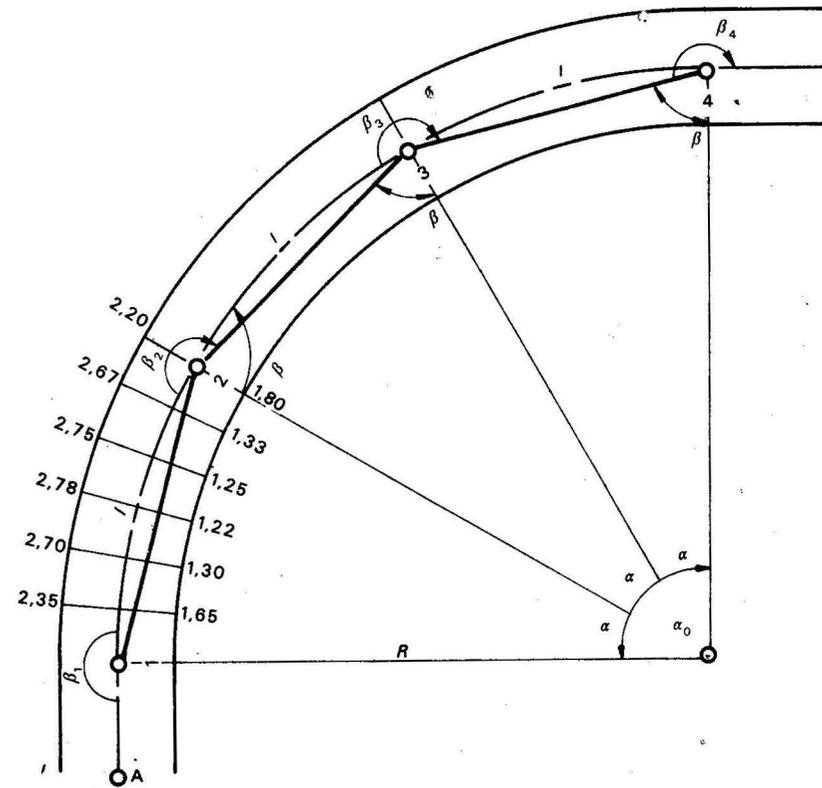


Fig. 3.15 Dirección de una curvatura por el método de las perpendiculares

El valor de la longitud de la cuerda se obtiene por la fórmula:

$$l = 2R \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \quad (3.22)$$

Para obtener el ángulo de giro β_1 en el punto 1 tenemos que calcular el valor del ángulo β (ver fig. 3.15)

$$2\beta = 180^\circ - \alpha$$

$$\beta = \frac{180^\circ - \alpha}{2} = 90^\circ - \frac{\alpha}{2} \quad (3.23)$$

Los ángulos de giro en el punto inicial y en el final de la curva se calculan por la fórmula:

$$\beta_1 = \beta_4 = 360^\circ - (90^\circ + \beta) \quad (3.24)$$

Los ángulos de giro en los puntos intermedios (2 y 3) se calculan por la fórmula:

$$\beta_2 = \beta_3 = 360^\circ - 2\beta \quad (3.25)$$

Concluida esta tarea se determinan gráficamente, con intervalos de 1 a 2 m, las distancias perpendiculares a la cuerda, anotando las distancias en el esquema.

Para ejecutar la tarea, el topógrafo debe replantear los puntos de acceso a la curvatura A y 1 dándole luego la dirección de la cuerda número uno y fijando al final el punto 4. De esta forma continúan repitiéndose las operaciones hasta llegar al punto final.

El esquema del proyecto de la construcción debe tener dos copias, una para el topógrafo y otra para el jefe de la brigada de mineros que construyen la galería.

Método de las cuerdas prolongadas

Con este método es posible realizar la excavación con curvatura sin necesidad de emplear el teodolito; en la parte recta de la excavación se replantean dos puntos A y K (fig. 3.16), que se encuentran en el eje de la excavación. El punto A debe encontrarse en el límite de la parte recta con la curva. Desde el punto A y en dirección a K medimos la distancia $2l$ (l - longitud de la cuerda) y marcamos el punto C. Desde los puntos A y C, con una intersección, situamos el punto B. Los lados de la intersección lineal son $AB = 2l$ y $BC = d$

La distancia d se calcula por la fórmula:

$$d = \frac{l}{R} \quad (3.26)$$

A partir de los puntos A y B determinamos la dirección del primer eslabón rectilíneo de la curva. Después de laboreada una longitud l en la misma dirección de BA situamos el punto A_1 en la prolongación de dicha línea. Desde los puntos A y A_1 se establece una intersección lineal con las longitudes $A_1B_1 = l$ y $AB_1 = d$, determinándose la posición del punto B_1 . Se efectúa el laboreo de un tramo en la dirección indicada; los puntos A_1 y B_1 determinarán la dirección del segundo eslabón, y así sucesivamente.

El ancho de la excavación se controla con las distancias medidas desde el eje de la excavación en los puntos A y A_1 hasta las paredes de esta.

Método de los radios

Para dar solución a la orientación de la curvatura de una excavación por el método de los radios es necesario confeccionar un gráfico a escala grande (1 : 50, 1 : 100). A partir del gráfico determinamos las distancias de la cuerda hasta la pared de la excavación siguiendo la dirección de los radios de giro (fig. 3.17); después, calculamos la distancia entre los ejes de los peones vecinos l_n e interiores l_i con los lados de la excavación. Las distancias indicadas pueden ser calculadas por las fórmulas:

$$l_n = l + \Delta l = l + l \frac{S}{2R} \quad (3.27)$$

$$l_i = l - \Delta l = l - l \frac{S}{2R} \quad (3.28)$$

donde:

l - distancia entre los ejes de los cuadros en el tramo rectilíneo (por el pasaporte de fortificación);

Δl - diferencia entre los peones de la fortificación;

S - ancho de la excavación (por el pasaporte);

R - radio de curvatura del tramo curvo.

3.8 TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS INCLINADOS

Los elementos principales del esquema geométrico de un pozo inclinado son: el eje del pozo, el centro del pozo y el eje de ascenso.

Los ejes del pozo inclinado son dos líneas rectas, una de las cuales está dirigida a lo largo del pozo y coincide con su eje geométrico; la otra está dirigida perpendicularmente a la primera. El primer eje, dirigido a lo largo del pozo, se llama eje principal del pozo inclinado. El centro del pozo es el punto de intersección de los ejes.

El eje de ascenso del pozo inclinado es la recta paralela al eje principal, el cual coincide con el eje de la única vía (en el caso de una vía) o el medio de la distancia entre los ejes cuando existe una doble vía en el pozo.

Los materiales iniciales para la ejecución del pozo son:

1. El plano y las secciones longitudinales y transversales del pozo.
2. El plano y las secciones de los tramos de la unión del pozo con los niveles principales.
3. Las coordenadas del centro y el acimut del eje del pozo.

Los pozos inclinados frecuentemente se trazan siguiendo la dirección del estrato.

La condición necesaria para la construcción del pozo es la coincidencia del eje principal de éste con la dirección del buzamiento del estrato.

Si en el proyecto analizado el estrato sale a la superficie, el trazado del centro y del eje del pozo se realiza utilizando los datos del proyecto. Si el estrato sale por debajo de un sedimento con una potencia grande, desde el principio el trazado del centro del pozo se realiza sobre la base de las mediciones en el terreno.

Frecuentemente conviene precisar los elementos de la estratificación, que se toman de la información obtenida para el proyecto. Con este fin se realiza un control en la determinación de los elementos de la estratificación de los materiales obtenidos en los trabajos de prospección.

Cuando los datos de la prospección son insuficientes, para el control en la determinación de los elementos de la estratificación, recurrimos a una tarea más simple, que es hacer el proyecto del pozo sobre la base de las perforaciones de control. Las perforaciones frecuentemente se hacen por el eje del pozo o por una línea paralela a él.

Utilizando los materiales de información provenientes de los pozos de control precisamos los elementos de la estratificación y tomamos decisiones sobre la ubicación del centro del pozo basándonos en datos más precisos.

La construcción del pozo comienza con la colocación del marco patrón. Si el buzamiento del estrato es muy grande, el marco patrón se puede colocar horizontalmente (fig. 3.18a) o perpendicularmente al eje del pozo (fig. 3.18b). El control en la colocación del marco en el primer caso se efectúa de igual forma que en el caso de un pozo vertical. En el segundo caso para llevar a cabo el control se usan plomadas, que se fijan a un barreno tendido a todo lo largo del eje del pozo.

Para un buzamiento suave del estrato, grandes secciones del pozo se pueden hacer a cielo abierto. En este caso, después de marcar el centro del pozo se lleva

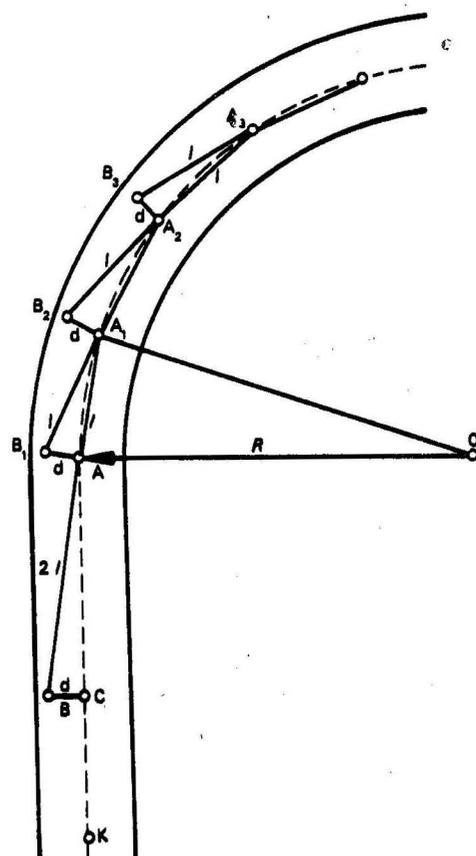


Fig. 3.16 Dirección de una curvatura por el método de las cuerdas prolongadas

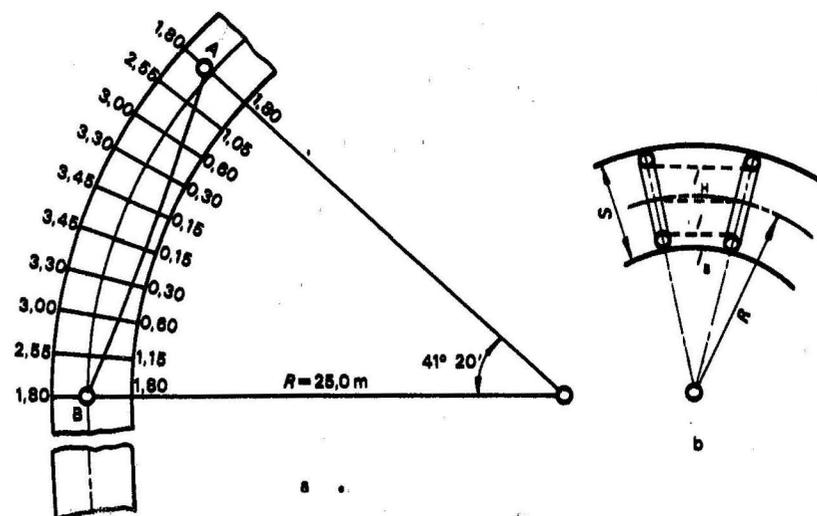


Fig. 3.17 Dirección de una curvatura por el método de los radios

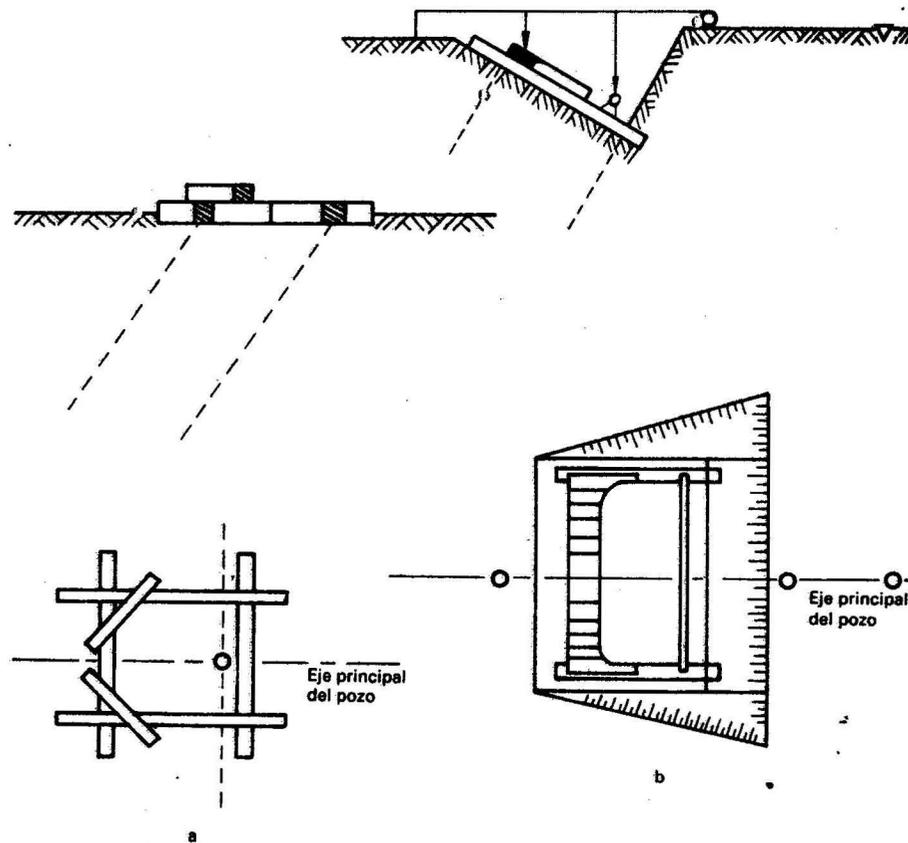


Fig. 3.18 Colocación del marco patrón

a cabo la señalización de la zanja de cimentación. La dirección del eje y de la pendiente del fondo de la zanja de cimentación debe corresponder con la dirección y el ángulo de inclinación del eje del pozo.

Después de terminar el movimiento de tierra se construye la fortificación permanente del primer marco. El control de la sección proyectada y de la correcta disposición de la fortificación la efectuamos desde el eje de la zanja de cimentación.

Como tarea final de la construcción de la fortificación del primer marco realizamos el trazado y fijación de la dirección del pozo (el eje del trazado) que apuntaremos próximo a una de las paredes del pozo paralelamente a su eje (fig. 3.19). La distancia $\Delta S = 0,5 S - S_0$ la escogemos de tal dimensión que podamos situar una consola con un teodolito. El trazado del eje lo realizaremos desde los puntos del eje principal por medio de la medición de las distancias S_0 perpendicularmente al eje principal del pozo.

El trazado de los puntos para iniciar los trabajos de corte en la estación del pozo inclinado en el nivel dado H_0 lo realizamos mediante el replanteo del tramo inclinado L (fig. 3.20) calculada por nivelación trigonométrica. Por ejemplo, para

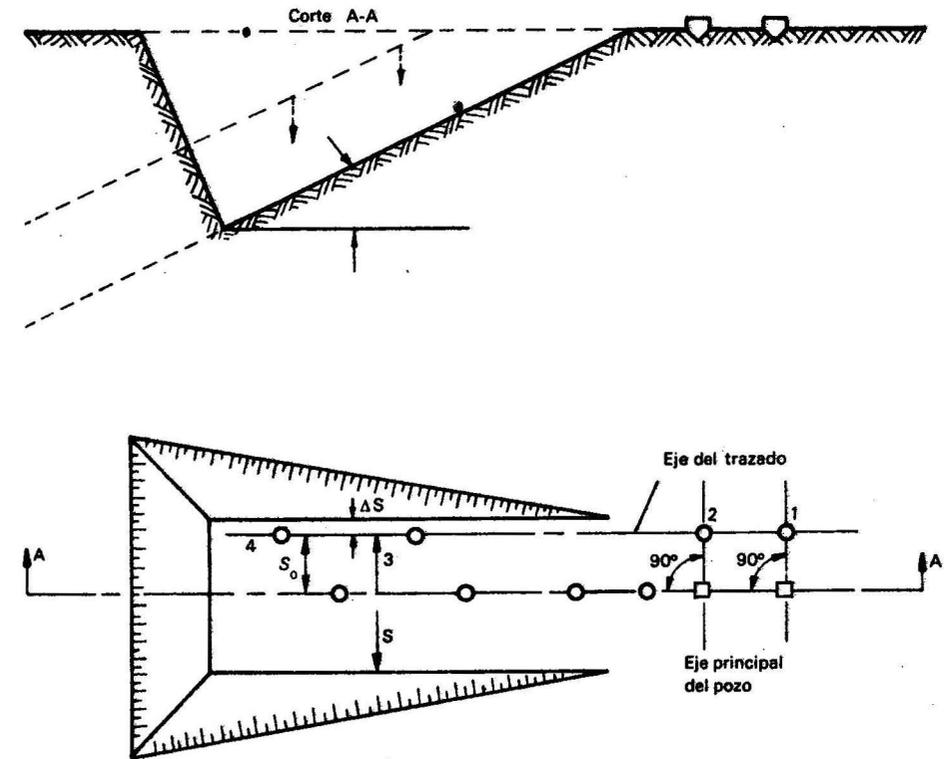


Fig. 3.19 Esquema de la apertura de un pozo inclinado

la tarea de recorte del nivel H_0 es imprescindible fijar el punto b' y para ello en el punto A de cota H_A estacionamos el teodolito y en el punto B, situado también en el eje del trazado un poco después del nivel que deseamos abrir, colgamos una plomada. Midiendo el ángulo de inclinación δ , calculamos la distancia L por la fórmula:

$$L = \frac{(H_A - H_0) - h_0}{\text{sen } \delta} \quad (3.29)$$

donde:

- H_A - cota del punto A;
- H_0 - cota proyectada para el nivel nuevo;
- h_0 - distancia desde el punto A hasta el extremo de la plomada;
- δ - ángulo de inclinación.

Siguiendo la dirección del eje de la visual y con la distancia L calculada con anterioridad situamos el punto b' en el nivel H_0 . Este punto, con la ayuda de una plomada, lo marcamos en el techo con la señal topográfica b y medimos el tramo bb' . Si en la alineación AB colocamos la plomada a , la alineación de las plomadas a y b indicará la dirección para el rompimiento de la cámara de enganche.

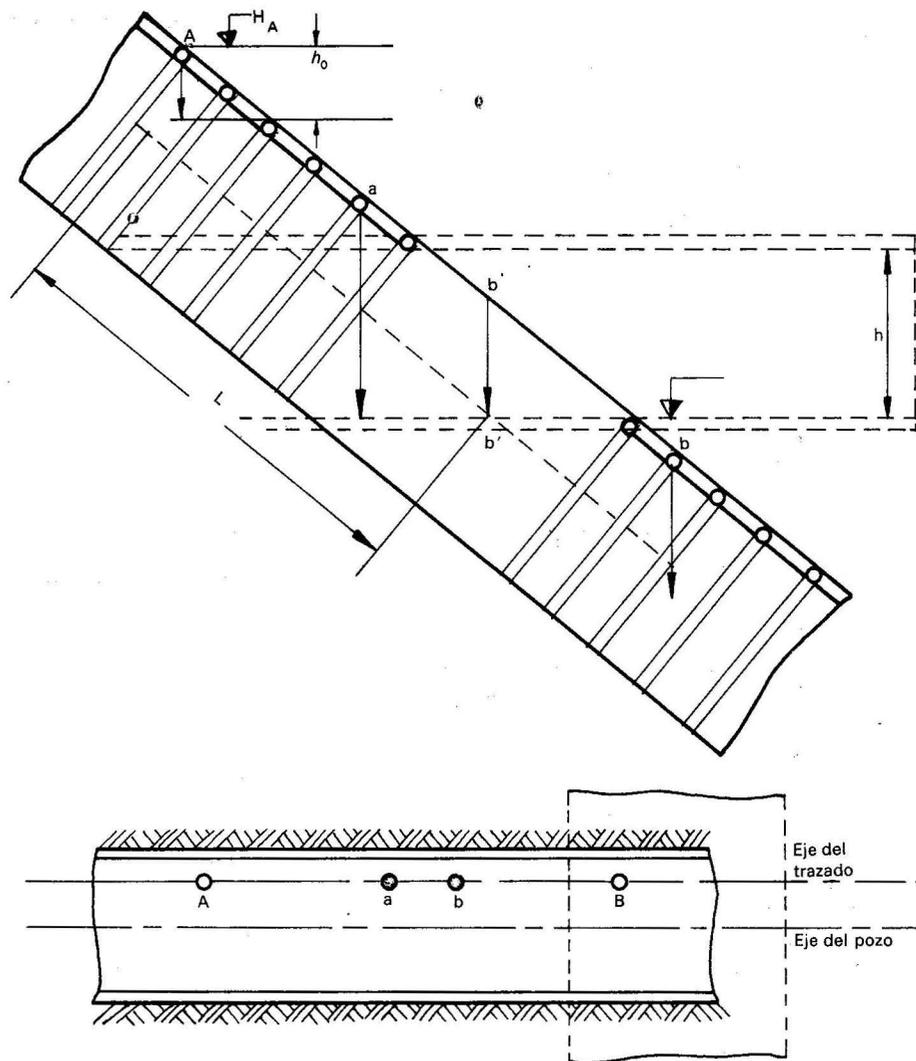


Fig. 3.20 Esquema del corte de la estación del pozo

A todos los trabajos que realizamos para la construcción y fortificación del pozo es obligatorio hacerle su documentación y elaborar los planos y cortes, los que deben cuidarse para mantenerlos en buen estado.

3.9 TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EXCAVACIONES VERTICALES

Durante el proceso de construcción y profundización de los pozos verticales en las minas es necesario efectuar mediciones topográficas para controlar la ejecución de las referidas tareas.

Determinación de las coordenadas del centro del pozo

Una de las tareas a realizar, tanto en el proceso de profundización del pozo como en su construcción, es la determinación de las coordenadas del centro del pozo. En la figura 3.21 está representada la sección rectangular de un pozo en el nivel de trabajo. Las coordenadas del centro del pozo las determinamos por las fórmulas siguientes:

$$X_p = \frac{X_a + X_b + X_c + X_d}{4} \quad (3.30)$$

$$Y_p = \frac{Y_a + Y_b + Y_c + Y_d}{4}$$

donde:

a,b,c,d - puntos angulares del pozo.

En la expresión anterior se observa que para obtener las coordenadas del centro del pozo es necesario obtener previamente las coordenadas de los cuatro puntos de la sección del pozo.

Para realizar cualquier tipo de medición en el pozo, debemos situar en sus proximidades dos puntos de coordenadas y cotas conocidas; en nuestro caso serán los puntos I y II (fig. 3.21). Con el fin de realizar las mediciones, en el punto I estacionamos el teodolito y en el punto II situamos una plomada o un jalón.

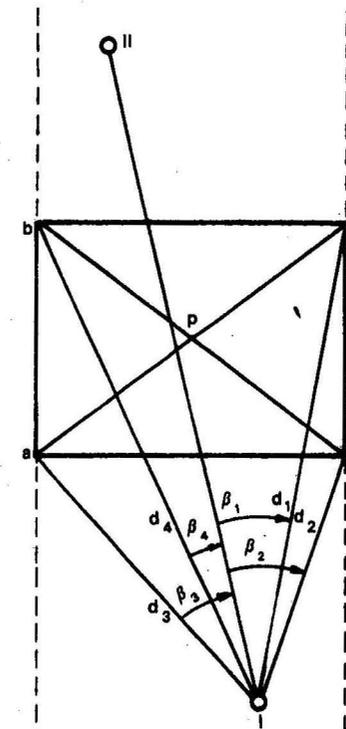


Fig. 3.21 Determinación de las coordenadas del centro de un pozo de sección rectangular

En los puntos a, b, c y d situamos algún tipo de señal o plomada y comenzamos a medir los ángulos $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 comprendidos entre la dirección inicial I-II y las direcciones I-d, I-c, I-a y I-b respectivamente. Para completar los datos necesarios para obtener las coordenadas de los referidos puntos medimos las distancias d_1, d_2, d_3 y d_4 .

Para efectuar el cálculo de las coordenadas establecemos un sistema condicional de coordenadas, donde el punto I será el origen y la línea I-II será el eje de las ordenadas.

Para los puntos c y d, los ángulos medidos serán iguales al acimut

$$\begin{aligned} \alpha_{1-c} &= \beta_1 \\ \alpha_{1-d} &= \beta_2 \end{aligned} \quad (3.31)$$

En el caso de las direcciones I-a y I-b, el valor de los acimuts estará expresado por las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} \alpha_{1-a} &= 360^\circ - \beta_3 \\ \alpha_{1-b} &= 360^\circ - \beta_4 \end{aligned} \quad (3.32)$$

Las coordenadas de los puntos se obtienen por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} X_a &= d_3 \operatorname{sen} \alpha_{1-a} = d_3 \operatorname{sen} (360^\circ - \beta_3) \\ Y_a &= d_3 \operatorname{cos} \alpha_{1-a} = d_3 \operatorname{cos} (360^\circ - \beta_3) \\ X_b &= d_4 \operatorname{sen} \alpha_{1-b} = d_4 \operatorname{sen} (360^\circ - \beta_4) \\ Y_b &= d_4 \operatorname{cos} \alpha_{1-b} = d_4 \operatorname{cos} (360^\circ - \beta_4) \\ X_c &= d_1 \operatorname{sen} \alpha_{1-c} = d_1 \operatorname{sen} \beta_1 \\ Y_c &= d_1 \operatorname{cos} \alpha_{1-c} = d_1 \operatorname{cos} \beta_1 \\ X_d &= d_2 \operatorname{sen} \alpha_{1-d} = d_2 \operatorname{sen} \beta_2 \\ Y_d &= d_2 \operatorname{cos} \alpha_{1-d} = d_2 \operatorname{cos} \beta_2 \end{aligned} \quad (3.33)$$

Cuando la sección del pozo es circular, las coordenadas del centro del pozo pueden calcularse en forma analítica o gráfica (fig. 3.22). La tarea se lleva a cabo determinando inicialmente las coordenadas de tres puntos de la sección del pozo (a, b y c). En un sistema de ejes de coordenadas (X, Y) situamos los puntos y dibujamos la forma circular de la sección del pozo. Trazamos las cuerdas ab, bc y ac marcando los puntos medios de estas (I, II y III); desde estos puntos trazamos perpendiculares y donde se intercepten obtendremos la posición del punto P (centro del pozo). Las coordenadas (X_p, Y_p) las determinamos proyectando el punto P en los ejes de coordenadas.

Orientación de la apertura de un pozo desde abajo hacia arriba

En algunas ocasiones, el laboreo de los pozos verticales lo realizamos de abajo hacia arriba. Cuando aplicamos esta forma de laboreo al pozo, el nivel desde el cual vamos a preparar el pozo debe abrirse por uno de los métodos siguientes:

1. Construcción de una galería inclinada en uno de los mantos desde el nivel en función hasta el de proyección.
2. Profundización, a través del pozo ciego, de un pozo (de ventilación) hasta el nivel proyectado, llevando la excavación bajo el pozo de mina.
3. Apertura del nivel inferior por un pozo ciego, llevando la excavación por debajo del pozo de la mina, el cual debe abrirse desde abajo hacia arriba.

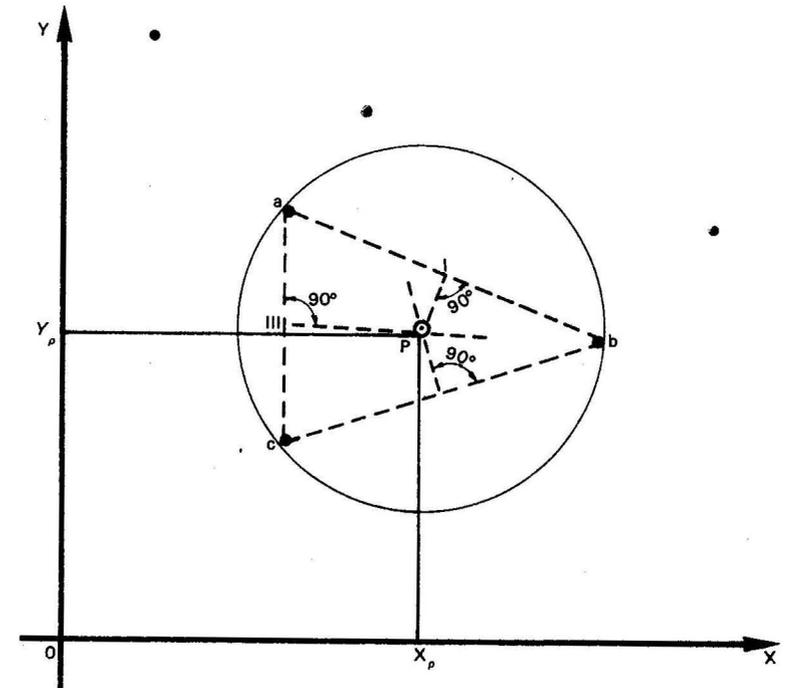


Fig. 3.22 Determinación de las coordenadas del centro de un pozo de sección circular

En la figura 3.23 está representado el esquema del laboreo del pozo No. 2 de una mina desde el nivel 428 hasta el nivel 354.

El nivel 428 se laboreo desde la galería inclinada L_2 , cuyo punto inicial se encuentra en el nivel 354.

Desde el nivel 428 comenzamos el laboreo de una galería de acceso para situar el punto P' perteneciente al eje del pozo No.2 en el nivel 428.

La solución de la tarea comienza con el establecimiento de un sistema condicional de coordenadas con el origen en el punto 1 y el eje de las abscisas coincidiendo con la dirección 1-2. Después de determinar las coordenadas del centro del pozo (P) en el nivel 354, iniciamos una poligonal desde los puntos 1 y 2 del nivel 354 a través de los puntos 3, 4, 5 hasta el punto 10 en el nivel 428 donde medimos el ángulo β_{10} .

Para situar el punto de inicio de la galería de acceso y el punto P' perteneciente al eje del pozo es necesario calcular los ángulos α, β y γ y las longitudes a, b y c (fig. 3.24).

Los ángulos los calculamos a partir de la diferencia de los acimuts de los lados entre los cuales se encuentra cada uno de dichos ángulos.

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_{10-P'} - \alpha_{10-11} \\ \beta &= \alpha_{P'-11} - \alpha_{P'-10} \\ \gamma &= \alpha_{11-10} - \alpha_{11-P'} \end{aligned} \quad (3.34)$$

El acimut α_{10-11} es conocido de la poligonal trazada a través de las galerías, el acimut $\alpha_{P'-11}$ es el acimut de la galería de acceso, establecido en el proyecto.

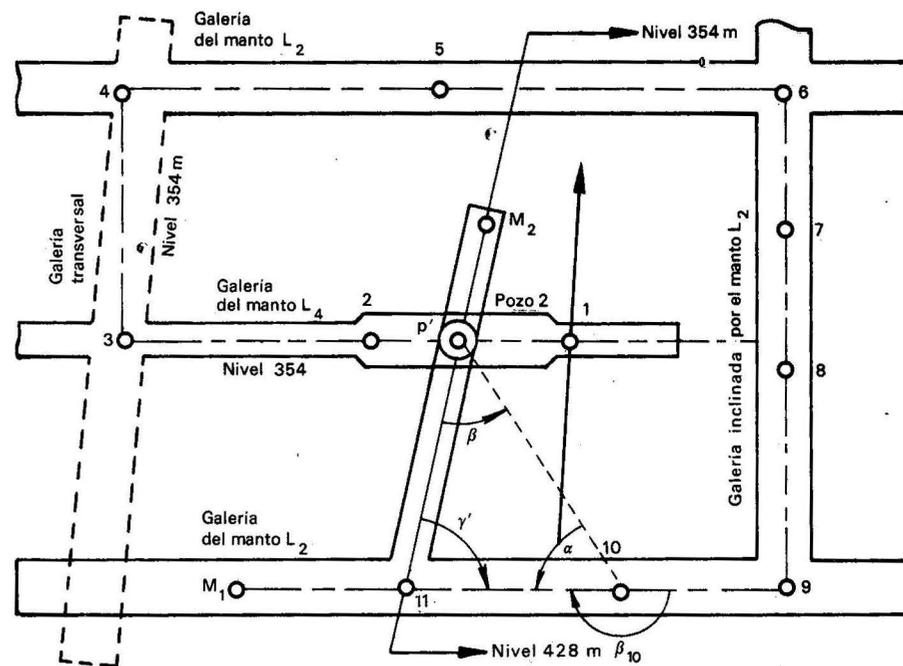


Fig. 3.23 Orientación de un pozo construido de abajo hacia arriba

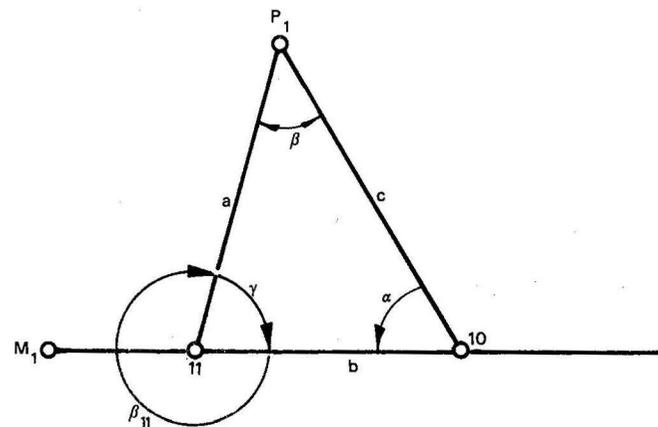


Fig. 3.24 Esquema para replantear el centro del pozo y dar dirección a la galería de acceso

El acimut $\alpha_{P'-11}$ es posible calcularlo por la tarea topográfica inversa, tomando como coordenadas para el punto P' las coordenadas gráficas en el plano.

Las longitudes las calculamos por la ley de los senos (fig. 3.24).

$$\begin{aligned} a &= \frac{c}{\text{sen } \gamma} \text{sen } \alpha \\ b &= \frac{c}{\text{sen } \gamma} \text{sen } \beta \end{aligned} \quad (3.35)$$

Para situar el punto 11 en la dirección 10-11, replanteamos la longitud b , con lo cual quedará perfectamente definido el punto 11. La dirección de la galería de acceso (fig. 3.25) la trazamos estacionando el teodolito en el punto 11 y haciendo puntería al punto 10 fijamos en el limbo el ángulo β_{11} , cuyo valor será igual a $360^\circ - \gamma$. Después de haber girado el referido ángulo replanteamos la distancia a , quedando perfectamente definida la posición del punto P' , centro del pozo en el nivel 428.

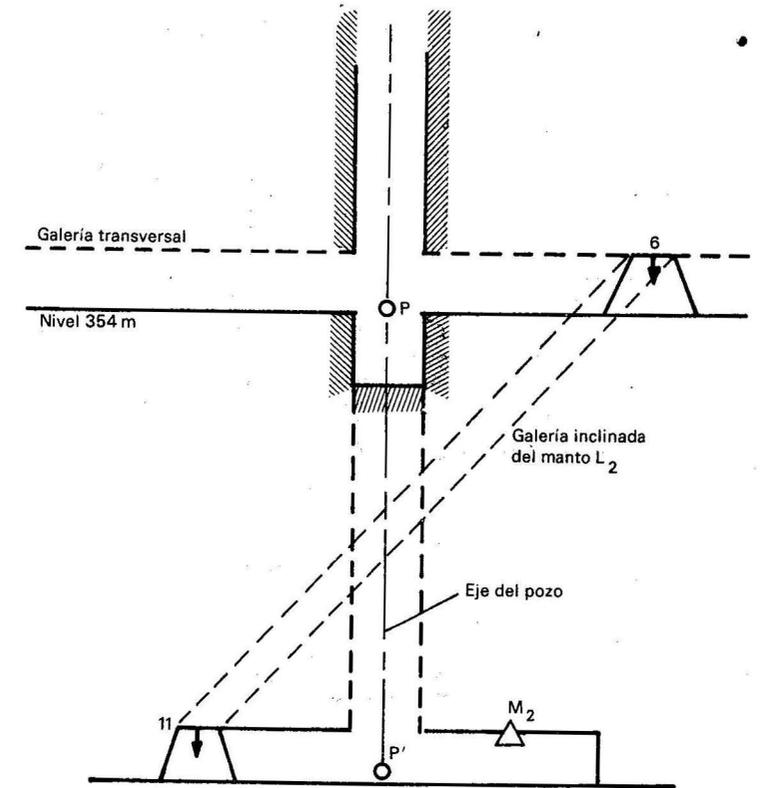


Fig. 3.25 Corte por la galería de acceso

Orientación de la profundización de un pozo

La profundización de los pozos de mina es una tarea que se presenta en un gran número de minas al proyectarse la explotación de nuevos cuerpos de mineral y como consecuencia de esto surge la necesidad de profundizar el pozo y abrir nuevos niveles para la extracción de los nuevos cuerpos de mineral.

Para la profundización del pozo la parte 1 del colector de agua, que está situado debajo del compartimiento de escaleras lo aislamos con un muro (2) de hormigón armado (fig. 3.26a y b).

La profundización del pozo comienza inmediatamente debajo del compartimiento de escaleras mediante el laboreo de un pozo interior ciego (3) hasta los límites del pilar. La parte del pozo de la mina situada debajo del pilar la ampliamos hasta alcanzar la sección completa y continuamos profundizando hasta el nivel proyectado.

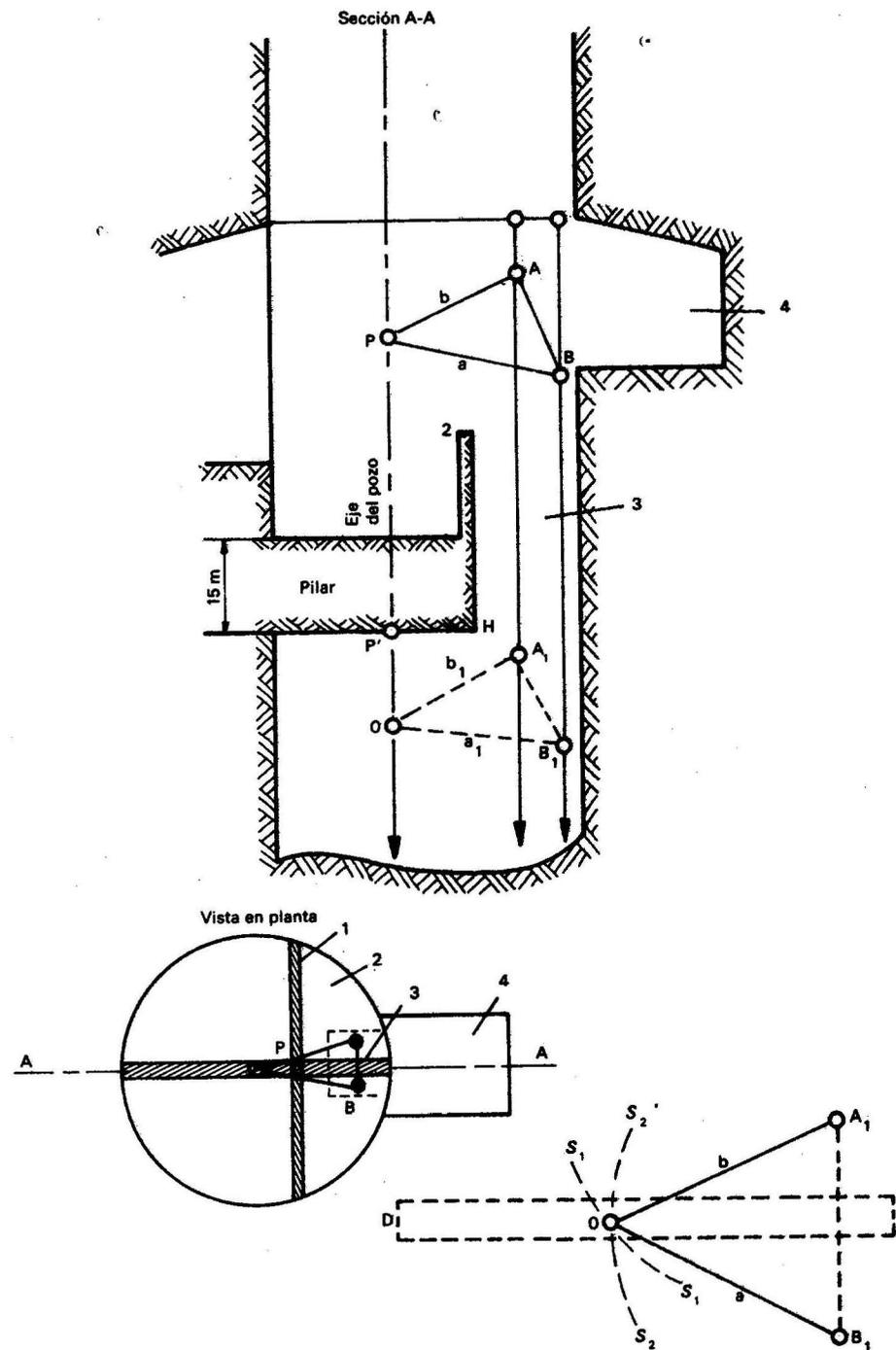


Fig. 3.26 Profundización de un pozo

En el nivel activo, el pozo ciego limita con una cámara (4) utilizada durante el periodo de profundización para situar un gúinche con el cual extraemos las rocas. Para profundizar la parte del pozo situada debajo del nivel es necesario trasladar el centro del pozo P hacia el horizonte de profundización por medio del punto O y después este punto proyectado en la superficie del pilar, designando este último punto por P'. Si la tarea la realizamos con el rigor requerido, es evidente que los puntos P, O y P' están en la misma vertical; de ahí que:

$$X_p = X_0 = X_{p'} \quad (3.36)$$

$$Y_p = Y_0 = Y_{p'}$$

donde:

X_p, Y_p - coordenadas del centro del pozo en el nivel activo.

La tarea de proyectar el punto P' en la superficie del pilar comienza al descender a través del pozo ciego 3 las plomadas AA₁ y BB₁ provistas de dos pesos que oscilan entre 10 y 15 kg. En el nivel activo establecemos un sistema condicional de coordenadas y determinamos las coordenadas del centro del pozo y de las plomadas. Después, utilizando la tarea topográfica inversa calcularemos las longitudes a y b del triángulo de enlace PAB en el nivel activo:

$$a = \sqrt{(X_B - X_p)^2 + (Y_B - Y_p)^2} \quad (3.38)$$

$$b = \sqrt{(X_A - X_p)^2 + (Y_A - Y_p)^2} \quad (3.39)$$

La proyección del centro del pozo P en el nivel de profundización la realizamos del modo siguiente: en el nivel de profundización entre los puntos A₁ y B₁ de las plomadas, fijamos, a la altura del techo, la barra DD (fig. 3.26c). Con la ayuda de una cinta hacemos coincidir la marca cero con la plomada A₁ trazamos el arco S₁ S₁ tomando como radio el valor de b. Desde la plomada B₁ y con un radio a trazamos el arco S₂ S₂.

El punto de intersección de los arcos S₁ S₁ y S₂ S₂ nos dará la posición del punto O. Para trasladar O a la superficie del pilar usamos una plomada de cordel y proyectamos en la superficie del pilar el punto P' (eje del pozo) estabilizándolo con una señal permanente.

TRABAJOS TOPOGRÁFICO MINEROS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS EMPRESAS MINERAS

4.1 OBJETIVOS E IMPORTANCIA DE LOS TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA MINERA EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS EMPRESAS MINERAS

Las tareas fundamentales de la topografía minera durante el periodo de construcción de las empresas mineras son las siguientes:

- Estudio preliminar del proyecto de la obra (memoria y parte gráfica).
- Replanteo en el terreno de los esquemas geométricos de las construcciones en la superficie y en la mina.
- Establecimiento, durante el periodo de construcción y laboreo de las excavaciones, de los controles topográficos que garanticen el estricto cumplimiento de los proyectos.
- Levantamiento y ejecución de los planos y cortes que caracterizan el estado real de las construcciones y de las excavaciones mineras.

La tarea principal de los trabajos topográficos durante la construcción de las minas es llevar del plano al terreno todos los esquemas geométricos proyectados para formar parte de la empresa minera. El topógrafo encargado de ejecutar la tarea de replantear los objetos de obra, debe realizar ante todo un estudio minucioso de la parte gráfica del proyecto como son los planos y las secciones verticales y también los dibujos de los detalles, en los cuales se encuentran todas las dimensiones necesarias para el trazado. Los dibujos deben tener algunos datos de gran necesidad, entre los cuales podemos señalar los siguientes:

1. Especificar el eje que tomaremos como inicial y su punto de comienzo.
2. Precisar la referencia para el sistema altimétrico que adoptaremos para transmitir las cotas a los detalles de la construcción.
3. Verificar la mutua correspondencia de las magnitudes lineales de los ángulos y de las cotas en los dibujos del proyecto, para comprobar las magnitudes totales de la construcción con la suma de las magnitudes de los detalles, comprobar las cotas de los puntos, calcular las coordenadas, los vértices del polígono cerrado, etcétera.

El topógrafo debe tener una idea clara en cuanto al objetivo de la construcción y de las condiciones técnicas del trabajo. En aquellos casos que el objetivo

que se debe lograr mediante el trazado sea la instalación de equipos, el topógrafo debe tener presente los requisitos para su correcta instalación.

4.2 TRABAJOS DE REPLANTEO PARA EL TRAZADO DE LAS CONSTRUCCIONES EN LA SUPERFICIE DE LA MINA

Con anterioridad al replanteo de los elementos geométricos de una obra, es necesario determinar la exactitud requerida, ya que sobre esta base se establece el plan general de trabajo y los métodos para efectuar las mediciones; además, se seleccionan los instrumentos apropiados y los puntos iniciales.

En la elección de los puntos iniciales o de partida, es posible tomar los puntos de la red de triangulación de I, II, III y IV órdenes, los puntos de poligonales, los de microtriangulaciones y los de cota fija.

Los puntos de triangulación, de poligonales y los de cota fija deben tener su descripción oficial, en la cual estén especificadas las coordenadas, acimuts y cotas. No está permitido efectuar los replanteos desde puntos determinados con una exactitud dudosa o desde puntos propensos a los efectos de los trabajos mineros o derrumbes.

Para densificar la red de puntos que sirven de base a los replanteos, debemos escoger lugares protegidos que ofrezcan seguridad contra la destrucción.

Antes de comenzar la tarea es necesario familiarizarse con las condiciones existentes en el terreno, verificar si la construcción será permanente o temporal y en general tomar todas aquellas medidas que consideremos de utilidad para una exitosa ejecución de la tarea.

Los trabajos de trazado que realiza el topógrafo durante la construcción de una mina comprenden el replanteo de los siguientes elementos: ángulos horizontales, distancias horizontales, un punto de coordenadas conocidas, un punto de cota conocida, un eje, líneas horizontales e inclinadas y curvas horizontales.

Replanteo de un ángulo horizontal

En el replanteo de un ángulo horizontal (fig. 4.1), y en dependencia de la exactitud requerida, es posible recomendar dos métodos. El primer método lo empleamos cuando la exactitud requerida en el replanteo del ángulo es menor que la exactitud del limbo horizontal del teodolito.

En el punto A, perteneciente a la dirección AB marcada en el terreno (fig. 4.1a), estacionamos el teodolito. Con el limbo vertical en la posición izquierda fijamos el limbo horizontal, dirigimos el anteojo hacia el punto B y realizamos la lectura a_1 , en la cual situamos el cero de la alidada, soltando previamente el tornillo de fijación. En la dirección de la visual se presenta el punto c_1 . Damos vuelta de campana y con el limbo vertical a la derecha repetimos la operación hasta obtener en la visual el punto c_2 . La posición final del punto C estará en el punto medio entre C_1 y C_2 . Para controlar el trabajo, el ángulo BAC debe medirse comparándolo con el ángulo dado β . La diferencia entre ellos no debe superar la exactitud requerida.

