

TOPOGRAFÍA MINERA I
Ing. Rubén Ferrer Burgos

 EDITORIAL
PUEBLO Y EDUCACIÓN

Este libro,
en tus manos de estudiante
es instrumento de trabajo
para construir tu educación.
Cuídalo,
para que sirva también
a los compañeros que te sigan

Diseño: Olga Luisa Domínguez Sánchez
Ilustración: María Elena Cañas González

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 las comisiones de especialistas de los centros de educación superior, 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.

© Rubén Ferrer Burgos, 1984
© Editorial Pueblo y Educación, 1984

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

SNLC: CU01. 013541.0

Impreso en el Combinado Poligráfico "Osvaldo Sánchez". Taller 03, 1984

PRÓLOGO

Con el perfeccionamiento de la Educación Superior en Cuba, surge la necesidad de confeccionar la base material de estudio para la formación de los especialistas de nivel superior con la calidad requerida, de acuerdo con las exigencias del desarrollo científico-técnico actual. Por este motivo, se tomó la decisión de redactar el texto *Topografía minera* concebido en dos tomos.

El contenido del texto corresponde con el programa de la disciplina *Topografía minera* que se imparte en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para la especialización de *Topografía minera*.

El objetivo de este primer tomo es proporcionar a los estudiantes la metodología y la técnica para la ejecución de los trabajos de *Topografía minera* en las diferentes condiciones de las unidades mineras, y familiarizarlos con la planificación, normación y organización de los trabajos de *Topografía minera*.

El presente texto tuvo como antecedente un material elaborado en 1967 en la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad de Oriente por el profesor invitado Candidato en Ciencias Técnicas Anatoly Jlebnikov del Instituto de Minas de Leningrado. El referido folleto luego de una revisión minuciosa no respondía a las exigencias del programa por lo que no era el más apropiado para servir de texto a los alumnos. Se confecciona entonces este material para ser utilizado como texto en *Topografía minera I* y como libro de consulta para los especialistas de la rama.

En este texto se analizan las tareas para la ejecución del levantamiento con teodolito en las excavaciones subterráneas y se describen los métodos de medición de los ángulos, las longitudes de los lados y la ejecución del levantamiento de los detalles. Se estudian además las tareas de orientación, los métodos de transmisión de la cota al subterráneo y la nivelación en las excavaciones subterráneas.

Se agradece a todos aquellos que de una u otra forma han contribuido a la elaboración de este texto y al mismo tiempo a todos los especialistas de la rama topográfica y minera que tengan a bien señalar las deficiencias del libro y las envíen al Departamento de Explotación de Yacimientos Minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico, con el propósito de obtener una mejor calidad en las futuras ediciones.

EL AUTOR

ÍNDICE

Capítulo 1 *La Topografía minera* /7

- 1.1 Topografía minera. Su importancia /7
- 1.2 Tareas principales de la Topografía minera en las minas en explotación /8

Capítulo 2 *Levantamientos subterráneos con teodolitos* /10

- 2.1 Conocimientos generales sobre los levantamientos subterráneos /10
- 2.2 Poligonales mineras o subterráneas /10
- 2.3 Fijación de los puntos de las poligonales subterráneas /15
- 2.4 Teodolitos mineros /19
- 2.5 Centración del teodolito y de las señales /27
- 2.6 Verificaciones y correcciones de los teodolitos mineros /31
- 2.7 Medición de los ángulos horizontales y de inclinación /33
- 2.8 Errores en las mediciones de los ángulos horizontales y de inclinación /42
- 2.9 Medición de las longitudes de los lados de las poligonales subterráneas /45
- 2.10 Levantamiento de los detalles de las excavaciones mineras /53
- 2.11 Trabajo de gabinete del levantamiento con teodolito /54

Capítulo 3 *Orientación* /61

- 3.1 Destino, tipos y precisión de las orientaciones /61
- 3.2 Orientación a través de un pozo inclinado o de un socavón /64
- 3.3 Orientación por un pozo vertical /65
- 3.4 Enlace de las plomadas por el método de los triángulos /75
- 3.5 Enlace de las plomadas por el método de los cuadriláteros /82
- 3.6 Enlace de las plomadas por el método simétrico (de Fox) /86
- 3.7 Organización de las labores en los trabajos de orientación /90
- 3.8 Orientación por dos pozos verticales /93
- 3.9 Orientación magnética /99
- 3.10 Métodos especiales de orientación /101

Capítulo 4 *Altimetría subterránea* /108

- 4.1 Transmisión de la cota de la superficie a la mina /108
- 4.2 Transmisión de la cota con una cinta de mina larga /105