El segundo método se emplea para una observación más exacta del ángulo. Situamos el punto C_1 y al medir el ángulo en la primera posición del anteojo (fig. 4.1b), obtenemos el ángulo BAC_1 medido con la exactitud requerida. Com-

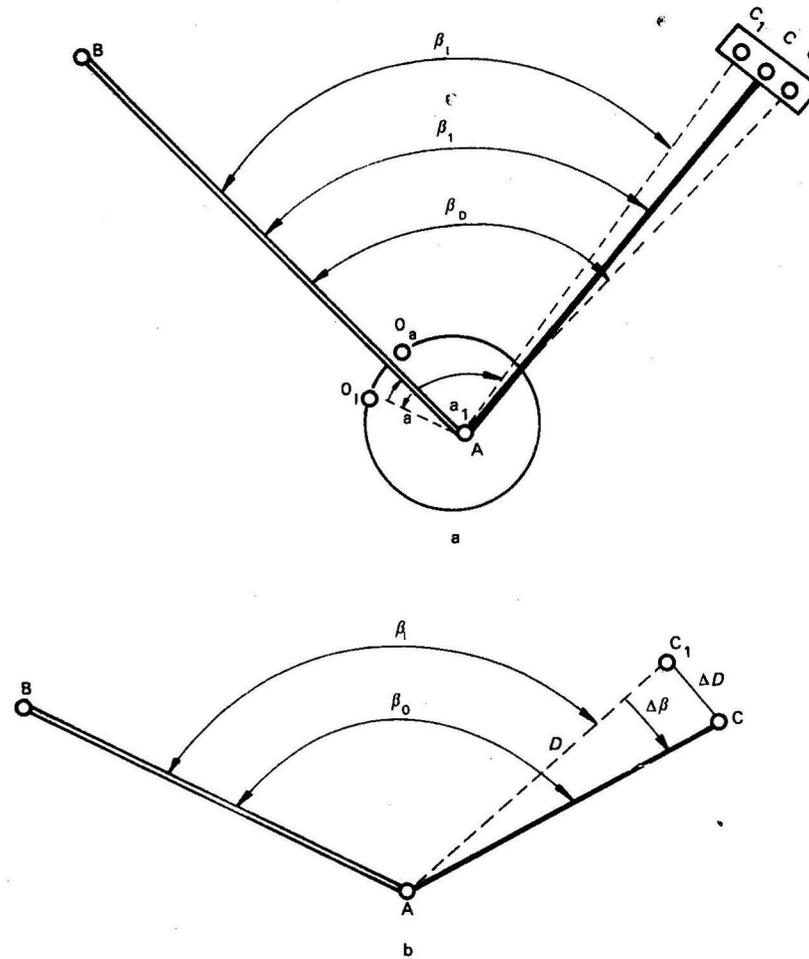


Fig. 4.1 Replanteo de un ángulo horizontal

parando el valor del ángulo $BAC_1 = \beta_1$ (ángulo medido), con el valor dado del ángulo β_0 obtenemos la diferencia $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_0$ que comparamos con la exactitud requerida para la medición. Si $\Delta\beta$ es mayor que la exactitud requerida, se debe comprobar el ángulo BAC_1 . Para esto, se mide la distancia $AC_1 = D$, y calculamos la corrección lineal ΔD :

$$\Delta D = \frac{d \Delta\beta''}{\rho''} \quad (4.1)$$

Esta corrección nos dará el valor que es necesario desplazar el punto C_1 para obtener el ángulo buscado β_0 . Después de fijar el punto C realizamos una medición de control del ángulo BAC . La dirección del desplazamiento depende de la diferencia $\Delta\beta$.

El replanteo de un ángulo con un teodolito de anteojo excéntrico lo realizamos en forma análoga al primer caso.

Debemos señalar que el replanteo según el primer método es posible, y muchos así lo prefieren, partiendo de la dirección inicial (AB) con una lectura en el teodolito de cero grado.

Replanteo de una distancia horizontal

En el replanteo de distancias horizontales (fig. 4.2) pueden presentarse dos casos.

Primer caso: La distancia proyectada D no es muy grande (menor que la longitud de la cinta) y la superficie del terreno es uniforme. El replanteo de la línea lo realizamos de la forma siguiente:

Estacionamos el teodolito en el punto inicial, tomamos dirección con el jalón situado en otro punto y medimos la lectura del instrumento. Midiendo el ángulo de inclinación calculamos la distancia inclinada y la marcamos en el terreno.

$$L = \frac{d_0}{\cos \delta} \quad (4.2)$$

donde:

d_0 - longitud horizontal proyectada que incluye las correcciones por temperatura y comparación.

Este mismo caso puede presentarse cuando queremos replantar una distancia horizontal D , y es necesario calcular la distancia que realmente vamos a replantar por la fórmula:

$$L = D = \Delta L_c + \Delta L_i + \Delta L_t \quad (4.3)$$

donde:

D - distancia horizontal según el proyecto;

ΔL_c - corrección por comparación;

ΔL_i - corrección por inclinación;

ΔL_t - corrección por temperatura.

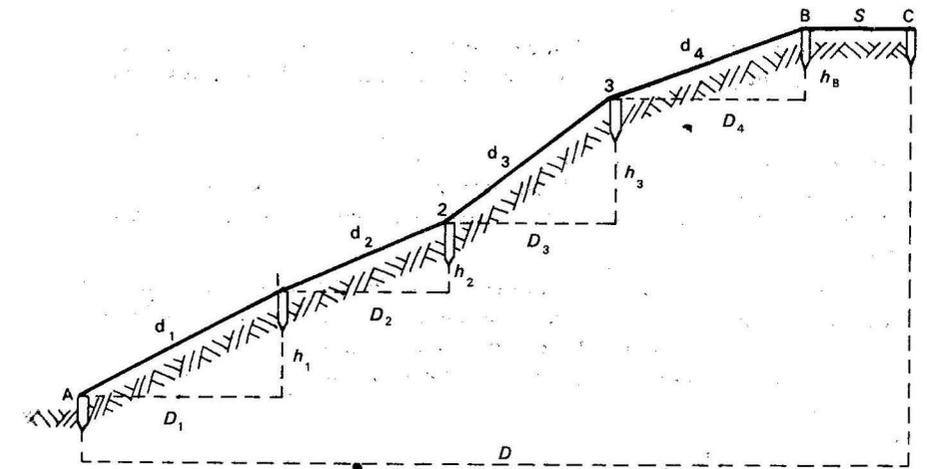


Fig. 4.2 Replanteo de una distancia horizontal

La corrección por tensión no la consideramos, ya que la tensión aplicada es igual a la de comparación. En caso contrario sí la aplicamos.

Segundo caso: La distancia proyectada es grande, se requiere una alta precisión y las condiciones del terreno no son buenas.

En este caso procedemos como sigue:

1. Estacionamos el teodolito en el punto A y colocamos jalones en la dirección AB a través de la cual marcamos la distancia inclinada d_1 , calculada por la fórmula (4.2). Marcamos en el terreno el punto B. El ángulo de inclinación lo determinamos aproximadamente.
2. Dividimos el tramo AB en tramos pequeños, de forma que sus longitudes sean menores que la longitud de la cinta y clavamos estacas.
3. Medimos las distancias inclinadas d_1, d_2, d_3, \dots entre las estacas. Durante la medición aplicamos a la cinta una tensión igual a la de comparación y medimos la temperatura.
4. Medimos los ángulos de inclinación $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$ o los desniveles h_1, h_2, h_3, \dots para cada tramo.
5. Calculamos las distancias horizontales para cada tramo de acuerdo con el ángulo de inclinación o el desnivel medido según las expresiones:

$$D_1 = d_1 \cos \delta_1; \quad D_2 = d_2 \cos \delta_2; \quad \dots \quad (4.4)$$

$$D_1 = d_1 - \frac{h_1^2}{2d_1}; \quad D_2 = d_2 - \frac{h_2^2}{2d_2}; \quad \dots \quad (4.5)$$

Después de obtener las distancias reducidas al plano horizontal por las fórmulas (4.4) y (4.5), introducimos las correcciones por comparación y temperatura, obteniendo finalmente la distancia por las fórmulas:

$$D_1 = d_1 \cos \delta_1 + \Delta L_c + \Delta L_T \quad (4.6)$$

$$D_1 = d_1 - \frac{h_1^2}{2d_1} + \Delta L_c + \Delta L_T$$

6. El cálculo del tramo S desde la última estaca (antes o después de esta en dependencia del signo); la distancia horizontal D la obtenemos por la fórmula:

$$S = D - \sum D_i \quad (4.7)$$

Replanteo de un punto de coordenadas conocidas

El replanteo de un punto P de coordenadas conocidas (fig. 4.3) puede efectuarse por el método polar o por el método de intersección angular y de distancias.

Método polar. Suponemos que en el terreno tenemos la dirección AB de la cual conocemos su acimut y las coordenadas de sus puntos y deseamos replantear en el terreno el punto P de coordenadas X_P, Y_P .

Por medio de la tarea topográfica inversa calculamos los valores del acimut α_{AP} y la distancia d .

$$\tan \alpha_{AP} = \frac{X_P - X_A}{Y_P - Y_A} \quad (4.8)$$

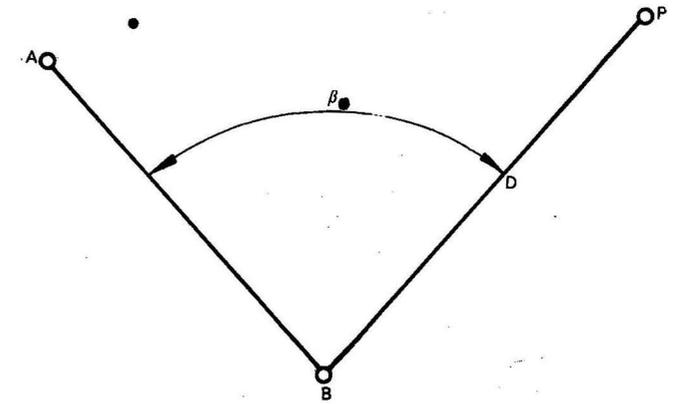


Fig. 4.3 Replanteo de un punto por el método polar

donde:

X_P, Y_P - coordenadas del punto P;
 X_A, Y_A - coordenadas del punto A;

La distancia D se calcula por las expresiones:

$$D = \frac{X_P - X_A}{\sin \alpha_{AP}} = \frac{Y_P - Y_A}{\cos \alpha_{AP}} \quad (4.9)$$

$$D = \pm \sqrt{(X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2} \quad (4.10)$$

Conocidos los acimuts α_{AP} y α_{AB} estamos en condiciones de calcular el valor del ángulo β .

$$\beta = \alpha_{AP} - \alpha_{AB} \quad (4.11)$$

Después de calcular los valores de D y β estacionamos el teodolito en el punto B y por uno de los métodos estudiados con anterioridad replanteamos el ángulo β y la distancia D (en la dirección AP), con lo cual quedará marcado en el terreno el punto P.

El error M_P en la determinación de la posición del punto P en el terreno por el método polar, sin tener en cuenta los errores iniciales, lo calculamos por la fórmula:

$$M_P = \pm \sqrt{m_\beta^2 \frac{D^2}{\rho^2} + m_D^2} \quad (4.12)$$

donde:

m_β - error en el replanteo del ángulo;
 D - distancia desde el punto inicial hasta el punto buscado;
 m_D - error en el replanteo de la distancia D .

Método de la intersección angular. Si en el terreno tenemos estabilizados los puntos A y B (fig. 4.4) de coordenadas conocidas, resolvemos la tarea topográfica-

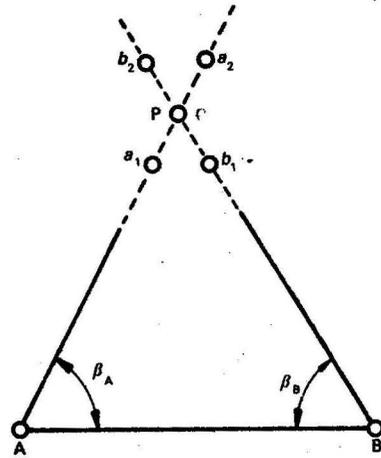


Fig. 4.4 Replanteo de un punto por el método de la intersección angular

fica inversa y calculamos los acimuts α_{AB} , α_{AP} y α_{BP} , a partir de los cuales se calculan los ángulos β_A y β_B por las fórmulas:

$$\beta_A = \alpha_{AB} - \alpha_{AP} \quad (4.13)$$

$$\beta_B = \alpha_{BP} - \alpha_{BA} \quad (4.14)$$

Después, se replantean los ángulos β_A y β_B con un teodolito y en el lugar de intersección de las direcciones definidas por ambos ángulos estará el punto buscado (P).

En el replanteo de los ángulos β_A y β_B las direcciones AP y BP las marcamos en una zona próxima al punto P. Estas direcciones se marcan mediante dos puntos para cada una de ellas (fig. 4.4), de forma que el punto P esté en la intersección de los cordeles tendidos a_1 , a_2 y b_1 , b_2 .

El error en el replanteo del punto P depende del error m_B en el replanteo de los ángulos β_A y β_B de la fórmula del triángulo, y se calcula por la fórmula:

$$M_P = \pm L \frac{m_B}{\rho''} \cdot \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_A + \sin^2 \beta_B}{\sin^2 \gamma}} \quad (4.15)$$

donde:

L - longitud del lado entre los puntos A y B;
 γ - ángulo en el punto P.

Método de intersección por distancias (fig. 4.5). Resolviendo la tarea topográfica inversa calculamos las distancias $AP = D_1$ y $BP = D_2$. Desde los puntos A y B, con la ayuda de dos cintas, trazamos dos círculos de radios D_1 y D_2 y en el lugar donde ocurra la intersección marcamos el punto buscado P. Este método se emplea en los casos en que las distancias D_1 y D_2 no sean mayores que la longitud de la cinta y la superficie del terreno sea regular.

Replanteo de un eje

Este tipo de tarea se realiza durante el trazado de los ejes del pozo, de los itinerarios de los medios de transporte y comunicaciones, en los cimientos de las obras, líneas eléctricas, conductores de agua y alcantarillado, etcétera.

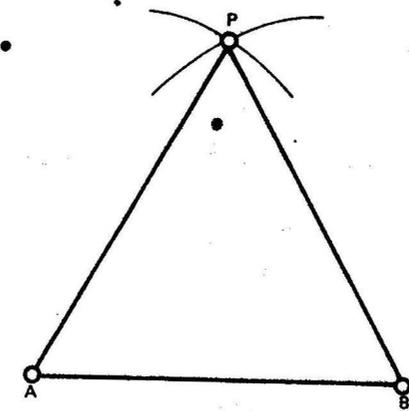


Fig. 4.5 Replanteo de un punto por el método de intersección por distancias

En dependencia de los datos iniciales el replanteo se puede realizar por los métodos:

1. En el eje proyectado está dado el punto P que pertenece a él, con coordenadas conocidas X_P y Y_P y el acimut del eje α_E (fig. 4.6a). Además, para realizar la tarea contamos con los puntos A y B de coordenadas conocidas (X_A, Y_A) y (X_B, Y_B) .

Resolviendo la tarea topográfica inversa calculamos los acimuts α_{AP} y α_{BP} y la longitud $AP = D$. Por la diferencia entre los acimuts α_{AP} y α_{AB} calculamos el ángulo β_A :

$$\beta_A = \alpha_{AP} - \alpha_{AB} \quad (4.16)$$

Por la diferencia entre los acimuts α_E y α_{PB} calculamos el ángulo β_P

$$\beta_P = \alpha_E - \alpha_{PB} \quad (4.17)$$

Para comenzar estacionamos el teodolito en el punto A y tomamos dirección hacia el punto. A continuación replanteamos el ángulo β_A y la distancia d , con lo que quedará definida la posición de P. Después, trasladamos el teodolito hacia el punto P y a partir de la dirección PA trazamos los ángulos β_P y $\beta_P + 180^\circ$ que definen la dirección del eje, en el cual marcamos los puntos $C_1, C_2, C_3, C_4, \dots$

2. En el eje proyectado se dan las coordenadas de los puntos extremos del polígono $P_1(X_{P1}, Y_{P1})$ y $P_2(X_{P2}, Y_{P2})$. En este caso determinamos los elementos lineales y angulares necesarios para replantear los puntos P_1 y P_2 (fig. 4.6b). Entre los elementos lineales tenemos las distancias D_A y D_B y entre los angulares tenemos los ángulos β_A y β_B .

Las distancias las calculamos por las fórmulas:

$$D_A = \frac{X_P - X_A}{\sin \alpha_{AP1}} = \frac{Y_P - Y_A}{\cos \alpha_{AP1}} \quad (4.18)$$

$$D_B = \frac{X_{P2} - X_B}{\sin \alpha_{BP2}} = \frac{Y_{P2} - Y_B}{\cos \alpha_{BP2}} \quad (4.19)$$

Los ángulos β_A y β_B los calculamos por la diferencia entre los acimuts α_{AB} y α_{AP1} y los acimuts β_{BP2} y α_{BA} .

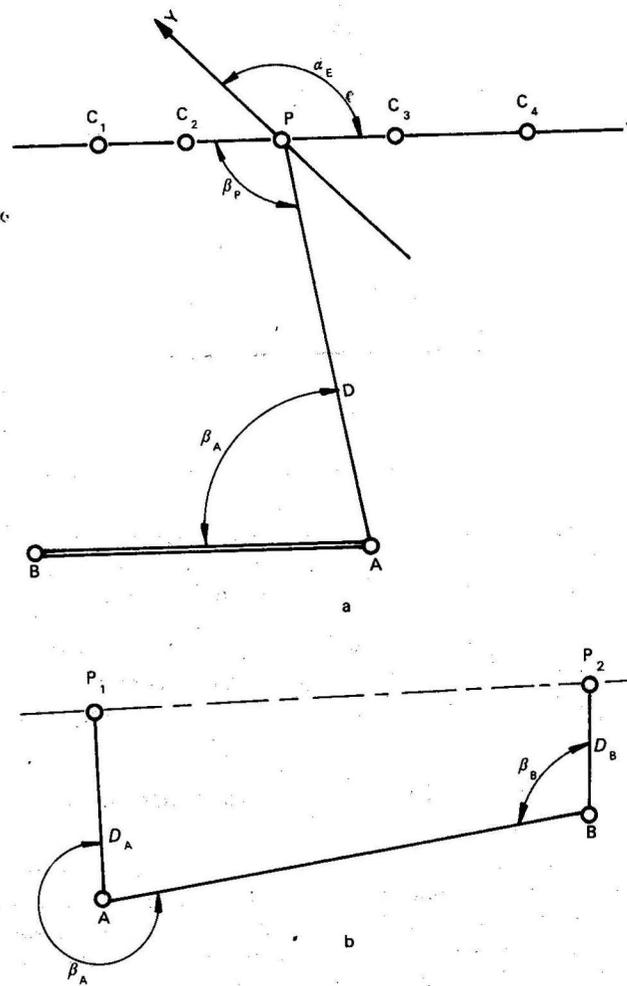


Fig. 4.6 Replanteo de un eje en el terreno

Desde los puntos de apoyo A y B replanteamos los puntos P_1 y P_2 en el terreno, con lo cual quedará definido el eje. Con el teodolito estacionado en uno de los puntos prolongamos el eje.

3. En el proyecto del eje están dados los elementos geométricos del itinerario del polígono (ángulos horizontales y distancias), que se replantean consecutivamente para encontrar los puntos de giro del eje. Este método se emplea en el trazado de vías de acero, túneles y comunicaciones subterráneas y superficiales.

Los puntos del eje pueden estabilizarse por medio de puntos temporales o permanentes, de acuerdo con la necesidad de su conservación.

El trazado de un eje longitudinal de una trinchera se lleva a cabo por uno de los métodos descritos con anterioridad. Para ello utilizamos solo los puntos de giro del eje. los tramos rectos los alineamos después a ojo y situamos las estacas a una distancia de 5 a 10 m una de otra. La excavación de la trinchera debe tener la inclinación establecida en el proyecto. Con este fin, las vallas (grey) de apoyo y transitorias (fig. 4.7) se preparan en forma de reglas T.

En nuestra tarea se plantea el trazado de la excavación partiendo del punto A de cota conocida H_A y en dirección al punto B, siendo i la pendiente.

El primer punto de apoyo es el A y el segundo es el punto B, el cual situamos mediante cálculos que tomen en consideración la pendiente i .

Conociendo la cota del punto A, la pendiente del proyecto y la distancia D , es posible calcular la cota del punto B por la fórmula:

$$H_B = H_A \pm iD \quad (4.20)$$

donde:

- i - pendiente del proyecto;
- D - distancia horizontal.

La cota del fondo de la excavación debe ser igual a h_A , que es la diferencia entre la cota de A y la cota del fondo de la trinchera establecida en el proyecto (H_0).

$$h_A = H_A - H_0 \quad (4.21)$$

Después de conocer la cota del punto B procedemos a marcar dicho punto en el terreno. De esta forma calculamos las cotas de los restantes puntos del eje longitudinal de la trinchera.

Para la ejecución de esta tarea es necesario marcar con estacas, en las cuales anotamos la cota del fondo de la trinchera. Estas estacas sirven de guía al personal que ejecuta la tarea de excavación.

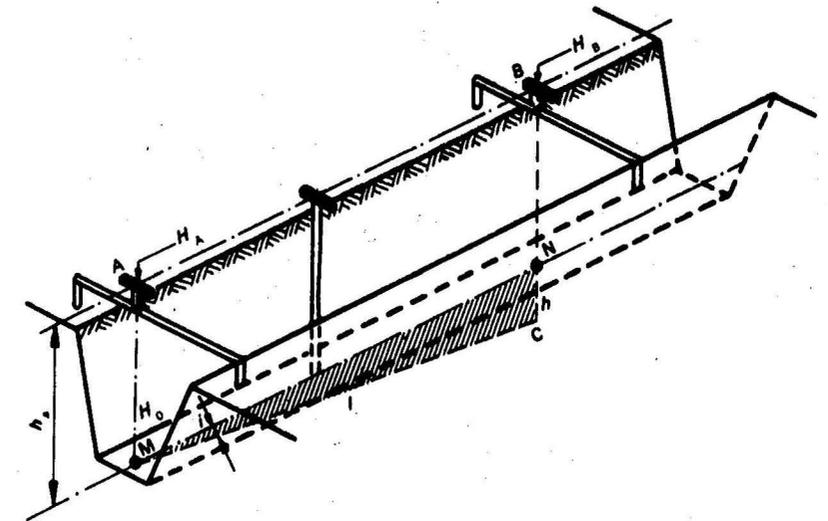


Fig. 4.7 Trazado del eje longitudinal de una trinchera

Al realizar las excavaciones, las estacas desaparecen, de ahí que en este tipo de trabajo sea imprescindible situar marcas o puntos adicionales fuera del eje de la trinchera, que nos permitan construir las vallas después de concluir la excavación.

Después de construídas las vallas, en los puntos A y B, se replantean las cotas correspondientes y finalmente, en el fondo, la cota del punto calculado por la fórmula (4.21). Esta cota puede transmitirse midiendo con una cinta el valor calculado a partir del punto.

Para marcar en el terreno la línea AB, con una pendiente dada (en ascenso), en el punto A estacionamos un teodolito y en B una mira. Medimos la altura del instrumento y hacemos coincidir con la lectura de esta el eje visual del teodolito; de esta forma obtenemos una línea con la pendiente dada. En los puntos intermedios situamos estacas de forma que la lectura de la mira colocada sobre estas corresponda a la altura del instrumento (fig. 4.8).

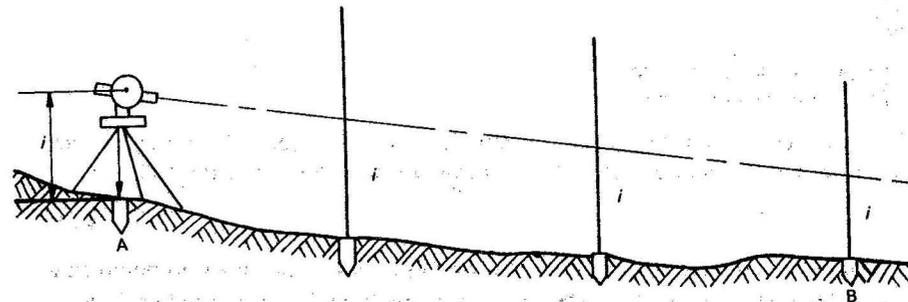


Fig. 4.8 Trazado de una pendiente con un teodolito

Replanteo de un punto de cota conocida

En la figura 4.9a es necesario estabilizar un punto A de cota H_A . En el punto R, de cota fija H_R , situamos una mira de nivelación y con el nivel situado entre el punto de cota fija R y el punto a determinar tomamos la lectura. Se calcula la altura del instrumento ($HI = H_R + l$), y se determina el desnivel h por la fórmula:

$$h = H_A + HI \quad (4.22)$$

En el lugar donde debe estar el punto A (pared, poste) marcamos la línea de la visual del nivel N. Trazando con una cinta el desnivel h desde el punto N obtendremos la posición del punto A. Como control efectuamos la medición con una segunda posición de la altura del instrumento.

Cuando el valor de h es muy pequeño, es necesario emplear otro método para situar el punto. Para ello, después de calcular el horizonte del instrumento HI , se calcula el valor de la lectura b en la mira colocada en el punto A, por la fórmula:

$$b = HI - H_A \quad (4.23)$$

donde:

HI - altura del instrumento;
 H_A - cota del punto A (conocida del proyecto).

El punto A lo situamos a una altura tal que la lectura obtenida en la mira corresponda a la lectura b . Para lograr esto pegamos la mira a la pared y la despla-

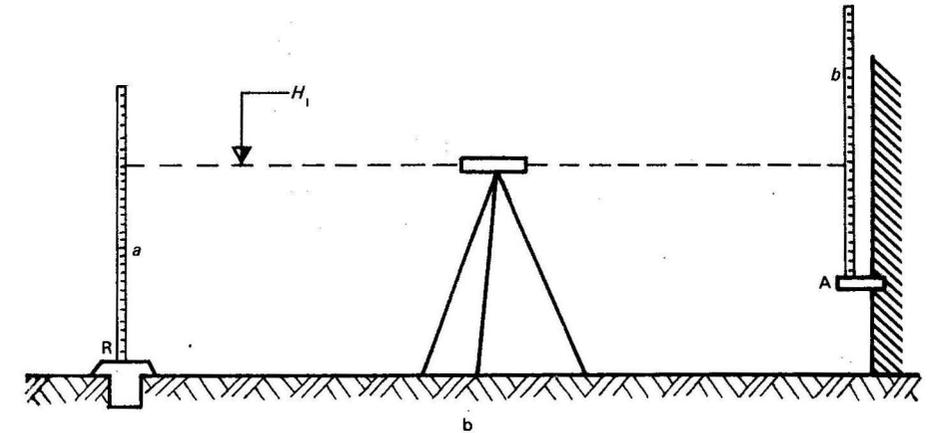
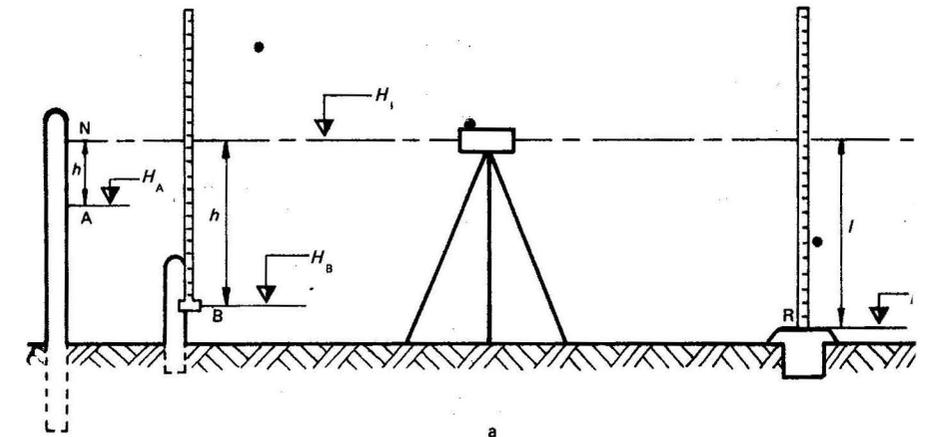


Fig. 4.9 Replanteo de un punto de cota conocida

zamos por la vertical hasta que el hilo medio del retículo coincida con la lectura calculada b . En esa posición de la mira, la marca cero indicará la posición real del punto A.

En ocasiones se da el caso de tener que determinar una cota en el fondo de un pozo (fig. 4.10). Esta cota, si el pozo no es muy profundo, es posible determinarla con la ayuda de una regla provista de un nivel esférico y una mira de nivelación. Para ello la regla con el nivel la situamos en el punto de cota fija R (fig. 4.10a), manteniendo una posición horizontal, y con el otro extremo pegado a la mira de nivelación, situada en posición vertical en el fondo del foso, se toma la lectura del desnivel h y la cota del fondo del foso la calculamos por la fórmula:

$$H_F = H_R - h \quad (4.24)$$

donde:

H_F - cota del fondo del foso;
 H_R - cota del punto R;
 h - desnivel.

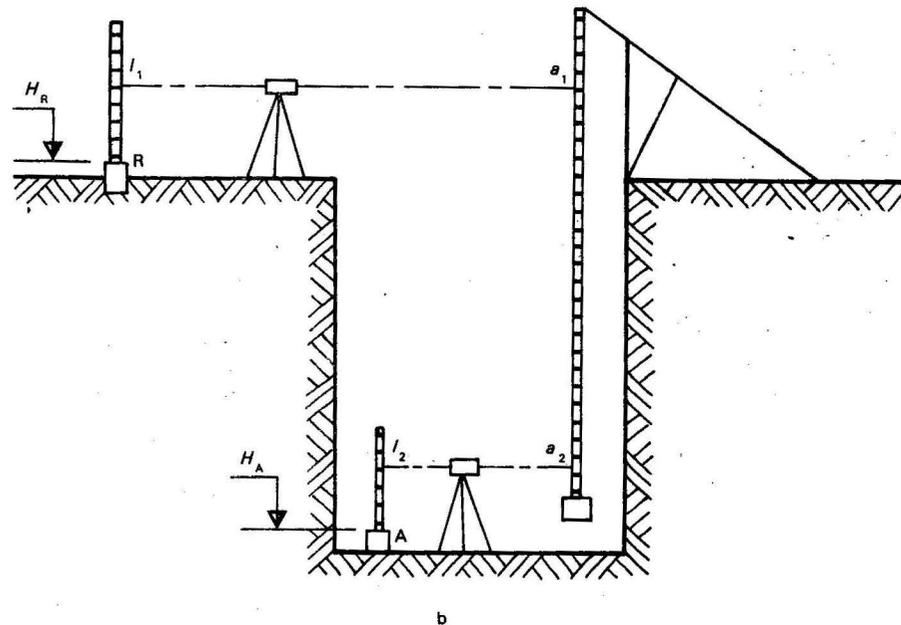
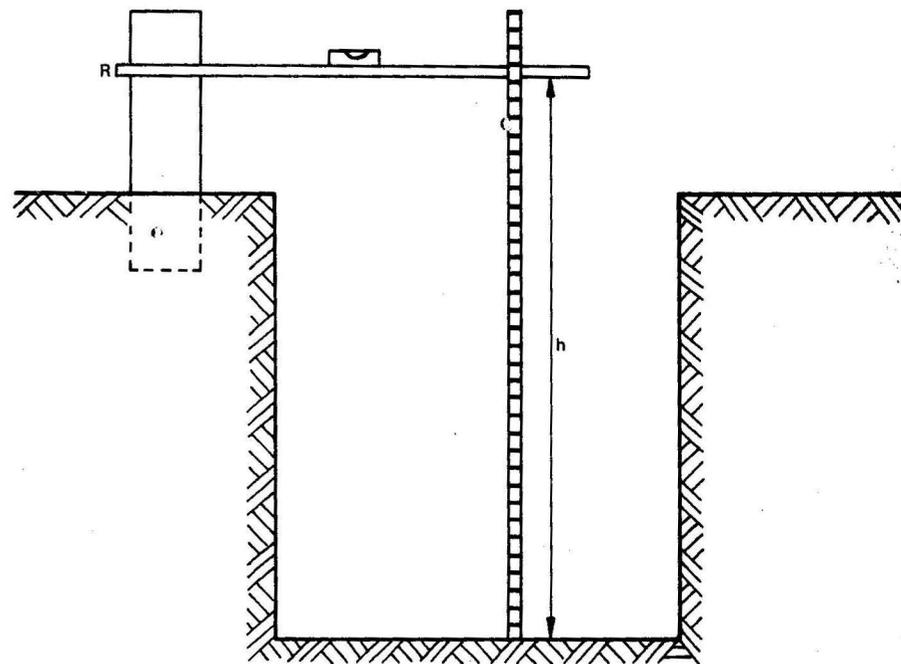


Fig. 4.10 Determinación de la cota del fondo de un pozo

Si la profundidad del foso es grande, es necesario emplear una cinta provista de un peso para determinar la cota del punto (fig. 4.10b). En la superficie y en el foso estacionamos niveles, y en los puntos miras de nivelación.

Tomando las lecturas con ambos niveles en la cinta y en las miras determinamos el valor de la cota del punto A por la fórmula:

$$H_A = H_R - (a_1 - a_2) + (l_1 + l_2) \quad (4.25)$$

donde:

H_A - cota del punto A;

H_R - cota del punto R;

a_1 y a_2 - lecturas en la cinta;

l_1 y l_2 - lecturas en las miras.

Trazado de curvas horizontales

El trazado de curvas horizontales se emplea frecuentemente en la construcción de vías de acceso. En el trazado de curvas circulares, al inicio trazamos los puntos principales de la curva y después el trazado detallado entre estos puntos.

Los puntos principales de una curva (fig. 4.11) son: T_1 - inicio, B - medio, T_2 - final de la curva. El ángulo β_M en el punto M es el ángulo de giro. Los tramos T_1M y MT_2 son las tangentes de la curva y el tramo MB es la bisectriz.

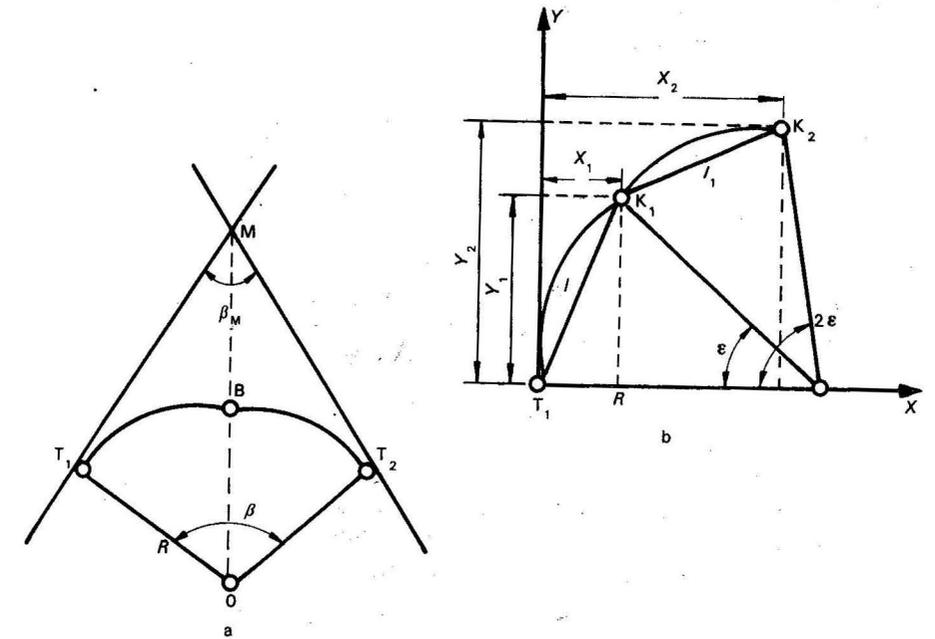


Fig. 4.11 Trazado de curvas horizontales

En la figura 4.11a:

$$T_1BT_2 = \frac{\pi \beta}{180^\circ} R \quad (4.26)$$

$$T_1M = MT_2 = R \tan \frac{\beta}{2} \quad (4.27)$$

$$MB = 2R \frac{\sin^2 \frac{\beta}{2}}{\cos^2 \frac{\beta}{2}} \quad (4.28)$$

donde el ángulo central $\beta = 180^\circ - \beta_M$. Los valores del radio R y del ángulo β los tomamos del proyecto.

El trazado en el terreno de los puntos principales de la curva lo efectuamos por medio del replanteo del punto M , las tangentes MT_1 , MT_2 , del ángulo $\frac{\beta_M}{2}$ y la bisectriz MB .

El trazado de los detalles de la curva es posible realizarlo por diferentes métodos. Uno de los métodos más difundidos es el de las coordenadas (fig. 4.11b). Tomando la longitud de la cuerda l , determinamos el ángulo ε y de acuerdo con los ángulos ε , 2ε , 3ε , ... las coordenadas X y Y por las fórmulas:

$$Y_1 = R \sin \varepsilon; Y_2 = R \sin 2\varepsilon \quad (4.29)$$

$$X_1 = 2R \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}; X_2 = 2R \sin^2 \varepsilon$$

$$\text{El valor de } \varepsilon = \frac{180}{\pi R} \cdot l$$

Replanteando los segmentos X y Y , situamos los puntos $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$. Para controlar el trabajo medimos la distancia entre los puntos citados.

Para fijar los elementos del trazado, en la mayoría de los casos se emplean señales temporales (estacas).

4.3 TRABAJOS PREPARATORIOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRAZADOS EN LA SUPERFICIE DE UNA MINA

Los documentos fundamentales para la ejecución de los trazados en el patio de una mina son:

1. Plano general de la superficie.
2. Planos y cotas verticales de los objetivos en los cuales son señaladas las dimensiones fundamentales de la construcción.
3. Dibujos con las dimensiones necesarias para el trazado.

El plano general de la superficie lo confeccionamos en una escala de 1:500 o 1:1 000 con una equidistancia entre curvas de nivel de 0,5 a 1,0 m. En el plano deben representarse todas las construcciones técnico-mineras, como son: la torre de la mina, las construcciones mineras superficiales, los edificios administrativos, los mecanismos de elevación, los tanques y depósitos, los almacenes, talleres, instalaciones eléctricas, las construcciones de ventilación, etcétera.

En el plano general se indican las construcciones y edificios fundamentales y las construcciones temporales necesarias durante el período de construcción; ade-

más, deben señalarse cuáles de las construcciones temporales pueden ser empleadas con posterioridad y cuáles no.

Otro elemento fundamental que debe aparecer en el plano general, además de las edificaciones y sus ejes, son los ejes principales de todo el complejo de la construcción. Los ejes principales en la construcción de una mina son los ejes de elevación del pozo. También deben aparecer en el plano las coordenadas del centro del pozo y los acimuts de los ejes de elevación.

Con respecto a las alturas, todos los puntos fundamentales están referidos a la boca del pozo, que a su vez debe estar referida al sistema altimétrico nacional.

En relación con el sistema de coordenadas puede establecerse el sistema nacional o un sistema condicional referido a los ejes fundamentales del pozo principal.

En estos casos, los datos de coordenadas y cotas deben estar sujetos a las reglamentaciones de la protección física y el secreto estatal, y solo debe tener acceso a ellos el personal autorizado.

Antes de trazar en el terreno las construcciones, el topógrafo debe revisar minuciosamente el proyecto, para comprobar que exista correspondencia entre los ejes de los objetos en el plano general de la superficie; también debe revisar los dibujos y los esquemas de montaje de las construcciones metálicas. En los casos que se detecten errores en los ángulos, en las distancias y en las alturas, el topógrafo debe informar inmediatamente al jefe de la obra para tomar las medidas pertinentes y corregir los errores.

Otra de las tareas previas al trazado de las obras en el terreno, es la de estudiar la situación topográfica existente en la zona de trabajo. Entre los aspectos que debe tener en cuenta el topógrafo están la existencia de puntos de la red altimétrica y planimétrica local, el estado de conservación de dichos puntos, su precisión, la existencia de planos topográficos de la zona, su escala, la fecha en que fueron confeccionados, su estado de actualización, etcétera.

Después del estudio del proyecto y de la situación topográfica de la zona, el topógrafo debe elaborar el proyecto del trazado de las construcciones que debe contener lo siguiente:

1. Esquema de la red de puntos de apoyo o de la red para el levantamiento.
2. Esquema de la poligonal o triangulación que es necesario trazar en la zona de la construcción para efectuar el trazado de las obras.
3. Esquemas del trazado de las construcciones, donde están señaladas las dimensiones y cotas.
4. Descripción del método que será empleado para el trazado de las construcciones y especificación con respecto a la exactitud requerida.
5. Relación de equipos y materiales necesarios para ejecutar los trabajos de trazado.

En los esquemas del proyecto del trazado es necesario indicar todas las magnitudes angulares y lineales, cotas y desniveles.

Durante la elaboración del proyecto del trazado es imprescindible familiarizarnos en el terreno con la situación de los puntos de apoyo y determinar las condiciones más apropiadas para el trazado de las poligonales. El lugar para situar los puntos de las poligonales debe escogerse teniendo en cuenta las recomendaciones siguientes: evitar lugares de futuras construcciones, asegurar una buena visibilidad y que no sean destruidos como consecuencia de los trabajos de mo-

vimiento de tierra. Los puntos citados deben fijarse por medio de monolitos de hormigón, con una chapa o una varilla metálica en su centro.

La situación de las construcciones fundamentales del complejo tecnológico están señaladas en los planos del proyecto y en los dibujos respecto al centro y los ejes del pozo principal de la mina. Frecuentemente el centro del pozo se toma como origen y uno de sus ejes como el eje de las abscisas de un sistema condicional de coordenadas, de ahí que las posiciones de los puntos característicos de las construcciones pueden estar dadas por dichas coordenadas condicionales. Como referencia altimétrica (cota cero) se toma la boca del pozo.

En los dibujos de las construcciones, por lo general, las dimensiones están referidas a los ejes de la construcción; por ejemplo, en los dibujos de la máquina de ascenso las medidas están señaladas desde el eje de ascenso. En estos casos, en el proceso de preparación para los trabajos de trazado, se exige introducir las correcciones correspondientes en los datos iniciales, tomados de los dibujos, para que los trazados tengan un sistema único de coordenadas.

Las coordenadas del centro y las direcciones de los ejes del pozo deben encontrarse, en los dibujos del proyecto, en un sistema único de coordenadas, que se asume en la superficie.

En este sistema único, las coordenadas de los puntos característicos de las construcciones no están directamente referidas a los pozos mineros.

De esta forma, en la ejecución de los trazados de las construcciones conviene tener dos sistemas de coordenadas: uno será el sistema general (único) y el otro el condicional.

En la preparación de los materiales para la ejecución de los trazados de las construcciones es necesario precisar con respecto a cuáles ejes de los dibujos están referidas las medidas y cuál es el nivel de referencia de las cotas. Si aparecen puntos en diferentes sistemas, antes de realizar el trazado es necesario tener las coordenadas de estos puntos en un sistema único de coordenadas. La conversión del sistema condicional al general se efectúa por las fórmulas.

$$X_p = X_C + X'_p \cos \alpha - Y'_p \operatorname{sen} \alpha \quad (4.30)$$

$$\begin{aligned} Y_p &= Y_C + X'_p \operatorname{sen} \alpha - Y'_p \cos \alpha \\ X'_p &= (X_p - X_C) \cos \alpha + (Y_p - Y_C) \operatorname{sen} \alpha \\ Y'_p &= (Y_p - Y_C) \cos \alpha - (X_p - X_C) \operatorname{sen} \alpha \end{aligned} \quad (4.31)$$

donde:

X_p, Y_p - coordenadas del punto en el sistema general.
 X'_p, Y'_p - coordenadas del punto en el sistema condicional.
 X_C, Y_C - coordenadas del centro del pozo de la mina en el sistema general de coordenadas;
 α - acimut del eje condicional de las abscisas (eje del pozo)

4.4 EXPLANACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL PATIO DE LA MINA

Antes del trazado de las construcciones de las vías de acceso y otras obras es necesario realizar la explanación del terreno, que permitirá darle a este una forma de relieve regular.

El proyecto de explanación del patio de la mina se elabora con el proyecto de organización de la obra, que está acompañado de un sistema de perfiles, o con planos de la superficie, en los cuales se trazan curvas horizontales de color rojo que indican el relieve que requiere el proyecto. Las líneas de los perfiles frecuentemente son lados de una cuadrícula, un rectángulo u otra forma de red.

Los trabajos del trazado en el patio de la mina los realizamos en el orden siguiente:

1. Delimitación y trazado del contorno del área total de construcción.
2. Trazado de la red en el terreno.
3. Nivelación y determinación de las cotas de los puntos de la red.
4. Cálculo del volumen del movimiento de tierra.
5. Movimiento de tierra.
6. Levantamiento del área explanada, como forma de control del trabajo.

La delimitación del contorno del área consta de la construcción de una poligonal cerrada, que se proyecta sobre la base de los materiales del proyecto. Los puntos donde cambia el sentido del recorrido deben estabilizarse con monolitos de hormigón. Los ángulos y las distancias deben medirse de acuerdo con las instrucciones.

La red se asemeja a un sistema de puntos situados en una superficie plana. La elección de la forma de la red depende del relieve del terreno, la forma y el área de construcción. Para un relieve regular y un área de construcción pequeña elegimos el sistema de cuadrícula o una red rectangular. Para un área de forma alargada es posible trazar una o varias líneas a lo largo de dicha área y líneas perpendiculares a las primeras. Si el área tiene un relieve muy complejo y diferentes áreas de construcción, es recomendable situar los puntos en forma de polígonos independientes.

La colocación de los puntos de la red en el área del patio de la mina la realizamos según el proyecto. Para ello podemos tomar uno de los puntos del contorno del área señalado con un monolito de hormigón y mediante sus coordenadas y el acimut de un lado, trazar la red. Frecuentemente la dirección de los lados de la red coincide con la dirección de los ejes del pozo. La longitud de los lados de la red, que depende del relieve y de las dimensiones del área, se elige en el intervalo de 10 a 30 m.

El trazado de la red lo iniciamos situando primero las cuadrículas más grandes (por ejemplo con lado de 100 m), y después las cuadrículas más pequeñas.

Los puntos se fijan con estacas de madera y junto a cada punto situamos una señal o testigo, donde anotamos la cota del punto y su número.

Después del trazado de la red se lleva a cabo una nivelación geométrica para determinar las cotas de los puntos, llamadas cotas negras (reales). Las cotas establecidas en el proyecto reciben el nombre de cotas rojas. Para determinar el volumen del movimiento de tierra debemos tener en cuenta las cotas rojas y las negras. La diferencia entre ambas nos dará el volumen del movimiento de tierra que debemos realizar.

Si la diferencia tiene signo más, debemos desmontar y si por el contrario el signo es menos, debemos rellenar. Los valores obtenidos para cada punto se anotan en las señales con sus respectivos signos, para que esto sirva de orientación al personal encargado del movimiento de tierra. A partir de las citadas diferencias es posible calcular el volumen de los trabajos de movimiento de tierra, para

cuyo fin en cada cuadrícula calculamos la diferencia promedio de las cotas, multiplicándola luego por el área de la cuadrícula. El volumen de dichos trabajos se calcula independientemente para el relleno y la excavación o desmonte.

Después de ejecutar la explanación del terreno se lleva a cabo el levantamiento de control del área. Este levantamiento puede efectuarse por medio del restablecimiento de los puntos de la red con una nivelación o por medio de un levantamiento taquimétrico.

4.5 TRAZADO DE LAS CONSTRUCCIONES

En el trazado de las construcciones y edificios, con anterioridad efectuamos el trazado de los ejes fundamentales de estas y a partir de ellas trazamos los detalles de las construcciones. Este orden asegura la exactitud necesaria en dichos trazados y una debida coordinación en la distribución de los detalles de la construcción.

A continuación damos un ejemplo de trazado de una construcción.

Es necesario realizar el trazado de un edificio en el terreno, cuyo esquema está representado en la figura 4.12. Las coordenadas del punto 0 de intersección de los ejes (X_0, Y_0) y el acimut son conocidos.

La tarea se lleva a cabo en el orden siguiente:

1. Replanteamos en el terreno los elementos del trazado ya calculados (el ángulo β_A y la longitud S_A), con los cuales podremos situar el punto 0.
2. Mediante los ángulos β_0 y $\beta_0 + 90^\circ$ situamos en el terreno los ejes principales y marcamos los puntos K, L, M y N, que definen los contornos del edificio.

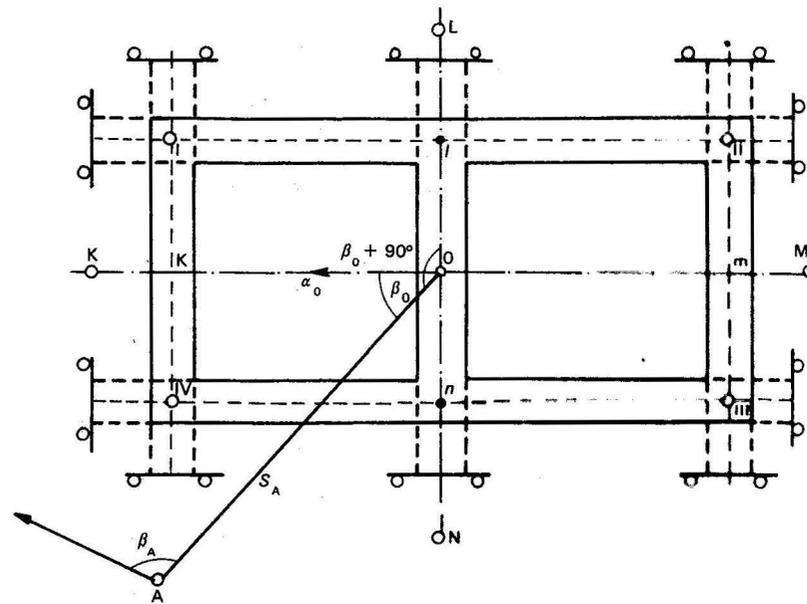


Fig. 4.12 Esquema del trazado de los cimientos de un edificio

3. A lo largo de los ejes del edificio marcamos las distancias desde el punto 0 hasta la intersección con los ejes de las paredes o muros del cimiento, con lo cual situamos los puntos K, L, M y N.
4. Por medio de intersecciones lineales desde los puntos K, L, M y N y con la ayuda del teodolito estacionado en estos puntos, situamos los puntos I, II, III y IV.
5. En los extremos de cada eje colocamos las tablillas (niveletas o grey) a una distancia aproximada de un metro del muro del cimiento.
6. En la tablilla (fig. 4.13) marcamos, con la ayuda del teodolito, la posición de los ejes del cimiento y, además, los detalles de dicho cimiento (contorno de las paredes, base de la cimentación, contornos de la zanja de cimentación, etc.).
7. Efectuamos el control de la cota de la zanja de cimentación y de la superficie superior de los cimientos.