- 4.3 Transmisión de la cota con una cinta corta /112
- 4.4 Transmisión de la cota con el medidor de profundidad /113
- 4.5 Nivelación geométrica en las excavaciones mineras /118
- 4.6 Trabajo de campo de una nivelación técnica /124
- 4.7 Elaboración de una nivelación técnica /125
- 4.8 Nivelación trigonométrica en las excavaciones mineras /135
- 4.9 Transmisión de la cota a los subniveles a través de los contrapozos /137
- 4.10 Transmisión de la cota a una mina subterránea por medio de un telémetro /138

Bibliografía /143

Capítulo 1

LA TOPOGRAFÍA MINERA

1.1 TOPOGRAFÍA MINERA. SU IMPORTANCIA

La *Topografía minera* es una rama de la minería dedicada generalmente a las mediciones en el espacio laboreado, a fin de obtener materiales gráficos indispensables en la explotación de los yacimientos de minerales útiles.

Los trabajos de Topografía minera se efectúan durante todo el período de trabajo de una unidad minera.

Durante la explotación de los yacimientos marcamos, directamente en el terreno, mediante los métodos de la Topografía minera, los lugares de los trabajos de exploración iniciales (taladros, pozos de exploración, zanjas, etc.). Efectuamos posteriormente el levantamiento de los puntos y los dibujamos en los planos.

A medida que realicemos los trabajos de exploración registramos la posición de los lugares de donde sacamos las muestras, y medimos los elementos de la posición de los minerales y rocas que le acompañen.

Después de elaborar, generalizar y analizar los levantamientos geológicos, corfeccionamos los llamados gráficos de geometría minera que dan la idea de la posición especial del mineral en la corteza de la tierra, así como sus características cuantitativas y cualitativas. Posteriormente, la decisión de si es razonable explotar el mineral, depende de dichos gráficos. Al decidirse positivamente la alternativa, los gráficos mencionados sirven de base para la confección de los planos de la unidad minera, teniendo en cuenta: la selección de los lugares para excavaciones de apertura, la selección y fundamentos del método de explotación, la distribución de las construcciones en la superficie y exploraciones en la mina, etcétera.

✱ En la construcción de una unidad minera los métodos de la Topografía minera los utilizamos para replantear en el terreno las obras proyectadas, es decir, para marcar sobre la superficie del terreno las distintas construcciones (edificios, torres, mecanismos, excavaciones, etc.), dibujadas hasta entonces en los planos.

Durante la construcción de las minas mediante los métodos de la Topografía minera, trazamos los ejes del pozo y efectuamos el enlace de todas las construcciones sobre la superficie y bajo mina a los ejes mencionados. Debemos prestar particular atención al enlace de todo el complejo de construcción bajo mina: el de la máquina de ascenso, poleas directrices, fortificaciones del pozo, etcétera.

A las excavaciones subterráneas, se les da dirección; controlamos su laboreo procurando que las medidas y las fortificaciones correspondan al proyecto. Los métodos de la topografía subterránea permiten también calcular el volumen del trabajo realizado en ciertos lapsos de tiempo.

En el proceso de explotación de una unidad minera, los métodos de Topografía minera los utilizamos para obtener los datos necesarios para efectuar una explotación racional del yacimiento. Del modo en que estén organizadas las labores de topografía dependen no sólo la seguridad del trabajo, sino un ritmo planificado de extracción del mineral.

1.2 TAREAS PRINCIPALES DE LA TOPOGRAFÍA MINERA EN LAS MINAS EN EXPLOTACIÓN

1. Efectuar levantamientos en la superficie y bajo mina, así como confeccionar y completar los planos de superficie y de las excavaciones, basándonos en los datos obtenidos durante las mediciones.

2. Estudiar la geometría de la yacencia y calidad del mineral; dibujar y rectificar los gráficos de la geometría minera que dan la idea de la yacencia y calidad del mineral de los distintos lugares.

3. Trazar y efectuar trabajos de levantamientos en la superficie relacionados con las distintas construcciones; realizar trabajos en las excavaciones mineras; ejecutar el control periódico sobre los mecanismos de elevación, etcétera.

4. Situar y dar dirección a las excavaciones subterráneas, cuidando que los trabajos de excavación coincidan con la dirección de estas en el plano; ejercer control sobre las dimensiones; hacer orientar los frentes de encuentro, y otras.

5. Llevar a cabo cálculos de control sobre los cambios operados en las reservas del mineral de la unidad para un período dado; calcular la cantidad de mineral extraído y dejado en el subsuelo, a fin de tomar las medidas necesarias encaminadas a una explotación racional (aumentar el coeficiente de extracción); mejorar la calidad del mineral extraído.