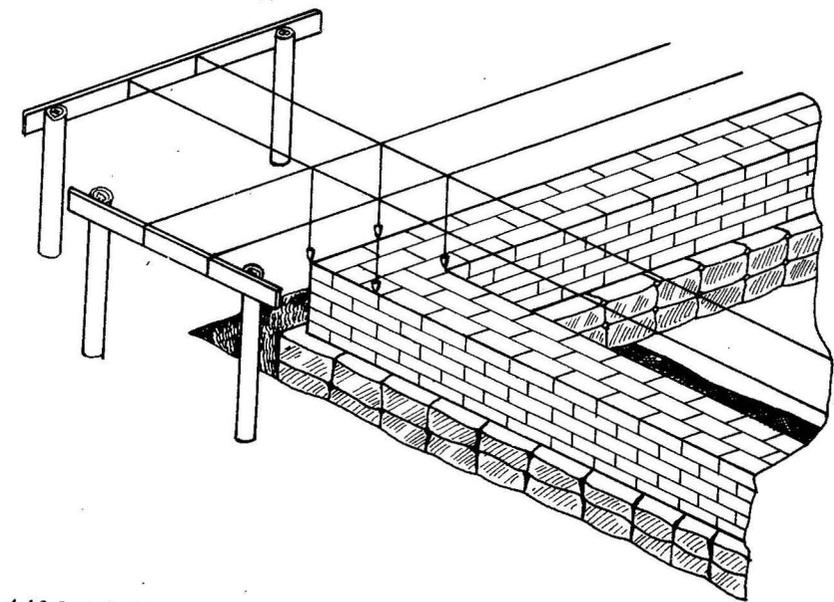


Fig. 4.13 Instalación de las vallas

Las tablillas o grey se colocan horizontales y paralelas a los ejes del cimiento, y separadas algunos metros del contorno exterior de dicho cimiento.

Durante el trazado en el terreno de los puntos principales, detalles de los cimientos, y también para el control de la correcta construcción del cimiento, es imprescindible marcar con clavos en las tablillas los referidos puntos, entre los cuales tendemos cordeles que sirven para proyectar los puntos del cimiento, en el fondo de la zanja de cimentación, con la ayuda de plomadas ligeras sujetas en los puntos de intersección del cordel (ver figura 4.13).

El control vertical en el trazado de los cimientos lo efectuamos mediante la nivelación geométrica. Para esto, en las proximidades del edificio fijamos uno o

dos puntos y les determinamos sus cotas. Apoyándonos en estos puntos efectuamos el cálculo de la cota de la parte superior de la tablilla o grey. Conocido el desnivel entre la tablilla y el fondo de la zanja y la superficie superior del cimentado, es posible, en el proceso de construcción, establecer un control periódico mediante un nivel, como se muestra en la figura 4.14, o empleando la forma explicada en el epígrafe 4.2.

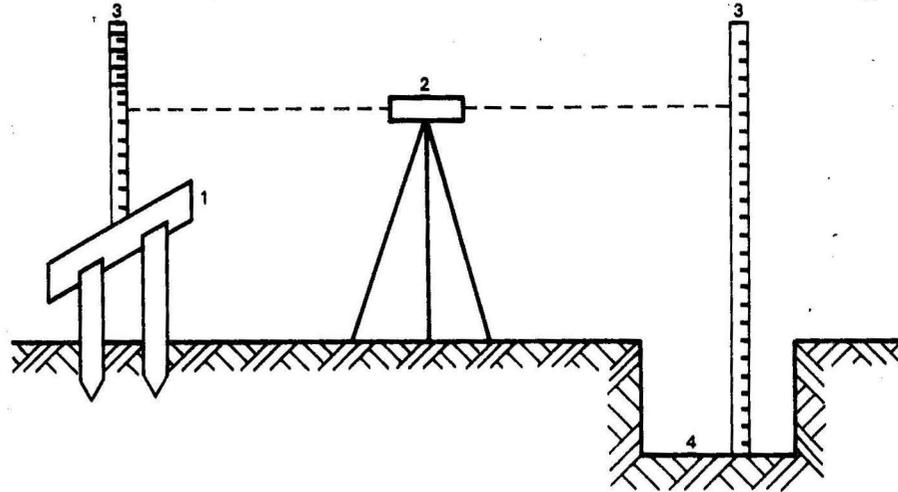


Fig. 4.14 Control de la cota del cimentado y de la zanja: 1, valla; 2, nivel; 3, miras; 4, zanja del cimentado

4.6 TRAZADO DE LAS VÍAS DE ACCESO

En la construcción de las vías de acceso, el servicio topográfico de la dirección de construcción realiza en el terreno el trazado y elabora el proyecto de organización para la ejecución de la obra. El topógrafo minero de la dirección de la construcción revisa los materiales del proyecto y comprueba que lo trazado en el terreno corresponda con lo establecido en el proyecto, prestando especial atención a la calidad en la situación de los elementos del trazado (puntos de giro o cambio, puntos con cotas, etc.) y en la correspondencia de los valores reales de los ángulos y las distancias con lo señalado en el proyecto. El control de las cotas de los puntos lo realizamos en el transcurso del control de la nivelación de todo el trazado.

Después de efectuar las mediciones de control, comienzan las labores de movimiento de tierra. En el transcurso de estas labores muchos elementos del trazado son destruidos, de ahí que previamente los puntos fundamentales del trazado son trasladados fuera de los límites de las labores de movimiento de tierra.

El replanteo de los puntos del trazado puede hacerse por diferentes métodos. En la figura 4.15 se muestran los métodos más difundidos: el paralelo, por alineación y con intersección angular. Los puntos replanteados los fijamos de una forma segura y en las señales anotamos los números y la distancia que los separa de los orígenes.

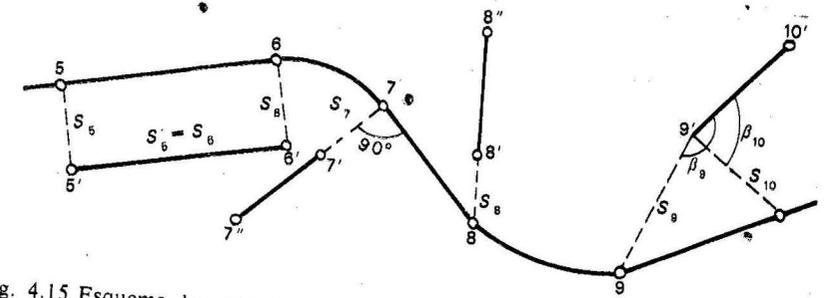


Fig. 4.15 Esquema de replanteo de los puntos del trazado

Antes de iniciar las labores del movimiento de tierra, en el trazo de la vía llevamos a cabo un trazado minucioso de los desmontes y rellenos. Dicho trabajo consiste en establecer en el terreno los límites de la base del terraplén, su altura, los límites de los taludes, los límites y la profundidad del fondo de las excavaciones (desmonte).

En la figura 4.16a se muestra el esquema de un terraplén, mientras que en la figura 4.16b está expuesto el esquema del desmonte, donde A y B son los puntos límites de la base del terraplén y de los taludes del desmonte; h_T y h_d representan la altura del terraplén y la profundidad del desmonte; i es la pendiente de los taludes del desmonte y del terraplén; b es el ancho del desmonte y del fondo del terraplén; y k es el ancho de zanja.

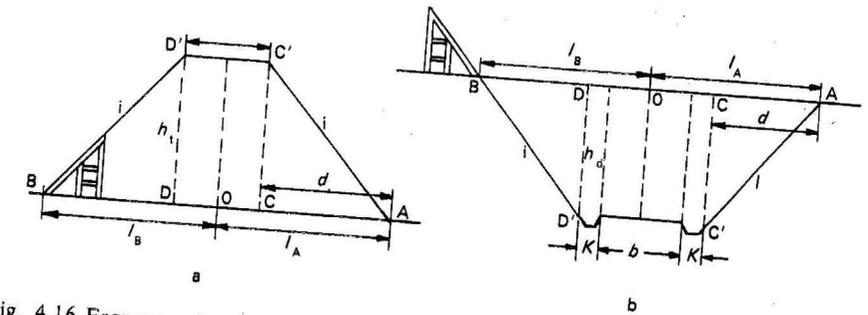


Fig. 4.16 Esquemas del terraplén y del desmonte

Los parámetros l_A , l_B , h_T y h_d se obtienen por las fórmulas:

$$l_A = l_B = \frac{b}{2} + d = \frac{b}{2} + \frac{h_T}{i} \quad (4.32)$$

$$l_A = l_B = \frac{b}{2} + d + K = \frac{b}{2} + \frac{h_d}{i} + K \quad (4.33)$$

$$h_d = H_n - H_r \quad (4.34)$$

donde:

- H_r - cota proyectada del terraplén o del fondo del desmonte;
- H_n - cota real del terreno;
- D - proyección horizontal del talud del terraplén (desmonte).

El valor de la pendiente i lo tomamos del proyecto. Frecuentemente se escogen las relaciones 1:1.25; 1:1.5; 1:1.75 y otros.

El trazado de los puntos límites A y B y de los puntos C y D lo efectuamos mediante el replanteo en el terreno de las distancias l_A y l_B ; $\frac{b}{2}$ y $\frac{b}{2} + K$.

En la figura 4.17 se muestra un terraplén y un desmonte en un terreno inclinado. El trazado de los puntos límite en este caso se efectúa replanteando, desde los ejes del trazado de la vía, las distancias inclinadas AO y BO o sus proyecciones horizontales l_A y l_B . Estas distancias se pueden determinar en forma gráfica en los perfiles transversales o pueden ser calculadas en forma analítica.

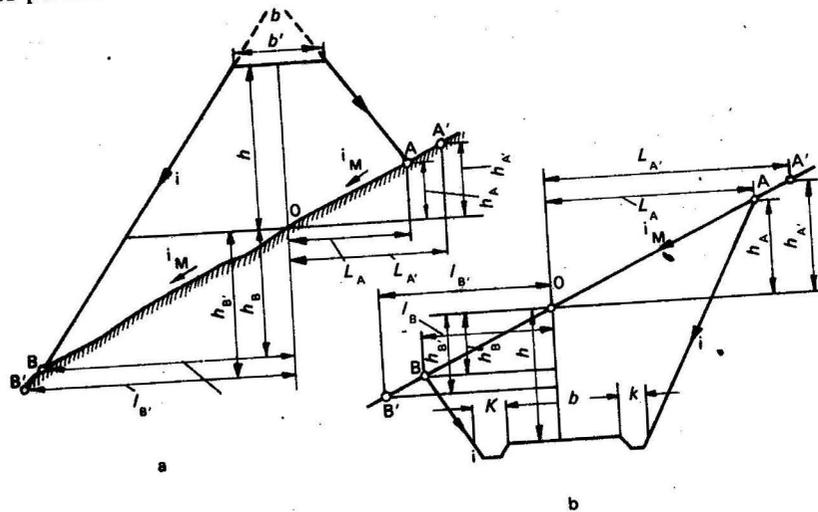


Fig. 4.17 Esquemas del terraplén y del desmonte en una superficie inclinada

Como ejemplo calcularemos las distancias l_A y l_B desde los ejes del trazado de la vía hasta los puntos límite del terraplén. En la figura 4.17a:

$$i = \frac{\frac{b}{2}i + h - h_A}{l_A}$$

$$\frac{b}{2}i + h - h_A = l_A i$$

$$h_A = l_A i_M$$

entonces

$$\frac{b}{2}i + h = l_A i + l_A i_M$$

de donde

$$l_A = l_B = \frac{\frac{b}{2}i + h}{i - i_M} \quad (4.35)$$

La pendiente i_M del terreno la calculamos valiéndonos de los puntos A' y B' situados en las proximidades de los puntos A y B. Determinando las distancias l_A y l_B y los desniveles h_A y h_B :

$$i_M = \frac{h_A}{l_A}; \quad i_M = \frac{h_B}{l_B} \quad (4.36)$$

Si la superficie tiene una pendiente aproximadamente uniforme:

$$i_M = \frac{h_A + h_B}{l_A + l_B} \quad (4.37)$$

Las distancias l_A y l_B desde los ejes del trazado de la vía hasta los puntos límites de los taludes del terraplén las calculamos por la fórmula (fig. 4.17b)

$$l_A = l_B = \frac{\left(\frac{b}{2} + K\right)i + h}{i - i_M} \quad (4.38)$$

Las fórmulas generales para calcular los valores de l_A y l_B son

$$l_{A(B)} = \frac{\frac{b}{2}i + h}{i + i_M}$$

$$l_{A(B)} = \frac{\left(\frac{b}{2} + K\right)i + h}{i + i_M} \quad (4.39)$$

Si las pendientes i e i_M coinciden, en el denominador tomamos el signo más; si no coinciden, el signo menos. En el esquema, la dirección de las pendientes se señala con flechas.

La altura del terraplén la determinamos por los datos del proyecto y se indica en el terreno con la ayuda de jalones colocados en el eje del trazado frente a los puntos. En la parte superior del jalón fijamos una tablilla a la altura de la cota proyectada. En la determinación de la altura del terraplén es necesario introducir la corrección por la compactación del terraplén. En dependencia de la naturaleza del terreno, esa corrección varía entre el 2 y el 10% de la altura del terraplén. Si dicha altura es mayor de 3 m, los jalones se colocarán cuando se haya realizado una parte del movimiento de tierra y la altura alcanzada sea muy próxima a la del proyecto.

La tarea de marcar las pendientes proyectadas del terraplén y del desmonte junto a los puntos límites, se lleva a cabo por medio de tablas inclinadas llamadas moldes de talud (ver figura 4.16).

El volumen de las labores de movimiento de tierra lo calculamos, cuando hay extracción de tierra, multiplicando las áreas de las secciones transversales contiguas por las distancias entre los perfiles.

$$V_1 = \frac{A_1 + A_2}{2} l_1; V_2 = \frac{A_2 + A_3}{2} l_2 \quad (4.40)$$

donde:

A_1, A_2, A_3, \dots - áreas de las secciones transversales;
 l_1, l_2, l_3, \dots - distancias entre las secciones.

El volumen total de los trabajos de extracción de tierra estará dado por la suma de los volúmenes parciales.

El volumen de las labores de movimiento de tierra, cuando los trabajos son en la construcción de terraplenes, los determinamos por un método análogo. El volumen del movimiento de tierra se calcula frecuentemente por el carácter de compactación del material. Por esta causa el volumen para el terraplén debe calcularse introduciendo el coeficiente de esponjamiento del terreno. El valor numérico de ese coeficiente depende del grado de compactación del terreno, del plazo de existencia y de otros factores, y se determina experimentalmente. El coeficiente de mullido del terreno se encuentra en el intervalo de 0,8 a 1,3. Si, por ejemplo, el valor del coeficiente es de 1,25, el volumen V para la construcción de un terraplén lo obtenemos por la expresión:

$$V = 1.25 V_T \quad (4.41)$$

donde:

V_T - volumen del terraplén.

Después de concluidas las labores de movimiento de tierra para la construcción de los terraplenes y las excavaciones, procedemos a marcar el trazado del eje en el fondo de la excavación y en la vía del terraplén. El eje lo trazamos por medio de estacas cada 10 a 20 m, marcando los puntos de giro del trazado y los detalles de las curvas.

4.7 TRAZADO Y FIJACIÓN DEL CENTRO Y LOS EJES DEL POZO VERTICAL DE LA MINA

Los ejes del pozo vertical de la mina (los ejes de construcción) están determinados por dos rectas perpendiculares entre sí, una de las cuales es paralela y la otra perpendicular a los travesaños principales del pozo. Los ejes del pozo de la mina son ejes de simetría de la sección transversal del pozo (circular, rectangular o elíptico). El centro de un pozo vertical es el punto de intersección de sus ejes.

Los datos necesarios para el trazado del centro y los ejes del pozo son:

Plano general de la superficie.
 Dibujos de la sección del pozo.
 Coordenadas del centro (X_0, Y_0) y acimut del eje del pozo α_0 .
 Puntos de la red de apoyo.

El trazado del centro del pozo se puede efectuar por dos métodos: el polar y el de las intersecciones.

El trazado de los ejes del pozo se realiza de las formas siguientes:

1. Después de situar en el terreno el centro del pozo, procedemos a replantear los ángulos $\beta_0, \beta_0 + 90^\circ, \beta_0 + 180^\circ, \beta_0 + 270^\circ$, con el teodolito estacionado en el centro del pozo (fig. 4.18a).
2. En las proximidades del lugar de ubicación del centro del pozo construimos un polígono cerrado (fig. 4.18b).
3. Trazamos un eje auxiliar (fig. 4.18c).

Para efectuar el trazado del ángulo β_0 es necesario calcularlo previamente por la fórmula $\beta_0 = \alpha_0 - \alpha_{0A}$, para después replantearlo.

En el segundo caso, construimos el polígono cerrado ABCDE desde los puntos de la red de apoyo A y B. Basándonos en las coordenadas de los puntos del polígono, del centro del pozo y del acimut del eje del pozo, calculamos las coordenadas de los puntos a, b, c y d, situados en los ejes del pozo, que son al mismo tiempo los puntos de intersección del eje del pozo con los lados del polígono.

Después, sobre la base de las coordenadas de los puntos del polígono y de los puntos a, b, c y d calculamos las distancias A_a, B_b, C_c, D_d y las replanteamos. De esta forma tendremos definida la posición de los puntos a, b, c y d, que marcan en el terreno la posición de los ejes. Con el fin de efectuar el control, o si no hay visibilidad entre los puntos a, b, c y d, calculamos los ángulos β_a y β_b y los replanteamos para marcar en la línea de los ejes los puntos axiales.

En la construcción del polígono debemos reducir al mínimo el número de puntos; sin embargo, la longitud de los lados no debe ser menor de 20 m. El error de cierre en el polígono no debe ser mayor de $16''\sqrt{n}$, donde n es el número de ángulos. El error relativo es 1:8 000.

En el tercer caso, para el trazado de los ejes del pozo nos valemos de los ejes auxiliares paralelos a estos. En el punto P estacionamos el teodolito y efectuamos el replanteo de los ejes auxiliares. Después, desde los puntos de los ejes auxiliares, marcamos las respectivas distancias a y b, con lo cual quedarán definidos los ejes del pozo.

Para fijar los ejes del pozo, estos deben marcarse con no menos de seis puntos (tres a cada lado). Los lugares de los puntos los elegimos teniendo en cuenta el plano del patio de la mina.

Se debe prestar una atención especial al trazado del eje principal del pozo, en lo referente a la construcción del mecanismo de elevación. Los puntos se sitúan de forma que permitan efectuar las mediciones de control en el montaje de la torre, las poleas directrices y la máquina de ascenso, y al mismo tiempo permitan el control durante el periodo de explotación.

Los puntos axiales podemos fijarlos en la tierra, en los cimientos y en las paredes de los edificios y construcciones.

Después de situado el eje en el terreno, en los puntos axiales efectuamos el levantamiento de los puntos y determinamos las coordenadas X y Y y la cota H y a una escala grande confeccionamos un esquema detallado de su ubicación.

Exactitud del trazado del centro y del eje del pozo minero.

El lugar de la apertura del pozo y la situación de los ejes los elegimos durante la elaboración del proyecto. Los factores que influyen en la selección del lugar exacto son: las características geológicas del yacimiento y las condiciones técnico-mineras del sistema de explotación que emplearemos. Uno de los factores principales que influyen en la exactitud del trazado es el relieve de la superficie

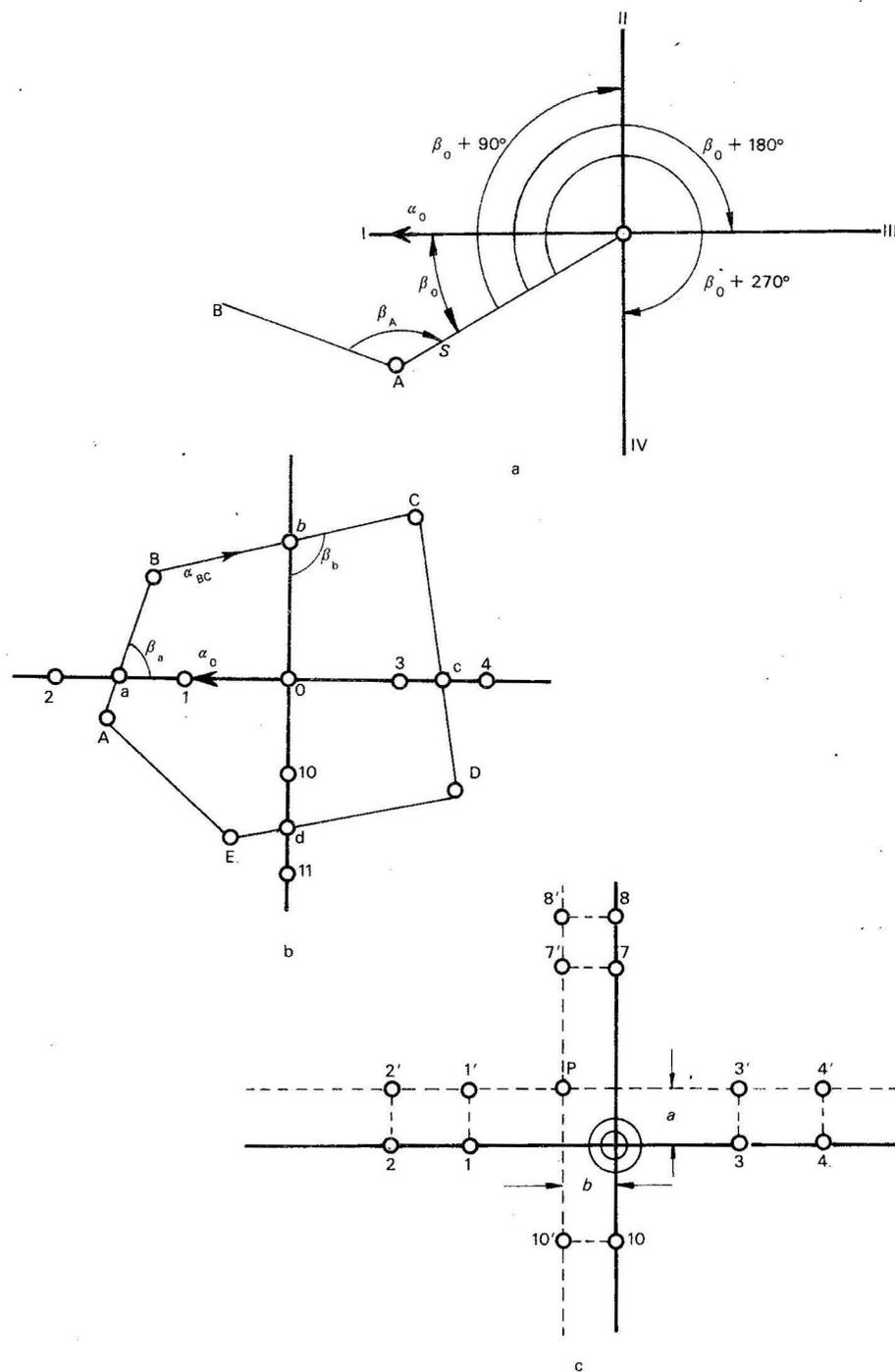


Fig. 4.18 Replanteo de los ejes del pozo

del terreno; de aquí surge el criterio de que como exactitud del trazado del centro del pozo y los ejes puede servir la exactitud de la proyección gráfica, ejecutada con el uso del plano topográfico. Analizando estas consideraciones, el error del trazado del centro de un pozo único (que no está unido con los restantes pozos por un complejo tecnológico general) no debe exceder de 0.5 m y el error en el trazado de uno de los ejes del pozo $\pm 5'$; el error debido a la falta de perpendicularidad de los ejes no debe ser mayor de $\pm 45''$.

Para un pozo que se laborea sobre excavaciones en funcionamiento o unido por un esquema tecnológico general con otro pozo en funcionamiento o en construcción, el error del trazado del centro del primer eje no debe ser mayor de 0.1 m y $\pm 1'30''$. El segundo eje debe ser perpendicular al primero con un error no mayor de $\pm 45''$. El trazado del centro y del eje del pozo en este caso se debe efectuar desde los puntos de la red de apoyo, que fueron empleados en la orientación de las excavaciones o desde los puntos axiales del pozo.

4.8 GENERALIDADES SOBRE EL TRAZADO Y LAS MEDICIONES DE CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ASCENSO EN LA MINA.

El servicio topográfico minero tiene a su cargo en el periodo de construcción y explotación del conjunto de ascenso en la mina, diferentes trabajos y mediciones de control, cuyo objetivo es la ubicación adecuada de los elementos del conjunto de ascenso. Del grado de exactitud que tengamos en el enlace geométrico de los elementos del conjunto de ascenso previsto en el proyecto, dependerá el trabajo normal en el periodo de explotación. Para solucionar esta tarea el topógrafo de mina debe tener una idea muy clara sobre el esquema tecnológico del conjunto de ascenso y sobre la finalidad y la ubicación de los elementos independientes del conjunto de ascenso.

El conjunto de ascenso de una mina comprende los rieles conductores fijados en los travesaños, la torre con las poleas directrices y la máquina de ascenso provista de tambores para enrollar. En la figura 4.19 se muestra un esquema del conjunto de ascenso minero y de las construcciones principales del pozo minero.

Durante el transcurso de los trabajos de trazado y las mediciones de control, el topógrafo de mina debe enfrentarse con los elementos principales del conjunto de ascenso que son: el eje de ascenso, el centro de ascenso, el eje de la polea y el eje del árbol de la polea, el eje del árbol principal de la máquina de ascenso, la altura de ascenso y los ángulos de desviación.

El eje de ascenso del pozo vertical es la línea recta que pasa por el punto medio de los dos cables de ascenso (en su posición vertical), perpendicularmente al eje del árbol principal de la máquina de ascenso. Cuando la extracción es con un solo cable, el eje de elevación es una recta que pasa a través del eje del cable de ascenso (en su posición vertical), perpendicularmente al eje del árbol de la máquina de ascenso. El eje de ascenso o subida no coincide con el eje principal del pozo de la mina, sino que generalmente es paralelo a dicho eje principal y está separado de él una distancia l_p , de acuerdo con el proyecto.

El centro o punto de ascenso es el punto de intersección del eje de ascenso con una línea perpendicular a este, que pasa a través del eje de los cables (en su posición vertical). El centro de ascenso, cuando existe un solo cable, se llama

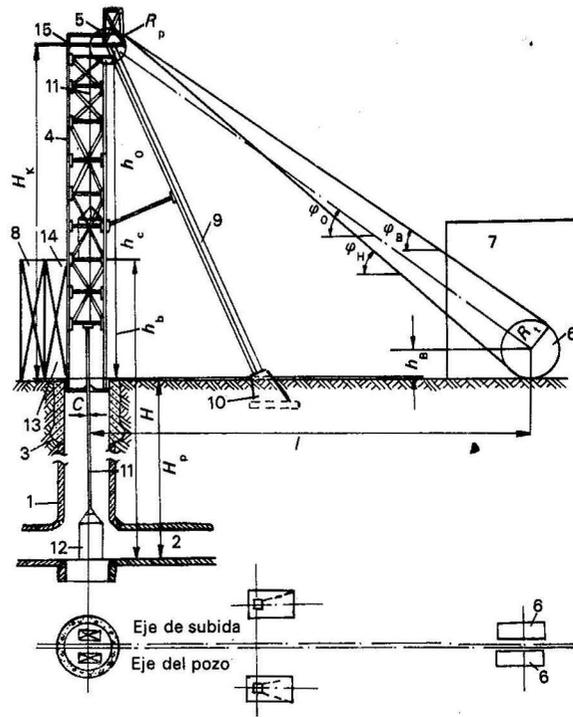


Fig. 4.19 Esquema general del conjunto de elevación; 1, pozo; 2, estación del pozo; 3, boca del pozo; 4, segmento de la torre; 5, poleas; 6, tambores; 7, edificio de la máquina de ascenso; 8, estacada; 9, brazo de la torre; 10, cimientto; 11, cable; 12, recipiente de ascenso; 13, plataforma cero; 14, plataforma de recepción; 15, plataforma de la polea

centro del cable (en su posición vertical). Si en el pozo existen dos ascensos, cada uno tendrá su centro.

El eje de la polea es la recta, o su proyección en un plano horizontal, que pasa a través del punto medio del espacio comprendido entre las caras interiores de la polea, y es perpendicular al eje del árbol.

La altura de elevación H es la distancia vertical comprendida desde el punto inferior del recipiente de elevación, en el instante de encontrarse en la parte más profunda de la mina, hasta su punto superior, en el instante de la descarga en la superficie. Si H_p es la profundidad del pozo y h_B es el desnivel entre la superficie de descarga de la torre y su nivel cero, para determinar la altura de elevación se emplea la expresión:

$$H = H_p + h_B \quad (4.42)$$

La cuerda del cable L_s es la distancia entre los puntos tangentes del cable con la polea y el tambor. La cuerda superior es algo menor en longitud que la cuerda inferior. Para los cálculos de la longitud de la cuerda tomamos un valor igual a la distancia normal entre los ejes de rotación de la polea y el tambor.

Los ángulos de inclinación de la cuerda del cable (fig. 4.20) se determinan por las fórmulas:

$$\varphi_H = \varphi_o + \Delta\varphi_H \text{ y } \varphi_B = \varphi_o - \Delta\varphi_B$$

$$\tan \varphi_o = \frac{H_K - h_t}{L - C - R_p}; \Delta\varphi_H = \frac{r_t + R_p}{L_s} \rho \quad (4.43)$$

$$\Delta\varphi_B = \frac{r_t - R_p}{L_s} \rho$$

donde:

φ_H, φ_B y φ_o - ángulos inferior, superior y medio de inclinación de la cuerda; H_K - altura de la torre (distancia vertical desde la superficie cero hasta el eje de rotación de la polea);

h_t - altura del eje del tambor sobre la superficie cero;

r_t y R_p - radios del tambor y la polea respectivamente;

L - distancia entre los ejes del árbol de la máquina de ascenso y el centro del pozo;

C - distancia entre las proyecciones del centro del pozo y del eje del cable al plano vertical que pasa por el eje de elevación.

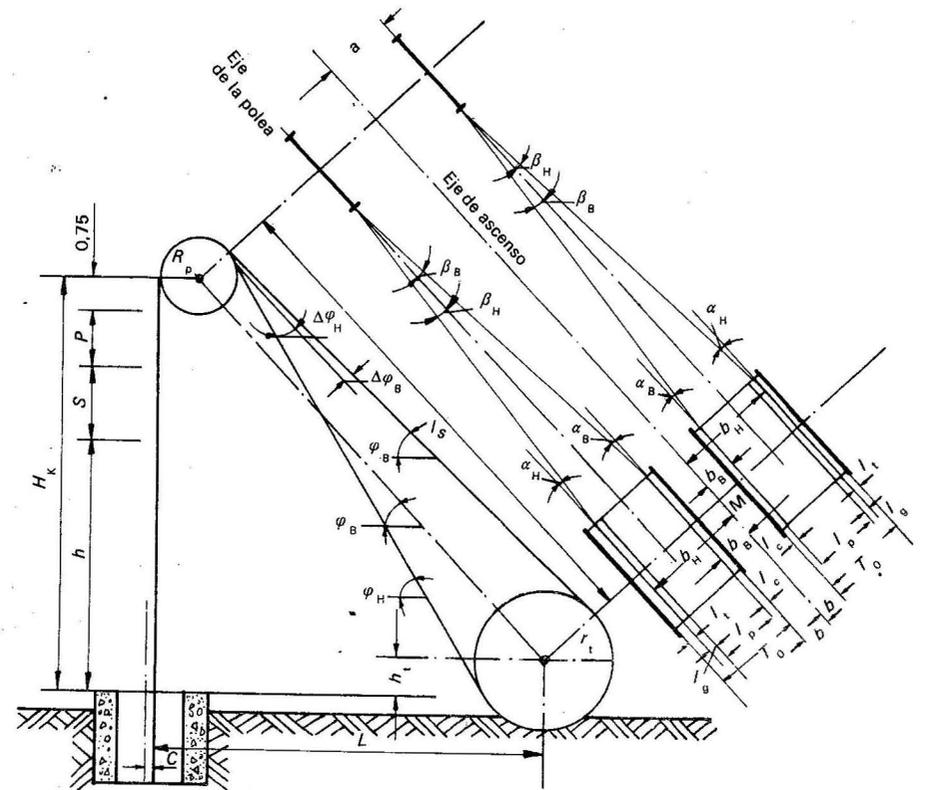


Fig. 4.20 Esquema geométrico del conjunto de elevación

donde:

a - distancia desde el eje de ascenso hasta el eje del cable en su posición vertical;

b - distancia desde el eje de ascenso hasta la cara interior del borde del tambor;

b_H y b_B - distancias comprendidas entre el eje de elevación y los límites de la zona de trabajo de las vueltas.

Las distancias b_H y b_B podemos medirlas directamente o calcularlas por las fórmulas:

$$b_H = b + T_o - l_t = b + l_c + l_R + l_g \quad (4.47)$$

$$b_B = b + l_c \quad (4.48)$$

Si el mecanismo de elevación atiende varios niveles al mismo tiempo, en la determinación de los ángulos de desviación la altura de elevación es tomada con respecto al nivel inferior.

De acuerdo con las reglas técnicas de explotación, el valor máximo de los ángulos de desviación es de $1^\circ 30'$. Los ángulos de desviación mayores que ese valor pueden perjudicar el trabajo normal del equipo de ascenso, provocando el desgaste de los cables y de las poleas de la torre.

En la figura 4.21 se muestra la posición de las poleas cuando sus planos axiales no son paralelos al eje de ascenso. Para determinar los ángulos de desviación en la polea se emplean las fórmulas:

$$\begin{aligned} \beta_H &= \alpha_H - \gamma \\ \beta_B &= \alpha_B + \gamma \end{aligned} \quad (4.49)$$

pero

$$\gamma = \gamma_1 \cos \varphi = \rho \frac{a_1 - a}{D_p} \cos \varphi \quad (4.50)$$

donde:

a y a_1 - distancias desde el eje de ascenso hasta el plano axial de la polea, en los límites de su diámetro horizontal;

φ - ángulo de inclinación de la cuerda del cable;

D_p - diámetro de la polea;

$\rho = 3\,438$.

El ángulo γ_1 es el ángulo entre el eje axial y el eje de ascenso, y está situado en un plano horizontal. El ángulo γ y los ángulos de desviación están situados en un plano inclinado.

La condición principal para el normal funcionamiento de las poleas es la igualdad de los ángulos de desviación exterior (β_H) e interior (β_B). En caso de existir una diferencia considerable entre estos ángulos ocurrirá un desplazamiento del cable en la polea hacia la cuerda de mayor ángulo, lo que traerá como consecuencia un desgaste irregular del forro de madera de la polea, e incluso un rozamiento del cable contra la cara de esta.

Para igualar los ángulos de desviación de la polea es recomendable que el eje de la polea esté dirigido hacia el medio de la parte de trabajo del tambor.

Trabajos topográficos en el montaje de la torre

Hay dos tipos de torres: la provisional o de apertura y la permanente. La primera se emplea durante el período de apertura, fortificación y equipamiento del pozo. El trazado de esta torre consiste en marcar en el terreno la posición de su cimientó; los datos necesarios se toman del proyecto, donde todos los elementos del cimientó se refieren a los ejes del pozo. Durante el período del trazado, entre los puntos axiales tendemos un cordel, marcando desde este, con la ayuda de una cinta, las distancias hasta los ejes del cimientó. La posición de los ejes y los bordes del cimientó los fijamos con las tablillas o grey.

La torre permanente se instala al terminar la apertura del pozo y las excavaciones del patio de este. La torre permanente se instala sobre un cuadro de apoyo estabilizado en el área del pozo. Las tornapuntas de la torre las montamos sobre cimientos especiales y las fijamos mediante tornillos de ancla. El cuadro de apoyo se estabiliza de la forma siguiente: primero perfilamos la parte superior del pozo y los travesaños principales de los tres niveles superiores.

Luego, y sobre la base del trabajo efectuado, determinamos el centro real del pozo, así como el acimut del eje. En la parte superior del pozo, mediante un teodolito estacionado sobre los puntos axiales, marcamos sobre el eje del pozo cuatro puntos (fig. 4.22). En caso de ser imposible situar los referidos puntos, utilizamos las vallas (grey).

El cuadro de apoyo se arma en una superficie destinada para ese fin, y ya armado se monta en la boca del pozo. Durante el proceso de armar, en el cuadro marcamos cuatro puntos: 1, 2, 3 y 4 (fig. 4.23). El cuadro de apoyo se coloca en unas cavidades especiales en la boca del pozo y posteriormente se lleva a una posición horizontal mediante la nivelación de sus cuatro vértices, controlando su posición en relación con el eje del pozo. Los puntos axiales del cuadro, marcados

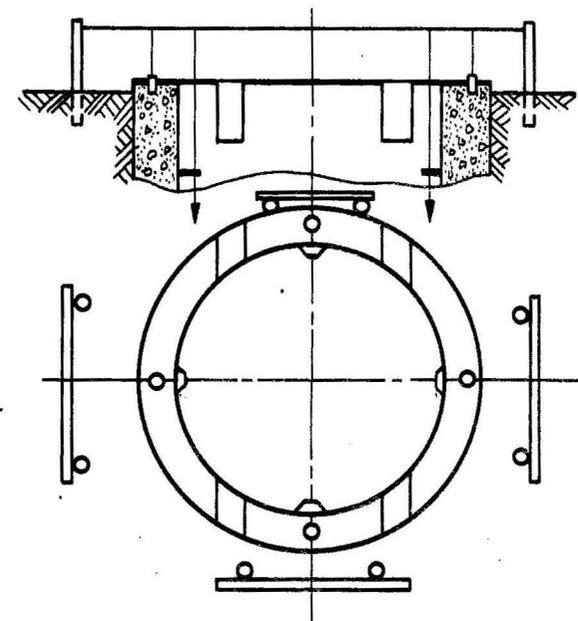


Fig. 4.22 Posición de los puntos axiales del pozo

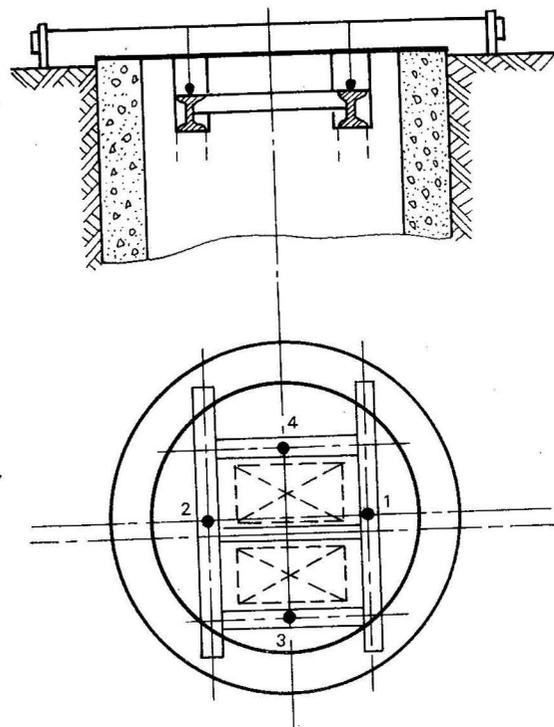


Fig. 4.23 Control en la posición del cuadro de apoyo

con anterioridad en la armazón, deben coincidir con los alambres de las plomadas tendidos a lo largo del eje.

La diferencia entre la posición real del cuadro en el plano y la proyectada no debe sobrepasar los 5 mm para las torres metálicas y 20 mm para las de madera. La diferencia entre las cotas de los vértices del cuadro no debe ser mayor de ± 5 mm para las torres metálicas y ± 20 mm para las torres de madera. La cota real del cuadro no debe diferenciarse de la cota establecida en el proyecto en más de ± 30 mm.

El trazado de los cimientos de las tornapuntas de la torre lo efectuamos por un método simple, a partir de los ejes del pozo y sobre la base de los datos obtenidos del proyecto.

El montaje de la torre puede llevarse a cabo tanto mediante su arme preliminar, alzándola luego con ayuda de mástiles, como con el montaje sucesivo de sus órganos. Independientemente del método usado, el topógrafo debe seguir realizando ciertas mediciones para controlar el montaje correcto del casco de la torre y sus tornapuntas.

Antes de instalar la torre en la superficie donde montaremos las poleas trazamos puntos axiales, los que al estar en la torre en una posición correcta estarán en los ejes del pozo minero.

El control se lleva a cabo con un teodolito estacionado sobre los puntos axiales. El plano de colimación del teodolito se orienta en dirección al eje y después

de hacer puntería al área de instalación de las poleas, observamos la posición de los puntos axiales. El plano de colimación del teodolito se orienta en dirección al eje; después de hacer puntería al área de instalación de las poleas, observamos la posición de los puntos marcados con anterioridad. Si la instalación de la torre ha sido correcta, los puntos citados deben encontrarse en el plano de colimación del teodolito.

La no coincidencia de los puntos previamente fijados con los obtenidos del visado con el teodolito no debe exceder de 25 mm para las torres metálicas y 50 mm para las torres de madera.

Si la instalación de la torre es por medio del montaje sucesivo de eslabones independientes, el topógrafo debe realizar el control sobre la instalación de cada eslabón, por medio del replanteo de estos y hará la debida comparación con los puntos fijados anteriormente que marcan la posición de los ejes en el cuadro superior del eslabón. La posición horizontal del cuadro se controla con un nivel. Si las desviaciones mencionadas anteriormente son permisibles, se efectúa la estabilización final de la torre, marcando también los ejes reales del pozo sobre el área de instalación de las poleas.

El trazado de los ejes del pozo lo ejecutamos generalmente con la ayuda de un teodolito.

El teodolito se estaciona en un punto axial, y una vez orientado el plano de colimación en dirección al eje del pozo, la dirección citada se proyecta hacia el área de las poleas. La proyección la realizamos en dos posiciones del teodolito, previa comprobación minuciosa de este.

Suponiendo que en la primera posición del teodolito obtenemos los puntos a_1 y b_1 y en la segunda posición los puntos a_2 y b_2 , mediante la división de las distancias a_1a_2 y b_1b_2 por la mitad, obtenemos los puntos a y b (fig. 4.24) que marcan la posición del eje dado en el área de las poleas.

A veces, es imposible efectuar un visado directo hacia el lado opuesto (los puntos b_1 y b_2) del área de poleas, por lo cual en el proceso de proyección se hace puntería a plomada con el bisector del anteojo del teodolito. La posición de la plomada la registramos en dos posiciones del anteojo, obteniendo del mismo modo el punto b .

El replanteo del eje del pozo al área de las poleas, lo realizamos estacionando el teodolito en uno de los puntos axiales situados al lado de la máquina de ascenso que se utiliza en el trazado de los ejes en el edificio del mecanismo de ascenso. En la selección del punto de estación del teodolito hay que procurar que durante el visado al área de las poleas, el ángulo de inclinación de la visual no sea superior a 45° .

Para ejercer un control con respecto al replanteo de los ejes, es recomendable efectuar la medición del ángulo horizontal comprendido entre la dirección del eje y los puntos replanteados en el área de las poleas. Dicha medición se realiza por los métodos corrientes y en dos posiciones del anteojo. Las diferencias en la medición de un ángulo de 0° a 180° no deben sobrepasar de $\pm 30''$.

Para el replanteo de los ejes en el área de poleas debemos tomar todo tipo de precauciones. Durante el período de trabajo el pozo se cubre con tablonés.

Los puntos obtenidos en el área de las poleas se marcan con señales metálicas o señales topográficas si los detalles son de madera.

Para dos replanteos independientes del eje en el área de las poleas, la diferencia en la posición de los puntos no debe ser mayor de ± 15 mm.

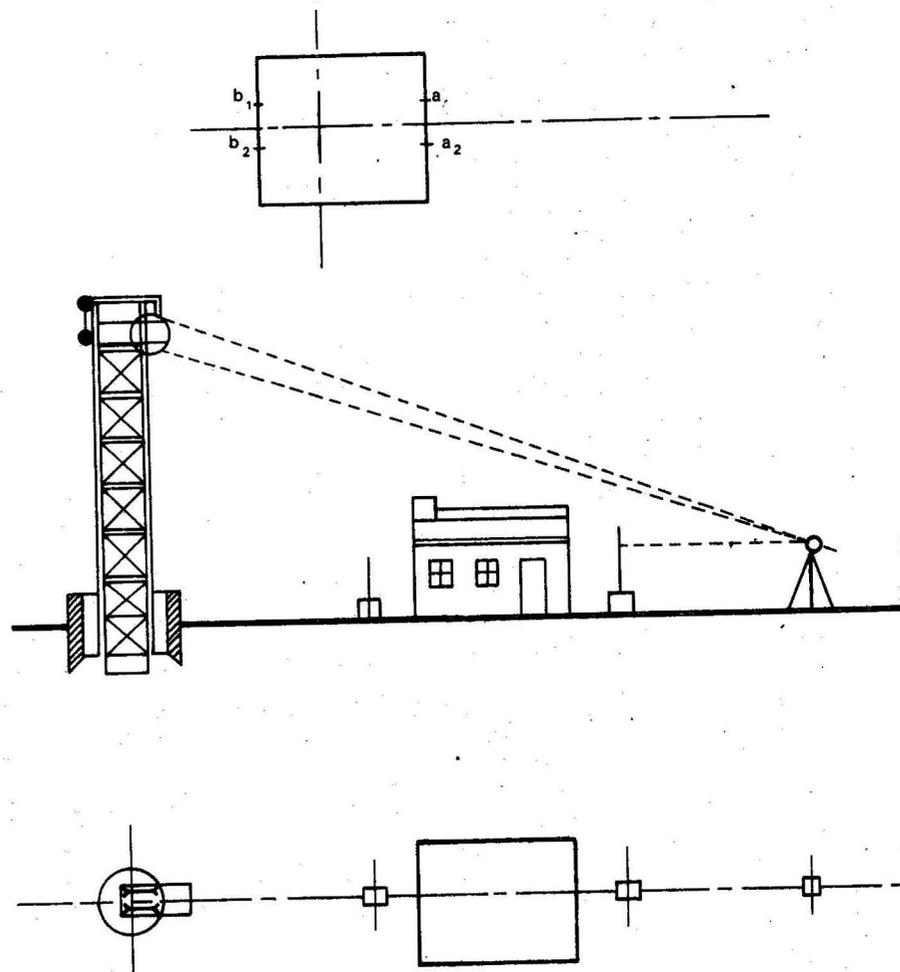


Fig. 4.24 Trazado de los ejes del pozo en el área para las poleas

Trabajos topográficos en la instalación de las poleas directrices y la máquina de ascenso

El control topográfico para la correcta instalación de las poleas lo realizamos después de haber replanteado los ejes del pozo en el área de las poleas. En la instalación de las poleas hay que observar las siguientes condiciones:

1. El eje de la polea debe distanciarse del eje del pozo según el proyecto elaborado. La desviación permisible de la posición proyectada del eje de la polea con respecto al eje de ascenso no debe ser mayor de ± 10 mm.
2. El árbol de la polea debe estar en posición horizontal mientras que el plano axial de la polea debe ocupar una posición vertical. La desviación máxima permisible del plano axial (plano de simetría) de la polea con respecto al plano vertical es de $\pm 10'$.

La verificación de la posición real del eje de la polea con respecto al eje del pozo tiene la siguiente sucesión (fig. 4.25): a lo largo del eje del pozo, y entre los puntos que marcan su posición en el área de las poleas, tendemos un alambre fino y medimos las distancias l_1 y l_1' comprendidas entre el alambre y las caras de la polea en el extremo opuesto. Las distancias en la primera posición de la polea las obtenemos por las fórmulas:

$$a_1 = \frac{l_1 + l_1''}{2} \quad \text{y} \quad a_1' = \frac{l_1' + l_1'''}{2} \quad (4.51)$$

Se vuelve a hacer el control en la segunda posición (dándole una vuelta de 180°) de la polea. En la segunda posición de la polea tendremos a_1' y a_1'' .

Como resultado final tomamos el valor de la media aritmética de las dos verificaciones (en dos posiciones de la polea):

$$a = \frac{a_1 + a_1''}{2} \quad \text{y} \quad a' = \frac{a_1' + a_1'''}{2} \quad (4.52)$$

Si las distancias a y a_1 no son iguales, el ángulo γ_1 comprendido entre el eje de la polea y el de elevación lo expresamos de la forma siguiente:

$$\gamma_1 = \frac{a' - a}{D_p} \rho'' \quad (4.53)$$

La posición del árbol y la verticalidad del plano axial de la polea lo comprobamos mediante un nivel colocado sobre el cuello del árbol, o bien con ayuda de plomadas. En este último caso, cerca del árbol de la polea colocamos una plomada (fig. 4.26), y medimos las distancias desde dicha plomada hasta el borde de la polea K_1 arriba y l_1 abajo. Girando 180° la polea, en los puntos K_1 y l_1 marcados en el borde de la polea en su primera posición, colocamos la segunda plomada y medimos las distancias l_2 arriba y K_2 abajo.