6. Estudiar el desplazamiento y conformaciones de las rocas, de la superficie del terreno y de las construcciones de la mina para preservarlos de los efectos dañinos de las explotaciones mineras.

Los resultados de las mediciones y observaciones de la Topografía minera forman la llamada documentación topográfica, tales como: todo tipo de gráficos, cortes, modelos de cálculos entre otros. La documentación de la topografía minera sirve de base para la confección de los planes perspectivos y operativos del desarrollo minero.

A fin de conocer la posición de las excavaciones subterráneas respecto a las construcciones de la superficie, y saber realizar distintos tipos de excavaciones bajo la superficie y entre minas vecinas, es necesario que los planos de la superficie y excavaciones subterráneas se confeccionen en un sistema único de coordenadas.

La coordinación de los levantamientos subterráneos con los de la superficie la conseguimos con la ayuda de un tipo específico de trabajo topográfico llamado levantamiento de enlace u orientación.

Por lo anteriormente expuesto llegamos a la conclusión de que en la actualidad la Topografía minera es una rama de la ciencia y la técnica, cuya tarea principal es

efectuar levantamientos, dibujar objetos de la superficie y de las excavaciones mineras en los planos utilizando también los datos obtenidos de los levantamientos, mediciones y observaciones para resolver distintas tareas geométricas que se nos presentan en el transcurso de las exploraciones, confección de proyectos, construcción y explotación de las unidades mineras, etcétera.

Los trabajos de Topografía minera tienen mucho en común con los de Geodesia. Pero la mayoría de los problemas de la Topografía minera los resolvemos valiéndonos de los datos de la exploración minera y geológica. Es por eso que la Topografía minera está estrechamente unida con la minería y la geología.

La matemática y la física se aplican también en la Topografía minera deduciendo de aquí que esta es una ciencia aplicada de precisión.

Entre los trabajos de Topografía minera encontramos los siguientes:

1. Orientaciones y enlaces.
2. Levantamientos horizontales de excavaciones subterráneas.
3. Levantamientos verticales de excavaciones subterráneas.
4. Levantamientos de excavaciones de arranque y de cortes.
5. Orientación de excavaciones mineras que se deben realizar.

Todo levantamiento en Topografía minera debe cumplirse con la debida precisión acorde a las exigencias de la producción minera. Una deficiente precisión de los levantamientos puede causar daños considerables a los trabajos mineros y ocasionar víctimas incluso. Una alta precisión, la obtenemos por lo general con más tiempo de trabajo y usando también instrumentos más costosos. Todas las mediciones y cálculos deben someterse a un control riguroso. Los controles en las mediciones imposibilitan la aparición de equivocaciones y son reglas fundamentales para cada topógrafo de minas. En los trabajos topográficos es necesario guiarse por las normas y reglamentos técnicos de la Topografía minera, aprobadas por los organismos competentes en el país.

Capítulo 2

LEVANTAMIENTOS SUBTERRÁNEOS CON TEODOLITOS

2.1 CONOCIMIENTOS GENERALES

SOBRE LOS LEVANTAMIENTOS SUBTERRÁNEOS

Para la confección de los planos y la proyección de las excavaciones mineras en un plano vertical o inclinado, construcción de perfiles de las excavaciones mineras, construcción de cortes y también para el cálculo preliminar para la construcción de las excavaciones mineras, debemos realizar los siguientes trabajos topográficos mineros:

1. Levantamientos de enlaces horizontales y verticales.
2. Levantamientos horizontales y verticales de las excavaciones principales.
3. Levantamientos de las excavaciones de ventilación y de arranque.
4. Mediciones de las excavaciones preparatorias y de ventilación.

El levantamiento de enlace lo realizamos con la finalidad de trasladar los datos iniciales (acimut y las coordenadas X , Y , H) desde la superficie y hasta las excavaciones mineras, lo cual es necesario para la confección de los planos de la superficie y de las excavaciones subterráneas en un sistema único de coordenadas.

Las excavaciones subterráneas tienen una forma alargada, de ahí que la forma más idónea para realizar su levantamiento sea mediante el trazado de poligonales con levantamiento de los detalles por el método de las coordenadas.

En las excavaciones principales el levantamiento se realiza por medio de la construcción de poligonales con medición de los ángulos con teodolitos de una precisión media y las longitudes de los lados con una cinta de acero.

El levantamiento vertical se ejecuta mediante la nivelación geométrica o trigonométrica.

En las mediciones de las excavaciones, con ayuda de una cinta determinamos las dimensiones de la excavación tales como la longitud, el ancho y la altura.