Si el plano axial no se mantiene en posición vertical, su ángulo de desviación con respecto al plano vertical, será:

$$\delta = \rho \frac{(K_1 - l_1) + (l_2 - K_2)}{2 D_p} \quad (4.54)$$

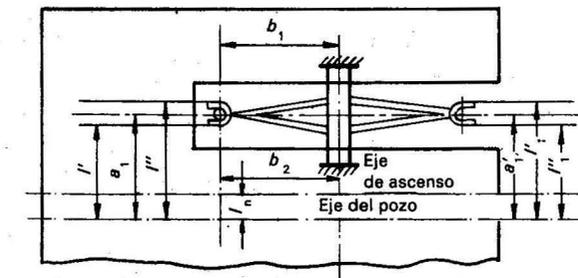


Fig. 4.25 Control de la instalación de la polea

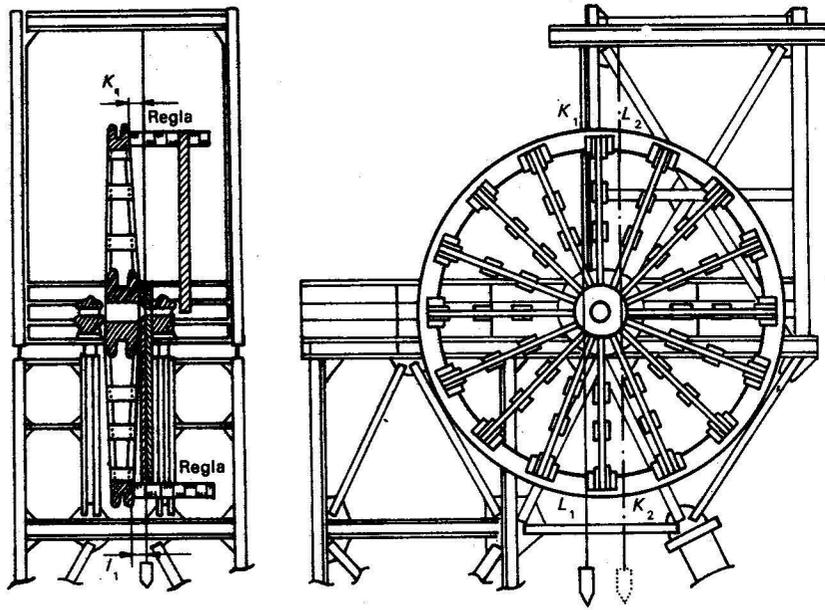


Fig. 4.26 Control de la verticalidad del plano axial de la polea

La medición de distancias desde las plomadas hasta los bordes de la polea, la efectuamos mediante una mira.

Trazado de los cimientos y los ejes de la máquina de ascenso

Como datos iniciales en el trazado de los cimientos, los ejes de ascenso y el árbol principal de la máquina de ascenso, tenemos los dibujos de los cimientos, los cortes verticales por los ejes principales de dicha máquina y los cimientos del edificio.

El trazado lo realizamos por los métodos estudiados, mientras que la estabilización la efectuamos mediante puntos auxiliares y las vallas o grey.

En la valla replanteamos los ejes, los bordes de los cimientos y los ejes que marcan la posición de los tornillos de anclaje. En la cercanía de los cimientos situamos puntos fijos de referencia, los cuales sirven para el control de la profundidad de los fosos, la altura de la base de apoyo y la superficie superior de los cimientos.

Para efectuar las mediciones de control, durante la instalación de la máquina de ascenso y en el periodo de explotación, replanteamos en el edificio de la máquina los ejes principales, el eje de ascenso y el eje principal del árbol de la máquina de ascenso. Este replanteo lo realizamos a partir de los puntos axiales del pozo minero o del mecanismo de ascenso. Aquí podemos encontrarnos con dos situaciones:

El edificio del mecanismo de ascenso se encuentra en construcción.

El edificio está terminado.

En el primer caso, al levantar las paredes del edificio de 1,0 a 1,5 m sobre el suelo, mediante un visado directo desde los puntos axiales, en la pared (por

su lado interior) marcamos puntos situados en el eje de ascenso (fig. 4.27). Los puntos mencionados los fijamos mediante unas grapas, en las cuales, por medio de un visado corriente (en dos posiciones del anteojo), se hacen rayas que marcan el eje de ascenso.

Al no coincidir el eje del pozo con el de ascenso, el segmento / tomado del proyecto, lo marcamos en el eje replanteado en el edificio del mecanismo de ascenso, y obtenemos de esta manera la posición del eje de ascenso.

En el segundo caso, al estar construido ya el edificio el replanteo del eje de ascenso lo realizamos trazando una poligonal con el teodolito a partir de los puntos axiales a través de las puertas y las ventanas del edificio.

Valiéndonos del esquema del trazado, en el edificio de la máquina de ascenso escogemos el punto K que, como es conocido, está situado en el eje de ascenso (fig. 4.27b). Luego, sobre la base de la distancia desde el punto citado hasta el centro de ascenso y el acimut del eje del pozo, calculamos las coordenadas de este. El punto M sería más apto para el caso (el centro de la máquina), sin embargo el foso o el pozo del cimiento impide la instalación del instrumento en este punto.

La forma de la poligonal con el teodolito puede ser muy variada. Con una forma arbitraria determinamos las coordenadas del punto II, luego mediante la solución de la tarea topográfica inversa calculamos los ángulos β_{II} y β_k y la distancia S_3 . Replanteados estos, determinamos la posición del punto K y la dirección de los ejes en el edificio de la máquina de ascenso.

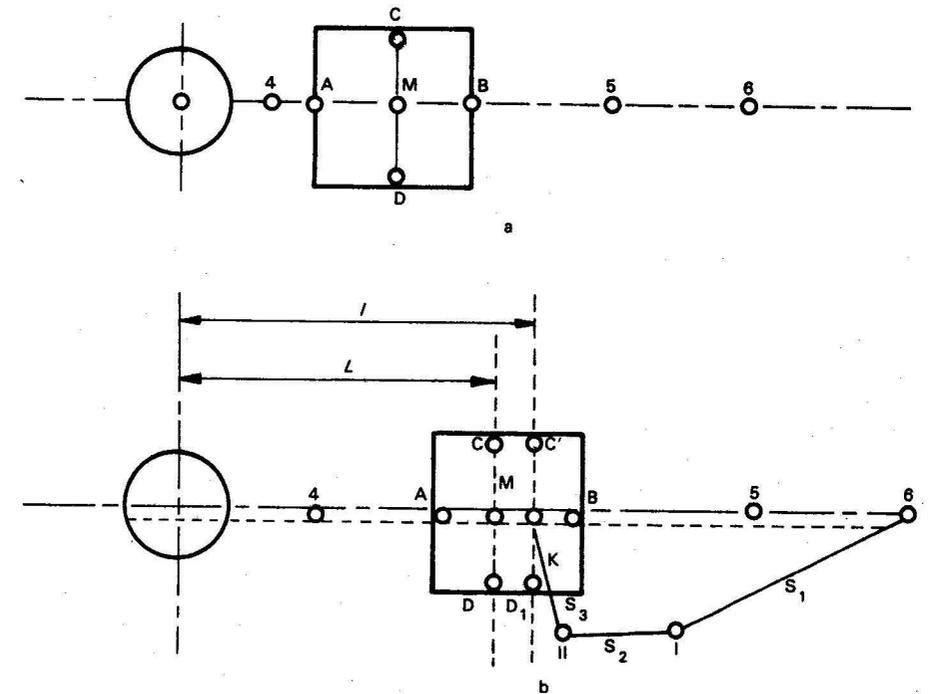


Fig. 4.27 Esquema del replanteo del eje de ascenso y del árbol principal de la máquina de ascenso

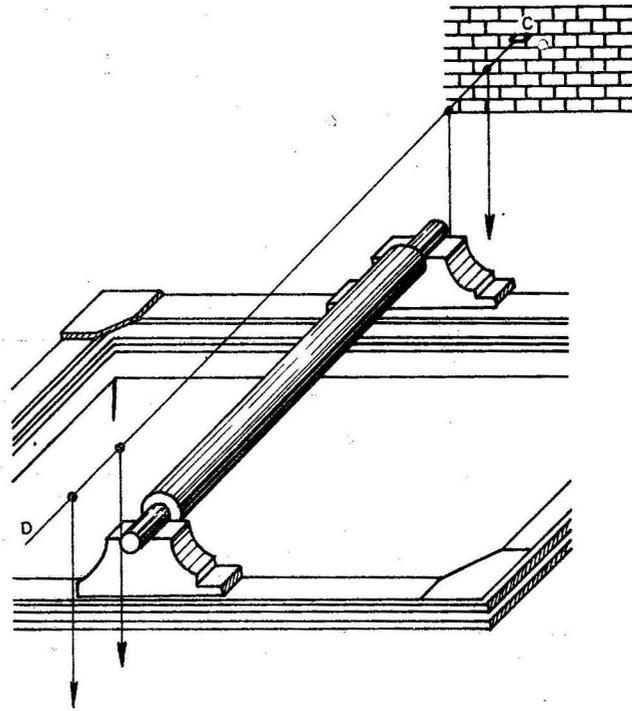


Fig. 4.29 Control de la instalación del árbol principal de la máquina de ascenso

El control se lleva a cabo midiendo con una regla milimetrada, las distancias comprendidas entre las plomadas y el cuello del árbol (fig. 4.30).

Si la distancia entre el eje del árbol y el eje auxiliar es a , el radio del cuello del árbol es r y la distancia medida entre las plomadas es b , la desviación G del eje real del árbol del eje proyectado, marcado por las grapas será:

$$G = a - r - b \quad (4.55)$$

En este caso es posible la desigualdad entre los diámetros del cuello del árbol en distintos tramos. Por eso al cálculo de G le precede la determinación del radio r , midiendo previamente con una cinta la longitud de la circunferencia del cuello del árbol en cada cojinete.

La altura del árbol principal y su horizontalidad la comprobamos mediante la nivelación del cuello del árbol en cada cojinete, teniendo siempre presente una posible desigualdad de los radios del cuello.

La desviación de la posición real del árbol principal de la máquina de ascenso en relación con lo previsto en el proyecto, no excederá de:

- a) ± 100 mm en la altura;
- b) ± 100 mm en la distancia entre el eje del árbol y el centro del pozo;
- c) 1:2 000 de su largo, en cuanto a la diferencia entre las cotas de los extremos del árbol de la máquina;

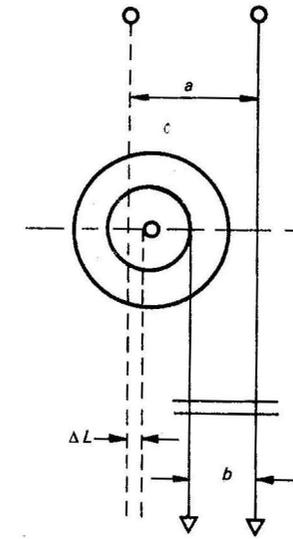


Fig. 4.30 Control de la instalación del árbol principal desde un eje auxiliar

- d) 5' en lo que respecta a la perpendicularidad entre el eje del árbol de la máquina y el eje de ascenso;
- e) 1:1 000 de la distancia comprendida entre el centro del pozo y el árbol de la máquina.

Control sobre la instalación del tambor

Después de montar el tambor sobre el árbol principal de la máquina de ascenso realizamos el control de su posición con respecto al eje de ascenso. Para controlar el efecto a lo largo del eje de ascenso, tendemos un cordel, colgando de este dos plomadas y efectuando mediciones de las distancias K , L , M y N desde la plomada hasta los bordes del tambor (fig. 4.31). Si las distancias medidas coinciden con las del proyecto, esto significa que los tambores están bien colocados.

El eje de ascenso debe pasar por el punto medio de la distancia entre los bordes interiores de los tambores. La desviación permisible debe ser igual a 1:2 000 de la distancia entre el centro del pozo y el árbol de la máquina.

Si medimos las distancias entre las plomadas A y B hasta los bordes de los tambores marcados con los puntos K, L, M y N en dos posiciones de los tambores, la instalación de los tambores de la máquina de ascenso ha sido correcta.

Supongamos que K_1 , L_1 , M_1 , N_1 son las distancias medidas en la primera posición de los tambores; K_2 , L_2 , M_2 , N_2 son distancias similares en la segunda posición del tambor (después de girar). Al girar un cierto ángulo el árbol principal con respecto al eje del proyecto, dichos ángulos de giro se determinan por las fórmulas:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{m_1 - m_2}{D_1} \rho = \frac{n_1 - n_2}{D_2} \rho \\ \varepsilon_2 &= \frac{K_1 - K_2}{D_2} \rho = \frac{l_1 - l_2}{D_2} \rho \end{aligned} \quad (4.56)$$

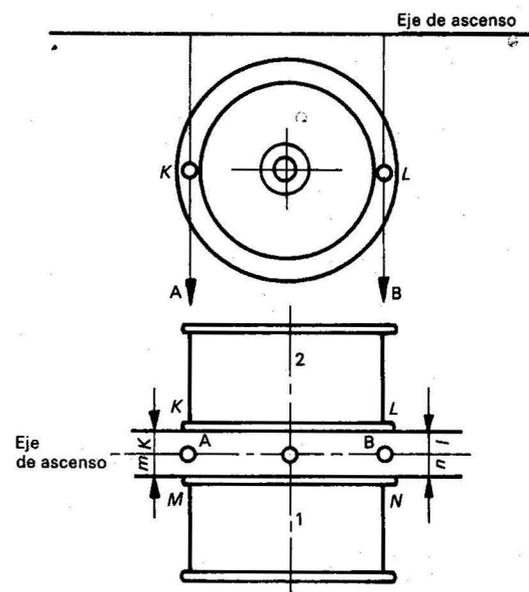


Fig. 4.31 Control de la instalación de los tambores

donde:

D_1 y D_2 - distancias entre los puntos M y N, K y L respectivamente;
 ε_1 y ε_2 - ángulos de giro de los tambores 1 y 2 respectivamente.

El punto medio entre los tambores se desplazará del eje de elevación en:

$$\bar{\eta} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{2} - \frac{K_1 - K_2}{2} \quad (4.57)$$

$$\eta = \frac{1}{2} \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{K_1 + K_2}{2}$$

4.9 TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN EL LABOREO Y LA FORTIFICACIÓN DE LOS POZOS MINEROS

Los trabajos de trazado y las mediciones de control efectuadas en el laboreo y la fortificación del pozo, tienden a asegurar la verticalidad y la sección de este y la instalación de los equipos, de acuerdo con el proyecto.

Durante la fase inicial del laboreo, las mediciones de control las efectuamos al instalar el marco principal o marco patrón. La correcta instalación del marco patrón crea las bases para controlar el cumplimiento de los datos del proyecto en los procesos del laboreo y fortificación del pozo.

En el transcurso del laboreo del pozo, se llevan a cabo mediciones sistemáticas con vistas a calcular el volumen de los trabajos realizados y confeccionar el corte geológico de las rocas a través del pozo. Durante la construcción de las fortificaciones permanentes, continuamos efectuando el control sobre la posición del revestimiento, efectuamos mediciones de los trabajos de fortificación realizados y los perfiles de las paredes del pozo.

Durante la instalación de los equipos del pozo se llevan a cabo mediciones de control encaminadas a asegurar la colocación correcta de los travesaños. De esto depende la colocación correcta de las directrices (conductores) y, como consecuencia de ello, un trabajo de ascenso normal.

Cuando se da por terminado el laboreo y la instalación de los equipos del pozo, se efectúan los perfiles de los travesaños y las directrices.

Trabajos del topógrafo durante el laboreo del pozo. Instalación del marco patrón

El contorno de la sección transversal del pozo se marca en el terreno con un marco patrón, cuyas medidas corresponden a la sección transversal del pozo. Dicho marco se instala en la capa superior del suelo, centrándolo con respecto a los ejes del pozo. Si la sección del pozo es circular, el centro del marco patrón debe coincidir con el centro del pozo minero, mientras que si la sección mencionada tiene forma rectangular, es necesario, además, una orientación del marco con respecto a los ejes del pozo.

El marco se instala en el suelo, realizando previamente la comprobación de la correspondencia de sus medidas con la sección proyectada del pozo. Para un marco de sección rectangular o curvilínea marcamos los puntos a, b, c y d (fig. 4.32a) situados en el eje del pozo.

Durante la instalación de un marco patrón comprobamos lo siguiente:

1. La horizontalidad del marco mediante la nivelación o con un nivel de barra.
2. Para colocar un marco de sección rectangular en el plano horizontal hacemos coincidir los puntos a, b, c y d con las plomadas colgadas en alambres tendidos entre los puntos axiales a lo largo de los ejes del pozo.
3. Para colocar un marco de sección circular en el plano horizontal (fig. 4.32b) hacemos coincidir el centro del pozo con la plomada sujeta en el punto de intersección de los alambres tendidos entre los puntos axiales. Al no estar marcado el centro de la sección del pozo en el marco, la colocación correcta de este en el plano horizontal se logra por medio de las mediciones de los radios r de las secciones, comprendidas entre la plomada hasta la circunferencia del marco patrón.

La desviación permisible del marco de la posición prevista en el proyecto es de ± 2 cm.

Control sobre la verticalidad y la sección del pozo

El control durante el laboreo de los pozos verticales se efectúa con plomadas de laboreo midiendo las distancias horizontales desde los alambres hasta las paredes del pozo.

Las mediciones de control en el laboreo y la fortificación de un pozo de sección circular se realizan con una plomada central, bajada por un orificio realizado en la viga del marco patrón y sobre el centro del pozo, o bien desde el punto de intersección de los alambres tendidos en la dirección de los ejes del pozo.

Las distancias (radios) desde la plomada hasta los lados del pozo las medimos con una mira o una cinta; un extremo de la mira se coloca junto a la pared del pozo y el otro coincidiendo con la plomada. La prueba de que la sección proyectada está correcta es la coincidencia de la mira con el espacio entre la plomada y la pared del pozo.

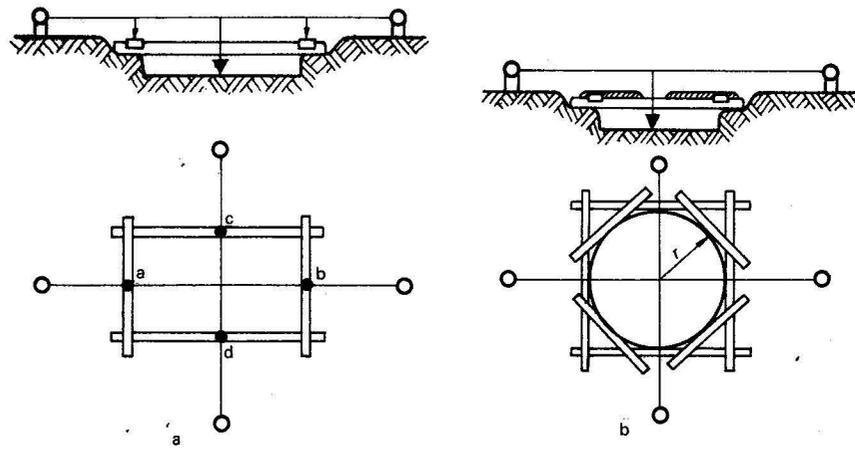


Fig. 4.32 Control de la instalación del marcopatrón

Durante el laboreo de un pozo de sección rectangular, en las esquinas de este colgamos cuatro plumadas, desde las cuales se hacen mediciones de las distancias hasta las paredes del pozo.

Las plumadas deben colgar libremente, sin que toquen los lados del pozo ni los equipos, hecho que se comprueba mediante un examen de las plumadas a todo lo largo del pozo. Las distancias entre las plumadas y los lados del pozo deben ser de 100 a 200 m.

Las plumadas de laboreo se cuelgan de una viga especial o de grapas, mientras que sus cargas dependen de la profundidad del pozo y no deben ser inferiores a 30 a 50 kg, cuando la profundidad del pozo es menor de 200 m y 50 a 70 kg para un pozo más profundo.

Para la suspensión de la carga se utiliza un alambre de acero, cuyo diámetro es de 2 a 3 mm, o un cable también de acero, con un diámetro de 3 a 5 mm. El alambre (cable) se enrolla en el tambor del güinche, cuyo diámetro debe medir de 20 a 30 cm. El güinche debe estar provisto de frenos. Tanto la bajada como la subida de los alambres o cables deben efectuarse con una carga que oscila entre 3 y 5 kg poniendo la carga completa tan solo durante las mediciones topográficas. Al efectuar los trabajos con explosivos, las plumadas se elevan un poco.

Las plumadas del laboreo se colocan al principio del laboreo, y durante el proceso se lleva a cabo un control sistemático, no menos de una vez por mes, efectuando mediciones desde los ejes del pozo.

A medida que se laborea el pozo, los puntos de fijación de las plumadas de laboreo laterales se trasladan más abajo. El nuevo nivel para fijar las plumadas del laboreo laterales lo escogemos unos 100 m más abajo del nivel anterior. La plumada central frecuentemente se sujeta con vistas a poder bajarla a toda la profundidad del pozo.

Para fijar las plumadas en el nuevo nivel elegimos primero un lugar cómodo para las mediciones, marcando en la rama de las fortificaciones los puntos A_1 y A_2 (fig. 4.33 a). Otro método es mediante la fijación de los puntos A, A_1 y A_2 en las paredes del pozo (fig. 4.33 b) y medimos las distancias a , a_1 , a_2 a partir de las paredes del pozo hasta la plumada.

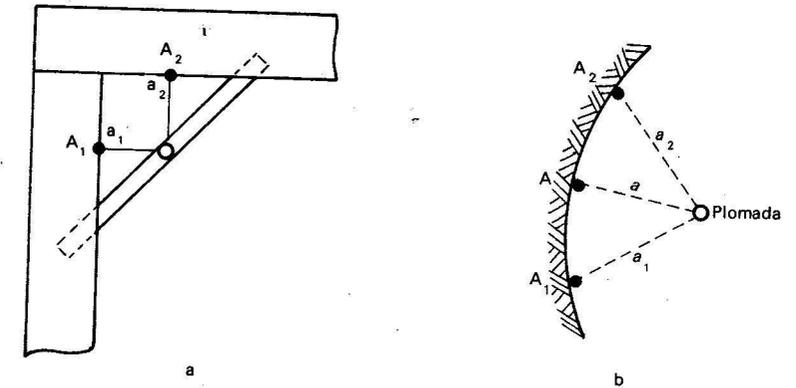


Fig. 4.33 Esquema de la centración de las plumadas en el nuevo horizonte

Una vez fijados los puntos en el nivel nuevo, realizamos la medición de las distancias entre las plumadas. Las diferencias entre las distancias citadas y las de los niveles superiores no debe sobrepasar de ± 5 mm.

El control sobre la sección se lleva a cabo con la medición de los radios a partir de la plumada central, o de las distancias desde las plumadas axiales hasta las paredes del pozo. Dichas mediciones se efectúan después que el pozo ha alcanzado 5 m de profundidad, y preferentemente en las zonas de este donde se registren desviaciones del proyecto.

Se admite que la sección real del pozo sea hasta un 5% mayor que la prevista en el proyecto. La precisión de las mediciones, tanto de las secciones como de las distancias desde las plumadas hasta las paredes del pozo, puede ser de ± 1 a ± 2 cm.

Mediciones topográficas durante la fortificación de un pozo

Para realizar la fortificación de las minas se emplean diferentes tipos de materiales, entre los que se encuentran la madera, el hormigón y las vigas metálicas.

En la ejecución de cualquier tipo de fortificación en un pozo minero es necesario situar puntos de apoyo cada 10 a 20 m. Cuando la fortificación es de madera, los puntos de apoyo se construyen de ese mismo material, mientras que si es de otro material los puntos de apoyo se fabrican de hormigón.

El requisito fundamental que se exige en la fortificación es la horizontalidad de sus superficies, la verticalidad de sus paredes y el cumplimiento exacto de la sección proyectada. La horizontalidad de las superficies la comprobamos con la ayuda de un nivel y la verticalidad de las paredes con plumadas. La desviación de las paredes es posible obtenerla midiendo las distancias a partir de las plumadas y efectuando comprobaciones con las distancias establecidas en el proyecto, admitiéndose una diferencia entre ellas no mayor de ± 3 cm.

La tarea del servicio topográfico es la ejecución de las mediciones señaladas con anterioridad cada 4 a 5 m de avance de los trabajos. Todas las mediciones que realizan los topógrafos durante el periodo de fortificación deben anotarse en las libretas que reflejan el desarrollo de los trabajos de fortificación. En la libreta del topógrafo se anotarán los datos siguientes:

1. Los datos fundamentales de laboreo del pozo obtenidos del proyecto entre los que se encuentran la sección, la instalación de los equipos, la profun-

dad, el método de laboreo, las características de las rocas, la afluencia de agua, etcétera.

2. Los datos reales obtenidos como consecuencia de las mediciones, como son: la sección real, los elementos de la fortificación, los materiales empleados para la fortificación, etcétera.
3. El corte vertical a través del pozo, donde aparezca la estructura geológica.
4. Los dibujos y esquemas que muestran las zonas de derrumbe y otras informaciones que es necesario representar en forma gráfica.

Perfilado de las paredes del pozo

El perfilado del pozo consiste en efectuar un levantamiento que nos proporcione la forma real de las paredes del pozo en los diferentes niveles. Sobre la base de los resultados del perfilado confeccionamos los cortes verticales (perfiles) del pozo (fig. 4.34). Para la confección de los perfiles de las paredes del pozo generalmente utilizamos como escala vertical 1:100 y en la horizontal 1:10.

El perfilado de las paredes del pozo lo realizamos con la ayuda de plomadas bajadas desde la superficie. La cantidad de plomadas y su colocación se escoge

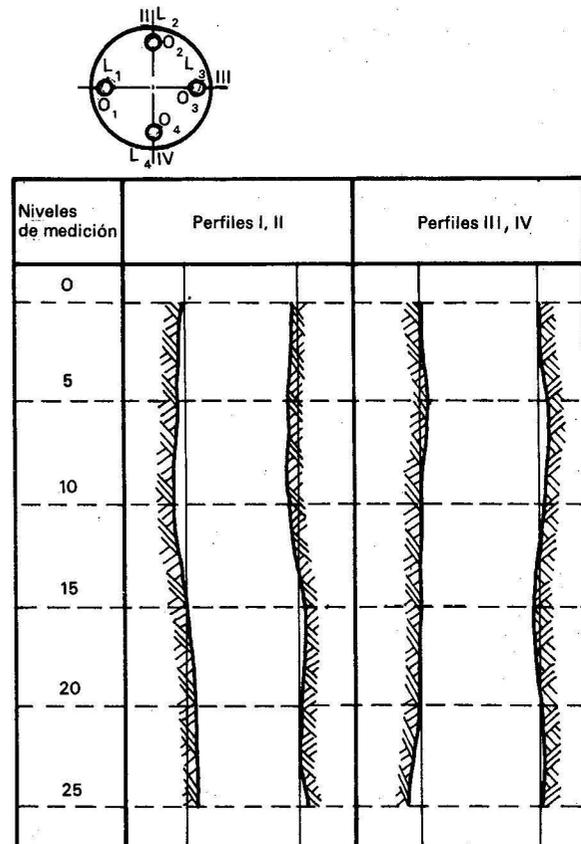


Fig. 4.34 Perfiles de las paredes del pozo

de acuerdo con la forma de la sección del pozo, la posibilidad de bajarlas a lo largo de toda la profundidad del pozo y la colocación de distintas construcciones que se emplean en el proceso de las mediciones. Independientemente de la situación de las plomadas, las mediciones se podrán realizar más fácilmente si en el pozo existe un andamio colgante, y si se dispone de una tina, el uso de esta es más práctico.

Los lugares para colocar las plomadas se eligen de forma que estas queden lo más próximas posible a los salientes de las paredes del pozo.

Los esquemas para la colocación de las plomadas con vistas a la determinación de los perfiles de un pozo están representados en la figura 4.35. De acuerdo con las condiciones concretas es posible hacer otros tipos de esquemas.

Durante la determinación de los perfiles medimos las distancias hasta las paredes del pozo desde las plomadas básicas O_1, O_2, O_3, O_4 (fig. 4.35a y d), la plomada O_1 (fig. 4.35c) y las plomadas O_1 y O_2 (fig. 4.35e). Las restantes plomadas: O_2 y O_3 (fig. 4.35b); las O_2, O_3 y O_4 (fig. 4.35c) las utilizamos como auxiliares en la orientación de las distancias medidas a partir de las plomadas básicas.

Las plomadas laterales que se emplean durante las mediciones en el pozo deben colocarse a una distancia de 20 a 30 cm de las paredes de este, aumentándolas en los lugares de curvatura del pozo.

Después de colgar y sujetar las plomadas, comprobamos si no rozan con las paredes del pozo o el equipo. Con este fin bajamos en la tina o en un andamio y examinamos las plomadas a lo largo de todo el pozo.

Mediante mediciones directas establecemos la posición de cada plomada con respecto a los ejes del pozo, procediendo después a realizar las mediciones para el perfilado de las paredes del pozo.

La longitud de los intervalos de medición a través de los cordales de las plomadas se establece con intervalos de 5 a 10 m, debiendo marcarse en el cordel estos tramos.

Las mediciones de las distancias desde las plomadas hasta las paredes del pozo las efectuamos con una regla o mira especial.

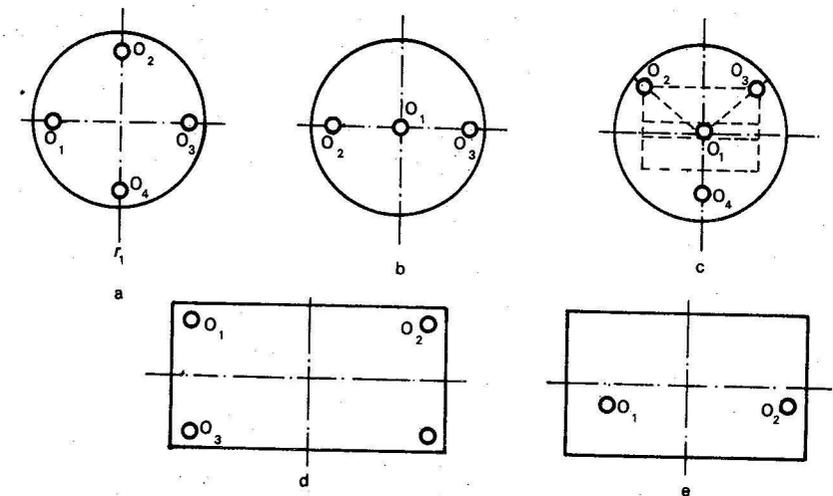


Fig. 4.35 Posiciones de las plomadas durante el perfilado del pozo

Con el fin de evitar que la mira o regla se introduzca en alguna irregularidad de las paredes del pozo, en su extremo fijamos una tablilla transversal de 20 a 30 cm. Las lecturas en la mira las tomamos cada 0,5 a 1 cm.

En los trabajos del perfilado de las paredes del pozo hay que prestar atención a la seguridad de los trabajadores que realizan las mediciones desde una tina bajo condiciones sumamente difíciles.

Armazón del pozo

La armazón de un pozo puede ser de madera, metálica o mixta. Los compartimientos de *skip* se hacen de una armazón metálica, mientras que los de la jaula, destinados para bajar y subir el personal, se equipan con una armazón mixta.

Los travesaños los situamos en filas (de tres a seis travesaños por fila). Los travesaños que soportan las guías se denominan principales, mientras que el resto recibe el nombre de secundarios. La distancia que separa las filas es generalmente de 2 o 3 m, según la armazón sea de madera o de metal. Las guías de madera son barras de 6 a 8 m de largo y las metálicas son rieles, cuyo largo medio es de 12,5 m.

Los travesaños principales en la primera fila se ponen en posición horizontal y los travesaños principales de todas las filas restantes en un solo plano vertical. Al colocar los travesaños dejamos espacios de 150 a 200 mm entre los recipientes y las paredes del pozo y de 40 a 50 mm entre los elevadores y los travesaños, para cumplir con las reglas de seguridad.

La armazón del pozo la podemos realizar por dos métodos:

- los travesaños se colocan en un orden descendente y las guías en orden ascendente;
- los travesaños se colocan en un orden ascendente y las guías en descenso.

El método más empleado es el primero.

Durante la armazón se efectúan los siguientes trabajos topográfico mineros:

Perfil de las paredes del pozo.

Mediciones con vistas a instalar los travesaños de la primera fila.

Bajada y estabilización de las plomadas.

Mediciones encaminadas a la instalación de los travesaños de los pisos restantes.

Perfil de los travesaños y las guías.

Las cavidades para la colocación de los travesaños las hacemos durante la construcción de la fortificación permanente, o son preparadas durante la armazón. Si en el proceso citado se usan andamios de dos o tres pisos, en este caso desde el piso inferior se efectúan las cavidades, instalando los andamios desde el piso superior (fig. 4.36). El trazado de las cavidades del siguiente nivel se realiza con respecto a los travesaños de la fila superior.

La instalación de los travesaños del primer piso se efectúa previo el tendido a lo largo de los ejes del pozo de unos alambres finos, que se marcan en la valla en unos puntos auxiliándonos con el teodolito.

La colocación correcta de los travesaños en un plano horizontal se controla por mediciones a partir del eje del pozo hasta los travesaños y la posición vertical de estos con un nivel o con un nivel de barra.

La diferencia entre la posición real y la proyectada de los travesaños en el plano horizontal no debe ser mayor que ± 5 mm para los metálicos y ± 15 mm para los de madera.

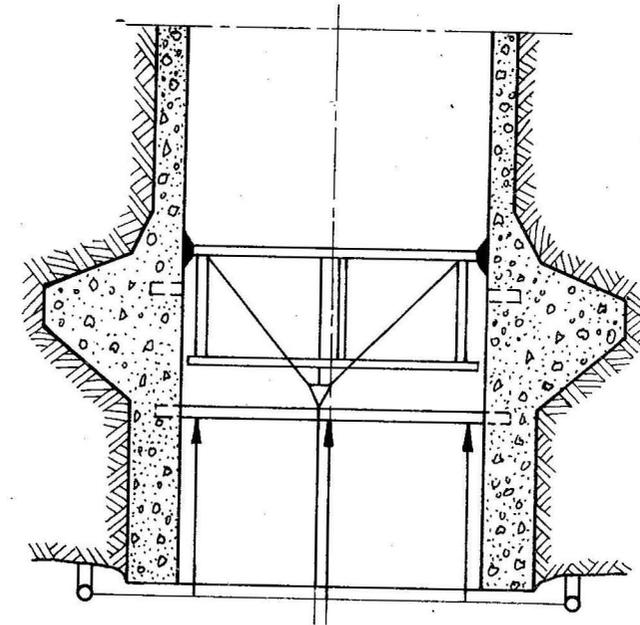


Fig. 4.36 Control de la instalación de los travesaños

Los travesaños deben instalarse en el plano horizontal, con un error relativo en cuanto a su altura, no mayor que 1:200 del largo del travesaño. Las diferencias de las distancias reales entre las filas de los travesaños en relación con las del proyecto no deben exceder de ± 15 mm y ± 50 mm para las guías metálicas y de madera respectivamente.

En una posición correcta, los travesaños del primer piso deben estar paralelos y perpendiculares a los ejes respectivos del pozo. Los puntos b, e, d (fig. 4.37a) y los puntos a, b, c (fig. 4.37b) deben situarse en el eje del pozo.

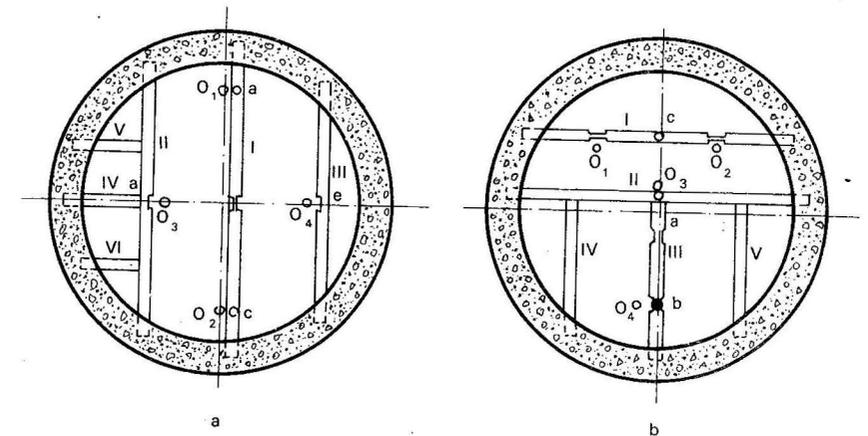


Fig. 4.37 Esquema para la disposición de los travesaños y plomadas

Las mediciones para efectuar la instalación de los travesaños de las filas posteriores las realizamos desde las plomadas fijadas en los travesaños de la boca del pozo, con la ayuda de los patrones y la cinta.

En la instalación de los travesaños, la cantidad de plomadas debe reducirse al mínimo, procurando que quede asegurada tanto la comodidad del trabajo como la precisión requerida de las mediciones. La figura 4.37 muestra los travesaños principales I, II y III y los secundarios IV, V y VI.

Para la fijación de las plomadas en la primera fila se emplea un soporte especial (fig. 4.38), el cual se sujeta al travesaño o a una chapa metálica soldada a este. La distancia entre el plano lateral del travesaño y la plomada, bajada a través del orificio en el soporte, debe ser de unos 50 a 100 mm. Para la plomada se emplea un alambre de acero y una carga de 20 a 50 kg.

Para evitar las oscilaciones de las plomadas usadas en la armazón, los puntos de sujeción de estas se trasladan unas 10 a 15 filas más abajo, o colocando soportes especiales que limiten las oscilaciones de las plomadas.

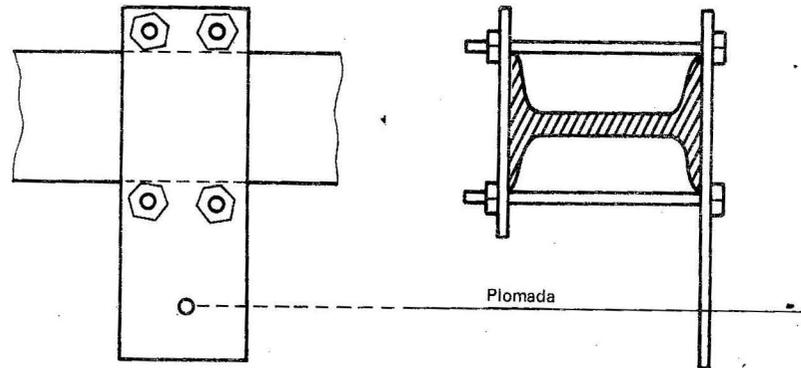


Fig. 4.38 Soporte para fijar la plomada

La instalación de los travesaños de las filas posteriores se facilita en un grado considerable, mediante el uso de patrones especiales de madera o de metal ligero. Para colocar el travesaño I construimos un patrón de forma triangular o una regla con un saliente (fig. 4.39a). Para el montaje de los travesaños II y III construimos dos patrones: el primero (fig. 4.39b) es para el centrado de los travesaños y el segundo (fig. 4.39c) para asegurar el paralelismo de estos.

La horizontalidad de los travesaños en una fila la comprobamos con un nivel de inclinación o un nivel de agua.

La distancia que separa las filas de travesaños (altura) la comprobamos con el patrón expuesto en la figura 4.40. Estos patrones no solo garantizan la distancia entre las filas sino que además soportan el travesaño inferior, simplificando por tanto su instalación.

Para el control de la posición de las plomadas durante el proceso de la armazón efectuamos mediciones periódicas de las distancias entre las plomadas, comparándolas luego entre sí.

La instalación de los travesaños en la armazón de los pozos de secciones rectangulares se lleva a cabo de la misma forma que en los pozos de sección circular. La disposición de los travesaños análogos de las diversas filas en un solo plano vertical se controla mediante plomadas y patrones. La horizontalidad de los travesaños se controla con la ayuda de un nivel.

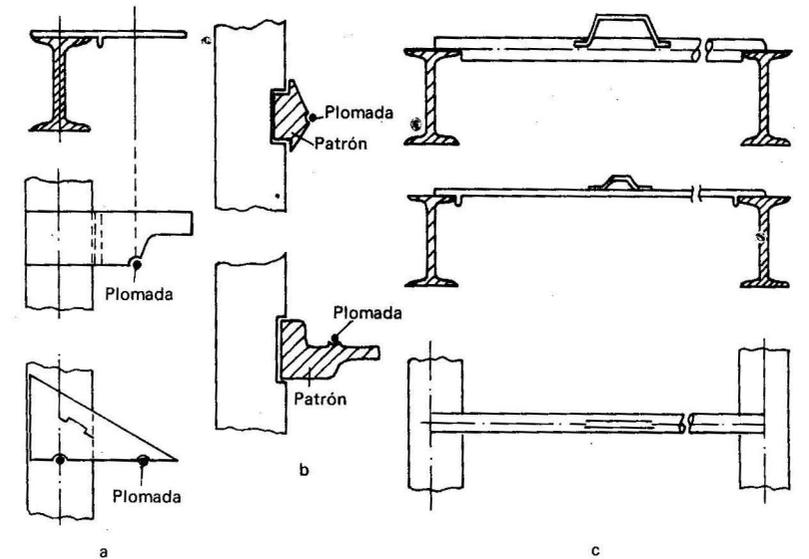


Fig. 4.39 Patrón para la instalación de los travesaños

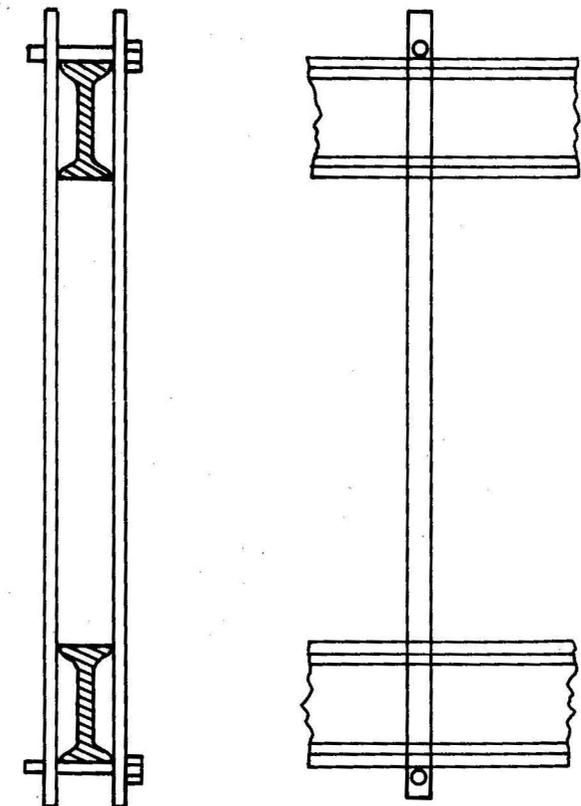


Fig. 4.40 Patrón para controlar la distancia vertical entre los travesaños

Después de colocar los travesaños, se sujetan a través de todo el pozo las guías que se fijan sin ningún control adicional, si en los travesaños metálicos existen orificios especiales para pernos. La puesta de las guías se controla mediante plomadas y patrones cuando se fijan a una armazón de madera. La distancia entre las guías de un solo elevador las comprobamos con un patrón.

Al instalar los travesaños y las guías en toda la profundidad del pozo, efectuamos el perfilado de estos, para cuyo objetivo empleamos elevadores para el movimiento por el pozo. El perfilado se lleva a cabo mediante unas plomadas colocadas a todo lo largo del pozo. Las plomadas las colocamos una al lado de cada guía, de modo que brinden la posibilidad de comprobar la verticalidad, tanto de la cara frontal como de los lados de la guía. En sus partes inferiores las plomadas se sumergen en unos recipientes llenos de un líquido viscoso o se inmovilizan con un soporte.

En la figura 4.41 se muestra un esquema aproximado de la situación de la guía y la plomada. En la determinación del perfil medimos las distancias comprendidas entre la plomada y el lateral a , entre la plomada y el travesaño b y desde la plomada hasta el lado frontal de la guía. El control de las distancias entre las guías de un recipiente de ascenso la realizamos con un patrón.

Todas las mediciones relacionadas con los perfiles se llevan a cabo en el nivel de cada fila de travesaños.

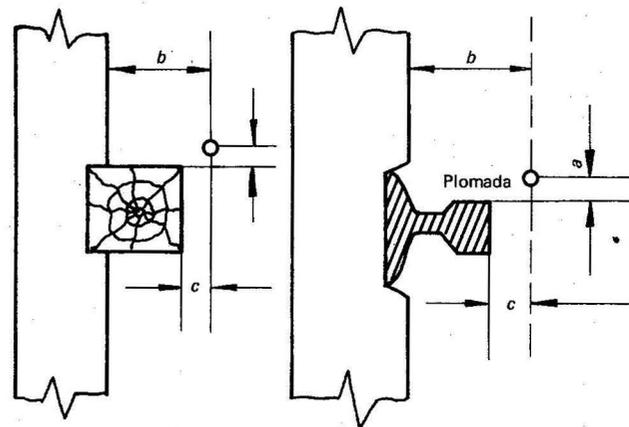


Fig. 4.41 Esquema para las mediciones durante el perfilado de las guías y los travesaños

Sobre la base de los datos obtenidos, confeccionamos los perfiles de la cara frontal y de los lados de cada guía, escogiendo una escala vertical 10, y en algunos casos 20 veces menor que la escala horizontal.

4.10 TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA EN EL LABOREO DE EXCAVACIONES EN LA ESTACIÓN DEL POZO. APERTURA DE LA ESTACIÓN DEL POZO

La apertura de la estación del pozo se efectúa de acuerdo con los gráficos en los cuales el pozo y la estación están unidos. Al llegar al frente del laboreo del pozo cerca del nivel proyectado, efectuamos las mediciones para la profundiza-

ción del pozo. Después de cerciorarnos de la precisión de las mediciones, en la fortificación del pozo y frente a los lugares de la apertura, estabilizamos dos puntos altimétricos: uno a nivel del suelo y otro en el techo de la estación del pozo.

Para efectuar los trabajos de corte, desde los puntos axiales, previamente situados en el pozo o en la superficie, bajamos dos plomadas de modo que pasen por el eje del pozo.

En la alineación de las plomadas, en las paredes opuestas del pozo, y un poco más arriba del nivel proyectado se fijan los puntos m y n (fig. 4.42). La alineación de los citados puntos la tomamos como la dirección de partida para la apertura de la estación del pozo.

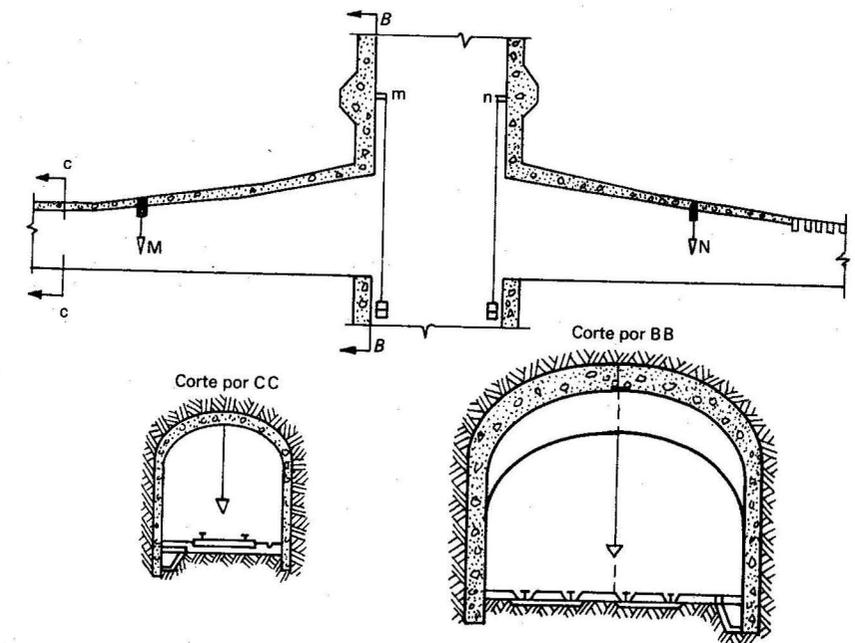


Fig. 4.42 Apertura de la estación del pozo

Guiándonos por la dirección del eje (alineación de las plomadas) realizamos tanto la apertura como el laboreo de la estación, avanzando unos 10 a 20 m a cada lado del pozo (fig. 4.42). La apertura podemos efectuarla también en una sola dirección. Luego realizamos la transmisión preliminar de la cota y el trazado del eje del pozo en la estación. Utilizando los resultados del trazado preliminar del eje ejecutamos el laboreo de la excavación de la estación hasta una extensión de 20 a 30 m a partir del pozo.

La continuación del laboreo de la excavación será después de orientar la mina, transmitir las cotas, terminar el trazado final, y fijar los ejes en las excavaciones de la estación del pozo.

En el transcurso de las labores para la apertura de la estación del pozo, en las excavaciones adyacentes a este, se realizan mediciones relacionadas con el replanteo del proyecto.

Se dan casos en la práctica de la construcción de las minas cuando las condiciones reales de la yacencia de los mantos (rumbos, buzamiento y profundidad

desde la superficie) en la zona de la apertura de la estación difieren un tanto de las consideradas en el proyecto. En estos casos, el proyecto debe ajustarse a las condiciones específicas de la yacencia de los estratos, efectuando la apertura de la estación después de haber introducido las modificaciones pertinentes.

Trazado del eje del pozo en la estación

Este trabajo se realiza sobre la base de los resultados de la orientación. Previamente a la orientación confeccionamos un esquema de la posición aproximada de los puntos axiales y adyacentes de la estación del pozo, los cuales emplearemos con posterioridad en el levantamiento subterráneo.

Para la confección del esquema, los puntos axiales se escogen de manera que las distancias entre ellos no sean inferiores a 15 a 20 m y que puedan ser fijados con seguridad.

Estableciendo aproximadamente las distancias l_1 y l_2 a partir de los puntos axiales M y N hasta el centro del pozo (fig. 4.43a) y basándonos en el acimut α del eje del pozo y las coordenadas del centro de este, tomados del proyecto, calculamos las coordenadas de los puntos mencionados, por las fórmulas:

$$Y_M = Y_0 + l_1 \cos \alpha; Y_N = Y_0 + l_2 \cos (\alpha \pm 180^\circ) \quad (4.58)$$

$$X_M = X_0 + l_1 \sin \alpha; X_N = X_0 + l_2 \sin (\alpha \pm 180^\circ) \quad (4.59)$$

La orientación de una mina puede efectuarse por un método cualquiera, tomando como datos de partida los puntos situados en la superficie.

En la figura 4.43b se muestra un esquema de enlace por el método de los triángulos. El acimut de la alineación de las plomadas, así como sus coordenadas, están determinadas en el mismo sistema que las coordenadas de los puntos situados en la superficie.

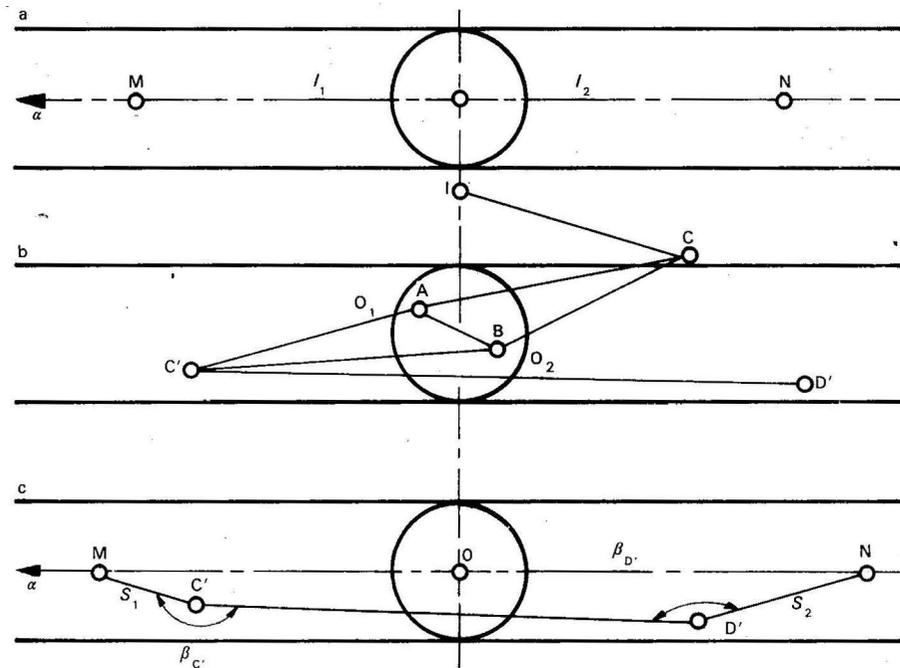


Fig. 4.43 Replanteo de los ejes del pozo de la estación

El enlace en la estación del pozo podemos realizarlo con un triángulo o con dos. El acimut $\alpha_{CD'}$ al igual que las coordenadas de los puntos de enlace C' y D' , obtenidos de la orientación sirven de datos de partida en el trazado del eje del pozo en la estación.

El trazado del eje del pozo en la estación lo realizamos mediante el replanteo de los ángulos $\beta_{C'}$, $\beta_{D'}$, así como las distancias S_1 y S_2 (fig. 4.43c) calculadas sobre la base de las coordenadas de los puntos C' , D' , M y N.

Los puntos M y N, obtenidos en el terreno al replantear los ángulos $\beta_{C'}$, $\beta_{D'}$ y las distancias S_1 y S_2 se estabilizan con señales permanentes.

Simultáneamente con la orientación efectuamos la transmisión de la cota al nivel de la estación del pozo.

Con vistas a efectuar el control repetimos de nuevo tanto la orientación como la transmisión de la cota desde la superficie hacia la mina.

4.11 DOCUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA DE UNA MINA ENTREGADA PARA LA EXPLOTACIÓN

A medida que se construye la mina, todos los trabajos topográficos se registran en la documentación de esta. Cuando termina la construcción de la mina y esta se encuentra lista para la explotación, se entrega la documentación al organismo, bajo cuya autorización pasa la mina.

A continuación damos una lista aproximada de los documentos topográficos que deben entregarse junto con la mina:

1. Plano del territorio de la mina.
2. Esquema de los puntos con la base geodésica (triangulación, poligonometría, nivelación).
3. Catálogos de las coordenadas y las cotas.
4. Plano del patio minero.
5. Planos y dibujos de las construcciones técnicas.
6. Esquemas del trazado de las construcciones principales.
7. Materiales de comprobación de la posición de la torre.
8. Materiales de comprobación de la máquina de ascenso.
9. Materiales relacionados con el servicio al laboreo, la fortificación del pozo, y el perfilado de las paredes del pozo. Los materiales relacionados con el servicio a los trabajos de la armazón del pozo y el perfilado de las guías. El corte geológico se ejecuta por el pozo de la mina.
10. Plano de las excavaciones mineras. Los materiales referentes a la orientación de las minas, medición de sus profundidades y el trazado de los ejes del pozo. Los perfiles de las excavaciones principales. Los materiales relacionados con las mediciones de control de las excavaciones.
11. Documentación primaria de los levantamientos topográficos, en forma de catálogos, libretas, esquemas, dibujos (croquis) mediciones.

Todos los documentos enumerados estarán acompañados de una nota explicativa, en la que se den los datos característicos de la precisión de los trabajos efectuados y los resultados de las mediciones de control, señalando, además, el ejecutor, las fechas de realización de los trabajos, así como los datos tomados como base y una descripción de los métodos y equipos empleados.

TRABAJOS TOPOGRÁFICO MINEROS EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS POR EL MÉTODO A CIELO ABIERTO

5.1 OBJETIVOS Y ASPECTOS DE LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN LAS CANTERAS

Los objetivos fundamentales de los levantamientos topográficos mineros en las canteras son:

- El levantamiento de los bordes superiores e inferiores de los bancos.
- Los trabajos de perforación y exploración geológica.
- Las vías de transporte en las canteras.
- Las líneas de transmisión eléctrica.
- Los edificios y las construcciones en el área de la cantera.
- Las escombreras.
- La disposición de los mecanismos principales para la explotación de la cantera (excavadoras, hidromonitores, etc.).
- Los deslizamientos en la cantera.
- Las zanjas y obras de drenaje.

El levantamiento de los bordes de los bancos y los trabajos de perforación se realizan en aquellos lugares donde existen bloques proyectados y preparados para la explotación. El levantamiento de los depósitos de los minerales útiles extraídos lo efectuamos cada diez días o mensualmente, en dependencia del sistema de cálculo adoptado para los minerales. El levantamiento de los límites de las escombreras se lleva a cabo una vez cada seis meses. Los levantamientos instrumentales de los elementos geológicos se realizan en presencia del geólogo y bajo su dirección.

La exactitud de los levantamientos depende de la escala adoptada en los planos de las canteras. En la actualidad, los planos de las canteras se confeccionan a escala 1:1 000 y los planos de la superficie a escala 1:2 000 y 1:5 000. En dependencia de estas escalas se elige una forma de levantamiento que asegure la exactitud de los planos.

El método de levantamiento más empleado en las unidades mineras de explotación a cielo abierto es el levantamiento taquimétrico. En la actualidad en las empresas mineras comienza a utilizarse con éxito el método estereofotogramétrico (aéreo y terrestre). Esta forma de levantamiento es la más productiva y tiene una gran perspectiva. En los años futuros será el método empleado para el levantamiento de las canteras.

5.2 RED DE APOYO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MINERO EN LAS CANTERAS

El levantamiento topográfico minero en las canteras se debe realizar sobre la base de las redes geodésicas de apoyo existentes en las proximidades de la cantera. Como red de apoyo se puede utilizar la triangulación, la poligonometría y la trilateración de I, II, III y IV órdenes, así como las redes geodésicas locales. Como base altimétrica del levantamiento se pueden utilizar los puntos de las líneas de nivelación de I, II, III y IV órdenes.

La construcción de las redes de apoyo depende de la forma de la cantera y del sistema de apertura. En las canteras de tipo montañoso los puntos de apoyo permanente se construyen en forma de cadenas de triángulos y se sitúan en las partes más altas de las lomas. En las cadenas que se desarrollan de un solo lado, los puntos de la red de apoyo se construyen en el borde inmóvil en forma de una cadena de triángulos. En las canteras con una alta concentración de puntos de apoyo, estos se disponen por el perímetro del contorno de la cantera, construyéndose un sistema central (fig. 5.1). En estos casos, el punto central es difícil de proteger de las labores mineras y frecuentemente solo se utiliza para realizar las observaciones y el cálculo de la red.

Además de la triangulación, para crear las redes de puntos de apoyo, en algunas canteras se emplea el método de poligonometría.

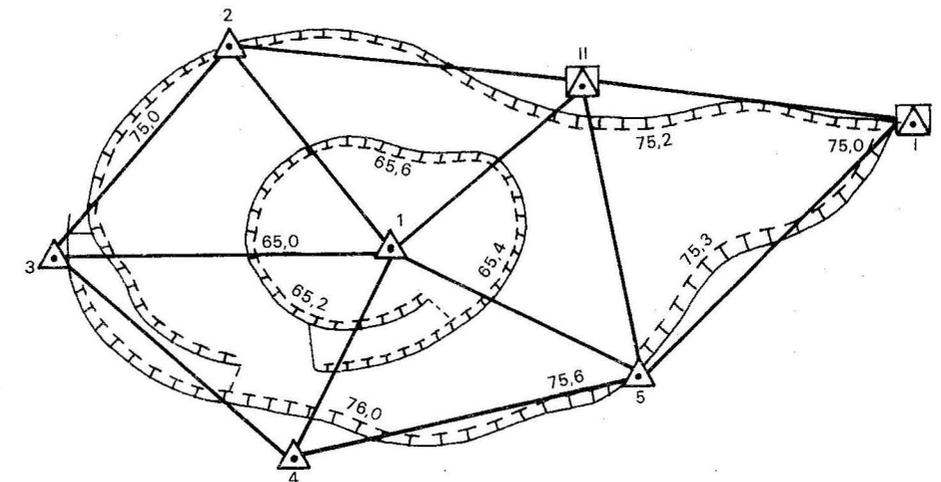


Fig. 5.1 Construcción de una red de apoyo de la cantera con un desarrollo concentrado de los trabajos mineros

En las canteras, las redes de triangulación y de poligonometría se densifican con puntos complementarios, que se sitúan en los bordes y en el interior de dichas canteras, en lugares que ofrezcan seguridad para su conservación. Los puntos de la red de apoyo se construyen en dependencia de las condiciones que imperan en la zona, de acuerdo con las instrucciones técnicas para la ejecución de los trabajos topográfico mineros.

Las señales que se utilizan con estos fines se construyen de madera o metal y su altura oscila entre 5 y 10 m.

En la figura 5.2 se muestra una pirámide de madera con sus medidas correspondientes. El elemento fundamental en la construcción de la pirámide es la confección del cilindro para las visuales, que consta del cilindro propiamente dicho y de las aletas colocadas en su parte superior. Con el fin de obtener una mayor visibilidad tanto del cilindro como de las aletas, ambos se deben pintar de un color negro opaco o de otro color que se destaque en el medio ambiente. El cilindro debe ser recto y de un diámetro no inferior a 10 cm.

La colocación de una señal comienza con la construcción en el terreno, luego se levanta y las patas se introducen en los orificios que fueron abiertos con antelación. Después, con dos teodolitos estacionados a 90° con respecto a la señal,

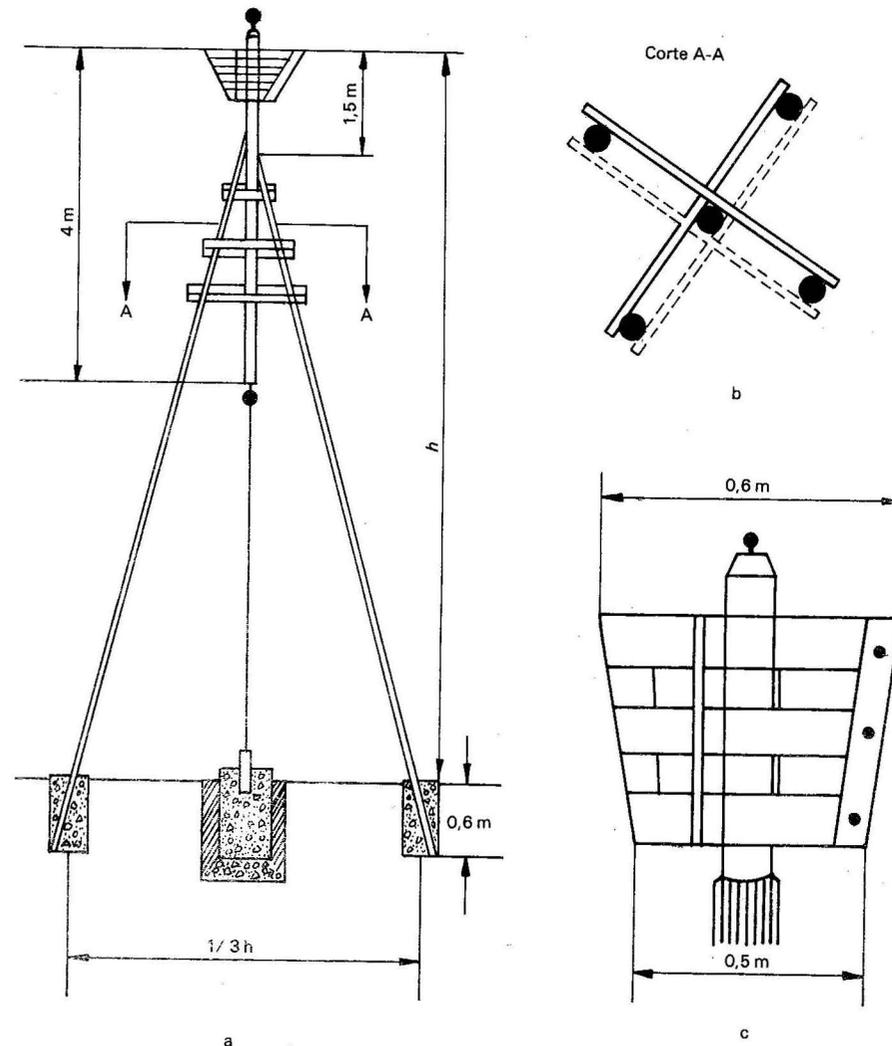


Fig. 5.2 Pirámide de madera

se le da al cilindro de visado la posición vertical mediante el movimiento de las patas. Una vez colocada debidamente la señal, se procede a llenar los orificios inmobilizando las patas.

El cilindro de visado debe tener en sus extremos superior e inferior dos clavos, que se utilizan para dirigir las visuales.

Después de colocar la señal se procede a construir el punto de la estación por medio de un monolito de hormigón. La desviación del centro del cilindro de visado con respecto al punto de la estación no debe ser mayor de 1 o 2 cm.

Los puntos de la red de apoyo deben estar bien señalizados para su fácil localización y estar bien protegidos de las labores mineras de explotación.

5.3 RED DE PUNTOS PARA EL LEVANTAMIENTO EN LAS CANTERAS

Cuando se ha construido la red de puntos de apoyo a través de toda el área de la cantera, se hace necesaria la creación de otra red de puntos, desde los cuales se efectúan los levantamientos de los bordes de los bancos, de los trabajos de perforación y demás trabajos topográficos que se realizan en una cantera. Frecuentemente los puntos para el levantamiento no tienen un uso prolongado, por lo que se consideran puntos temporales. La situación planimétrica de estos puntos se debe determinar con un error no mayor de 0,2 m y la altimétrica con un error de $\pm 0,1$ m.

La situación planimétrica de estos puntos se debe determinar por medio de las intersecciones directas, inversa y acimutal a las microtriangulaciones, poligonales con teodolito y con los puntos del trazado de la red de explotación.

La elección de uno u otro método depende del relieve del terreno, las dimensiones, la configuración y la profundidad de la cantera. Además de la aplicación única de uno de estos métodos, es posible aplicar en ciertos casos, distintas combinaciones de ellos.

La microtriangulación consta de una cadena de triángulos trazada desde los puntos de la red de apoyo. En la figura 5.3 aparecen tres esquemas de microtriangulación.

Las longitudes de los lados de las microtriangulaciones deben ser superiores a los 150 m, y pueden alcanzar hasta 1 000 m. Los ángulos deben ser mayores de 30° y menores de 150° , admitiéndose un error de cierre angular de $20''$. En las instrucciones para la ejecución de las microtriangulaciones se expone claramente la forma de realizarlas y de calcularlas. Este método se recomienda en canteras alargadas de relieve complejo.

Intersección directa. Se miden todos los ángulos en el triángulo y el error de cierre angular se distribuye en partes iguales entre todos los ángulos. Los ángulos para la determinación del punto deben oscilar entre 30° y 120° . Para emplear este método es recomendable determinar las coordenadas del punto por más de una intersección. En la figura 5.4 se muestra un esquema de una intersección directa, en el cual P es el punto cuyas coordenadas van a ser determinadas; A, B y C son los puntos de la red de apoyo cuyas coordenadas son conocidas y $\alpha'_a, \beta'_b, \gamma'_c, \alpha'_b, \beta'_c, \gamma'_a$ son los ángulos medidos en los triángulos.

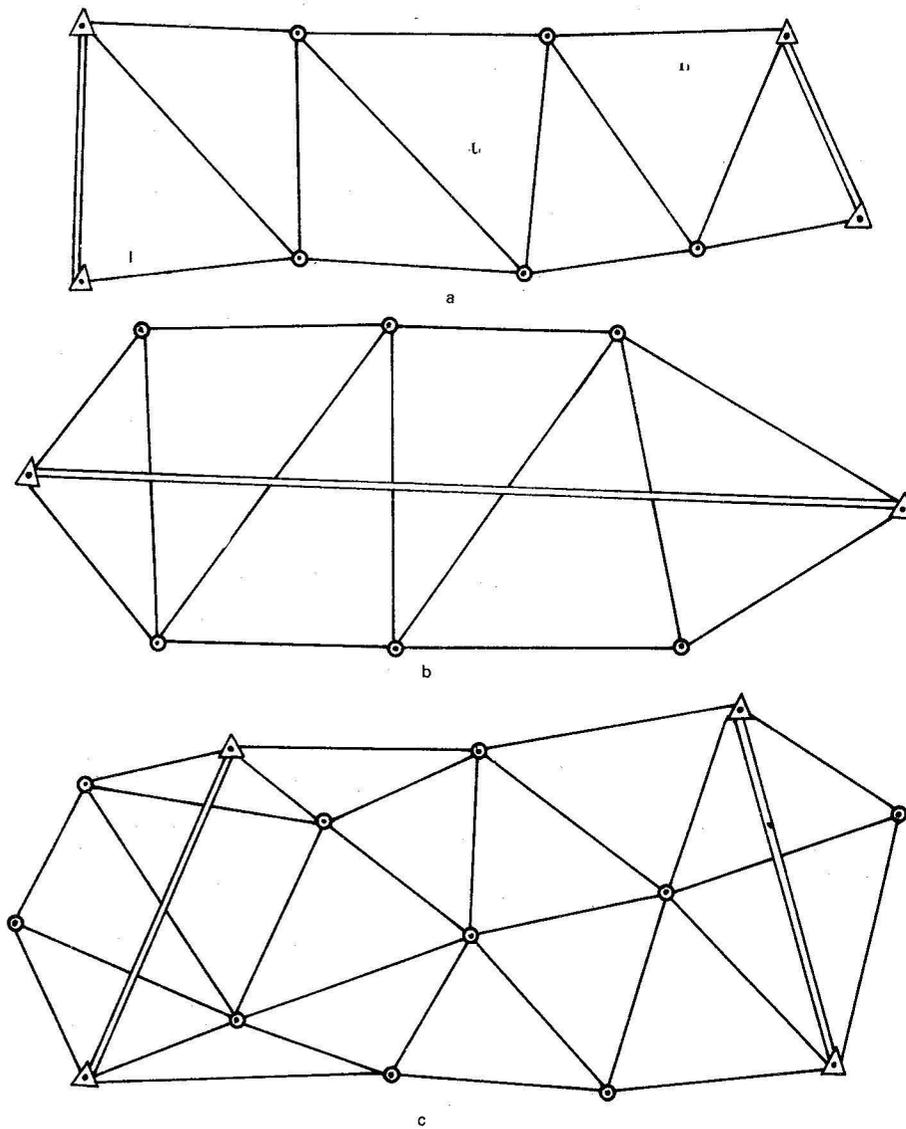


Fig. 5.3 Esquema de una microtriangulación: a) en forma de cadena entre dos lados orientados; b) en forma de cadena entre dos puntos de coordenadas conocidas; c) en forma de malla

Intersección inversa. En la figura 5.5 aparece un esquema de una intersección inversa, en la cual se miden α y β en el punto P y además como forma de comprobación se miden los ángulos $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ y φ_4 . Para la intersección inversa son válidas las mismas recomendaciones dadas para la intersección directa.

Intersección acimutal. En la figura 5.6 está representado el esquema de la intersección acimutal que consiste en la medición de los ángulos β_1, β_2 y β_3 en el

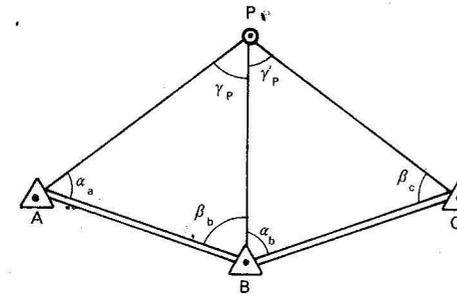


Fig. 5.4 Intersección directa

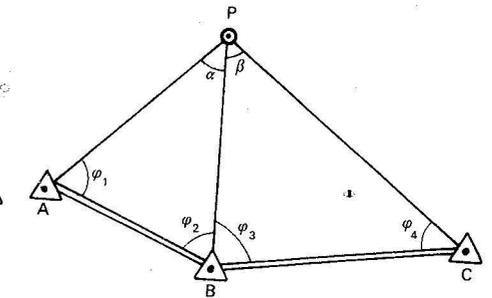


Fig. 5.5 Intersección inversa

punto P desde la dirección inicial OP cuyo acimut es conocido, lo cual nos permitirá determinar el acimut de las direcciones PA, PB y PC. Tomando en consideración que los acimuts de los lados AB y BC son conocidos, es posible determinar los ángulos $r_1, \gamma_1, \gamma_2,$ y r_2 por la diferencia entre los acimuts.

Para los tres casos de intersección existen modelos de cálculo que permiten determinar de una forma organizada las coordenadas de los puntos.

Poligonales con teodolito. Se emplean para determinar la posición planimétrica de los puntos. Se construyen entre puntos de coordenadas conocidas (poligonal de enlace) o en forma de un polígono cerrado (fig. 5.7). Los ángulos se miden con un teodolito de una apreciación no inferior a $30''$. Las longitudes de los lados se miden con cintas, telémetros o mira de base en ambas direcciones (ida y vuelta), la diferencia permisible en la medición de las distancias es de 1:1 000. El error de cierre angular admisible es $\pm 30'' \sqrt{n}$, donde n es el número de ángulos medidos y el error lineal admisible es 1:3 000.

La poligonometría se utiliza en las canteras con frentes de trabajo muy extensos y con una superficie amplia en la plazoleta de trabajo.

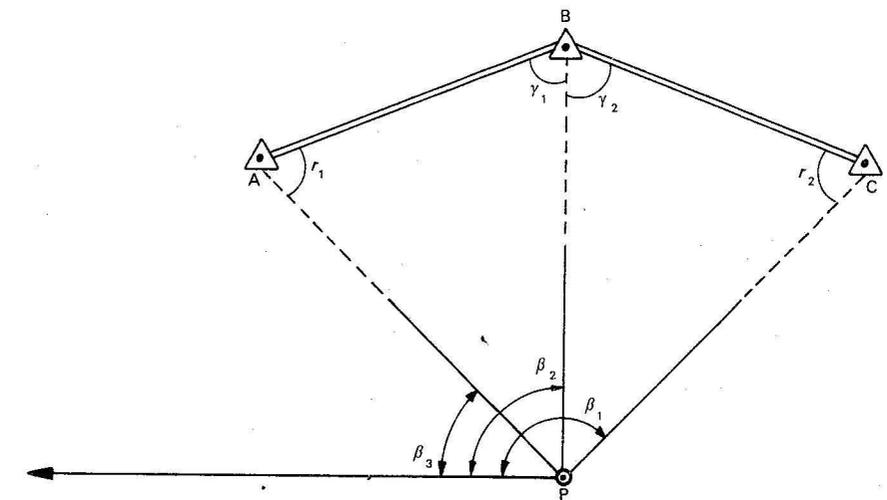


Fig. 5.6 Intersección acimutal

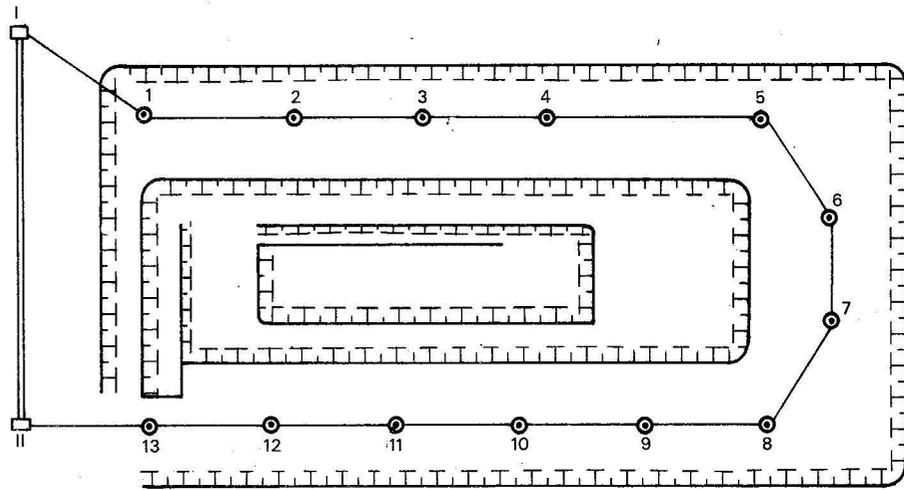


Fig. 5.7 Poligonal para determinar los puntos del levantamiento

Cuadrícula de explotación. Se utiliza en canteras poco profundas y que posean un relieve regular. Frecuentemente estas cuadrículas se crean antes de los trabajos de apertura y se asemejan a una red de cuadrados, cuyos vértices están fijos en el terreno. La distancia entre los vértices de los cuadrados oscila entre 20 y 100 m.

Los puntos de la red para el levantamiento en las canteras pueden determinarse también con el empleo de los telémetros de radio y luminicos.

La distancia D se determina con el telémetro luminoso sobre la base del tiempo t que demora el rayo luminoso en recorrer la distancia en ambos sentidos:

$$D = \frac{ct}{2} \quad (5.1)$$

donde:

c - velocidad de la luz ($299\,792.6 \pm 0.6$ km/s).

Debido a que la longitud de la distancia es muy pequeña y la velocidad de la luz es enorme, la medición del tiempo t no puede efectuarse directamente, sino de una forma indirecta, por la magnitud del cambio de fase entre el flujo de luz enviado y el recibido. El equipo que se emplea para realizar este tipo de mediciones está formado por: un transmisor, una batería y dos reflectores.

Para llevar a cabo la medición de la distancia, el transmisor se coloca en el punto inicial y el reflector en el punto extremo. El observador, mirando a través del ocular, rota la manivela para la medición de la variación de la frecuencia (mide la longitud de la onda del flujo de luz modulada). Cuando en el ocular se observa la menor luminiscencia de las lentes del equipo reflector, a través de la escala del equipo se toma la lectura que permite calcular la distancia. El tiempo que se emplea para medir la distancia es de pocos segundos.

Los telémetros luminicos pueden medir distancias desde algunas unidades de metros hasta 2 000 o 3 000 m, con un error de ± 1 cm, cualquiera que sea dicha distancia.

Como ejemplo de telémetros luminicos tenemos el Wild Di-10 (Suiza) el EOK-2 000 y el EOT-2 000 de la Carl Zeiss, Jena (RDA); el TD-1 (TP₁-1) de la URSS, y otros.

La medición de las distancias con los telémetros de radio se realiza en forma análoga. Como telémetros pueden utilizarse el Wild Di-50 Distomat y el GET-B1 de la firma MON (Hungria).

Con el empleo de telémetros para determinar la posición planimétrica de los puntos es posible aplicar cinco métodos: trilateración, poligonales, intersecciones por distancias, alineaciones y polar.

El método de trilateración en la cantera consiste en la creación de una red de triángulos, en los cuales se miden todas las longitudes de los lados. En las poligonales se miden las longitudes de los lados con el telémetro de radio o luminoso.

En la intersección por distancia medimos la longitud de dos lados desde los puntos conocidos hasta el punto cuyas coordenadas vamos a determinar.

Los telémetros de radio y luminoso no tienen una gran utilización para los levantamientos en las canteras, debido a su alto costo. Su empleo solo se justifica en las grandes canteras o en complejos mineros superficiales.

5.4 TRANSMISIÓN DE LA COTA A LOS PUNTOS DE LA RED PARA EL LEVANTAMIENTO

La cota de los puntos de la red para el levantamiento se transmite por medio de la nivelación trigonométrica (fig. 5.8). El empleo de la nivelación geométrica con este fin está en dependencia de las formas específicas del relieve de las canteras.

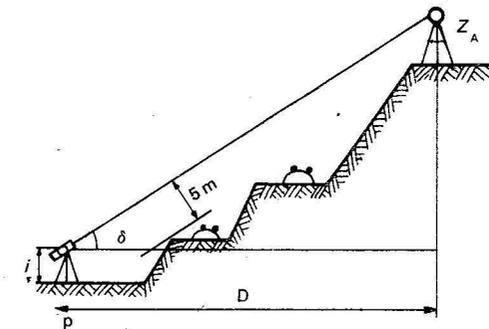


Fig. 5.8 Nivelación trigonométrica en una cantera

La ejecución de la nivelación trigonométrica comprende la medición del ángulo de inclinación δ y la distancia horizontal entre los puntos A de cota conocida y P cuya cota vamos a determinar.

Conociendo la distancia y el ángulo de inclinación entre ambos puntos, la cota del punto P se calcula por la fórmula:

$$H_p = H_A - D \tan \delta - i \quad (5.2)$$

donde:

D - distancia horizontal entre los puntos A y P;
 i - altura del instrumento;
 δ - ángulo de inclinación.

Frecuentemente se recomienda determinar las cotas desde dos puntos, tomándose como valor final el promedio.

El error de la nivelación trigonométrica puede calcularse por la fórmula:

$$m_H = \pm \frac{m_\delta^2 D^2}{\rho^2 \cos^4 \delta} + m_D^2 \tan^2 \delta \quad (5.3)$$

donde:

m_δ - error de la medición del ángulo;
 m_D - error de la distancia horizontal.

5.5 LEVANTAMIENTO DE SITUACIÓN EN LAS CANTERAS

El objetivo fundamental del levantamiento de situación en las canteras es la representación de todos los trabajos realizados en la cantera como son: la actualización de los bordes superior e inferior de los escalones, las escombreras, las obras de drenaje y desagüe, las perforaciones geológicas de exploración y construcciones, las vías de transporte y los datos geológicos (contactos, agrietamientos, lugares de toma de muestras, etcétera).

Durante la ejecución de las mediciones para el levantamiento de situación hay que tener muy presente la escala de los planos, ya que sobre esa base podemos saber el error en la determinación de la posición de los puntos, empleando la fórmula:

$$e = e_m E \quad (5.4)$$

donde:

e_m - error máximo al situar un punto en el plano (0.5 mm);
 E - denominador de la escala.

La actualización de los frentes de trabajo en las canteras se realiza una vez al mes. Cuando haya necesidad de efectuar trabajos de control topográfico estos se harán de acuerdo con las orientaciones de la dirección de la unidad minera.

El levantamiento de situación en la cantera se puede realizar por los métodos siguientes: taquimétrico, con plancheta, estereofotogramétrico, y por ordenadas.

Levantamiento taquimétrico

Es el método más empleado para realizar el levantamiento de situación en una cantera. Se aplica en el levantamiento de los trabajos mineros a cielo abierto, cualquiera que sea el tipo de cantera. Para la ejecución del levantamiento se emplea un teodolito taquimetro con una apreciación de 60" en el limbo vertical o un taquimetro autorreductor.

La forma de efectuar el levantamiento es objeto de estudio de la disciplina Topografía general, por lo cual solo analizaremos sus generalidades.

El levantamiento taquimétrico se lleva a cabo a partir de los puntos de la red de apoyo o desde puntos complementarios cuando no existan suficientes. Para efectuar

esta tarea resulta necesario trazar poligonales con el teodolito o con el taquimetro y medir las distancias en dos direcciones, mientras que los ángulos horizontales se miden con dos repeticiones o reiteraciones. Los ángulos de inclinación se deben medir en dos posiciones del anteojo.

La distancia máxima entre el instrumento y la mira está en dependencia de la escala del plano; esta distancia no será mayor de 150 m para un plano confeccionado a escala 1:2 000; 100 m para la escala 1:1 000 y 50 m para la escala 1:500.

Las investigaciones establecen que en los levantamientos taquimétricos de las canteras se deben observar las siguientes medidas:

1. Los ángulos horizontales se deben medir con una exactitud de $\pm 10'$ y los ángulos de inclinación con una exactitud de $\pm 1'$.
2. La longitud admisible de la visual a los puntos de relleno y situación en un levantamiento a escala 1:1 000 no debe ser mayor de 250 m con un aumento del anteojo igual a 25X, y 200 m con un aumento igual a 20X.
3. La distancia entre los puntos del levantamiento taquimétrico no debe ser mayor de 30 m.
4. La cota de los puntos debe calcularse con una exactitud de 0,1 m.

El trabajo de cálculo de un levantamiento taquimétrico consiste en determinar las distancias y los desniveles. La distancia horizontal se calcula por las fórmulas:

$$D = K / \text{sen}^2 \delta' \quad (5.5)$$

$$D = K / \text{cos}^2 \delta'' \quad (5.6)$$

donde:

K - constante estadimétrica ($K = 100$);

l - lectura de la mira;

δ' - ángulo cenital;

δ'' - ángulo vertical.

Para determinar el desnivel se emplean las fórmulas:

$$h = K l \text{sen} \delta'' \text{cos} \delta'' + i - HM \quad (5.7)$$

$$h = \frac{K l}{2} \text{sen} 2\delta'' + i - HM \quad (5.8)$$

donde:

i - altura del instrumento;

HM - lectura del hilo medio del retículo.

Las fórmulas anteriores son válidas cuando se emplean los teodolitos taquímetros.

Cuando se emplean los taquímetros autorreductores las fórmulas son las siguientes:

$$D = K l \quad (5.9)$$

$$h = c'l_1 + i - HM \quad (5.10)$$

donde:

c' - constante del hilo de elevación;

l_1 - lectura del hilo de elevación.

Los resultados del levantamiento taquimétrico se dibujan en el plano con ayuda de un transportador y una escala.

Para la ejecución del levantamiento taquimétrico en las canteras está muy difundido el uso del taquímetro Daltha 010A de la Carl Zeiss, Jena (RDA); además, se emplean otros tipos de taquímetros como el DA-2 (URSS); el MON Ta-D1 (Hungria) y el Wild RDS (Suiza). Se recomienda en los levantamientos de las canteras el uso del Daltha 010A acoplado a la plancheta cartográfica Karti 250.

Durante el levantamiento taquimétrico hay que prestar una gran atención a la confección del croquis, dada la importancia que tiene para un correcto trazado del levantamiento.

En el levantamiento de determinadas zonas de la cantera donde existen puntos inaccesibles se recomienda el uso del Teletop o el taquímetro BRT-006, ambos de la Carl Zeiss Jena, (RDA).

Levantamiento con plancheta

Se utiliza en las canteras cuando es necesario obtener de inmediato el plano de un levantamiento.

El levantamiento con plancheta se lleva a cabo siguiendo las mismas especificaciones y recomendaciones aplicables al levantamiento taquimétrico. Su principal desventaja es que su aplicación depende de las condiciones meteorológicas y que el plano puede deteriorarse considerablemente durante los trabajos de campo.

Levantamiento estereofotogramétrico

Es el método más efectivo para el levantamiento de grandes canteras que posean una configuración muy compleja de los bancos y escombreras interiores. Tiene la ventaja de reducir considerablemente los trabajos de campo y proporcionar una elevada exactitud y un mayor rendimiento en el trabajo.

El levantamiento estereofotogramétrico permite determinar, por medio de dos fotografías, las mediciones y la posición en el espacio de los objetos fotografiados y, sobre la base de estos datos, confeccionar el plano del terreno.

La fotografía del objeto en el levantamiento estereofotogramétrico se toma desde dos puntos, que se encuentran separados por una distancia horizontal denominada base fotográfica. Las imágenes tomadas, a su vez, se denominan estereogramas. Las coordenadas de los puntos de la base las determinamos por los métodos clásicos de la topografía y las fotos desde los puntos extremos de la base se toman con el fototeodolito o con una cámara.

Basándonos en los estereogramas y en los equipos de laboratorio (estereocomparador, restituidor, etc.) en el gabinete se confeccionan los planos del terreno.

Este método de levantamiento se estudia en la disciplina Fotogrametría, de ahí que en este texto no hagamos un estudio más detallado de él.

Levantamiento por ordenadas

Este método está basado en el trazado de una línea magistral a través del banco de la cantera. La posición de los puntos característicos del banco la determinamos por la medición de las distancias desde la magistral hasta el punto característico (fig. 5.9).

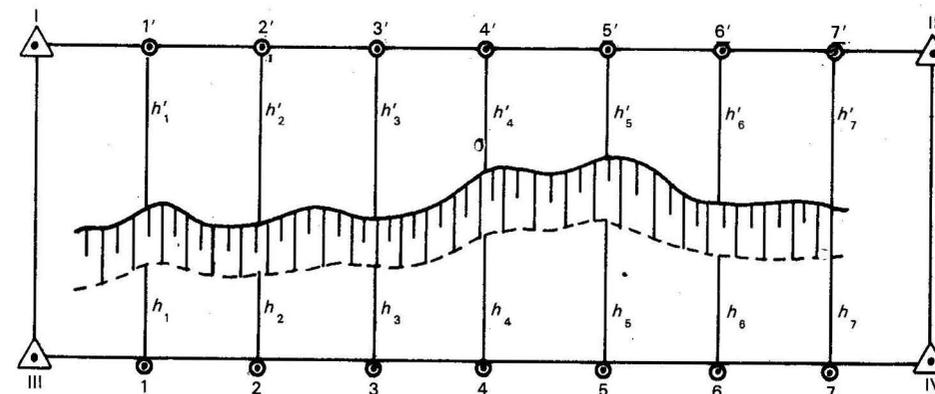


Fig. 5.9 Levantamiento por ordenadas

El levantamiento por ordenadas se utiliza frecuentemente para el levantamiento de las perforaciones.

Durante la ejecución de los levantamientos es obligatoria la confección del croquis.

5.6 MEDICIONES TOPOGRÁFICAS EN LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y EXPLOSIÓN

Los trabajos de perforación y explosión durante la explotación de los yacimientos de minerales por el método a cielo abierto se realizan por medio de taladros independientes, en forma de bloque o con explosiones masivas. De todos los señalados el más empleado en la actualidad es la explosión en bloque.

En los trabajos de perforación y explosión en las canteras las mediciones topográficas desempeñan diferentes funciones en el periodo anterior y posterior a la explosión.

En la proyección de la explosión de los bloques es necesario poseer un gráfico de la zona que va a ser explosionada. Para ello los topógrafos mineros deben realizar un levantamiento para confeccionar los materiales gráficos necesarios para el proyecto de la explosión.

El gráfico fundamental para la tarea de proyección de los trabajos de perforación es un plano a escala 1:500 o 1:1 000 del banco donde está el bloque que vamos a explosionar.

En el referido plano se proyectan las perforaciones de acuerdo con los parámetros de la red y en una tabla especial se anotan los valores de la resistencia por el piso para cada taladro y la distancia entre filas y taladros.

Con un teodolito, una cinta y una mira, se replantean los lugares donde se perforarán los taladros y se debe señalar en cada uno de ellos el número, la profundidad y cualquier otro dato necesario.

En el plano que se confecciona para proyectar los trabajos de perforación y explosión debemos representar los bordes superiores e inferiores de los bancos próximos, los límites del bloque, los límites de la zona peligrosa, los contactos del mineral con las rocas encajantes y demás detalles que se consideren necesari-

rios. Además, el servicio topográfico minero tiene la obligación de controlar la profundidad de los taladros y del cumplimiento de lo proyectado en el pasaporte.

Después de efectuar la explosión, se realiza un levantamiento topográfico con el fin de determinar el volumen de mineral o estéril arrancado, la línea de menor resistencia y el coeficiente de esponjamiento.

El cálculo final de la cantidad de mineral o estéril arrancado se determina después de transportada, realizado el levantamiento y trazado en el plano y en los cortes verticales la nueva posición de los bordes superior e inferior de la plazoleta de trabajo.

Sobre la base del plano y los cortes, determinamos los índices principales de la explosión, el volumen arrancado, el consumo específico de materia explosiva y el rendimiento de la excavadora y de los medios de transporte.

5.7 TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN LA CONSTRUCCIÓN, DE LAS CANTERAS

Durante el período de construcción de una cantera los trabajos se realizan según el proyecto confeccionado por los organismos dedicados a este fin.

El proyecto de explotación de una cantera está compuesto de una memoria con los cálculos efectuados y una parte gráfica con la descripción detallada de las obras que deberán construirse. Dicho proyecto debe constar de un informe geológico con las reservas del yacimiento y un informe sobre los trabajos topográficos realizados en la zona de construcción. El informe topográfico se compone de los planos de la zona, los esquemas de las triangulaciones y poligonales realizados, así como las libretas de campo, los cálculos de los trabajos y el catálogo de las coordenadas de los puntos.

El trabajo inicial del topógrafo en la construcción de una cantera se basa en un estudio minucioso del proyecto, que le permita compenetrarse con este. Se debe hacer hincapié en la parte gráfica del proyecto y en el estudio de la documentación geodésico-topográfica.

De esta forma el topógrafo estará en condiciones de establecer: los límites de la cantera, las instalaciones industriales (planta de beneficio de minerales), las edificaciones y talleres de la cantera, y las direcciones de las escombreras. Periódicamente se realiza la medición del volumen de roca arrancada, se marca la dirección de los bancos y se confeccionan y completan los gráficos y planos necesarios para la construcción de la cantera.

Cuando se realiza la entrega de la cantera para su explotación, el topógrafo debe entregar a su vez toda la documentación elaborada por él durante el período de construcción, como son: los planos, los cálculos de poligonales y de nivelaciones y otros materiales.

5.8 TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TRINCHERAS

Una de las tareas principales que debe ejecutar el topógrafo minero en una cantera es la apertura de las trincheras, para lo cual existen diferentes variantes de laboreo de acuerdo con las características de la roca, las condiciones del relieve y los medios de carga y transporte que se empleen.

El trabajo que debe realizar el topógrafo durante la construcción de una trinchera comprende el trazado del eje y los bordes, el control de los taludes, las secciones transversales y la inclinación del eje.

Esta tarea se lleva a cabo de acuerdo con el proyecto de ejecución de la obra. Los planos donde se proyectan estas obras se deben confeccionar a una escala grande (1:500-1:1 000) y deben señalarse por sus coordenadas los puntos iniciales y finales, el acimut del eje de la trinchera, los ángulos de giro y los cambios de radio de las curvas.

Las secciones transversales deben mostrar el perfil del terreno, el ángulo del talud y la zanja para el desagüe.

En el perfil longitudinal se dibuja el perfil real del terreno y el proyectado (rasante) indicándose la pendiente del proyecto y otros elementos necesarios para el trabajo.

Las variantes para el laboreo de las trincheras que más se emplean son:

- a) la trinchera se construye por una pendiente abrupta, descargando la roca en la parte superior del talud o cargándola en medios de transporte (fig. 5.10);

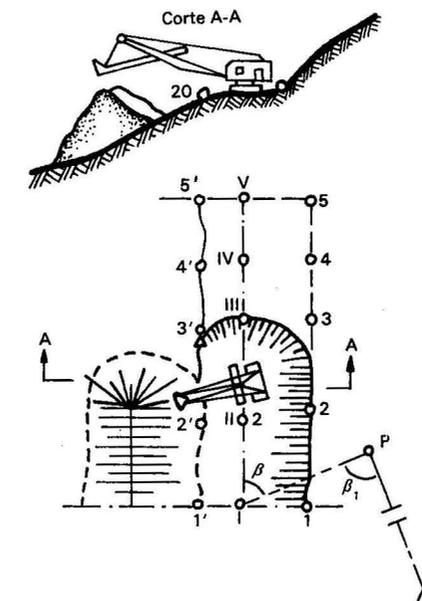


Fig. 5.10 Esquema de ejecución de una trinchera por una pendiente abrupta

- b) la trinchera se construye con descarga de la roca en los bordes o cargándola en un medio de transporte situado en el borde (fig. 5.11);
- c) la trinchera se construye con una dragalina y descarga de las rocas en los bordes (fig. 5.12).

El orden para efectuar la tarea de dar dirección al eje de la trinchera según la primera variante (fig. 5.16) es el siguiente:

1. Del plano donde se encuentra proyectado el eje de la trinchera se toman las coordenadas (X, Y, H) del punto I de inicio de la trinchera.

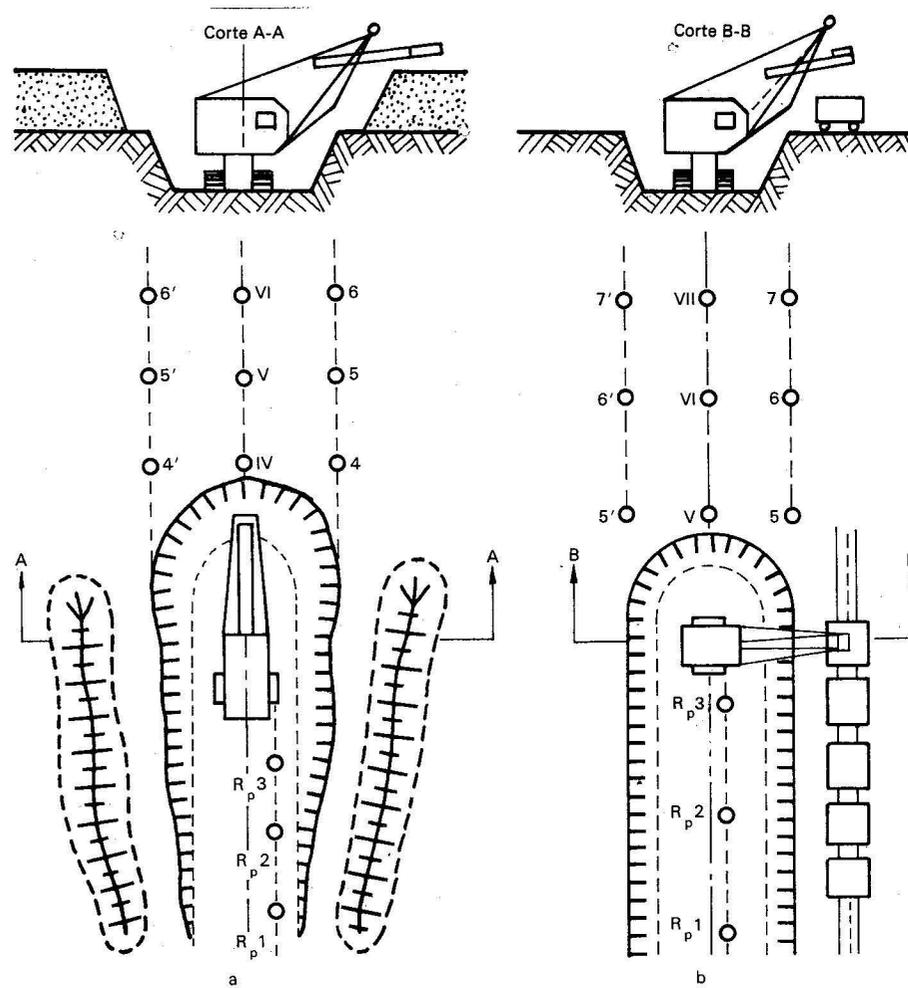


Fig. 5.11 Esquema de construcción de una trinchera: a) con la carga de la roca hacia las escombreras en el borde; b) con la carga a un medio de transporte

2. Apoyándonos en los puntos P y T de la base topográfica existente en las proximidades efectuamos los cálculos necesarios para determinar el ángulo β , y la distancia PI, que nos permitirán situar en el terreno el punto I. Con posterioridad determinamos el ángulo β para dar la dirección definitiva al eje de la trinchera.
3. Comenzamos el trazado del eje de la trinchera situando los puntos II, III, IV, V, y fijándolos con estacas a una distancia de 20 a 50 m.
4. A partir de la pendiente dada y de las cotas del proyecto del talud buscamos los puntos de intersección del talud con la superficie del terreno y los señalamos por medio de estacas con los puntos 1', 2', 3', 4', 5'...
5. Finalmente marcamos los puntos del borde superior de la trinchera con las estacas 1, 2, 3, 4 y 5.