2.2 POLIGONALES MINERAS O SUBTERRÁNEAS

Conocemos como poligonales mineras el levantamiento o trazado de un polígono, en el cual medimos con un teodolito los ángulos verticales y horizontales y con un longímetro las longitudes de los lados. Cada poligonal consta de un número determinado de ángulos, lados y vértices. Los vértices de las poligonales son los puntos materializados en las excavaciones por medio de puntos permanentes o temporales.

Al conjunto de mediciones y cálculos para determinar las coordenadas de los puntos de la poligonal es a lo que llamamos levantamiento con teodolito, el cual se realiza para elaborar los planos topográficos de las excavaciones mineras y para construir las redes de puntos de apoyo necesarias para:

1. El levantamiento de las excavaciones de arranque y preparatorias.
2. Orientación de la dirección de las excavaciones mineras.
3. Confección de los gráficos mineros y geométricos que nos proporcionan las características geométricas y las propiedades físico-químicas del yacimiento.

Para crear las redes de puntos de apoyo en las excavaciones mineras, construimos poligonales de dos tipos de categoría o precisión:

- Poligonales precisas o de primera categoría.
- Poligonales técnicas o de segunda categoría.

Las poligonales precisas las trazamos por las excavaciones principales para el enlace y control de las poligonales técnicas y también para la resolución analítica de las tareas de unión de las excavaciones mineras.

Las poligonales técnicas se trazan por las excavaciones principales y por las secundarias para crear las redes de puntos necesarias para la actualización mensual de los planos topográficos mineros, para dar direcciones en las excavaciones, para el control de las mediciones topográficas mineras y el levantamiento de las excavaciones de arranque.

Para los trabajos de unión de excavaciones y de enlace de minas vecinas deben emplearse poligonales de la más alta precisión.

Las poligonales subterráneas de acuerdo con la forma y el método de unión las dividimos en:

1. Poligonales abiertas o libres (fig. 2.1); empiezan en el punto de apoyo II de coordenadas conocidas y en el lado II-I de acimut conocido. Ellas se trazan en las excavaciones sin llegar su extremo a otros puntos de apoyo. Los puntos de las poligonales abiertas, que trazamos una sola vez, los determinamos sin control alguno. A fin de realizar el control y aumentar la precisión, las poligonales las trazamos dos veces: en dirección de ida y de vuelta, procurando siempre evitar poligonales de mucha longitud y de gran cantidad de vértices. El error de posición mayor de las poligonales abiertas lo tiene siempre el último punto.

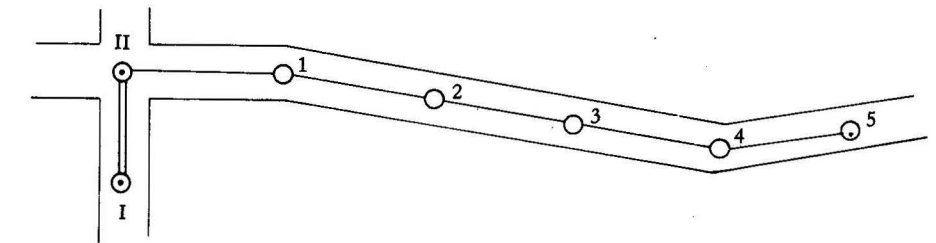


Fig. 2.1 Poligonal abierta

2. Poligonales de enlace (fig. 2.2); unidas en los extremos a los puntos de apoyo II y III, cuyas coordenadas son conocidas y a los lados II-I y III-IV de acimut conocido. La poligonal de enlace tiene control en sus coordenadas y en el acimut en los extremos, lo cual es ventajoso en comparación con una poligonal abierta: el error más grande lo tienen los puntos situados en el centro (4 y 5, en el caso nuestro).

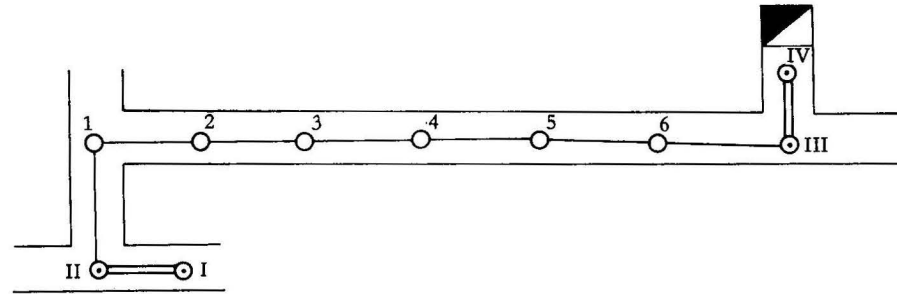


Fig. 2.2 Poligonal de enlace

3. Poligonal cerrada (fig. 2.3); en ella mediremos a la izquierda del recorrido los ángulos $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{15}$ y las longitudes de los lados $l_1, l_2, \dots, l_{16}$; además medimos los ángulos a y b y las longitudes l_1 y l_{16} , que son los elementos de enlace con el lado II-I. Las coordenadas de uno de los vértices de la poligonal cerrada debemos conocerlas (vértice II de la fig. 2.3) y el acimut del lado II-I.