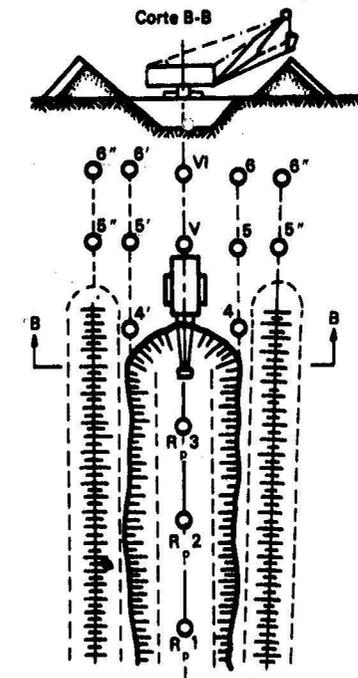


Fig. 5.12 Esquema de construcción de la trinchera con una dragalina

Para el laboreo de la trinchera en el caso de la segunda y tercera variantes (fig. 5.11 y 5.12), se traza el eje del borde de la trinchera y se señala con estacas de madera, colocando además jalones para indicar la dirección del movimiento de la excavadora.

La inclinación del eje de la trinchera se controla mediante la nivelación geométrica. Para ello situamos puntos a una distancia de 20 a 30 m, en los cuales se anota el valor de la cota del punto de acuerdo con el proyecto.

Es recomendable situar esos puntos algo separados de la línea del eje de la trinchera.

5.9 TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN EL TRAZADO DE VÍAS DE TRANSPORTE Y CANALES

Durante la construcción y explotación de las canteras resulta necesario construir vías férreas, carreteras, transportadores por banda, funiculares, canales y zanjas para el desagüe.

Los materiales iniciales del proyecto para la ejecución del trazado de una vía son los siguientes:

1. El plano del trazado de la vía férrea con las coordenadas de los puntos inicial y final, el acimut de la dirección inicial, la distancia entre los vértices de los ángulos de giro, los ángulos de giro y los radios de las curvas (fig. 5.13).

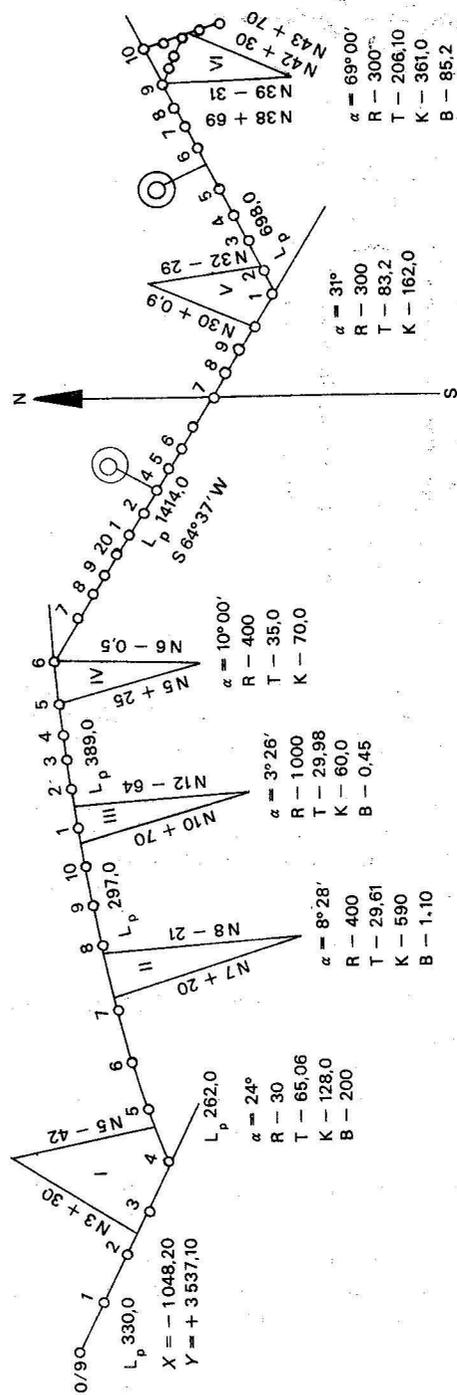


Fig. 5.13 Plano del trazado de una vía férrea

2. Los perfiles longitudinales y las secciones transversales, señalando las cotas reales y las proyectadas, y la pendiente del proyecto.
3. El plano de ubicación de los chuchos de los desvíos, indicando las coordenadas de los centros de estos.
4. Las coordenadas de los puntos de apoyo, sus alturas y el ángulo de inclinación máximo de los cables (para los casos de transporte aéreo).
5. Las coordenadas de los puntos inicial y final y el ángulo máximo de elevación (para los casos de transporte por ascenso).

El topógrafo minero, con los datos anteriormente señalados, realiza las tareas necesarias para la ejecución de las obras planteadas en el proyecto. Entre dichas tareas se encuentran las siguientes:

1. El replanteo en el terreno de los ejes del trazado de la vía de transporte o del canal.
2. El trazado de las curvas, y ángulos de inclinación de las vías de transporte o canales.
3. El señalamiento de los lugares donde se instalarán las bases de la línea del cable aéreo, llevando un estricto control sobre la altura.
4. La ejecución de levantamientos y la confección de la documentación con respecto a las vías férreas, carreteras, líneas aéreas, etcétera.
5. Velar por la conservación de las vías de transporte y por la actualización en los planos de cualquier instalación nueva.

La ejecución del trazado de los ejes de las vías de transporte se efectúa a partir de la base topográfica próxima a la zona del trazado. Como primera tarea es necesario situar en el terreno el punto inicial y trazar la dirección del eje según los datos del proyecto. A continuación, con el empleo de un teodolito y una cinta métrica colocamos los puntos de giro o cambio, mediante el trazado de una poligonal.

Como forma de control para el punto final y para algunos de los puntos de giro es necesario determinar sus posiciones desde otros puntos de la base topográfica próxima a ellos.

Después de realizado el control de todos los puntos fundamentales del trazado (inicial, final y los de giro) situamos estacas de madera para fijar dichos puntos en el terreno.

El control altimétrico de la vía lo realizamos por medio de la nivelación geométrica cuando efectuamos el replanteo de los puntos con cotas colocados a una distancia de 10 a 20 m.

Después de la instalación de los rieles y de las líneas de transporte se debe llevar a cabo un control altimétrico con el fin de detectar posibles deficiencias.

Las curvas se trazan por cualquiera de los métodos anteriormente estudiados (perpendiculares o cuerdas prolongadas).

5.10 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE MINERAL Y ROCA EXTRAÍDO EN UNA CANTERA

El volumen de mineral y roca extraído en una cantera se determina, como resultado de los levantamientos topográfico mineros, para controlar el estado del

plan estatal de extracción, el cálculo de las reservas del yacimiento, el cumplimiento de los ciclos de trabajo, la correcta ejecución de los trabajos mineros y el pago de los salarios de los trabajadores.

Los cálculos topográficos para determinar la cantidad de mineral y de roca arrancada en un periodo determinado se efectúa sobre la base de los planos de trabajo, confeccionados a grandes escalas, y los perfiles, a escala 1:500, elaborados como resultado de los levantamientos topográficos realizados al principio y al final del periodo de arranque del mineral o de la roca.

En el cálculo del volumen de material extraído cuando estamos laboreando en la roca vamos a encontrarnos con tres tipos de trabajos: principales, preparatorios y de explotación.

Los *trabajos principales* son aquellos que efectuamos con el fin de laborear las trincheras de apertura del yacimiento.

Los *trabajos preparatorios* incluyen la construcción de las trincheras de corte, de los accesos y zanjas de los bordes de los bancos de la apertura.

Los *trabajos de explotación* comprenden las labores en los lugares de extracción.

El cálculo de los volúmenes de mineral y roca extraídos se efectúa cada cierto periodo de tiempo fijo que puede ser mensual, bimensual o trimestral (el mensual es el más empleado).

El método de cálculo de los volúmenes extraídos depende de varios factores, como son: el relieve del terreno, las características de los trabajos mineros, el tipo de levantamiento topográfico minero, etcétera.

En las canteras se utilizan dos tipos de cálculo de los volúmenes: el operativo y el topográfico.

El método operativo de cálculo de los volúmenes de extracción y apertura en las canteras tiene un carácter preliminar y se realiza diariamente sobre la base del número y capacidad de los medios de transporte empleados.

De acuerdo con los medios de transporte empleados el cálculo operativo puede ser de las formas siguientes:

1. Cálculo de la cantidad de masa minera completamente cargada en los vagones ferroviarios, que se dirigen a los almacenes y escombreras.
2. Cálculo de la cantidad completa de masa minera cargada en los transportes automotores que se dirigen hacia los puntos de descarga.
3. Cálculo de la cantidad de masa minera cargada en vagones y camiones que es sometida a pesaje.

El encargado de efectuar este trabajo es un despachador que chequea de forma continua el número de medios de transporte cargados. En el reporte del despachador se reflejan los datos siguientes: frente de procedencia de la masa minera, hacia donde es remitida la masa minera cargada (al almacén o las escombreras) y qué excavadora realizó la carga de los medios de transporte.

El volumen de la masa minera cargada de los frentes de cada excavadora se calcula por la fórmula:

$$V = NV_p F \quad (5.11)$$

donde:

- N - número de cucharas contadas por el despachador;
- V_p - volumen de la cuchara de acuerdo con lo establecido en el pasaporte, m^3 ;
- F - coeficiente de llenado de la cuchara.

El cálculo teórico operativo de la masa minera basado en el conteo de las capacidades cargadas es el más exacto. Para efectuar este cálculo se debe conocer con anterioridad la capacidad de la cuchara según el pasaporte y el número de cucharas necesarias para cargar el medio de transporte.

Las variaciones del coeficiente de llenado, si lo determinamos para cada carga, no influye considerablemente en el cálculo del volumen.

Si designamos el volumen real de la cuchara por V_R , tendremos:

$$V_R = V_p F \quad (5.12)$$

En la práctica, en el trabajo de las canteras la determinación del valor del volumen real (V_R) se realiza para un periodo concreto de tiempo, en el curso del cual el llenado real calculado es el mismo. El error del volumen V se calcula por la fórmula:

$$M_V = M_{V_R} \frac{N}{\sqrt{n}} \quad (5.13)$$

donde:

N - cantidad total de cucharas cargadas en el periodo que se analiza;

n - número de determinaciones del volumen real de la cuchara;

M_{V_R} - error de la propia determinación de la capacidad real de la cuchara.

En la fórmula (5.13) se puede apreciar que mientras mayor sea el número de determinaciones, menor será el error.

Para una sola determinación del volumen real de la cuchara:

$$M_V = M_{V_R} N \quad (5.14)$$

El error del cálculo operativo de los volúmenes se expresa en tanto por ciento del volumen y se determina por la fórmula:

$$M_V = \frac{100 M_{V_R}}{V_R \sqrt{n}} \quad (5.15)$$

El método topográfico se emplea en las canteras con el fin de determinar los volúmenes de la masa minera extraída. Existen dos métodos fundamentales: el de las secciones horizontales y el de las verticales.

El método de las secciones horizontales (fig. 5.14) se emplea en los casos que exista una forma muy irregular. Para realizar el cálculo usaremos los planos horizontales, en los que mediremos sus respectivas áreas en el borde superior (antes de la extracción) y en el nivel inferior (después de la extracción) con ayuda de un planímetro.

El volumen se calcula por la fórmula:

$$V = \left(\frac{A_s + A_i}{2} \right) \left(\frac{\sum H_s}{n_s} - \frac{\sum H_i}{n_i} \right) \quad (5.16)$$

donde:

- A_s, A_i - áreas correspondientes al nivel superior e inferior del borde que se extrae, m^2 ;

$\sum H_s, \sum H_i$ - suma de las cotas de los puntos del levantamiento obtenidas de los niveles superior e inferior de los respectivos contornos de las áreas A_s y A_i ;
 n_s, n_i - número de puntos en el nivel superior e inferior en los contornos de las áreas A_s y A_i .

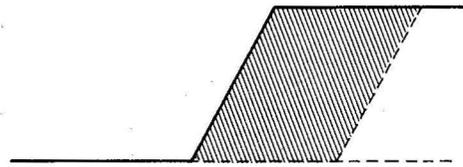


Fig. 5.14 Determinación del volumen por el método de las secciones horizontales

Para calcular el volumen por el método de las secciones horizontales, también se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$V = \frac{A_s + A_i}{2} h_m \quad (5.17)$$

donde:

h_m - altura promedio del bloque en explotación.

El método de las secciones verticales (fig. 5.15) es cómodo emplearlo en aquellos casos que estemos en presencia de un frente regular y alargado. Por este método el volumen se calcula por la fórmula siguiente:

$$V = A_1 l_1 + l \left(\frac{A_1 + A_n}{2} + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} \right) + A_n l_{n+1} \quad (5.18)$$

donde:

A_1, A_2, \dots, A_n - áreas de las secciones usadas de las partes del banco;

l - distancia entre las secciones;

l_1, l_{n+1} - distancia desde la primera sección A_1 y la última sección A_n hasta los correspondientes límites del bloque.

En la actualidad, en un gran número de canteras se utiliza la explosión de una serie de bloques por separado y, como consecuencia de ello, en el momento de la medición una parte considerable de las rocas se queda en los bancos. En tales casos el cálculo de los volúmenes de extracción totales se calculan por la fórmula:

$$V = \sum V_i + V_1 + V_2 \quad (5.19)$$

donde:

V_i - volumen explosionado de los bloques, que se determina por las mediciones de los levantamientos topográficos;

V_1 - volumen de roca que no fue cargado durante el período de revisión en los bloques (este volumen se determina por las mediciones topográficas);

V_2 - volumen de rocas explosionadas, pero no cargadas completamente en el

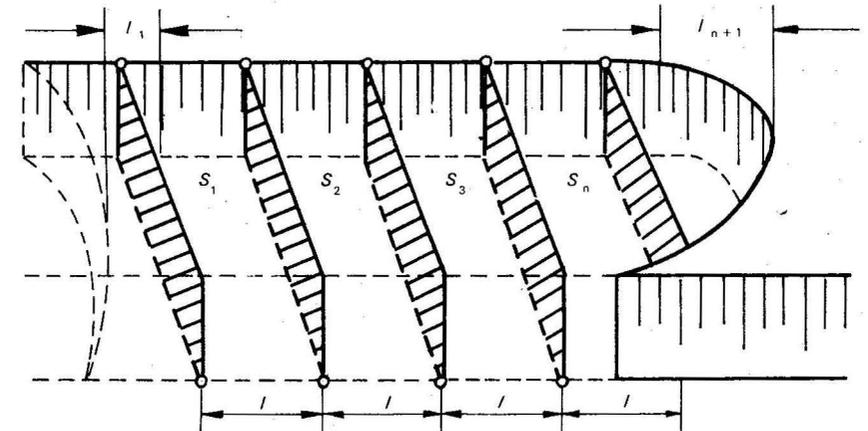


Fig. 5.15 Determinación del volumen por el método de las secciones verticales

período de revisión de los bloques, que es calculado como la diferencia del volumen total del bloque explosionado y de los volúmenes cargados antes.

El control del cálculo operativo de la extracción del mineral útil se efectúa por tres métodos diferentes:

1. Con el pesaje de todo el mineral útil extraído de la cantera.
2. Con el pesaje del mineral útil enviado a los consumidores y con la medición de los residuos en los almacenes.
3. Con la determinación de la cantidad de mineral útil extraído sobre la base de los datos de las mediciones topográficas.

De los métodos anteriormente señalados el más exacto y confiable es el primero. En el segundo método la parte fundamental del mineral útil es sometido al pesaje y el resto que permanece en los almacenes lo medimos por los métodos topográficos. En el tercero, el volumen es determinado por el método de las secciones horizontales o verticales.

La diferencia entre dos determinaciones de los volúmenes de extracción o apertura no debe ser mayor de $\pm 5\%$ y la diferencia entre el método operativo y el topográfico no debe ser mayor de $\pm 4\%$. En la determinación de los volúmenes de destape tomamos como dato el de las mediciones topográficas. Para la determinación del volumen del mineral útil extraído, si la diferencia no supera la cantidad indicada, tomamos los datos del cálculo operativo.

En el transcurso de la ejecución de los cálculos para determinar los volúmenes de mineral o roca extraídos de una cantera, dichas mediciones estarán afectadas de una serie de errores producto de las mediciones que se efectúan en los planos y por los errores cometidos en las mediciones de campo. Los principales errores que cometemos son:

1. En la ejecución del levantamiento taquimétrico en los frentes de extracción, provocados por la inexactitud en la determinación de la posición exacta de los puntos característicos del relieve.
2. El error provocado en la representación del contorno.
3. El error en el dibujo de los resultados del levantamiento en el plano.

MOVIMIENTO DE LAS ROCAS BAJO LOS EFECTOS DE LAS EXCAVACIONES MINERAS Y PROTECCIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES CONTRA SUS EFECTOS NOCIVOS

6.1 MOVIMIENTO DE LAS ROCAS BAJO LOS EFECTOS DE LAS EXCAVACIONES MINERAS

La extracción del mineral provoca la formación de vacíos y la consiguiente alteración del equilibrio de las rocas, las cuales, bajo los efectos de la presión minera, tienden a ocupar los espacios vacíos dejados por el mineral extraído. De esta forma se inicia el proceso del movimiento de las rocas representado en la figura 6.1.

En dependencia de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, del sistema de laboreo, de las condiciones de yacencia del mineral y de otros factores, el movimiento de las rocas puede ocurrir en forma de derrumbe; es decir, una caída desordenada de las rocas en diferentes formas y de tamaño muy variado.

En la figura 6.1 es posible apreciar las diferentes zonas que origina el movimiento de las rocas:

Zona 1- zona de derrumbe desordenado; zona 2- zona de flexión de las rocas con formación de grietas; zona 3- zona de flexión de las rocas sin formación de grietas; zona 4- zona de la presión de apoyo; zona 5- zona del levantamiento del terreno.

No siempre el proceso del movimiento de las rocas ocurre como se muestra en la figura; en la explotación de yacimientos estratificados potentes, con grandes ángulos de inclinación, el movimiento puede ocurrir en forma de derrumbe con la formación de embudos, hendiduras y grietas en la superficie del terreno.

El movimiento de las rocas en la mayoría de los casos provoca alteraciones en la superficie del terreno, y en las construcciones y edificios ubicados en el área afectada, originando en ellos deformaciones que pueden llegar al extremo de la destrucción total. En la figura 6.2 podemos apreciar los efectos del movimiento de las rocas en un edificio.

Los movimientos de las rocas también pueden provocar, entre otras afectaciones, desviaciones de los pozos verticales de las minas, en los depósitos de agua, roturas en las tuberías del alcantarillado y obstrucciones en las canteras. De esta forma, el proceso del movimiento de las rocas puede causar afectaciones materiales a la economía del país y en algunos casos provocar pérdidas de vidas humanas.

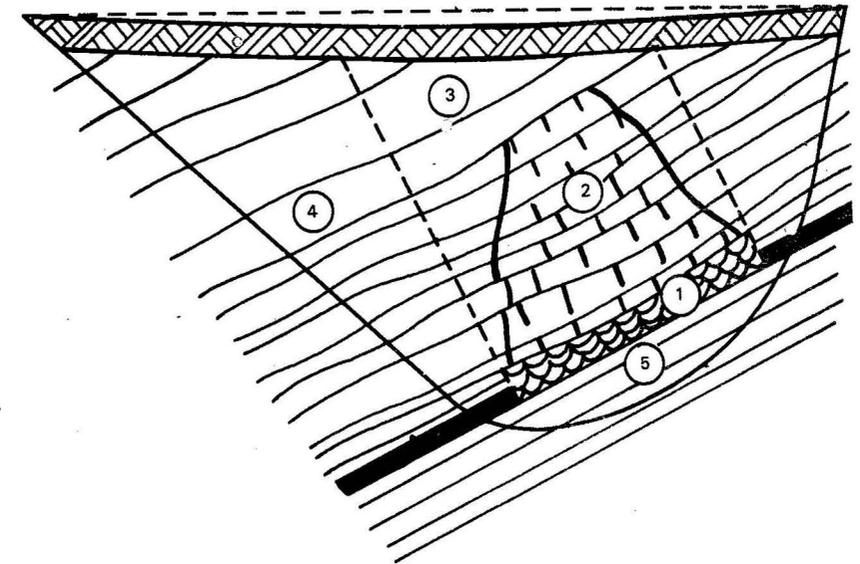


Fig. 6.1 Esquema de las zonas en el proceso del movimiento de las rocas mineras



Fig. 6.2 Edificio afectado por el movimiento de las rocas mineras

Este fenómeno obliga a los especialistas de la rama de la minería a estudiar las leyes que rigen el proceso del movimiento de las rocas y establecer las medidas para proteger las construcciones y edificios de los efectos de las excavaciones mineras.

6.2 ZONA, HONDONADA Y ÁNGULOS DE MOVIMIENTO

La parte del macizo de las rocas (fig. 6.3), afectada por el proceso del movimiento de las rocas, debido al laboreo de las excavaciones mineras recibe el nombre de zona de movimiento. La zona del movimiento en la superficie del terreno termina con una hondonada, el hundimiento ABCD.

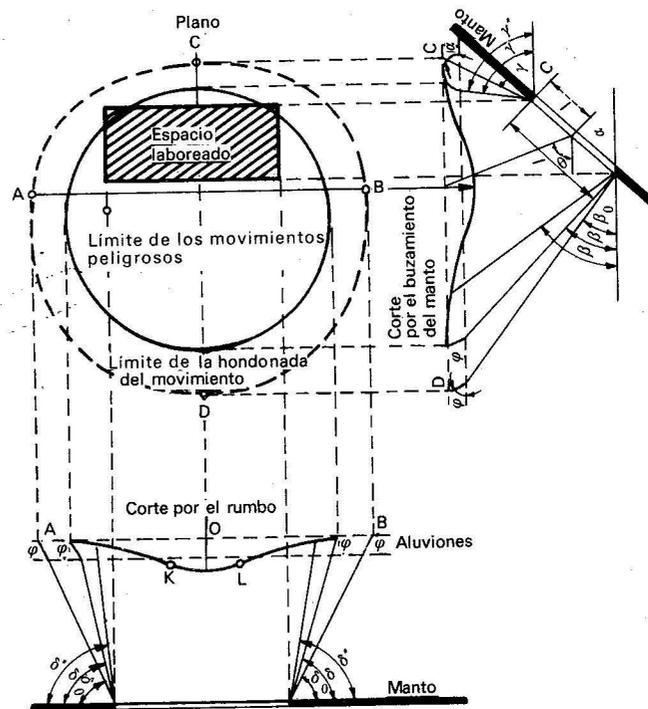


Fig. 6.3 Esquema del hundimiento

En la hondonada referida se distinguen dos secciones verticales principales: la primera es por el buzamiento y la segunda por el rumbo del manto. En estas secciones la hondonada citada tiene forma de plato o taza.

La forma de plato es originada cuando las dimensiones de las excavaciones de arranque por el buzamiento y por el rumbo son superiores a la profundidad del laboreo. En la hondonada se destacan los bordes AK y LB y la parte central KL (fig. 6.3). Los límites de la hondonada en la sección por el buzamiento del manto es posible determinarlos con los ángulos límites β_0 y γ_0 y por el rumbo del manto con el ángulo límite δ_0 . Como límites de la hondonada tomamos los puntos ABCD en la hondonada, en los cuales no ocurre descenso alguno.

Para las construcciones situadas en la hondonada, el mayor peligro lo representan los bordes.

Las dimensiones, al igual que la posición peligrosa de la hondonada para las construcciones, con respecto a los límites de las excavaciones de arranque, la determinamos con la ayuda de los ángulos del movimiento.

Los ángulos del movimiento pueden definirse como los ángulos exteriores, con respecto al espacio laboreado, del ángulo formado en los cortes verticales efectuados por las secciones principales de la hondonada entre la línea del horizonte y las líneas que unen los límites del espacio laboreado con los límites de las zonas de los movimientos peligrosos para las construcciones en la hondonada. Es posible distinguir tanto los ángulos del movimiento en los aluviones como en las rocas básicas.

El ángulo de movimiento β limita la zona peligrosa de la hondonada con el lado del buzamiento del estrato y el ángulo γ lo hace por el rumbo del estrato (fig. 6.3).

La magnitud de los ángulos del movimiento dependen en primer término de las propiedades físico-mecánicas de las rocas; del ángulo de inclinación de los estratos y de la forma de los yacimientos para el caso de yacimientos de minerales metálicos.

El ángulo φ tiene un valor que oscila alrededor de los 60° mientras los ángulos en las rocas básicas están dados en la tabla 3.

Tabla 3

Ángulo de buzamiento del estrato α	Ángulos de movimiento		
	β	γ'	δ
0 - 5°	85°	85°	85°
5 - 45°	$90^\circ - \alpha$	90°	85°
45 - 65°	$90^\circ - \alpha$	85°	85°
65 - 69°	$\alpha - 40^\circ$	85°	85°
Más de 69°	30°	85°	85°

El valor de los ángulos del movimiento de las rocas puede obtenerse en las diferentes regiones del país, por medio del estudio del proceso del movimiento de las rocas.

Además, en la literatura especializada y en las reglas para proteger las construcciones aparecen tablas con los valores de estos ángulos.

A partir de los ángulos de movimiento de las rocas, es posible calcular las dimensiones de la zona de peligro para las construcciones, las zonas de influencia de las excavaciones mineras y también las dimensiones de los pilares de seguridad. Los métodos para determinar las magnitudes de los ángulos del movimiento por los datos de las observaciones con instrumentos se estudiarán más adelante.

La extracción de una gran potencia de mineral útil, una poca profundidad del laboreo, la aplicación de sistemas de laboreo con derrumbe de las rocas del techo y la presencia de yacimientos muy inclinados son condiciones propicias para la formación de hundimientos, embudos y grietas en la hondonada.

La zona de hundimiento en la hondonada está definida por los ángulos β'' y γ'' (fig. 6.3). La magnitud de los ángulos de ruptura se determina por las grietas más distantes del centro de la hondonada. Los ángulos de ruptura se utilizan para la determinación de las dimensiones de la zona de derrumbe y la construcción de los pilares de seguridad en los yacimientos metálicos con rocas encajantes duras (dureza mayor que 5 según la escala del profesor Protodiakonov).

Deformación de la hondonada

Cuando se preparan las excavaciones mineras, los puntos situados en la superficie del terreno describen una trayectoria compleja. Los puntos no se desplazan tanto en el plano vertical como en el horizontal. Los puntos situados en diferentes lugares de la hondonada describen diferentes trayectorias con diferentes velocidades.

En la figura 6.4, la posición de los puntos de la superficie del terreno antes de la ejecución de las excavaciones mineras se identifica con los números 1', 2', 3', 4', ... y es la posición de los puntos después de realizar la excavación con 2', 3', y 4'. Los segmentos 2-2', 3-3' y 4-4' serán los vectores del movimiento de los respectivos puntos de la hondonada. Estos vectores tienen dos componentes: verticales (η_2, η_3, η_4) y horizontales ($\varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$). En los diferentes puntos de la hondonada los valores de η y ε no son constantes, por lo que surgen deformaciones verticales, tales como las inclinaciones (el ángulo entre las líneas de la superficie del terreno antes y después de la construcción de la excavación) y la curvatura, además de las deformaciones horizontales que se producen como consecuencia de la compresión y la tracción.

La magnitud de la inclinación de un intervalo entre dos puntos de la hondonada la calculamos por la fórmula:

$$I_{2-3} = \frac{\eta_3 - \eta_2}{l_{2-3}} \quad (6.4)$$

donde:

- η - valores del hundimiento de los puntos de la hondonada;
- l - distancia entre los puntos.

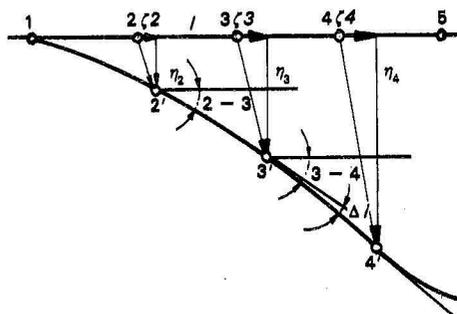


Fig. 6.4 Elaboración del vector de movimiento y de la deformación en la hondonada

La curvatura K' surge como consecuencia de las variaciones de las magnitudes de las inclinaciones en el paso de un intervalo a otro (ΔI) en la hondonada. El valor de la curvatura se calcula por la fórmula:

$$K' = \frac{I_{3-4} - I_{2-3}}{l_m} \quad (6.5)$$

$$l_m = \frac{l_{3-4} + l_{2-3}}{2} \quad (6.6)$$

Las distancias horizontales entre dos puntos próximos de la hondonada bajo la influencia de las excavaciones mineras puede aumentar o disminuir. En el primer caso el intervalo de la hondonada está sometido a compresión y en el segundo caso a tracción. Las compresiones se observan en la parte central de la hondonada y las tracciones en los bordes, como una consecuencia de estas deformaciones horizontales, cuyos valores los determinamos por la fórmula:

$$\xi_{2-3} = \frac{l_{2-3}' - l_{2-3}}{l_m} \quad (6.7)$$

donde:

- l_{2-3} - longitud del intervalo antes del laboreo;
- l_{2-3}' - longitud del intervalo después de laboreo.

Si el resultado de los cálculos efectuados según la expresión (6.17) es positivo, eso significa que la sección de la superficie del terreno está sometida a tracción y si el resultado es negativo, que está sometida a compresión.

El grado de los daños en las construcciones situadas dentro de los límites de la hondonada depende fundamentalmente de las magnitudes de las deformaciones I, K, ξ . Las deformaciones son peligrosas para las construcciones cuando sobrepasan los valores siguientes:

Inclinación (I)	$- 4 \cdot 10^{-3}$
Curvatura (K')	$- 0,2 \cdot 10^{-3}$
Deformación horizontal (ξ)	$- 2 \cdot 10^{-3}$

Estos valores se toman como criterio para la determinación de los puntos de la hondonada que separan la zona peligrosa de la segura; además, se utilizan para el cálculo de los valores de los ángulos de movimiento.

Al comparar las curvas de desplazamiento y deformación de la superficie del terreno para una extracción incompleta y para una extracción completa (fig. 6.5a) podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1. La curva 5 de las deformaciones horizontales (tracción y compresión) tiene tres zonas: dos de ellas son de tracción máxima en los bordes de la hondonada y una de máxima compresión, que corresponde al punto de máximo hundimiento.
2. La curva 3 de las inclinaciones tiene dos zonas situadas a ambos lados del punto de máximo hundimiento. Los valores mayores de las inclinaciones se observan en tres puntos en los límites de la hondonada y en el punto de máximo hundimiento.
3. La curva 4 (curvatura) tiene tres zonas: una de ellas se encuentra en el punto de máximo hundimiento y las dos restantes en los bordes de la hondonada. Los puntos de la curvatura que tienen valor cero son aquellos que coinciden con los puntos de valor máximo de la curva de las inclinaciones. Otra distribución de la deformación en las grandes secciones de la hondonada pueden observarse en el caso de que exista una en laboreo completo (fig. 6.5b).

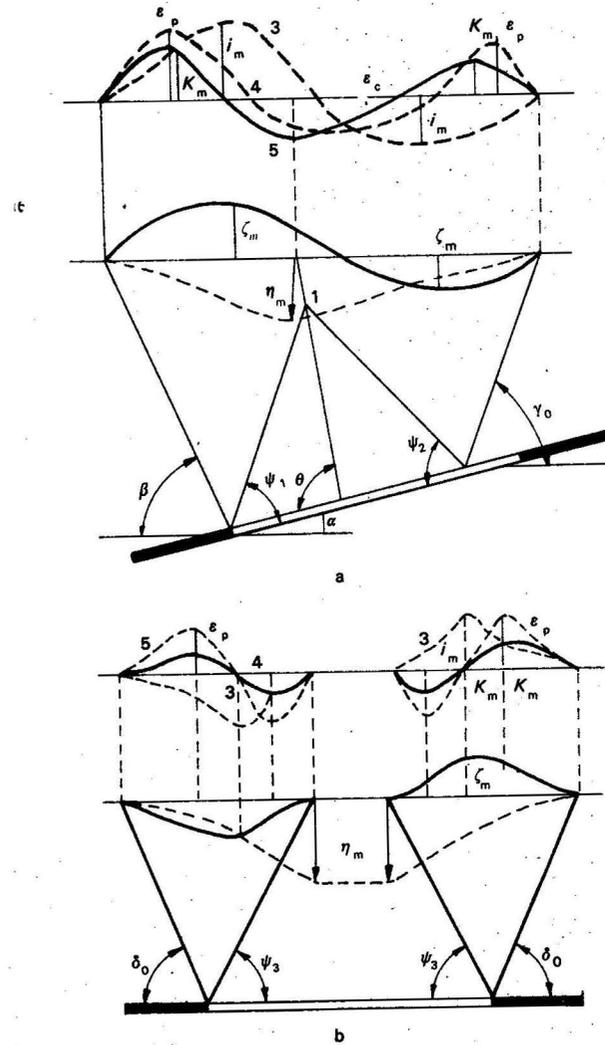


Fig. 6.5 Desplazamientos curvos y deformaciones en la hondonada: a) con una explotación incompleta; b) con una explotación completa; 1, hundimientos verticales; 2, movimientos horizontales; 3, inclinaciones; 4, curvaturas; 5, deformaciones horizontales (tracción y compresión).

La magnitud de la deformación de un intervalo independiente de la hondonada depende de un número considerable de factores. El más importante de estos factores es el de multiplicidad (T), que estará dado por la expresión $\frac{H}{m}$ donde H es la profundidad del laboreo y m es la potencia.

La explotación de yacimientos potentes, a una profundidad poco considerable, origina que en la superficie del terreno surjan embudos, aberturas y grietas.

Para estos casos, los cálculos y los gráficos de los movimientos y deformaciones no siguen las leyes correspondientes, debido al surgimiento de grietas, embudos y aberturas en la hondonada, lo que hace que no tenga sentido su cálculo. La realización de construcciones nuevas en estas áreas no está permitida.

6.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE MOVIMIENTO DE LAS ROCAS

El proceso del movimiento de las rocas y de la superficie del terreno depende de los factores siguientes: propiedades físico-mecánicas de las rocas, composición geológica y estratigráfica del macizo de rocas, presencia de alteraciones, sistema de laboreo, ángulo de inclinación, potencia y profundidad de yacencia del mineral.

Las propiedades físico-mecánicas de las rocas constituyen uno de los factores más importantes en el proceso del movimiento de las rocas, ya que sobre la base de dichas propiedades, es posible conocer la resistencia de las rocas a la compresión, la tracción, el corte y la flexión.

Las rocas duras (granito, cuarcitas, porfiritas, etc.), poseen una gran resistencia a la compresión y a la flexión, y bajo la influencia de las excavaciones mineras estas rocas frecuentemente se derrumban. Las rocas plásticas (arcillas, areniscas esquistosas) soportan deformaciones sin romperse, y dan lugar a un fenómeno de flexión o pando. Las rocas arenosas en el proceso del movimiento originan embudos. Debido a los derrumbes, en la superficie del terreno surgen hundimientos y embudos, mientras que cuando ocurre la flexión (curvatura), en la superficie surgen hondonadas suaves.

La presencia de agua en las rocas provoca en ciertos casos cambios en las propiedades físico-mecánicas de estas y las hace más plásticas (arcillas), lo que ocasiona deslizamientos en los bordes de las canteras.

En el proceso del movimiento de las rocas influyen significativamente la potencia y la estructura de las estratificaciones. Así, la alteración de potentes estratificaciones de areniscas puede retardar el proceso del movimiento. Para que ocurra el movimiento de las rocas es necesario extraer una cantidad considerable de mineral.

Las grietas, la estratificación y el clivaje crean zonas de debilitamiento, en las cuales se desarrolla el proceso del movimiento. En algunos casos estos factores pueden tener como consecuencia una incorrecta determinación de los valores de los ángulos de movimiento.

El sistema de explotación empleado y la dirección del techo son también factores importantes, que determinan el carácter del proceso del movimiento. Un sistema de laboreo continuo implica un proceso del movimiento en forma de flexión o pando de las rocas. Los sistemas de pilares conducen al agrietamiento de las rocas. Los sistemas de derrumbe por bloques para la extracción de las rocas conducen al derrumbe de las rocas con la aparición de grietas, terrazas y embudos en la superficie del terreno. El sistema de cámaras y pilares no da lugar al movimiento de las rocas.

El ángulo de inclinación de las rocas y de las capas influye en la forma del proceso del movimiento, en la magnitud de los ángulos del movimiento y del derrumbe, y en la distribución de la deformación en la hondonada. Cuando los ángulos de yacencia de las rocas y de las capas no son abruptos, se desarrolla una

curvatura suave de las rocas con la formación de la hondonada del movimiento en la superficie de una forma simétrica con respecto a los trabajos de arranque. En la hondonada del movimiento predominan los hundimientos verticales, mientras que los horizontales son insignificantes.

Al aumentar el ángulo de inclinación y en particular para un ángulo abrupto de la capa, el desplazamiento de las rocas ocurre en forma de derrumbe con la aparición de embudos y terrazas en la superficie del terreno. La hondonada del movimiento ocupa una posición asimétrica con respecto al contorno de los trabajos de extracción; el centro de la hondonada se desplaza en la dirección del buzamiento de la capa y el punto con mayor hundimiento hacia el lado más elevado.

La potencia es uno de los factores que influye sobre el proceso del movimiento, pues mientras más grande es la potencia más intenso es el desarrollo del proceso del movimiento de las rocas. El valor de las deformaciones y desplazamientos en la hondonada depende directamente de la potencia de la capa.

La extracción de capas potentes de mineral mediante los sistemas con derrumbe, conduce a la aparición de embudos, hundimientos y grietas en la superficie del terreno.

La profundidad del laboreo es también uno de los factores principales que influyen en el proceso del movimiento. Con un aumento de la profundidad del laboreo, el proceso del movimiento en la superficie del terreno se desarrolla en una forma tal, que en ocasiones no es percibido a simple vista.

6.4 MÉTODOS DE ESTUDIO DEL PROCESO DE MOVIMIENTO DE LAS ROCAS

Las observaciones topográficas del movimiento de la superficie del terreno y sus efectos en los objetos se realiza con el fin de establecer y elegir las medidas de protección de las construcciones de los efectos de las excavaciones mineras, reducir las pérdidas de mineral, establecer las dimensiones de los pilares de seguridad, elegir el sistema de extracción más adecuado del mineral situado bajo las construcciones y determinar el carácter de las deformaciones.

El objetivo fundamental de las observaciones del movimiento de la superficie del terreno y de las rocas es la determinación de los elementos siguientes:

1. El valor de los ángulos de movimiento, las rupturas, los movimientos completos y los límites.
2. La profundidad segura del laboreo.
3. El lugar del punto de hundimiento máximo y su magnitud en la hondonada del movimiento.
4. La distribución de las deformaciones verticales y horizontales y su valor máximo en las principales secciones de la hondonada del movimiento.
5. La consecutividad del proceso del movimiento y el periodo de las deformaciones peligrosas.
6. Las condiciones más apropiadas para la extracción del mineral útil situado bajo las construcciones u otros objetos.
7. La correlación entre las deformaciones que se originan en el terreno y en las construcciones.

8. El límite admisible de las deformaciones para las diferentes construcciones y objetos.
9. La efectividad de los dispositivos constructivos especiales que son empleados para disminuir los efectos de las excavaciones mineras.

Las observaciones del movimiento de la superficie del terreno pueden realizarse por tres métodos: por observaciones instrumentales; por el método de los modelos o por medio de un estudio teórico.

Observaciones instrumentales

Para efectuar las observaciones con instrumentos, en la superficie del terreno, en las excavaciones mineras y en los objetos (edificios, vías férreas, tuberías, etc.), se emplean estaciones especiales de observación, las cuales son sistemas de puntos situados en la superficie del terreno sobre las zonas donde se ejecutan las labores mineras o en los cimientos o paredes de las construcciones, para efectuar las observaciones con el fin de estudiar los efectos de las excavaciones mineras en las construcciones y objetos.

Los puntos los distribuimos en un orden determinado a través de líneas de perfiles en la superficie del terreno, a través de la línea del buzamiento de la capa y por la línea del rumbo. Además, la línea de perfil se puede trazar a través de los ejes de los objetos y construcciones.

Los lugares para situar las estaciones de observación los escogemos de acuerdo con las siguientes condiciones:

El estudio del proceso del movimiento de las rocas mineras debe basarse en el principio de lo simple a lo complejo.

Las estaciones de observación debemos colocarlas antes de la preparación de los sectores escogidos para la explotación subterránea.

La red de puntos de observación debe ser lo más sencilla posible.

Los puntos de apoyo (los puntos extremos de cada línea) deben encontrarse fuera de la zona de influencia de los trabajos mineros.

Los puntos de las estaciones de observación los situaremos en todo el periodo de existencia propuesto de la estación. Los esquemas más empleados para situar los puntos de las estaciones de observación están representados en las figuras 6.6 y 6.7.

En la figura 6.6 se muestra una red sencilla de puntos de observación, compuesta por dos líneas de perfiles colocados en la línea del buzamiento I-I y II-II y otra línea de puntos por el rumbo III-III.

En la figura 6.7 aparece una red de puntos de observación, más compleja, compuesta por una serie de puntos situados en el terreno y también puntos situados en los cimientos y paredes de los edificios. Esta distribución de los puntos permite realizar las observaciones para estudiar la influencia de las excavaciones mineras en las construcciones y objetos situados en la superficie, además de posibilitar la determinación de las deformaciones.

Si los objetos (ferrocarriles, tuberías, etc.) están situados diagonalmente con respecto al rumbo del manto, las líneas de los perfiles se sitúan paralelas a los ejes de las construcciones.

En dependencia del tiempo de existencia de las estaciones de observación, estas se dividen en estaciones de larga duración (no menos de 3 años) simples (1 a 3 años) de poca duración (1 a 5 meses) y especiales, empleadas para el estudio de las condiciones durante el periodo constructivo de diferentes obras.

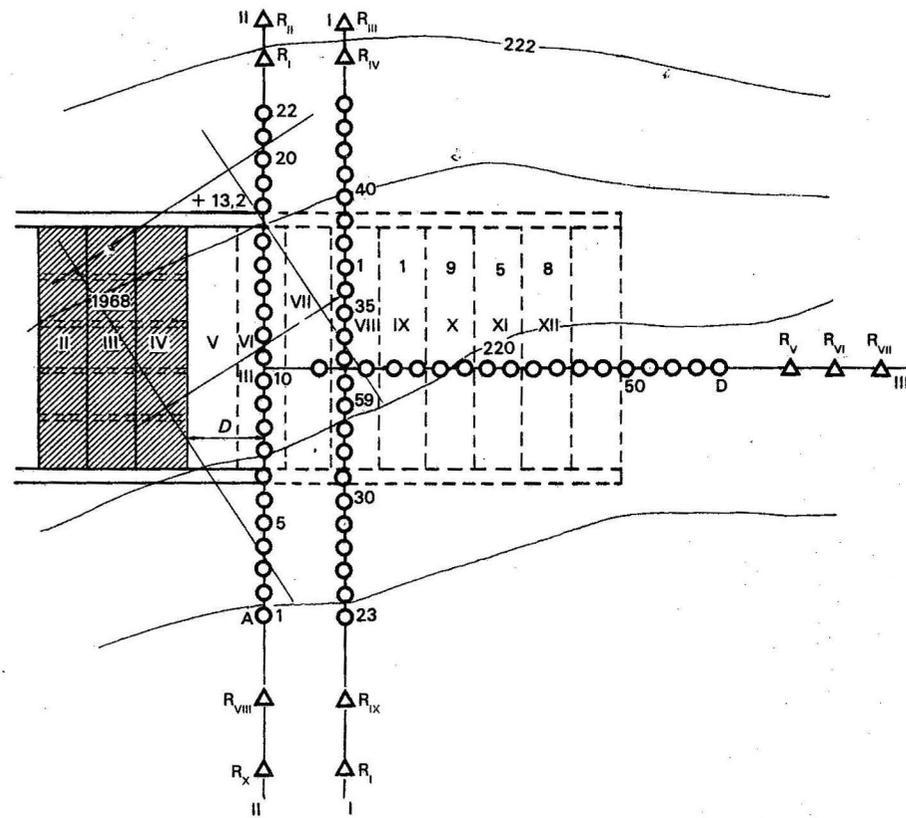


Fig. 6.6 Esquema de la red de puntos de las estaciones de observación

El proyecto de una estación de observación está compuesto de: el plano, las secciones geológicas y las notas aclaratorias. En el plano confeccionado a escala 1:1 000 o 1:2 000 representamos: el relieve de la superficie del terreno por medio de curvas de nivel, la situación de las excavaciones preparatorias y de arranque que existen y las que serán proyectadas en la zona de la estación, todas las construcciones situadas en las proximidades, los pilares de seguridad proyectados para proteger las construcciones, las líneas de los perfiles, edificios y objetos.

En las notas aclaratorias debemos consignar el objetivo y la descripción de las tareas de la observación proyectada, las condiciones geológico-mineras en las zonas de los trabajos mineros, la longitud de las líneas de los perfiles, la situación de los puntos, la distancia entre los puntos, la forma de construir los puntos y la calidad necesaria de los materiales, la metódica y el tiempo de ejecución de las observaciones.

La longitud de la línea de los perfiles de los puntos, que están situados paralelamente a la línea del frente de arranque la determinamos gráficamente. Para ello construimos un corte por la dirección del buzamiento del manto, señalando los límites de la zona de extracción (fig. 6.8). Desde los límites superior e inferior del arranque extraído trazamos las rectas bajo los ángulos $\beta - \Delta\beta$ y $\gamma - \Delta\gamma$ hasta intersecarlas con el sedimento y en él prolongamos las referidas rectas bajo el án-

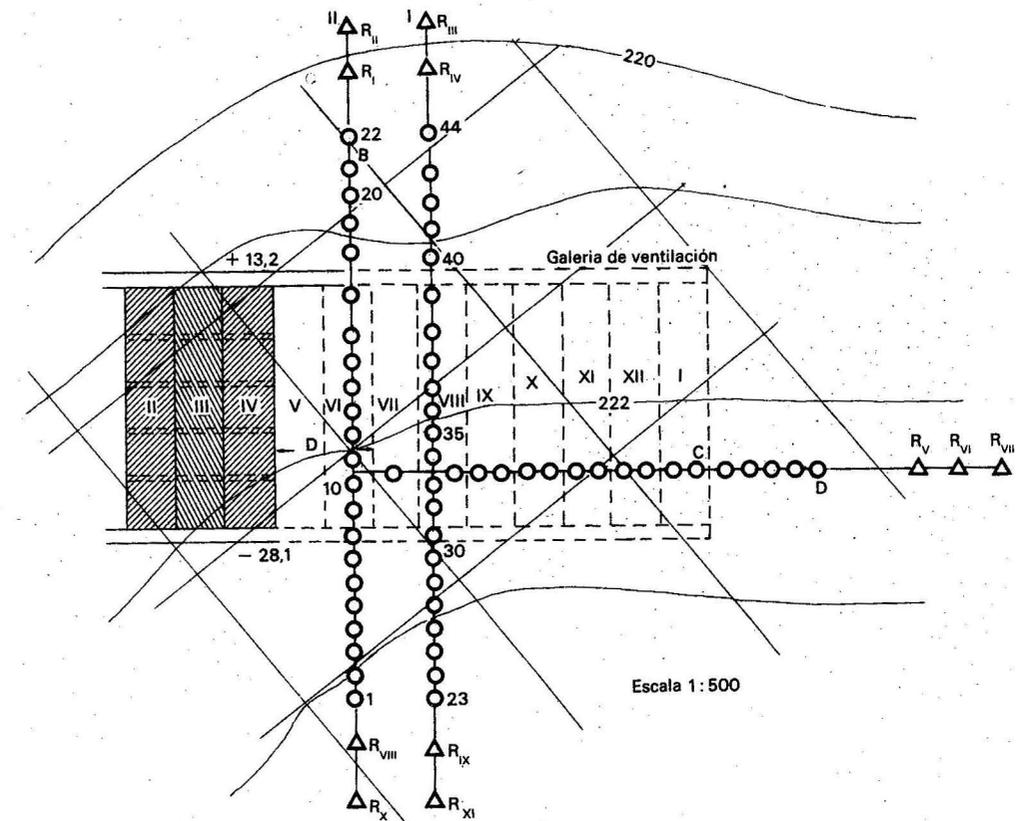


Fig. 6.7 Estaciones para la observación de las deformaciones de la superficie del terreno y de los edificios de vivienda

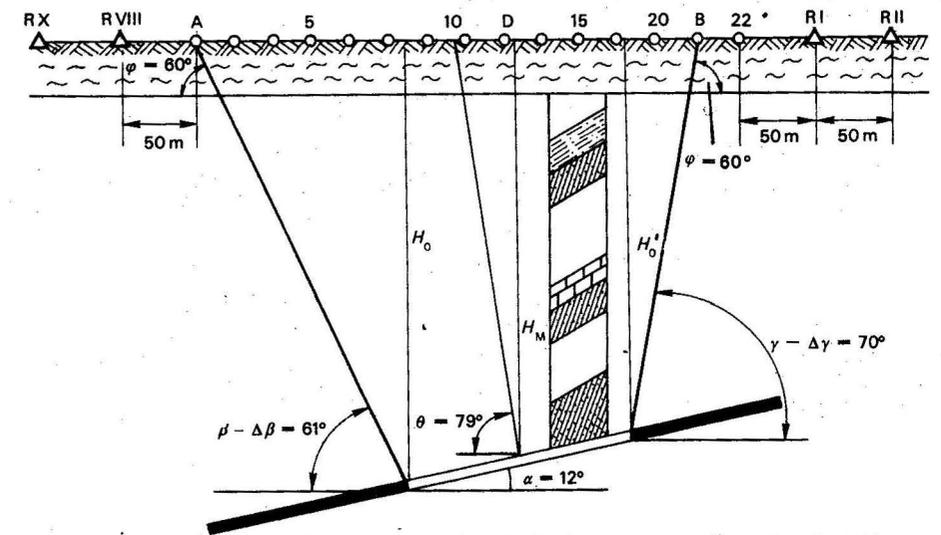


Fig. 6.8 Determinación gráfica de la longitud de la línea de los perfiles a través del buzamiento del manto

gulo φ hasta intersecarlas con la superficie del terreno. Los puntos A y B de intersección de las rectas con la superficie del terreno serán los límites de la hundonada del movimiento. El tramo AB será la zona de trabajo del referido perfil. En cada uno de los extremos de los perfiles situamos no menos de dos puntos de apoyo, a una distancia no menor de 50 m uno del otro. Si desde el centro del espacio laboreado y bajo el ángulo θ trazamos una línea, obtenemos en la superficie el punto O de máximo hundimiento.

Como es evidente, para el cálculo de las líneas de los perfiles es necesario conocer el valor de los ángulos del movimiento β, γ', δ y el ángulo θ . En las regiones donde están establecidas las reglas de protección de las construcciones, el valor de estos ángulos los tomamos de las reglas; en las demás zonas los tomamos de las reglas para zonas cuyas condiciones geológico-mineras sean parecidas.

Las correcciones $\Delta\gamma'$ y $\Delta\delta$ frecuentemente se toman iguales a 20° . La corrección $\Delta\beta$ la tomamos en dependencia del ángulo de buzamiento del manto; para un ángulo igual a $0^\circ, 40^\circ$ y 80° , los valores respectivos de $\Delta\beta$ serán $20^\circ, 12^\circ$ y 6° .

Mientras menor sea la profundidad de yacencia del manto, menor será la distancia entre los puntos.

En la actualidad la distancia entre puntos con mayor aceptación es de unos 5 m. En la tabla 4 se dan los valores de las distancias entre puntos en función de la profundidad de yacencia.

Tabla 4

Profundidad de yacencia (m)	Distancia entre los puntos (m)
50	5
100	10
200	15
300	20
400	30

En los cimientos de los edificios los puntos se sitúan a una distancia entre 5 y 10 m. En cada pared debemos colocar no menos de tres puntos y en los edificios muy complejos por el número de secciones, en cada una de ellas situamos no menos de tres puntos. Para situar puntos en la pared, se utilizan martillos neumáticos o taladros.

Los puntos de apoyo y de trabajo de la estación de observación deben tener no menos de tres puntos iniciales, situados en lugares donde no sean afectados por las excavaciones mineras y que puedan emplearse durante todo el transcurso de las observaciones. La distancia entre los puntos iniciales debe ser de 100 a 150 m y no es recomendable ubicarlos en las áreas que protegen los pilares de seguridad.

La construcción de los puntos, que situamos en el suelo y en las paredes de los edificios y los métodos para colocarlos varían considerablemente. En las figuras 6.9 y 6.10 mostramos la forma de construir los puntos.

Para construir los puntos utilizamos varillas de acero con un diámetro de 25 a 30 mm y una composición del betún igual a 1:2:2 (cemento: arena: grava).

Para lograr la mayor exactitud posible, las líneas del perfil las trazamos en el terreno con la ayuda de instrumentos.

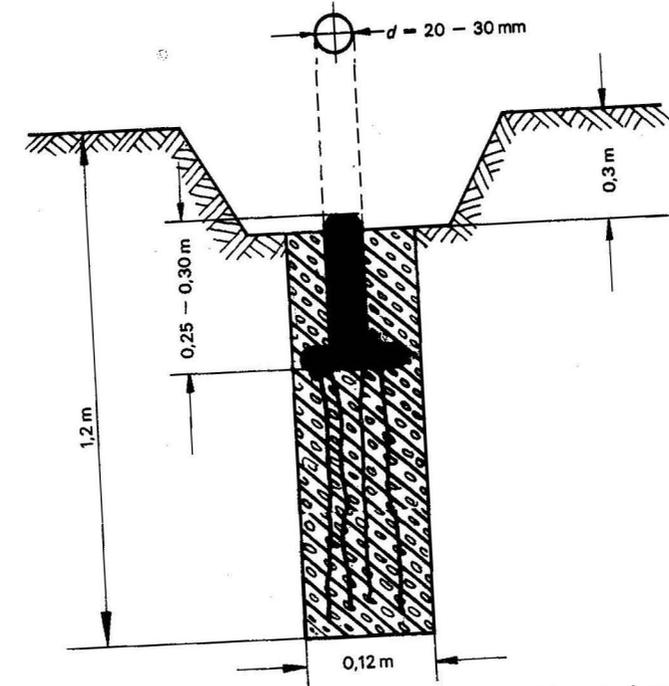


Fig. 6.9 Construcción del punto de la estación de observación y la forma de colocarlo

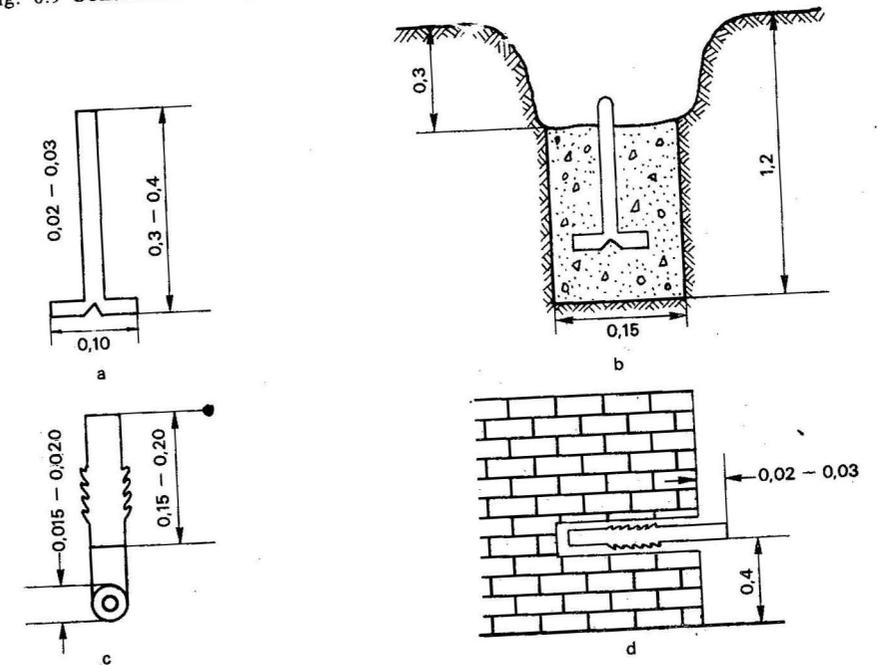


Fig. 6.10 Puntos de la estación de observación situados en las paredes

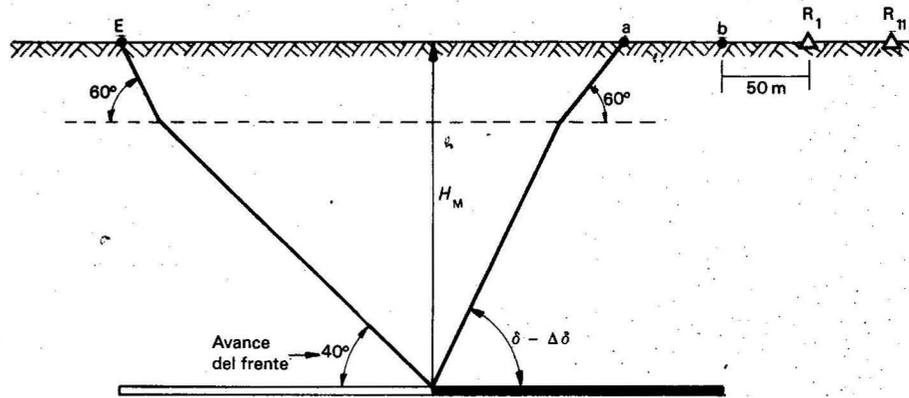


Fig. 6.11 Determinación gráfica de la línea del perfil en las estaciones de corta duración

Las estaciones de corta duración las situamos para determinar la magnitud del máximo hundimiento y para obtener los datos necesarios para el cálculo de la deformación en la hondonada del movimiento. Estas estaciones están en una línea de perfil. La determinación de la longitud de la línea baE está representada en la figura 6.11: el punto a es la posición del frente de arranque en la fecha de la primera observación; $AB = ab$ en la proyección del frente móvil en todo el tiempo de observación. El lugar de la línea del perfil y la distancia entre los puntos los determinamos de la misma forma que para las estaciones simples. Los puntos para las estaciones de corta duración se construyen con varillas de acero de una longitud de 1 a 1,2 m, que se entierran, sin betún en el terreno.

Después de preparar las estaciones de observación procedemos a efectuar las observaciones con el fin de determinar todas las variaciones entre las que se encuentran los hundimientos de la superficie del terreno, la aparición de grietas y embudos, etcétera.

Las variaciones de posición de los puntos en el plano vertical las determinamos con la ayuda de la nivelación geométrica y en los lugares montañosos empleamos la nivelación trigonométrica a partir de puntos fijos. El desplazamiento de los puntos en el plano horizontal lo determinamos midiendo la distancia entre los puntos inmóviles y los puntos situados en la línea del perfil y los desplazamientos transversales de la alineación del perfil.

Las observaciones en la estación pueden ser iniciales, de vigilancia, periódicas y finales.

Las observaciones iniciales las realizamos después de situar las estaciones de observación durante 5 a 10 días y determinamos los elementos siguientes:

- coordenadas X, Y, H de todos los puntos de apoyo de las estaciones;
- cotas de todos los puntos de la línea del perfil;
- distancias horizontales entre los puntos del perfil;
- ordenadas (desviaciones) de cada punto intermedio de las estaciones de la línea del perfil y colocación de los puntos de apoyo.

Además, es necesario observar el estado de las excavaciones mineras antes de la fecha de observación y realizar una revisión de la superficie del terreno y del estado de los edificios.

Para el levantamiento horizontal de las estaciones de observación construimos una triangulación o una poligonal cerrada con teodolito en las proximidades de la zona. El error relativo lineal debe ser aproximadamente de 1 : 2 000.

Desde los puntos de la poligonal levantamos los puntos de la línea del perfil, medimos la distancia entre cada par de puntos y las ordenadas de los últimos.

La cota de los puntos de apoyo las determinamos con una nivelación geométrica de tercer orden. Como punto de partida para la nivelación tomamos un punto de cota fija de un orden nunca menor al tercero.

La nivelación la realizamos en forma de recorrido cerrado con un error admisible de $\pm 15\text{mm}\sqrt{L}$, donde L es la longitud del recorrido en kilómetros. La diferencia máxima en la determinación de los desniveles en la estación no debe ser superior a ± 3 mm. La distancia entre los puntos de trabajo la debemos medir con una cinta comparada y con una tensión constante, usando tripodes o por el suelo. La centración en los puntos debe ser una plomada óptica. La lectura en la cinta debe realizarse como mínimo tres veces, con una precisión hasta el milímetro y una diferencia entre mediciones no mayor de 1 a 2 mm. Durante la medición de las distancias tomamos la temperatura con una exactitud de $\pm 2^\circ\text{C}$. Las distancias las medimos en dos sentidos. La diferencia de las distancias horizontales entre los puntos extremos de la línea del perfil en ambos sentidos no debe ser mayor de 1 : 10 000 de la longitud de la línea del perfil. Las ordenadas las medimos al mismo tiempo que las distancias con la ayuda de un teodolito y de un ordenatómetro (fig. 6.12).

El ordenatómetro lo situamos sobre el punto, y con el antejo del teodolito, estacionado en el punto de apoyo o en la alineación de la línea del perfil, buscamos el centro del punto en el cual está estacionado el ordenatómetro; después,

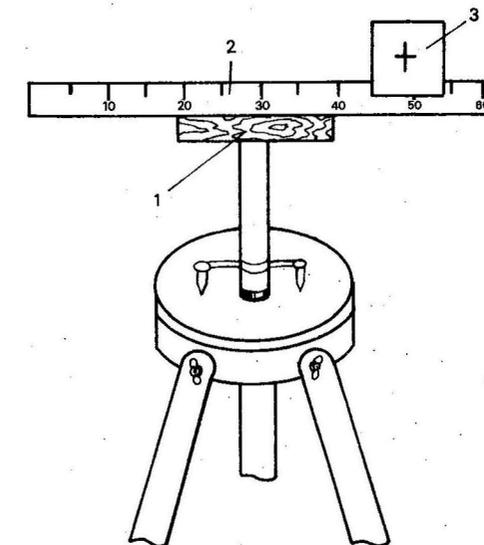


Fig. 6.12 Ordenatómetro para medir la desviación de los puntos de la dirección del perfil

Tabla 7

Intervalo	Serie y distancia desde el punto inicial, m		Componente horizontal $\xi = l_2 - l_1$ mm	Tercera serie l_3 m	Componente horizontal, mm		Serie n, l_n , m	Componente horizontal, mm	
	Primera l_1	Segunda l_2			$\xi = l_3 - l_2$	$\xi = l_3 - l_1$		$\xi = l_n - l_n$	$\xi = l_{n-1}$
1-2	20,001	20,001	0	20,002	1	1	20,002	1	
2-3	40,092	40,094	2	40,096	2	4	40,101	9	

Tabla 8

No. del punto	2-1 observación (15/XII-10/XII 1977)								n-1 observación (15/XII-10/I 1978)							
	Longitud del intervalo, m	Diferencia de hundimientos $\Delta \eta = \eta_n - \eta_{n-1}$ mm	Inclinación (I) $1 \cdot 10^{-3}$	Diferencia de las inclinaciones $\Delta I, 1 \cdot 10^{-3}$	Curvatura K' , $1 \cdot 10^{-3}$, 1/m	Radio de curvatura R, km	Variación de la longitud del intervalo $l_n - l_{n-1}$, mm	Deformación horizontal ξ , los $1 \cdot 10^{-3}$	Diferencia de hundimientos $\Delta \eta = \eta_n - \eta_{n-1}$ mm	Inclinación $1 \cdot 10^{-3}$	Diferencia de las inclinaciones $\Delta I, 1 \cdot 10^{-3}$	Curvatura K' , $1 \cdot 10^{-3}$, 1/m	Radio de curvatura R, km	Variación de la longitud del intervalo $l_n - l_{n-1}$	Deformación horizontal ξ , los $1 \cdot 10^{-3}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1																
2	20,00	0	0				0	0	11	+ 0,6						
3	20,09	+ 3	+ 0,1	+ 0,1	0,00		+ 2	+ 0,1	7	+ 0,3	- 0,3	- 0,01	-100	+ 1	+ 0,05	
	19,94	+ 6	+ 0,3	+ 0,2	+ 0,01	100	+ 5	+ 0,3	10	+ 0,5	+ 0,2	+ 0,01	+100	+ 8	+ 0,4	
														+ 7	+ 0,4	

La diferencia de las inclinaciones la obtenemos restándole al valor de la inclinación del último intervalo la magnitud del precedente. La curvatura la obtenemos al dividir la diferencia de las inclinaciones por la longitud media de los intervalos según la fórmula (6.5). El radio de la curvatura en el punto dado será igual al inverso de la curvatura.

En la elaboración de los materiales de la observación de las líneas de los perfiles de los puntos, la diferencia de los hundimientos y las diferencias de las inclinaciones las calculamos por las fórmulas:

$$\Delta \eta = \eta_{n-1} - \eta_n \quad (6.8)$$

$$\Delta I = I_{n-1} - I_n \quad (6.9)$$

Las deformaciones horizontales las obtenemos al dividir las magnitudes de la variación de la longitud del intervalo entre dos series de observaciones por la longitud media del intervalo según la fórmula (6.7).

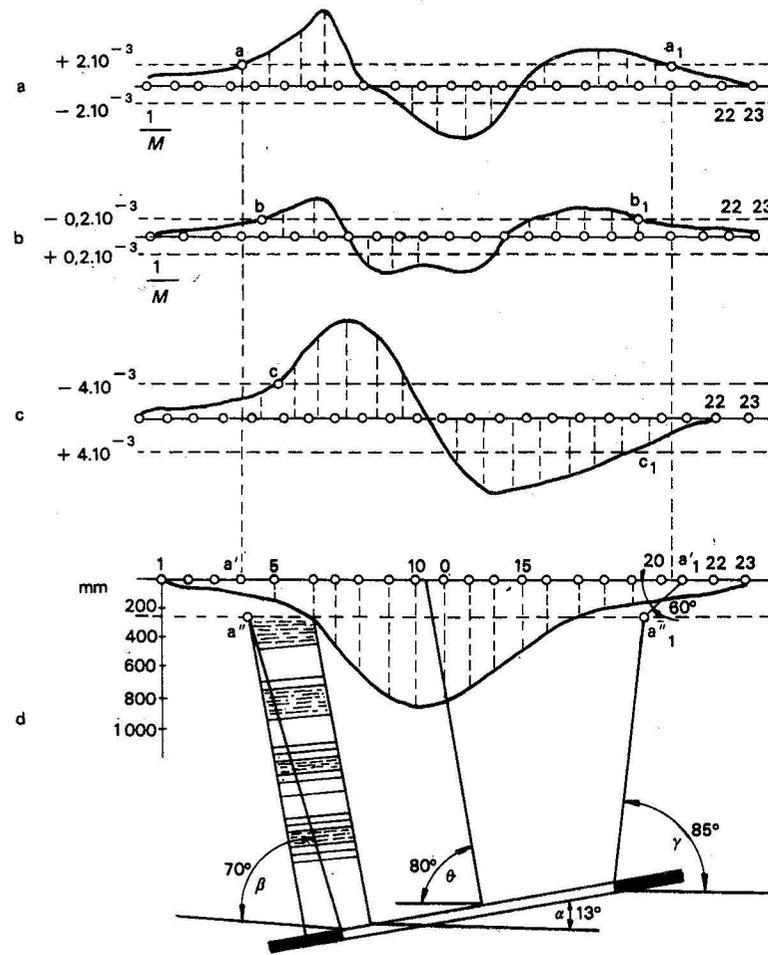


Fig. 6.13 Representación gráfica de los resultados de la observación del proceso del movimiento de la superficie del terreno: a) curva de tracción; b) curva de la curvatura c) curva de las inclinaciones; d) curva de los hundimientos

La representación gráfica de los resultados de las observaciones comprende los dibujos siguientes:

1. El plano de las estaciones de observación en escala 1 : 2 000 o 1 : 1 000, con la representación del relieve de la superficie del terreno por medio de curvas de nivel. Además, el plano debe tener la ubicación de las construcciones, las líneas de los perfiles, los contornos de las excavaciones mineras, etcétera.
2. Los cortes verticales de cada línea de perfil en escala 1 : 2 000 o 1 : 1 000, con la representación en ellos del perfil de la superficie del terreno, los puntos, la estructura geológica, la potencia, el ángulo de buzamiento, las líneas de contacto, las dislocaciones tectónicas, las excavaciones mineras con las fechas de extracción y también las curvas de hundimiento y de desplazamientos horizontales en escala 1 : 10, 1 : 20, 1 : 50 (fig. 6.13).
3. Las curvas de las deformaciones (compresión, tracción, inclinación, curvatura), en la construcción de las cuales los valores de las inclinaciones, compresiones y tensiones se trazan en el medio de los intervalos correspondientes y los valores de hundimiento, los desplazamientos horizontales y la curvatura junto a los respectivos puntos.
4. La curva de la velocidad de los puntos independientes (fig. 6.14).
5. La proyección de los trabajos mineros en un plano vertical, con los ángulos de buzamiento del manto mayores de 45°, hacia el cual trazamos la posición de las líneas de los perfiles de los puntos y también las excavaciones mineras.

Como resultado de la observación en la estación, estaremos en condiciones de determinar los ángulos del movimiento, los ángulos límite, los ángulos de ruptura, el ángulo del punto con el máximo hundimiento, los valores máximos de los movimientos horizontales, los hundimientos, las deformaciones, los gráficos de la distribución de los hundimientos, de los movimientos horizontales y de la deformación en la hondonada del movimiento, el carácter de las deformaciones de los objetos, las deformaciones límites admisibles, y otros parámetros.

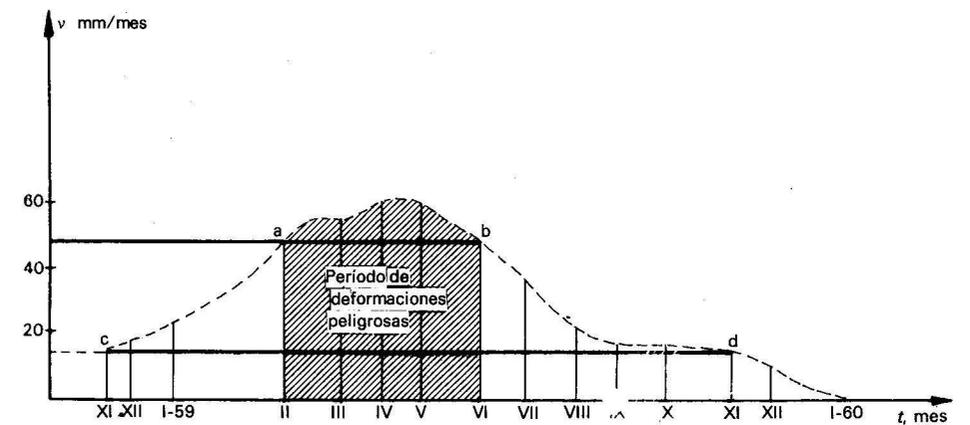


Fig. 6.14 Curva de la velocidad del hundimiento de un punto

Los ángulos del movimiento los determinamos en los cortes verticales de las líneas de los perfiles utilizando las curvas de deformación construidas por los puntos límite $a, a_1, b, b_1, c, y c_1$. Para determinar los puntos límite utilizamos los valores límite admisibles de la deformación para los edificios y construcciones de la primera categoría de protección.

En la determinación de los ángulos del movimiento empleamos los puntos límite (a y a_1) situados en los bordes de la hondonada del movimiento. Los puntos encontrados en el perfil de la superficie del terreno (los puntos a', a_1'). De los puntos a', a_1' trazamos una línea bajo los ángulos del movimiento en los sedimentos φ hasta la intersección con la línea del límite de los sedimentos (puntos a'' y a_1''). Los puntos A'' y A_1'' unidos con las rectas correspondientes con los límites superior e inferior de los trabajos de arranque.

Los ángulos exteriores con respecto al espacio laboreado y que están comprendidos entre la línea del horizonte y la línea inclinada trazada con anterioridad serán los ángulos del movimiento. Con la elaboración de las observaciones instrumentales se establece la dependencia de las magnitudes de los ángulos del movimiento del ángulo de inclinación del manto, m, H y las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

Los ángulos límite se determinan de la misma forma que los ángulos del movimiento, pero se diferencian en que la línea en los sedimentos bajo el ángulo φ se traza desde los puntos a'' y a_1'' , que están determinados por los valores críticos de la deformación (ξ e I) $0,5 \cdot 10^{-3}$ y en el punto con un hundimiento de 15 mm.

Los valores de los ángulos límites $\beta_0, \gamma_0, \delta_0$ de los ángulos completos de laboreo ψ_1, ψ_2, ψ_3 y los puntos de hundimiento máximo Ω dependerán de los mismos factores que los ángulos del movimiento.

La duración del proceso de movimiento y el periodo de las deformaciones peligrosas es más fácil determinarlo previo el análisis de la curva del hundimiento de los puntos independientes.

En la figura 6.14 la línea paralela al eje t corresponde a la velocidad de hundimiento de 50 mm/mes. El periodo de tiempo (en meses) comprendido entre los puntos a y b será el periodo de las deformaciones peligrosas del proceso del movimiento para una estación concreta. En esta figura trazamos la línea que corresponde a la velocidad de hundimiento de 5mm/mes. Utilizando los puntos c y d de esta línea, que interseca a la curva del hundimiento, encontramos la duración general del proceso del movimiento. Con los resultados de la observación en las estaciones, obtenemos la dependencia entre la duración del proceso del movimiento y la profundidad. Como ejemplo, en la tabla 9 se muestra esa dependencia para la región del Donbass.

Método de los modelos

El método de laboratorio más empleado para el estudio del movimiento de las rocas es el modelaje con materiales equivalentes. En este método, una porción del macizo de rocas se puede representar en forma de un modelo de dos o tres dimensiones (fig. 6.15) confeccionado a una escala determinada.

Para lograr el proceso del movimiento de las rocas en el modelo, es necesario disminuir las propiedades físico-mecánicas de las rocas de acuerdo con la escala del modelo.

Con los materiales equivalentes confeccionamos el modelo de una zona geológica determinada en un banco especial. El ángulo de este modelo es de 15 a

20 cm y el debe ser una imitación de las condiciones geológicas existentes. Después del modelo tomamos una pequeña porción, formando de esta manera el espacio laboreado. En los alrededores del supuesto espacio laboreado comienza el desarrollo del proceso del movimiento, de los cuales haremos observaciones periódicas.

Tabla 9

Profundidad de laboreo H, m	Duración general del proceso del movimiento de las rocas, meses	Periodo de las deformaciones peligrosas, meses
hasta 50	5-10	2-3
50-100	8-16	3-5
100-200	10-24	4-10
200-300	15-30	6-12
300-400	15-35	6-10
400-500	20-38	7-8
500-600	36-42	6-7
600 y más	40-48	6

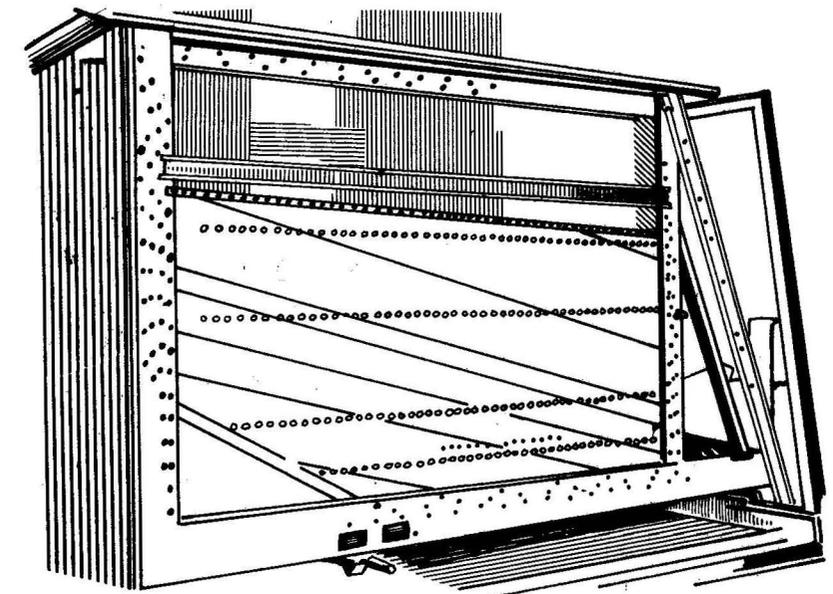


Fig. 6.15 Vista general de un modelo para el estudio del proceso del movimiento de las rocas

Con la información obtenida de la modelación y luego de su procesamiento, obtendremos los parámetros necesarios, como los ángulos del movimiento, las magnitudes del movimiento en el macizo y en la superficie y otros índices.

Además del sistema de modelación explicado, existen otros tipos entre los que se encuentran el óptico y el centrífugo, que no se aplican a la topografía minera.

Método de estudio teórico

El proceso del movimiento de las rocas está basado en la suposición de que el macizo de roca entre las excavaciones mineras y la superficie del terreno es una masa entera, en la cual, bajo la acción de las explotaciones mineras, surgen deformaciones plásticas. En la actualidad en el estudio del proceso de las rocas se utiliza la teoría matemática de la plasticidad y también la teoría de la mecánica del medio completo, con las cuales se trata de conformar un método teórico de cálculo de los parámetros que caracterizan el proceso del movimiento de las rocas. Este método de estudio del proceso del movimiento de las rocas aún tiene poco desarrollo por lo cual necesita de un perfeccionamiento futuro.

6.5 INFLUENCIA DE LA DEFORMACIÓN DE LA HONDONADA DE MOVIMIENTO EN LAS CONSTRUCCIONES. PROFUNDIDAD DE LABOREO SEGURA Y CATEGORÍAS DE PROTECCIÓN DE LOS OBJETOS

Las irregularidades del hundimiento de los puntos de la hondonada de movimiento y de los desplazamientos horizontales constituyen la causa principal del surgimiento de deformaciones como inclinaciones, curvaturas, tracciones y compresiones.

Las deformaciones en el terreno se transmiten a las construcciones y provocan en ellas diferentes afectaciones. Los objetos altos (torres de televisión, tanques de agua) son muy sensibles a las inclinaciones. Los edificios de gran extensión y altura son sensibles a las deformaciones de curvatura y de tracción. Un cambio en la inclinación del terreno puede provocar la aparición de un momento de vuelco con la consiguiente destrucción de los edificios altos. Una deformación de curvatura (con un radio pequeño) da origen a la formación de grietas en los objetos, separación de las paredes, caída de las vigas y otras afectaciones. Las deformaciones horizontales de tracción ocasionan la formación de grietas en los cimientos y en las paredes.

Las tuberías de acero y las vías férreas son muy sensibles a las deformaciones horizontales, a las tracciones y a las compresiones. Estas deformaciones provocan roturas de las tuberías y contracciones y dislocaciones de los rieles.

Con las observaciones instrumentales se ha comprobado que la magnitud de las deformaciones de los objetos y del suelo depende fundamentalmente de la profundidad del laboreo del yacimiento, de la potencia y del ángulo de inclinación.

En la figura 6.16 está representada la relación entre los valores máximos de las compresiones y de la curvatura con respecto al factor de multiplicidad K_0 . Es evidente que mientras mayor sea el valor de K_0 , menor será la magnitud de la deformación.

Para los pisos de un edificio existen valores máximos para las deformaciones permisibles que no provocan la destrucción del edificio. Si se conocen los valores de las deformaciones, es posible obtener el valor de K_0 haciendo uso del gráfico representado en la figura 6.16. Con este valor será posible determinar la profundidad de laboreo segura.

$$H_s = Km \quad (6.10)$$

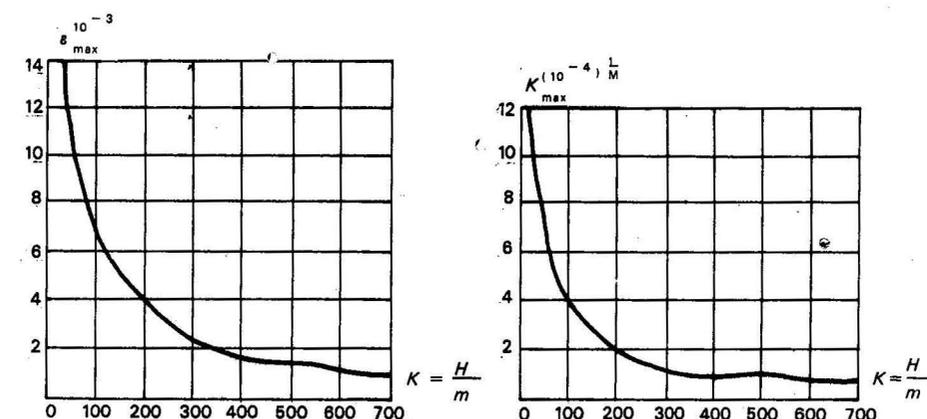


Fig. 6.16 Gráficos de la dependencia entre la posición máxima de la curvatura y de las tracciones máximas: 1, curva de los valores máximos de las tensiones; 2, curva de los valores máximos de la curvatura

donde:

m - potencia extraída del yacimiento;

K - coeficiente de seguridad.

La profundidad segura de laboreo es aquella por debajo de la cual las excavaciones mineras no provocan deformaciones destructoras, que impliquen el cese de la explotación, peligro para las vidas de los trabajadores y que la zona se convierta en inhabitable.

Todas las construcciones y objetos de acuerdo con el grado de protección de los efectos dañinos de las excavaciones mineras se dividen en diferentes tipos de categorías de protección.

En las diferentes regiones, según el grado de estudio de las influencias de las deformaciones producidas por las excavaciones mineras, existen diferentes categorías para la protección contra los efectos de las deformaciones. Una de estas categorías es la que establece que las construcciones y objetos se dividen en protegidos y no protegidos; pero la división más completa es la que establece las siete categorías que relacionamos a continuación:

- I. Termoeléctricas, altos hornos, plantas de beneficio de minerales, plantas metalúrgicas, depósitos de agua, grandes ríos y puentes de ferrocarril.
- II. Fábricas químicas, centros industriales equipados con grúas, plantas eléctricas locales y edificios de vivienda y administrativos de más de cinco pisos.
- III. Edificios de vivienda y administrativos de tres y cuatro pisos, edificios escolares, hospitales, círculos infantiles grandes, el cauce de los grandes ríos, etc.
- IV. Edificios de vivienda y administrativos de tres pisos, hospitales, círculos infantiles, ventiladores centrales de la mina, estaciones de compresores, ferrocarriles centrales, tolvas, oleoductos y tuberías de gas.

- V. Ferrocarriles locales, edificios de vivienda y administrativos de dos pisos, depósitos de agua, cuya altura sea de más de 20 m, tólvras metálicas, ríos y estanques pequeños y pozos inclinados.
- VI. Viviendas y edificios administrativos de uno y dos pisos.
- VII. Acueductos centrales, tuberías de gas que pasan por la superficie, bases de las líneas eléctricas de alto voltaje, los pozos inclinados de ventilación y los accesos ferroviarios.

Los coeficientes de seguridad para las diferentes categorías de protección podemos encontrarlos en los manuales de seguridad. Como ejemplo en la tabla 10 se muestran los valores de los coeficientes de seguridad para la región de Donetsk.

Tabla 10

Categoría de protección	Coeficiente de seguridad		Deformación límite admisible de la superficie del terreno		
	$K_0 \leq 45^\circ$	$K_0 > 45^\circ$	Inclinación β	Radio R de la curvatura km	Tracción o compresión ξ
I	400	500	$4 \cdot 10^{-3}$	20	$2 \cdot 10^{-3}$
II	350	400	$4.5 \cdot 10^{-3}$	18	$2.5 \cdot 10^{-3}$
III	250	300	$5 \cdot 10^{-3}$	12	$3.5 \cdot 10^{-3}$
IV	150	250	$8 \cdot 10^{-3}$	5.5	$5 \cdot 10^{-3}$
V	100	150	$10 \cdot 10^{-3}$	3.3	$7.5 \cdot 10^{-3}$
VI	75	75	$25 \cdot 10^{-3}$	1.0	$12 \cdot 10^{-3}$

6.6 MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES CONTRA LA INFLUENCIA NOCIVA DE LAS EXCAVACIONES MINERAS

Para la protección de las construcciones y de los objetos naturales es necesario tomar una serie de medidas, debiendo tomar en consideración las categorías de protección, las características constructivas, la extensión, la altura, el carácter y la intensidad de la explotación, la relación entre la profundidad de yacencia y la protección del manto, el ángulo de buzamiento y otras condiciones geológico-mineras.

Entre las medidas de protección que es posible aplicar con el fin de preservar las construcciones y objetos naturales tenemos las siguientes:

1. Dejar pilares de seguridad para aquellos casos en que las restantes medidas de protección no puedan garantizar la normal explotación del objeto o son antieconómicas.
2. Empleo del relleno completo de los espacios laboreados.
3. Realización de medidas constructivas adicionales en la construcción antes de realizar las tareas de arranque (corte o división del edificio en bloques independientes, fijación de las paredes con barras especiales, colocación de compensadores, etc.).

4. Reparación sistemática de los objetos a medida que aumentan las deformaciones. Entre estas medidas tenemos por ejemplo el relleno de los terraplenes de las vías, la reparación de las vías ferroviarias, etc.
5. Recomendación de realizar observaciones periódicas en aquellas zonas donde exista la posibilidad de que las excavaciones mineras afecten las construcciones.

Los métodos de protección de las construcciones y objetos situados dentro de la zona de influencia de las excavaciones mineras deben ser objeto de un proceso de estudio, en nuestro país, ya que muchas de las irregularidades que ocurren en las instalaciones superficiales de nuestras unidades mineras pueden tener su origen en las deformaciones producidas por los trabajos mineros. Además, consideramos que en la ley de Protección del ambiente es necesario incluir un reglamento para la protección contra los efectos de la explotación minera subterránea.

6.7 CONSTRUCCIÓN DE LOS PILARES DE SEGURIDAD

Podemos definir como pilar de seguridad la parte del yacimiento que es necesario dejar bajo las construcciones, objetos y depósitos de agua, situados en la superficie del terreno, con el fin de preservar dichas construcciones de la influencia dañina de los trabajos mineros y para proteger las excavaciones de la penetración del agua.

Para construir un pilar de protección bajo cualquier tipo de construcción o depósito de agua es necesario realizar un levantamiento, trazarlo en el plano de los trabajos mineros y determinar los elementos de yacencia del manto (dirección de la línea del rumbo y del buzamiento, profundidad entre el objeto y el manto, potencia y ángulo de inclinación). Con estos datos es posible determinar las dimensiones del área a proteger, en la cual se encuentra la construcción.

En la construcción de los pilares de seguridad para edificios y objetos aislados (fig. 6.17) el área a proteger (ABCD) tiene forma de rectángulo y sus lados son paralelos a las respectivas líneas de levantamiento y rumbo (fig. 6.17). Además, los lados son tangentes a las esquinas del edificio. En el área de seguridad pueden incluirse varios objetos, siempre y cuando estos pertenezcan a una misma categoría de seguridad o protección.

En la construcción de los pilares de las vías férreas, para el contorno del área de seguridad hay que tomar en consideración las bases del terraplén y la sección superior de las excavaciones (fig. 6.18). Los lados del contorno de seguridad de las vías férreas, tuberías, canales y ríos se construyen paralelos a los ejes de los objetos.

Para construir pilares que desempeñen la función de proteger el yacimiento de las aguas de los ríos, es necesario tomar en consideración su crecida máxima. En el caso de los ríos debemos analizar la posibilidad de desviar el cauce con el fin de evitar la construcción del pilar de seguridad.

Para crear una reserva de seguridad, el contorno lo aumentamos en una magnitud b llamada berma, la cual marcamos en todas direcciones. La dimensión de la berma depende de la categoría de la protección. En la tabla 11 están dadas las dimensiones en la berma de acuerdo con las categorías.

Los pilares de seguridad los construimos y los dejamos en los mantos hasta alcanzar el nivel de profundidad segura.

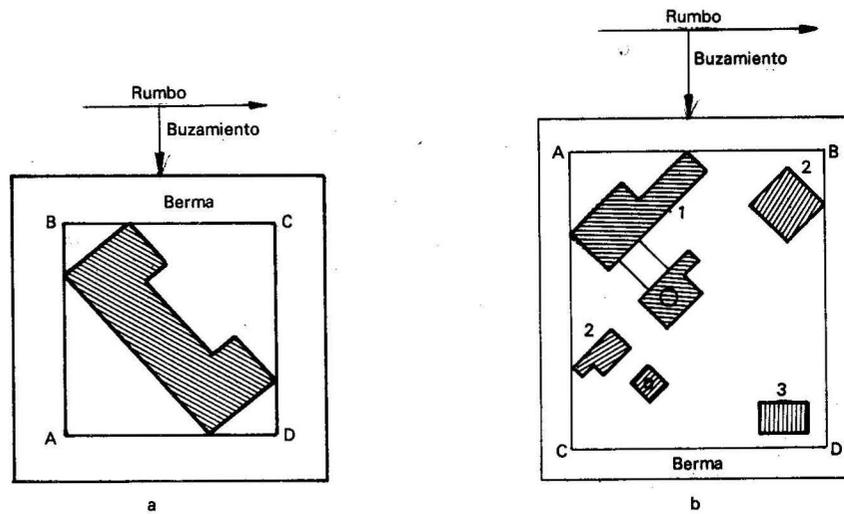


Fig. 6.17 Contorno y firma de seguridad para uno o varios edificios: 1, planta de beneficio de minerales; 2, edificio de la máquina de ascenso; 3, edificio de la estación eléctrica

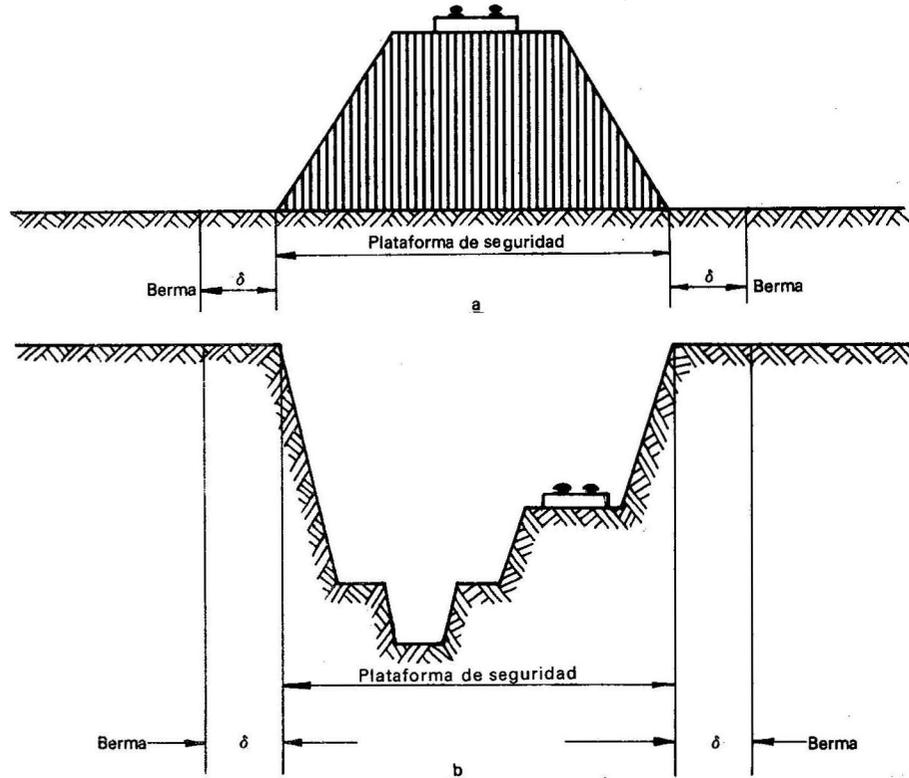


Fig. 6.18 Contorno de seguridad y firma de una vía férrea

TABLA 11

Categoría de seguridad	Dimensiones de la berma, m
I	20
II	15
III y IV	10
V y VI	5

Los límites de los pilares de seguridad podemos determinarlos en los cortes verticales por medio de las líneas de intersección de los estratos con los planos trazados bajo los ángulos del movimiento a través de los límites de las bermas del área de seguridad (fig. 6.19). La parte superior del pilar la calculamos con la ayuda del ángulo β , mientras que la parte inferior con el ángulo α . Los límites de un pilar por la línea del rumbo los determinamos con los ángulos γ y β .

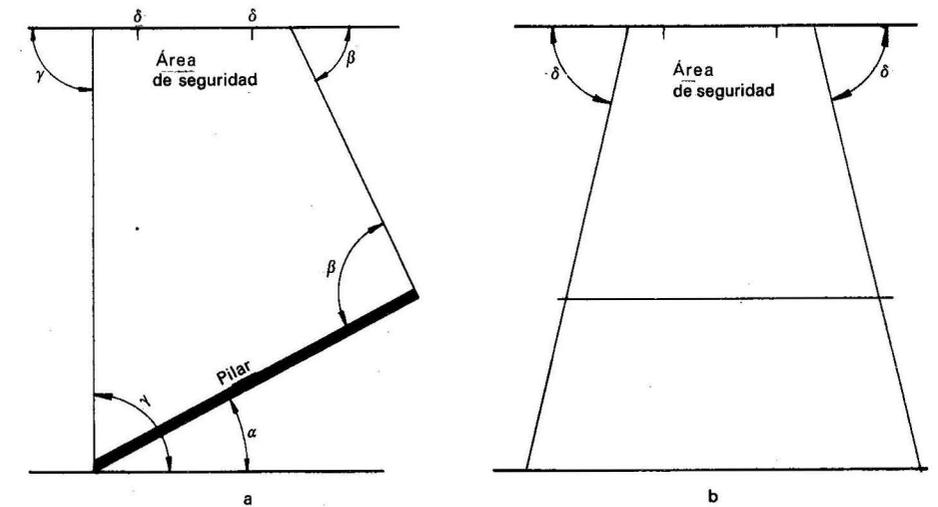


Fig. 6.19 Determinación de los pilares de seguridad por medio de los ángulos del movimiento: a) corte por el buzamiento del manto; b) corte por el rumbo

Los pilares de seguridad se pueden construir por tres métodos: el de los cortes verticales, el de las perpendiculares y el de las proyecciones con señales numéricas. Para construir los pilares de seguridad es necesario contar con lo siguiente:

1. Un plano de la superficie del terreno con la situación de los objetos y de las excavaciones mineras.
2. Las características estructurales de los objetos (edificios, vías férreas, etc.).
3. Los cortes geológicos del yacimiento.
4. Los elementos de yacencia.

Método de los cortes verticales

Los pilares los construimos en los cortes y en los planos a escalas 1 : 500 a 1 : 2 000. Para los objetos de gran extensión utilizamos la escala 1 : 5 000. A

continuación veremos el caso de construcción de pilares por el método de los cortes verticales.

Construcción de un pilar de seguridad bajo una instalación aislada. El polígono se construye en el orden siguiente (fig. 6.20):

1. En la parte inferior izquierda de una hoja dividida en cuatro partes, realizamos una copia del plano de los trabajos mineros que contenga la cuadrícula de coordenadas, los objetos, la dirección de la línea del buzamiento y el rumbo del estrato. Con las reglas de seguridad establecemos la categoría de seguridad de los objetos, las dimensiones de las bermas, los ángulos del movimiento y el coeficiente de seguridad. El objeto lo inscribimos en un rectángulo $A_1 B_1 C_1 D_1$ cuyos lados son paralelos a las líneas del buzamiento y del rumbo.

El área del rectángulo la aumentamos en la dimensión de la bermá de acuerdo con la categoría, y obtenemos el rectángulo ABCD (fig. 6.20). Por el centro del contorno que vamos a proteger trazamos los ejes A-A y B-B, paralelos a las líneas del buzamiento y del rumbo del estrato.

2. Por el eje A-A construimos el corte vertical a partir de los datos tomados de los trabajos mineros y de los cortes geológicos (potencia de los sedimentos, profundidad de yacencia del estrato bajo el centro de los ejes, el ángulo de inclinación del estrato, la estructura geológica).

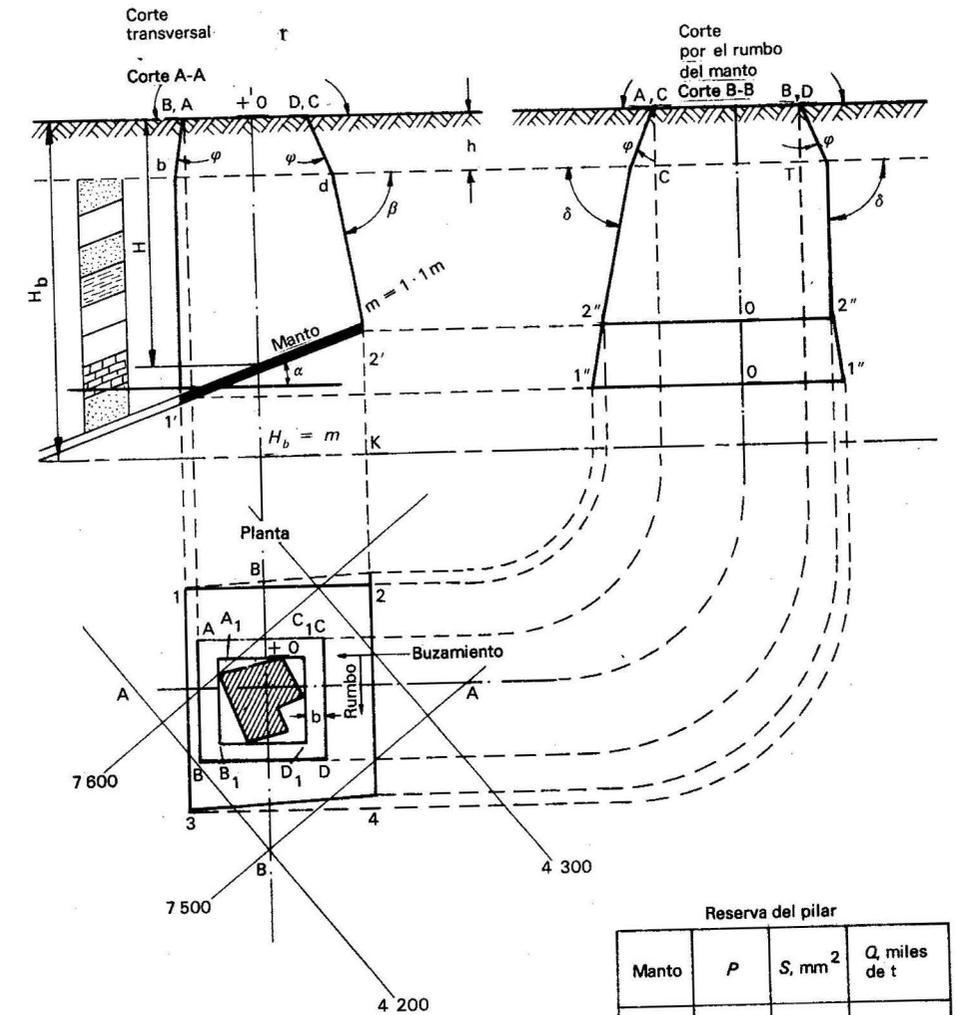
En el corte vertical A-A proyectamos los puntos de la bermá AB y CD. Desde los puntos AB y CD traemos la línea bajo los ángulos del movimiento en los sedimentos hasta la línea de contacto de las rocas básicas (puntos b y d). Desde el punto b trazamos una línea bajo el ángulo del movimiento γ' hasta la intersección con el estrato (punto 1'); desde el punto d trazamos una línea bajo el ángulo β hasta la intersección con el estrato (punto 2'). Trazamos la línea horizontal de la profundidad de seguridad H_s . Si los puntos 2' y 1' están por encima de la línea H_s , determinarán los límites superior e inferior del pilar en el corte por la línea de inclinación del manto. Si el punto 1' está por debajo de la línea H_s , como límite inferior del pilar tomamos el punto de intersección de la línea H_s con el estrato. En los casos que los puntos 1' y 2' estén por debajo de la línea H_s , no es necesaria la construcción del pilar.