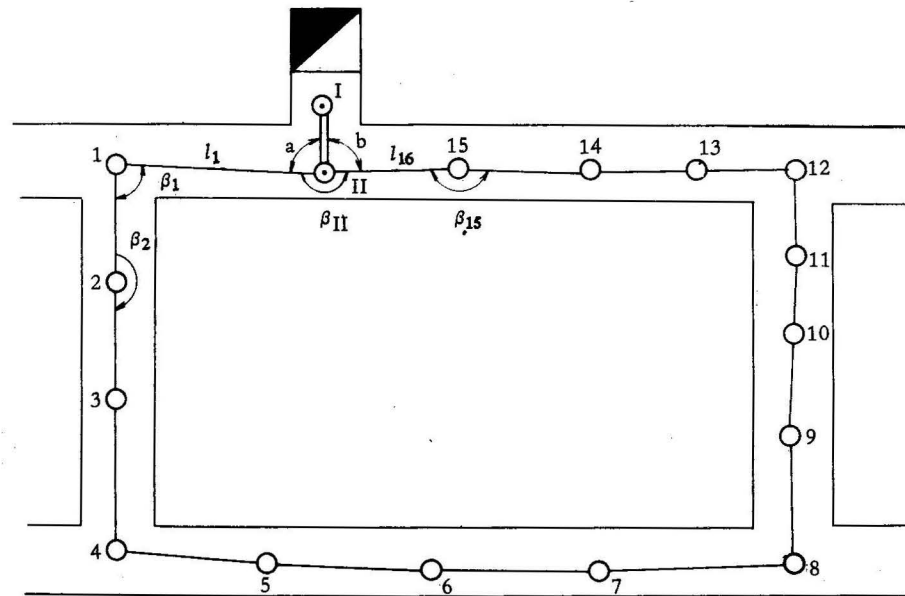


Fig. 2.3 Poligonal cerrada

4. Hay tres tipos de poligonales de enlace de control parcial

a) recorrido entre los lados I-II y 7-8 (fig. 2.4), con acimut inicial conocido. Las coordenadas del punto inicial II son conocidas y sirven de dato para determinar las coordenadas de los puntos 1, 2, ..., 7, 8. El acimut del lado 7-8 se determina independientemente del acimut del lado I-II, por ejemplo, por medio de la orientación giroscópica. La existencia de un acimut conocido al final del recorrido II-I, ..., 7-8 permite obtener un control de los ángulos horizontales medidos y disminuir el error de las coordenadas de los vértices;

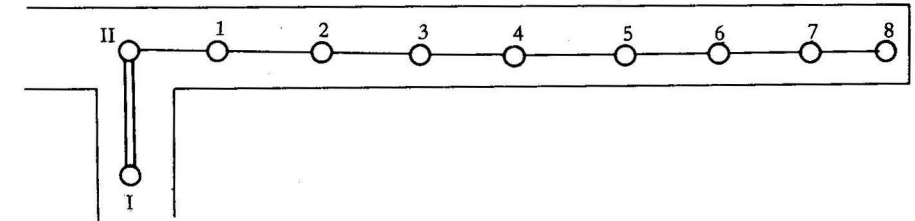


Fig. 2.4 Poligonal de enlace entre un lado orientado y un lado de acimut medido en el terreno

b) el recorrido entre los puntos II y III (fig. 2.5) con coordenadas conocidas y con el acimut del lado de partida conocido;

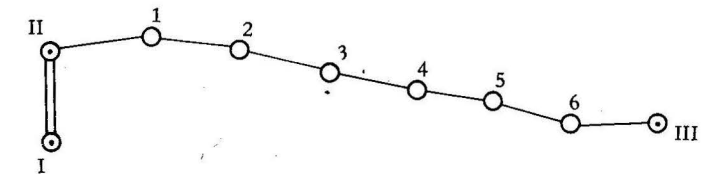


Fig. 2.5 Poligonal de enlace entre un lado orientado y un punto de coordenadas conocidas

c) el recorrido entre dos puntos con coordenadas conocidas (fig. 2.6), como ejemplo podemos citar una poligonal usada en la orientación a través de dos pozos (ver capítulo 3).



Fig. 2.6 Poligonal de enlace entre dos puntos de coordenadas conocidas

5. Sistema de poligonales. Las poligonales trazadas en las excavaciones en algunas ocasiones se nos presentan como un sistema de polígonos o sistemas con puntos de enlace o unión, los sistemas de poligonales pueden ser libres y no libres. El sistema libre está compuesto por polígonos cerrados y apoyado en un punto de coordenadas conocidas. El acimut de un lado del sistema debemos conocerlo.

En la figura 2.7 está representado un sistema libre compuesto de cuatro polígonos. Las coordenadas del punto II y el acimut del lado II-I son conocidos. Los ángulos α y β son los ángulos de enlace.

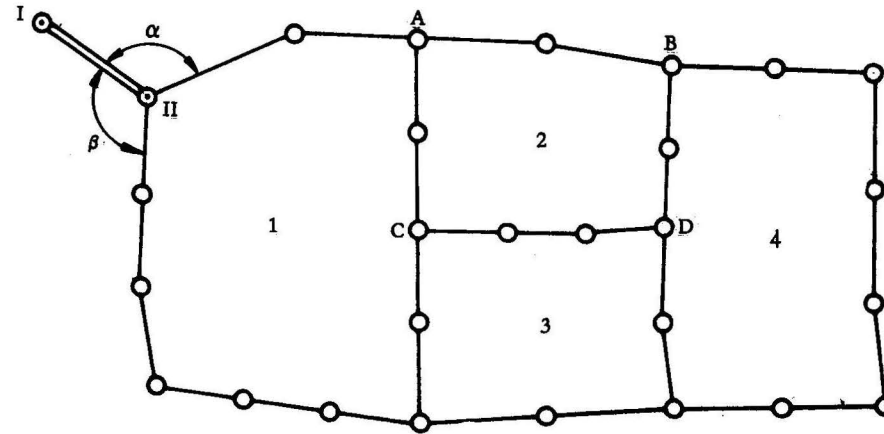


Fig. 2.7 Sistema de poligonales libres

En la figura 2.8 está representado un sistema de poligonales no libres, apoyadas en los puntos de coordenadas II y III y en los lados II-I y III-IV de acimut conocido. En este sistema hay tres polígonos cerrados y una poligonal de enlace. Los puntos A, B, C, D y E son puntos de enlace.

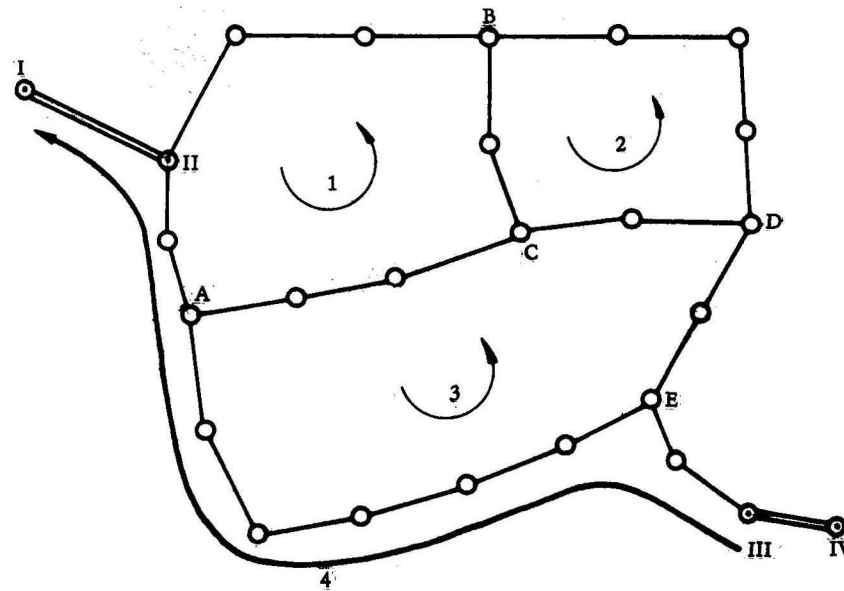


Fig. 2.8 Sistema de poligonales no libres

El sistema con un punto de enlace está representado en la figura 2.9; en ella los puntos A, B, C, son puntos de coordenadas conocidas, el punto I es el punto de enlace y el lado I-a es el lado de enlace, A-I, B-I, C-I son los recorridos entre el punto de enlace y los puntos de coordenadas conocidas. Este sistema también es conocido como nudo de poligonales.