3. Construimos el corte vertical por la línea B-B, donde mostramos los sedimentos y los puntos de la bermá A, C, B y D. Desde los puntos A, C, B y D trazamos las líneas bajo los ángulos del movimiento en el sedimento hasta la línea de contacto con las rocas básicas (puntos C y T). Desde los puntos C y T trazamos las líneas con los ángulos del movimiento

En el corte vertical B-B proyectamos, desde el corte A-A, los límites superior e inferior del pilar (puntos 1' y 2') y obtenemos las dimensiones del pilar en la dirección del rumbo 1'' - 1'' y 2'' - 2''.

4. Proyectamos los límites superior e inferior del pilar desde el corte A-A al plano y las dimensiones del pilar por el rumbo desde el corte B-B. Ahora falta unir los puntos 1,2,3,4 con lo que obtenemos el contorno del pilar en el plano.

5. A partir del gráfico determinamos las coordenadas de los puntos angulares del pilar y las anotamos en una tabla.



Reserva del pilar			
Manto	P	S, mm ²	Q, miles de t
1	1,50	14,3	18,9

Coordenada de los vértices del pilar		
Punto	Coordenadas	
	x	y
1	4240	7650
2	-4320	7590
3	4190	7540
4	4270	7490

Fig. 6.20 Cálculo del pilar de seguridad de un edificio

6.8 MOVIMIENTO DE LAS ROCAS MINERAS Y PROTECCIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES DURANTE LA EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS A CIELO ABIERTO

El proceso del movimiento de las rocas mineras durante la explotación de los yacimientos de minerales a cielo abierto se manifiesta en forma de deslizamientos de los bordes de las canteras; conjuntamente con este proceso tienen lugar los deslizamientos externos e internos de las masas de rocas estériles. El fenómeno de los deslizamientos en las canteras complica mucho el conteo de los trabajos mineros e influye considerablemente en las pérdidas de mineral.

Las causas principales que originan los deslizamientos de los bordes de la cantera son:

- Ausencia o insuficiente drenaje de la cantera.
- Existencia de condiciones geológicas e hidrogeológicas desfavorables en el yacimiento.
- Proyectar los bordes de la cantera con ángulos muy grandes, que pueden ocasionar el deslizamiento de las rocas.
- Desfavorables condiciones físico-mecánicas de las rocas.
- Cálculo deficiente de los trabajos mineros de perforación y arranque.

Un factor de gran importancia para evitar el deslizamiento de los bordes de la cantera es la elección de su ángulo de inclinación. Este ángulo puede calcularse sobre la base de las propiedades físico-mecánicas de las rocas de los bordes de la cantera.

En la actualidad existen algunos métodos para el cálculo del ángulo de inclinación de los bordes de la cantera, los cuales se estudian en los cursos de Mecánica de las rocas.

Las condiciones geológicas desfavorables que pueden ocasionar dificultades en las canteras son las siguientes:

- Presencia de grietas tectónicas en la cantera.
- Presencia sistemática de agua en la cantera.
- Presencia en la cantera de rocas blandas, inclinadas y movedizas (arcillas, argilitas, etc.)

Para determinar la estabilidad y el carácter de los deslizamientos de los bordes de la cantera fijamos estaciones de observación en forma de redes de puntos colocados en las partes inmóviles del macizo rocoso y en los lugares propensos al movimiento. La línea de puntos la situamos en la dirección supuesta de los deslizamientos. La longitud de las líneas de los perfiles se establecen sobre la base de los cálculos. En las líneas de los perfiles para observaciones cortas provocadas por la acción de los deslizamientos, la longitud es de 50 a 150 m en dependencia de las condiciones del terreno y de la profundidad de la cantera.

La longitud de la zona de trabajo de la línea depende de la extensión del deslizamiento por la línea de mayor inclinación del borde y puede alcanzar 300 m o más.

La distancia entre los puntos puede ser desde 5 hasta 40 m, en dependencia de la altura de los bancos y el ancho de las plazoletas de trabajo. En la plazoleta de cada banco, en línea recta, fijamos no menos de dos puntos.

En observaciones de larga duración (3 a 5 años), en los bordes de las canteras podemos emplear puntos iguales a los de las observaciones de larga duración para los desplazamientos provocados por los trabajos mineros subterráneos. En la figura 6.21 se muestran algunas variantes para las estaciones de observación en una cantera.

La exactitud de las mediciones topográficas de los puntos de apoyo de las líneas de los perfiles debe corresponder con la exactitud requerida para la determinación de las coordenadas de los puntos para los levantamientos.

Las observaciones instrumentales en cada línea y en cada serie comprenden las mediciones siguientes:

- a) nivelación de todos los puntos comenzando por los puntos de apoyo;
- b) medición de la distancia entre los puntos con cintas de acero con aplicación de una tensión constante y medición de la temperatura;
- c) levantamiento de los bancos, grietas, pilas de rocas y otros elementos que consideremos necesarios durante el transcurso de las observaciones.

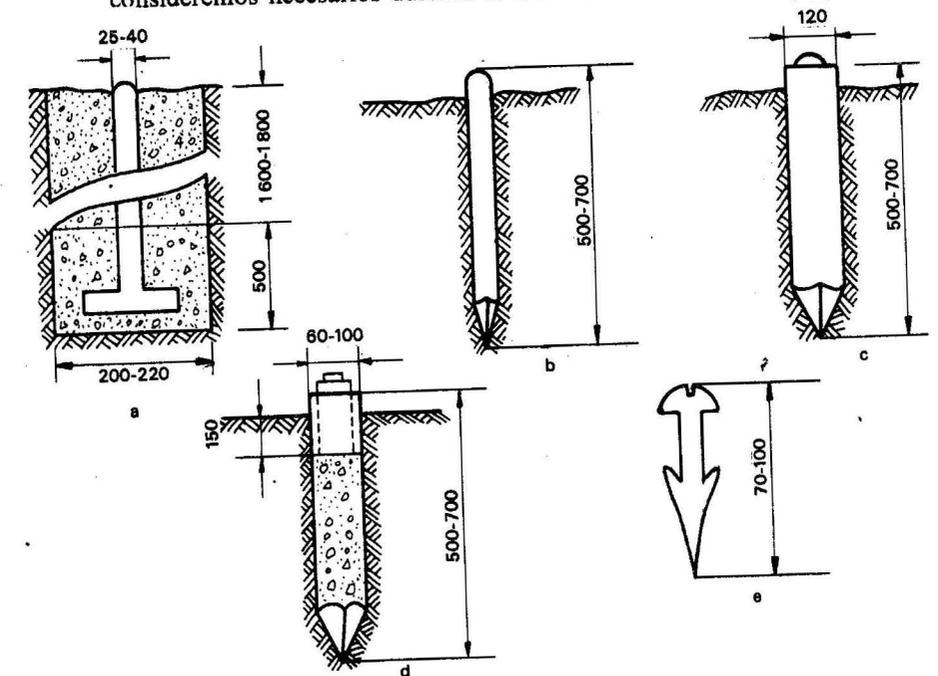


Fig. 6.21 Construcción de los puntos para las estaciones de observación en una cantera

Durante la primera serie de observaciones es necesario realizar un levantamiento geológico detallado a lo largo de los perfiles.

En las partes llanas empleamos la nivelación geométrica, mientras que en aquellos lugares donde la inclinación del terreno sea de 8 a 10° usamos la trigonometría.

En la observación de los desplazamientos seguimos el siguiente orden:

1. Medición en ambas direcciones de los intervalos o en una sola dirección, pero en dos niveles distintos de estacionamiento del teodolito.

2. Nivelación geométrica o trigonométrica de los puntos situados en la plazoleta de trabajo.
3. Levantamiento de aquellos detalles que consideremos necesarios para el estudio de los desplazamientos de las rocas mineras como son las grietas, derrumbes, etcétera.

La nivelación trigonométrica debe tener una exactitud equivalente a la requerida para las poligonales subterráneas.

El período entre las series de observaciones en las líneas de los perfiles puede ser desde cinco o diez días hasta un año, en dependencia de la magnitud de los desplazamientos y la velocidad, la categoría de las construcciones y otros factores. Si la velocidad de los deslizamientos es mayor, la frecuencia de las observaciones se establece cada cinco a diez días, y en algunos casos diaria.

Con los resultados de las observaciones de campo, determinamos los desniveles y las distancias horizontales entre los puntos. La observación podemos considerarla satisfactoria si en la nivelación geométrica la diferencia en la doble determinación de un nivel no es superior a 3 mm y la diferencia entre dos determinaciones independientes de la distancia horizontal no sea superior a 2 mm y la diferencia entre las mediciones de los desniveles y las distancias, cuando usamos la nivelación trigonométrica, no debe ser superior a 5 mm para lados de longitud de 10 a 15 m y 8 mm para lados de longitud de 30 a 40 m.

Con las distancias horizontales y los desniveles, elaboramos los listados de las distancias y desniveles desde el punto inicial para cada línea de perfil y para cada serie de observaciones.

Igualando las alturas y las distancias horizontales desde el punto inicial en las series contiguas para cada punto, determinamos las componentes horizontales y verticales de su desplazamiento (vector de desplazamiento) por el tiempo nos dará la velocidad media de desplazamiento para cada punto en el período de tiempo comprendido entre dos observaciones contiguas.

Con los resultados de las observaciones construimos los vectores del desplazamiento de cada punto en el transcurso de varias series de observación contiguas, construimos también los gráficos de la variación de los puntos por la línea y las variaciones con respecto al tiempo de algunos puntos característicos aislados de las líneas de los perfiles.

DOCUMENTACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA MINERA

7.1 LA DOCUMENTACION EN LA TOPOGRAFÍA MINERA

La documentación de la topografía minera es el resultado final de los trabajos realizados por las comisiones que ejecutan el servicio topográfico en las unidades mineras y nos dan una visión clara con respecto al conjunto de objetos situados en la superficie y en la mina. La documentación confeccionada a partir de los trabajos topográficos sirve de base para dar solución a un gran número de tareas técnicas mineras, y se utiliza, además, para complementar los siguientes objetivos:

Confección de los proyectos para la ejecución de los trabajos de exploración y geología, que se realizan al mismo tiempo que la explotación del yacimiento.

Proyección y construcción de los objetos de obra en la superficie y en la mina. Confección de los planes perspectivas de desarrollo de los trabajos mineros. Proyectos de ventilación, abastecimiento de agua, de energía eléctrica, de desagüe y transporte.

Cálculo de las dimensiones de los pilares de seguridad.

Planificar el volumen de los trabajos futuros y las reparaciones de las excavaciones mineras.

Cálculo de las reservas del yacimiento.

Los planos, las proyecciones, los cortes y los restantes gráficos de la documentación de la minería deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Los gráficos deben confeccionarse en el sistema altimétrico nacional, con la sola excepción de las minas que estén situadas en zonas muy aisladas donde no existan puntos de la red nacional.
2. Los gráficos deben tener una exactitud tal que muestren todos los elementos geométricos de los objetos de acuerdo con la escala empleada.
3. Dar una representación completa de las excavaciones mineras y de las formas del yacimiento en el momento de su confección y completar los planos a medida que surjan nuevos objetos o excavaciones mineras.
4. Los planos deben ser claros y representar fielmente los objetos y las excavaciones mineras, y su correlación con las instalaciones de la superficie y con el yacimiento.

5. En los planos y gráficos es obligatorio el uso de los signos convencionales para representar los objetos.
6. Emplear materiales de alta calidad para confeccionar los planos gráficos con el fin de preservarlos de la influencia del tiempo.

La escala de los planos, las proyecciones y los cortes se eligen de acuerdo con la exigencia de la explotación minera y de los trabajos topográficos que debemos hacer en los referidos gráficos. Como regla general de la topografía minera, los planos y los gráficos se confeccionan a escalas 1:200; 1:500; 1:1 000; 1:2 000 y 1:5 000. Para planos y cortes especiales podemos elegir escalas más grandes o más pequeñas.

7.2 CLASIFICACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA

La documentación de la topografía minera se divide en tres tipos: documentación inicial, documentación de cálculo y documentación gráfica.

Documentación inicial. Está integrada por las libretas de campo, esquemas, croquis, apuntes y dibujos realizados directamente durante las mediciones. Todos los cálculos y trabajos posteriores se deben basar en la documentación inicial.

Las anotaciones en las libretas se hacen con lápiz, y con mucho cuidado; no se permite el uso de la goma de borrar: los errores se deben tachar.

En las páginas correspondientes de las libretas debe señalarse el lugar, el título de los trabajos, las condiciones existentes en el momento de ejecutarlos, la fecha, el tipo y número de instrumento y el nombre y cargo de las personas que realizan el trabajo.

Documentación de cálculo. Dentro de la documentación de cálculo están los modelos de cálculo de poligonales, intersecciones, nivelaciones, etc. Además, como resultado de los cálculos, es necesaria la elaboración de los registros o catálogos de las coordenadas y las cartas de localización de los puntos.

Debe existir una memoria escrita con la descripción de los diferentes trabajos realizados en la mina o en la superficie, en la que, además, deben señalarse los errores absolutos obtenidos y los permisibles.

Documentación gráfica. Se elabora sobre la base de la documentación inicial y la de cálculo. Esta documentación comprende las proyecciones de las secciones o perfiles sobre un plano horizontal o un plano vertical. En la topografía minera nos valemos de las proyecciones paralelas ortogonales sobre un plano horizontal para hacer las representaciones gráficas. En aquellos casos que la comprensión del dibujo sea difícil, recurrimos al uso de las proyecciones axonométricas.

Las proyecciones en un plano vertical se emplean cuando las proyecciones en el plano horizontal no son lo suficientemente claras para darnos una idea general del objeto representado. Como ejemplo podemos citar los planos del laboreo de los yacimientos con una pendiente muy abrupta.

Las proyecciones de las excavaciones mineras en un plano vertical las realizamos separadamente para cada estrato. Las escalas horizontales y verticales deben ser iguales. El plano vertical lo escogemos paralelo a la dirección media de la línea de intersección de la capa con el horizonte. Su posición la determinamos por las coordenadas planas (x, y) de uno de sus puntos característicos y por el acimut de su dirección.

La confección de las proyecciones verticales se realiza a partir de los datos provenientes de los puntos situados en las excavaciones mineras y de las cotas de los puntos. La proyección de las excavaciones mineras en un plano vertical se completa con datos nuevos una vez al mes.

Los cortes son los dibujos de los detalles de los objetos ubicados en un plano vertical secante. Los cortes más utilizados en las minas son los geológicos, que reflejan la estructura geológica de las rocas que pasan a lo largo de las líneas de las excavaciones de exploración y explotación minera (fig. 7.1).

Los perfiles (fig. 7.2) son gráficos del contorno de los objetos en una sección vertical y reflejan el carácter de las alteraciones en el relieve del terreno, los caminos y las excavaciones mineras. Los perfiles se orientan a lo largo y ancho de los caminos, excavaciones mineras, excavaciones exploratorias y otros tipos de objetos.

Los dibujos de la topografía minera se dividen en básicos y especiales.

Dibujos básicos

Se confeccionan a partir de los resultados obtenidos en los levantamientos y son los documentos técnicos y jurídicos que sirven de base para la solución de las tareas técnico-mineras. Estos dibujos son los siguientes:

El plano de la superficie del campo minero confeccionado a escalas de 1:500, 1:1 000 y 1:2 000. Los planos de las excavaciones mineras confeccionadas a escalas de 1:500, 1:1 000 y 1:2 000. En algunos casos pueden emplearse escalas mayores.

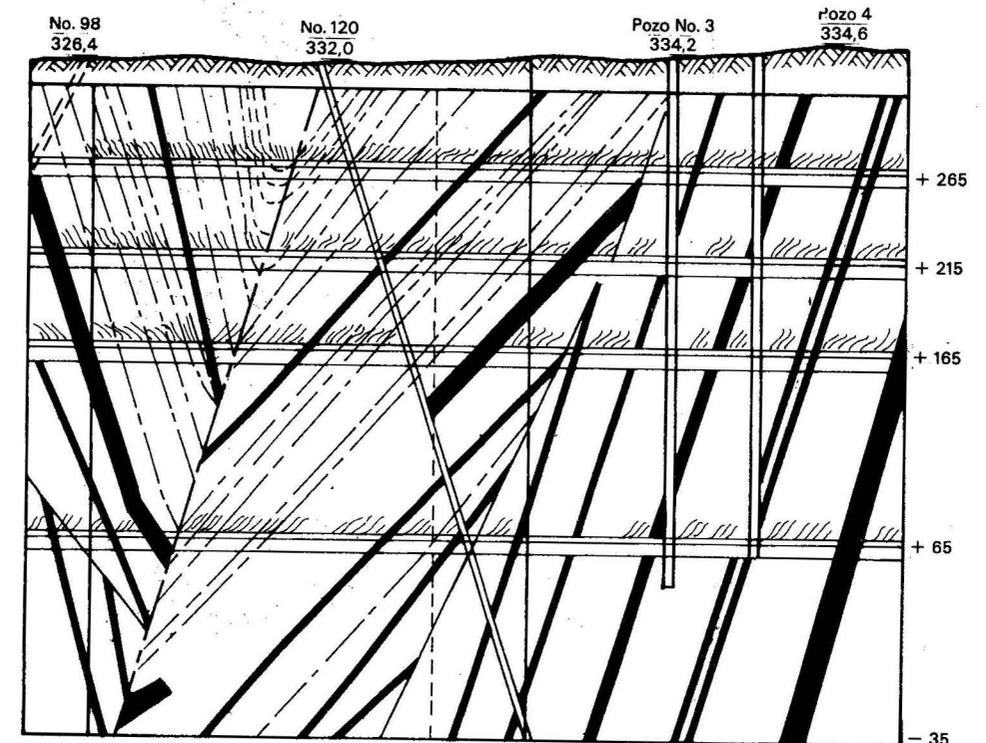


Fig. 7.1 Corte del manto

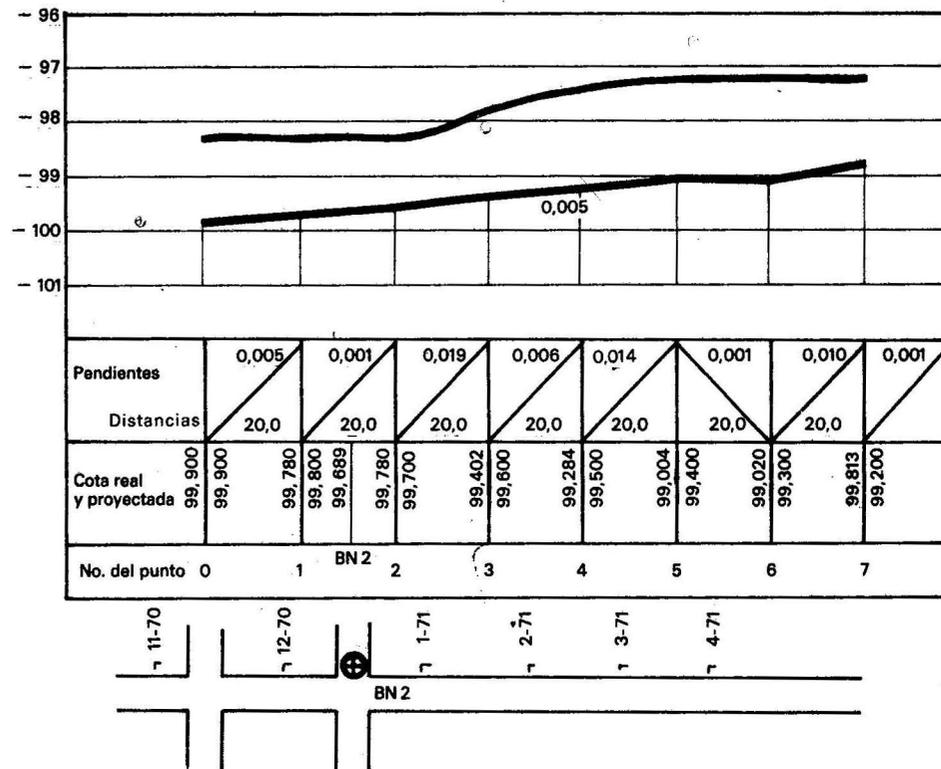


Fig. 7.2 Perfil de una excavación

Para la confección de los planos de la superficie empleamos los métodos e instrumentos conocidos del curso de Topografía general. El servicio topográfico de la mina es el encargado de verificar y actualizar los planos de la superficie. En dichos planos se deben representar las obras realizadas durante el período transcurrido, así como registrar cualquier tipo de cambio en la situación y el relieve del terreno.

Los planos de la superficie deben contener los elementos siguientes:

1. Cuadrículas para las coordenadas, las cuales trazaremos cada 10 cm.
2. Los puntos de la red de apoyo pertenecientes a triangulaciones, poligonometría y nivelación.
3. El contorno de los bosques, terrenos dedicados al cultivo, depósitos de agua naturales y artificiales.
4. Los afloramientos de rocas.
5. La ubicación de las excavaciones mineras y de exploración en activo y abandonadas.
6. Los límites de la denuncia minera.
7. Las edificaciones existentes en la zona.
8. Los almacenes de mineral, zonas de carga y escombreras.

9. Las vías férreas, las de transporte por cable aéreo, las carreteras y los caminos.
10. Las líneas eléctricas y de comunicación.
11. Los sistemas de tuberías y las obras hidráulicas como presas, canales, depósitos de agua, etc.
12. Los hundimientos y las grietas en la superficie.

La escala del plano de la superficie la escogemos de acuerdo con las dimensiones del yacimiento y el objeto que es necesario representar. Una de las escalas más usadas es la de 1 : 1 000, aunque para representar el patio de la mina con todas sus edificaciones y vías de acceso es recomendable usar la escala 1 : 500.

Los planos de la superficie deben confeccionarse en un papel de cualquier tamaño; es un requisito obligatorio que cumpla con las normas establecidas para la confección de los planos.

Los planos de las excavaciones mineras se confeccionan sobre la base de los levantamientos ejecutados con instrumentos, con el fin de dar una representación detallada de las excavaciones mineras y del mineral. Estos planos se confeccionan en el mismo sistema de coordenadas utilizado en los dibujos de los planos de la superficie.

Los planos de las excavaciones mineras deben contener los elementos siguientes:

1. Cuadrículas para las coordenadas, trazadas cada 10 cm.
2. Puntos permanentes y temporales de los levantamientos de las excavaciones.
3. Informaciones referentes a la situación de los frentes de trabajo de las excavaciones durante el período de balance.
4. Situación de las perforaciones de exploración.
5. Cotas de los puntos más característicos de las excavaciones.
6. Contorno de los frentes de arranque registrados el primer día de cada mes.
7. Ángulos de los buzamientos, potencia de los cuerpos de mineral e intercalaciones de roca estéril.
8. Estructura de la capa y de las rocas del techo y del piso.
9. Afloramientos de las capas bajo el aluvión y los de límites de la zona de oxidación.
10. Lugares donde han sido tomadas las muestras.
11. Deformaciones tectónicas y zonas de potencia o contenido inferior al mínimo.
12. Zonas de irrupción de aguas subterráneas, derrumbes y focos de incendios.
13. Límites de la mina y de los pilares de protección.
14. Objetivos situados en la superficie que están bajo el control de posibles deformaciones y los límites de los pilares bajo estos objetos.

No siempre es posible dibujar con lujo de detalles los planos de las excavaciones mineras en los casos de laboreo de los yacimientos potentes y de pendiente abrupta, puesto que la superficie de las proyecciones de las excavaciones de

arranque en un plano horizontal son muy pequeñas. En estos casos se sigue la vía de confeccionar los planos de los trabajos mineros para cada nivel, que se completan con proyecciones en un plano vertical y con los cortes horizontales y verticales. Es obligatorio trazar en los planos de las excavaciones mineras los lugares por donde se efectúan los cortes.

Para confeccionar los planos de las excavaciones mineras se utilizan las escalas 1 : 200, 1 : 500 y 1 : 1 000, aunque se pueden emplear otras escalas según la característica del plano y los detalles que deseamos representar.

Dibujos especiales

Son necesarios para el trabajo de los topógrafos con el fin de dar solución a las tareas técnicas. Estos dibujos se confeccionan sobre la base de los dibujos básicos. Están compuestos de una gran variedad de gráficos entre los que se encuentran los siguientes:

1. Esquema de la red geodésica de apoyo en la superficie.
2. Esquemas de las orientaciones.
3. Planos de las estaciones del pozo a escalas 1 : 500 o 1 : 1 000.
4. Planos de las excavaciones de arranque a escalas 1 : 200 o 1 : 500.
5. Perfiles de las excavaciones de transporte.
6. Planos y cortes para el cálculo de los pilares de seguridad de las obras.
7. Gráficos relacionados con el estado de los pozos de la mina.
8. Planos y cortes para el cálculo de las reservas.
9. Planos y esquemas usados en la orientación de las excavaciones mineras.
10. Planos y esquemas de la ventilación y el desagüe.
11. Cortes geológicos.
12. Gráficos minero geométricos que caracterizan la calidad y las condiciones de yacencia del cuerpo mineral.

7.3 DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DE LAS EXCAVACIONES DE ARRANQUE

En los planos básicos, proyecciones y cortes de los trabajos mineros no pueden representarse todos los detalles de las excavaciones de extracción del mineral útil, por lo que resulta necesario elaborar planos topográficos de las excavaciones de arranque.

En la explotación de filones y vetas de una potencia pequeña o media, los planos de las excavaciones de arranque de las minas metálicas y de carbón no se diferencian considerablemente. Estos planos se confeccionan en dependencia del buzamiento de la veta o filón en las proyecciones en un plano horizontal, vertical o inclinado.

Cuando la explotación es en cuerpos potentes, para tener una idea exacta de la situación del bloque y de las excavaciones de arranque, es necesario representar las proyecciones en tres planos (fig. 7.3):

1. Proyección en el plano horizontal (vista en planta).
2. Proyección en un plano vertical.
3. Corte transversal.

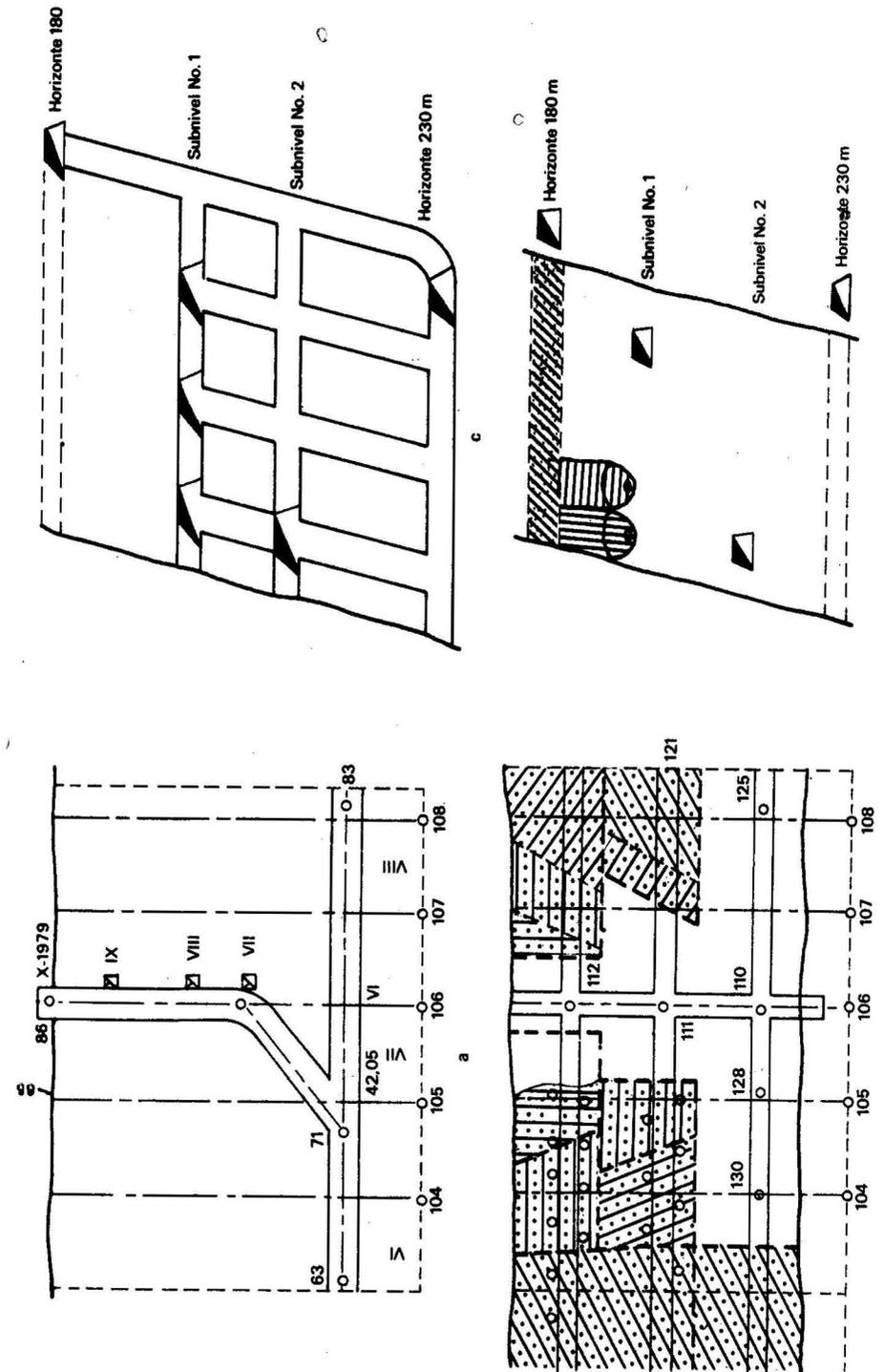


Fig. 7.3 Plano de las excavaciones de arranque empleando el sistema de arranque por sub nivel

En las vistas en planta, proyecciones verticales y cortes del bloque representamos lo siguiente: las excavaciones mineras comprendidas en los límites del bloque, los límites del bloque, los contornos del mineral con intercalaciones de rocas, el avance mensual de las excavaciones de arranque y los subniveles, las líneas de los cortes y los puntos topográficos.

Los planos de las excavaciones de arranque generalmente se confeccionan en un sistema único de coordenadas, a escalas 1 : 200 y 1 : 500.

En dependencia del sistema de explotación empleado, en el conjunto de gráficos de las excavaciones de arranque existen diferencias.

En el sistema de arranque por subniveles, en el conjunto de gráficos de la documentación del bloque se incluye:

1. Vista en planta del horizonte principal en los límites del bloque (fig. 7.3a).
2. Subniveles de las excavaciones preparatorias y de arranque (fig. 7.3b).
3. Corte vertical del bloque a través de la dirección de la capa mineral (fig. 7.3c)

7.4 DOCUMENTACIÓN GRÁFICA EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS POR EL MÉTODO A CIELO ABIERTO

La documentación gráfica cuando la explotación gráfica del yacimiento es a cielo abierto también se divide en básica y especial.

Documentación básica

1. Plano de la superficie de la denuncia confeccionado a escalas 1 : 1 000 o 1 : 2 000.
2. Plano de los trabajos mineros en las bandas de la cantera, a escala 1 : 500 o 1 : 1 000.
3. Cortes verticales en un sentido transversal al rumbo del cuerpo mineral, confeccionados en la misma escala que los planos de los trabajos mineros. Estos gráficos son los perfiles de los trabajos mineros.

Documentación especial

1. Esquema de las triangulaciones, poligonales y líneas de nivelación existentes en la zona.
2. Cortes geológicos realizados por las líneas de exploración.
3. Perfiles de las vías férreas, caminos y carreteras.
4. Planos de las escombreras y de los almacenes de mineral confeccionados a escalas 1 : 1 000 o 1 : 2 000.
5. Planos, cortes y esquemas para el cálculo de los pilares de protección de las obras y otros objetos.
6. Gráficos de la geometría minera del yacimiento entre los que se encuentran los planos de isopotencia, isocontenido e hipsométricos.
7. Copias del plano básico, que se emplean en:
 - a) confección del plano del desarrollo de los trabajos mineros;

- b) control del volumen de los trabajos realizados;
- c) cálculo de reservas;
- d) cálculo del movimiento de las reservas, de las pérdidas y el empobrecimiento.

Los planos básicos de los trabajos mineros los confeccionamos con los resultados de los levantamientos topográficos y geológicos, empleando un sistema único de coordenadas (el nacional). Los referidos planos contienen lo siguiente:

1. Cuadrículas para las coordenadas, las cuales trazaremos cada 10 cm.
2. Red de puntos de apoyo nacionales y locales existentes en la zona.
3. Proyección de los trabajos mineros.
4. Resultados de los trabajos mineros ejecutados con la fecha del período de balance.
5. Cotas de los puntos característicos de los trabajos mineros.
6. Datos geológicos (ángulo de buzamiento; potencia, estructura y límites del yacimiento; y lugares donde han sido tomadas las muestras).
7. Obras y edificaciones existentes en el área del yacimiento
8. Vías de comunicación.
9. Límites del campo minero y de los pilares de protección.
10. Lugares de los perfiles de los trabajos mineros del yacimiento.

Los planos básicos tienen un amplio campo de aplicación para dar solución a una gran cantidad de tareas técnicas y para la confección de los planos y gráficos especiales.

La documentación básica incluye también los cortes verticales o perfiles de los trabajos mineros del yacimiento. Estos perfiles proporcionan una visión clara de las dimensiones de los bancos, los ángulos de los taludes, la geología del yacimiento y su relación con los trabajos mineros, y las excavaciones de apertura y extracción. Además, los perfiles sirven para el cálculo y control de las reservas del mineral y para proyectar las labores mineras futuras. Dichos perfiles se trazan a una distancia que oscila entre 20 y 50 m, aunque pueden alcanzar hasta 100 m.

Los planos y los perfiles se actualizan periódicamente de acuerdo con el avance de los trabajos mineros. Esta actualización se realiza después de los períodos de balance, y puede ser: mensual, bimensual, trimestral, y en algunos casos semestral.

En la figura 7.4 se representa un perfil de la cantera, con la ubicación de los pozos de perforación y el contenido de mineral. Además, se muestra el proyecto de explotación de la cantera.

7.5 SOLUCIÓN DE TAREAS EN LOS PLANOS TOPOGRÁFICO MINEROS

A partir de los planos topográfico mineros de las excavaciones de una mina es posible resolver una serie de tareas, que se presentan en el transcurso de la explotación de los yacimientos. A continuación analizaremos algunas de esas tareas.

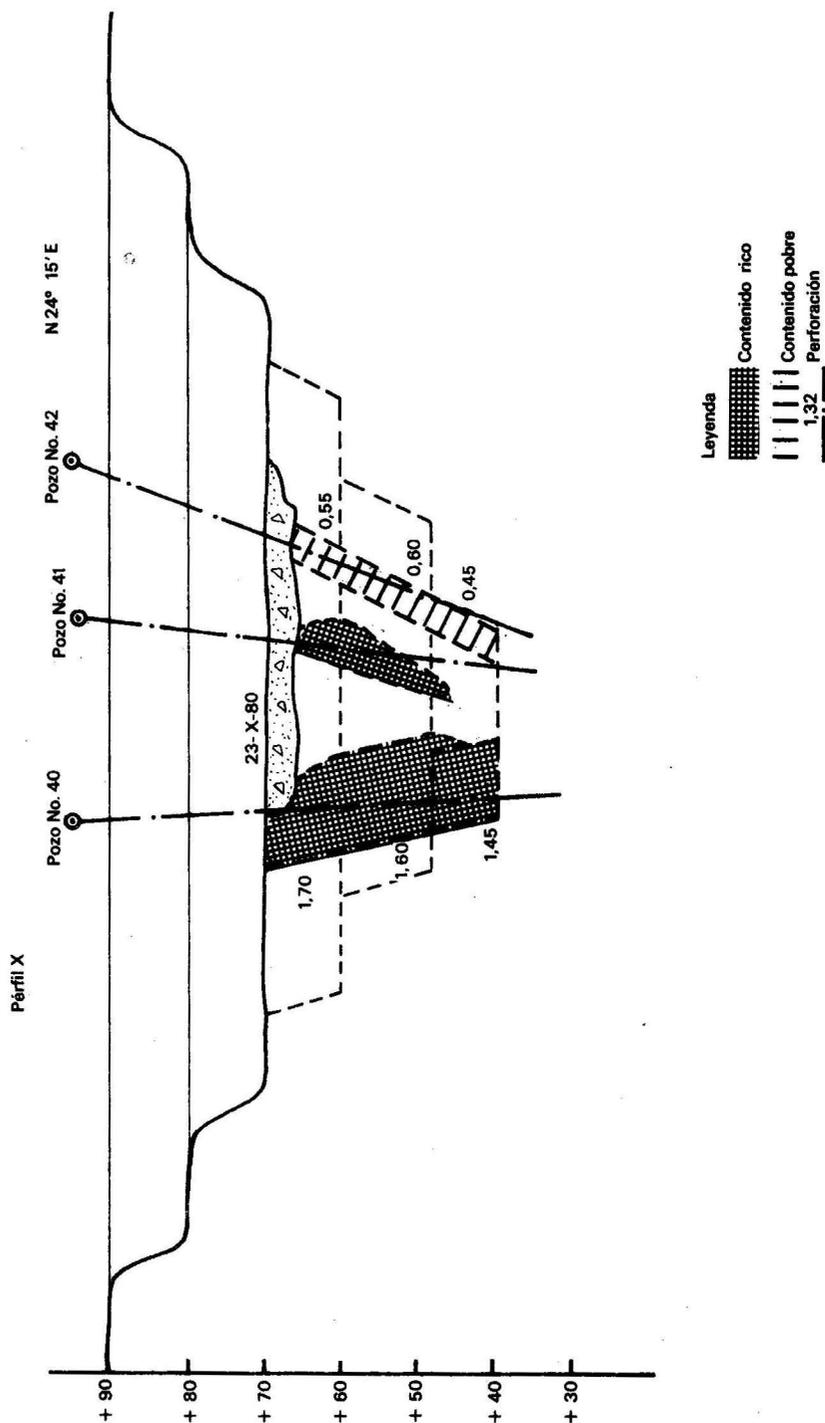


Fig. 7.4 Perfil de una cantera

Determinación de la longitud de una excavación

La longitud de una excavación horizontal comprendida entre dos puntos (A y B) se puede determinar midiendo la distancia entre ambos puntos, y conociendo la escala del plano, por la fórmula:

$$l = \frac{a}{E} \tag{7.1}$$

donde:

- a* - longitud de la excavación en el plano;
- E* - denominador de la escala del plano.

Ejemplo: Si *a* = 0.035 m y *E* = 2 000, *l* = 0,035.2 000 = 70 m.

La longitud de una excavación inclinada entre los puntos C y D en el plano se determina por la fórmula:

$$L = \frac{D}{E \cos \delta} \tag{7.2}$$

donde:

- δ - ángulo de inclinación de la excavación con respecto al horizonte;
- D* - distancia horizontal entre los puntos C y D.

Para determinar las longitudes de las excavaciones que no son rectas, es necesario dividir las en tramos rectos, y calcular la longitud de cada tramo. La longitud total será igual a la suma de las longitudes de los tramos.

Determinación de la pendiente y del ángulo de inclinación de la excavación. La pendiente de las excavaciones las determinamos por la fórmula:

$$i = \tan \delta = \frac{h}{D} \tag{7.3}$$

donde:

- h* - desnivel entre los puntos;
- D* - distancia horizontal entre los puntos.

Los ángulos de inclinación de las excavaciones con respecto al horizonte se anotan en los planos, indicando la dirección de la inclinación de las excavaciones y el ángulo de inclinación δ de las excavaciones proyectadas.

Determinación de los datos iniciales para darle dirección a las excavaciones mineras. Contrapozo o chimenea inicial

En el plano está trazada la dirección del eje EF de la chimenea inicial (fig. 7.5). Según este mismo plano determinamos la longitud desde el punto topográfico hasta el eje por la fórmula (7.1). El ángulo β entre el lado 23-24 de la poligonal subterránea y el eje EF lo medimos con un transportador. Con estos datos, en la mina, determinamos el lugar de la chimenea o del contrapozo y su dirección.

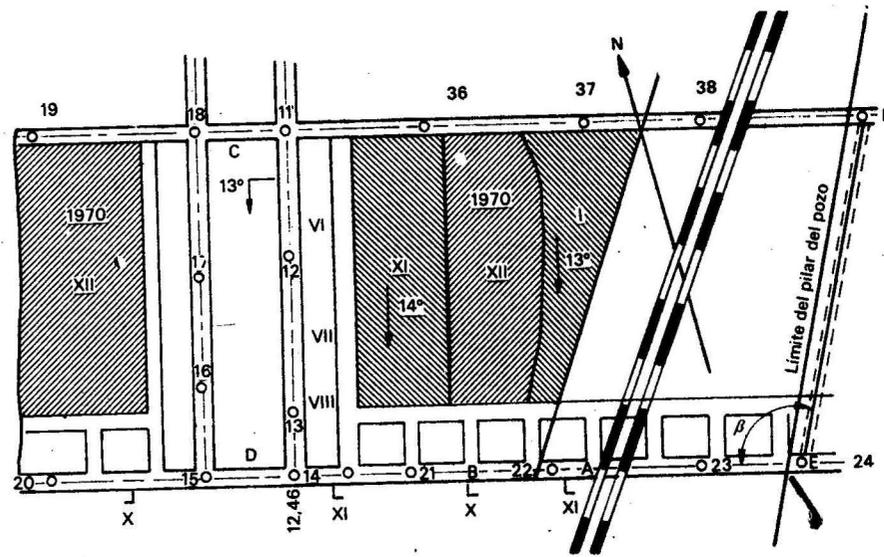


Fig. 7.5 Solución de tareas en los planos topográficos

Determinación de los datos iniciales para la construcción de una chimenea

En el plano de las excavaciones mineras proyectamos la posición de las chimeneas verticales (fig. 7.6). Después, basándonos en el plano determinamos las distancias desde los puntos topográficos hasta los ejes de las chimeneas. Con los datos obtenidos, se replantean los ejes de las chimeneas en la mina.

La posición proyectada del eje del contrapozo o de la chimenea inclinada la trazamos en el plano hasta la intersección con el lado de la poligonal subterránea en el punto A (fig. 7.7). Determinaremos la distancia desde el punto topográfico hasta el punto A. En el punto A, con un transportador, medimos el ángulo β para darle dirección a la excavación en el plano horizontal y el ángulo δ para darle dirección en el plano vertical.

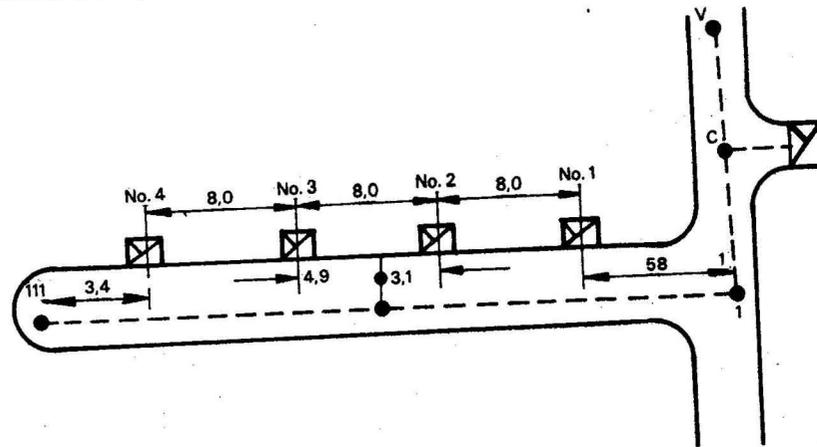


Fig. 7.6 Determinación de los datos iniciales para construir una chimenea vertical

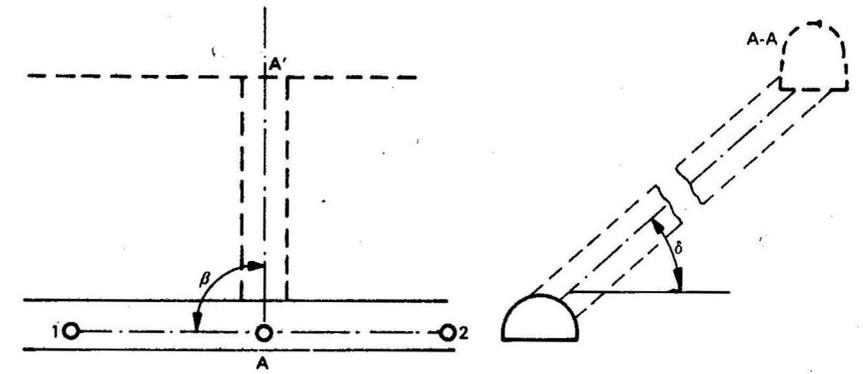


Fig. 7.7 Determinación de los datos iniciales para construir una chimenea inclinada

7.6 CUIDADO Y CONSERVACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA

En una unidad minera existe una abundante documentación topográfica, por lo cual y con vistas a su cuidado, conservación y uso adecuado, es necesario tomar una serie de medidas.

Con el fin de establecer un control sobre la documentación es necesario tener un libro de registro especial, donde deben ser anotados los nombres de toda la documentación obtenida como resultado de las mediciones en la unidad, así como aquellas que han sido proporcionadas por otros organismos. Cada documento tendrá su correspondiente número en el libro. El número citado lo marcamos con un sello especial en el plano, en la parte inferior, anotándolo también en el revés del plano. En cuanto a las libretas y memorias de los trabajos topográficos, estos se marcarán en la portada y en las páginas inicial y final. Las copias de los planos tendrán el mismo número de registro que el original; además, se debe llevar un control del número de copias obtenidas.

La documentación topográfica de la unidad minera debe estar sujeta al reglamento de protección física y del secreto estatal. Los planos principales deben guardarse en la oficina secreta o en una caja fuerte. Los planos originales, se guardan en maperas especiales sin doblarlos, mientras que las copias pueden guardarse en otros tipos de maperas.

Las libretas y memorias de los trabajos topográficos se archivan en lugares seguros con el fin de evitar su extravío y destrucción.

Los materiales de la documentación gráfica principal no pueden sacarse fuera de los locales del departamento de topografía. Los materiales citados deben ser usados exclusivamente por el personal autorizado por el jefe del departamento de topografía, mientras que el uso del mismo material por el personal perteneciente a otro organismo debe ser autorizado por el jefe de la mina.

Además, es recomendable llevar un registro del personal que solicita la documentación topográfica y la finalidad de la solicitud, con el fin de tener un control estricto.

Finalmente debemos señalar que es recomendable realizar un control de la documentación topográfica existente en el departamento por lo menos una vez al año y siempre que ocurra cambio del responsable de esta.

El jefe del departamento de topografía de la unidad es el máximo responsable del control, la conservación, la existencia completa y la veracidad de la documentación. Una vez concluida la explotación de la unidad minera, toda la documentación se guardará en los archivos del organismo superior.

BIBLIOGRAFÍA

- FILATOV, S.A. y otros: *Tejnicheskaya instrukciya po proizvodstvu marshelderskij rabot*. Segunda Edición. Editorial Niedra, Leningrado, 1973.
- KAZAKOVSKII, D.A. y otros: *Marsheiderskoe delo*. Primera Edición. Editorial Ugletejzdat, Moscú, 1959.
- : *Marsheiderskoe delo*. Segunda Edición. Tomo I. Editorial Niedra, Moscú, 1970.
- OGLOBLIN, D.N.: *Marsheiderskoe delo*. Segunda Edición. Editorial Niedra, Moscú, 1972.
- OGLOBLIN, D.N. y otros: *Kurs marsheiderskova dela dlya gornikov*. Segunda Edición. Editorial Técnica, Kiev, 1968.



Este libro ha sido impreso
por el Combinado Poligráfico
Evelio Rodríguez Curbelo.
Se terminó de imprimir en el
mes de agosto de 1987
"Año 29 de la Revolución"