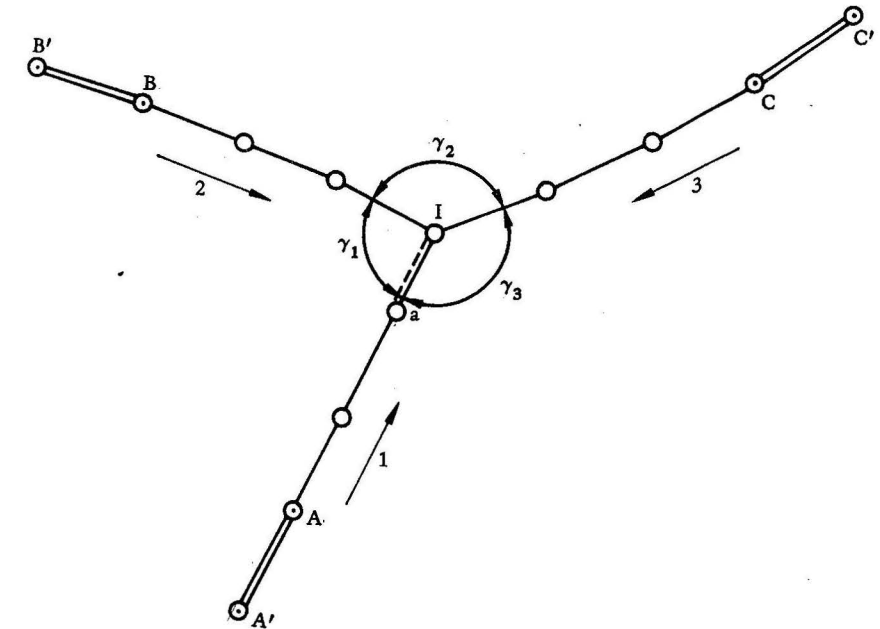


Fig. 2.9 Sistema de poligonales con un punto de enlace

2.3 FIJACIÓN DE LOS PUNTOS DE LAS POLIGONALES SUBTERRÁNEAS

Los puntos de las poligonales los materializamos en las excavaciones con señales permanentes y temporales o provisionales.

Los puntos permanentes en la superficie los fijamos en el terreno por medio de monolitos de piedra con cemento y arena que no sobresalgan más de 10 cm de la superficie.

En la cara superior del monolito colocamos una chapa metálica inoxidable, con una cruz y el número del punto (fig. 2.10).

Los puntos temporales los haremos de barras metálicas o de estacas de madera que no deben sobresalir más de 2 cm de la superficie (fig. 2.11). Los puntos fundamentales los hacemos en los lugares aptos para efectuar levantamientos y adecuados para su conservación.

Los puntos permanentes los hacemos en las excavaciones fundamentales (cerca del pozo, en galerías transversales, socavones fundamentalmente) en grupos que

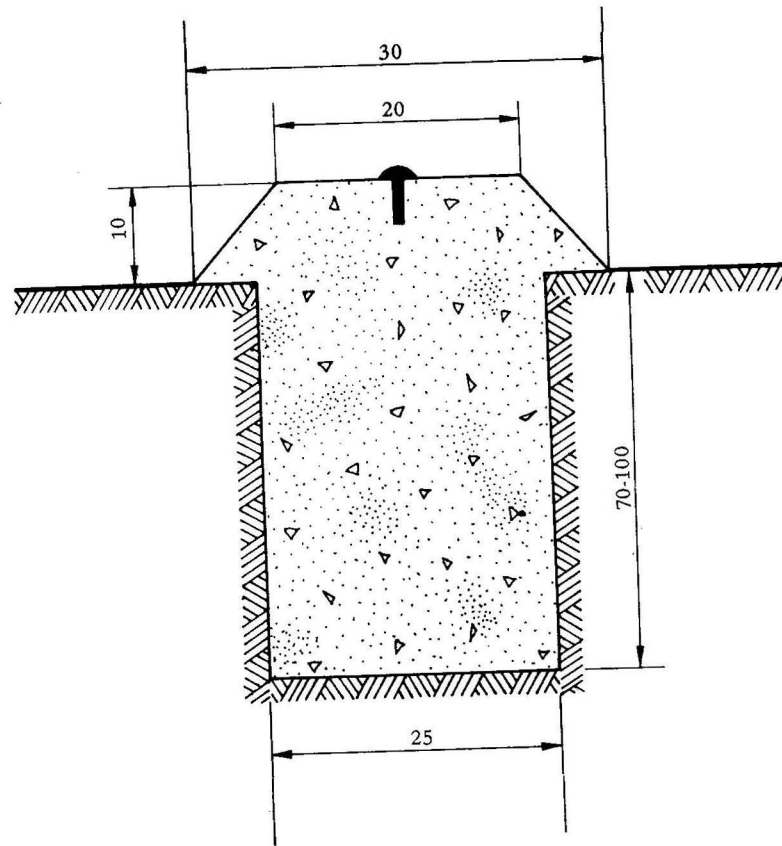


Fig. 2.10 Estabilización de un punto permanente en la superficie

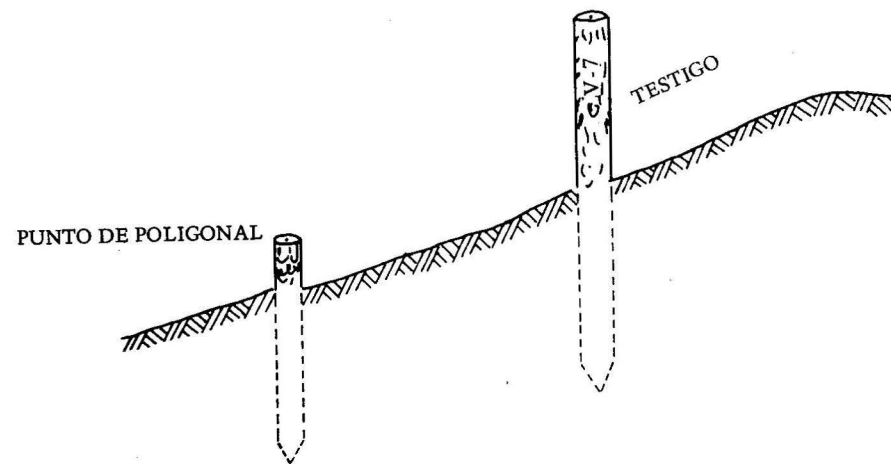


Fig. 2.11 Estabilización de un punto temporal en la superficie

comprendan no menos de tres puntos. La distancia entre los grupos colindantes de los puntos permanentes no sobrepasarán los 500 m. Las señales permanentes las colocamos en el techo o en el suelo de la excavación.

Para situar los puntos en el techo abrimos orificios y con mortero de cemento estabilizamos varas de acero inoxidable especial (fig. 2.12). El orificio por donde pasa el cordel no debe ser mayor de 2 mm de diámetro. Una de las señales permanentes colocadas en el suelo de una excavación minera puede verse en la figura 2.13.

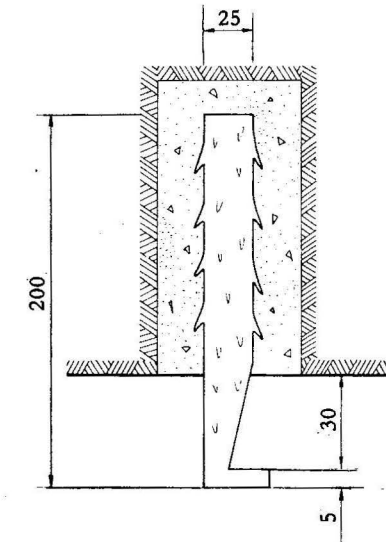


Fig. 2.12 Estabilización de un punto permanente en el techo de una excavación

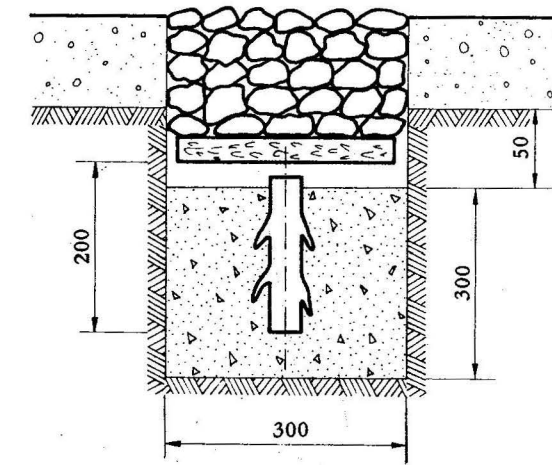


Fig. 2.13 Estabilización de un punto permanente en el piso de una excavación

Cada señal permanente tiene su croquis correspondiente con indicaciones de las medidas que determinan su posición en la excavación minera.

Las señales provisionales las fijamos en los sombreros de las fortificaciones de las excavaciones mineras o en los tapones de madera clavados en un orificio del techo. En la figura 2.14, mostramos señales temporales fabricadas de hierro, latón u otros materiales.

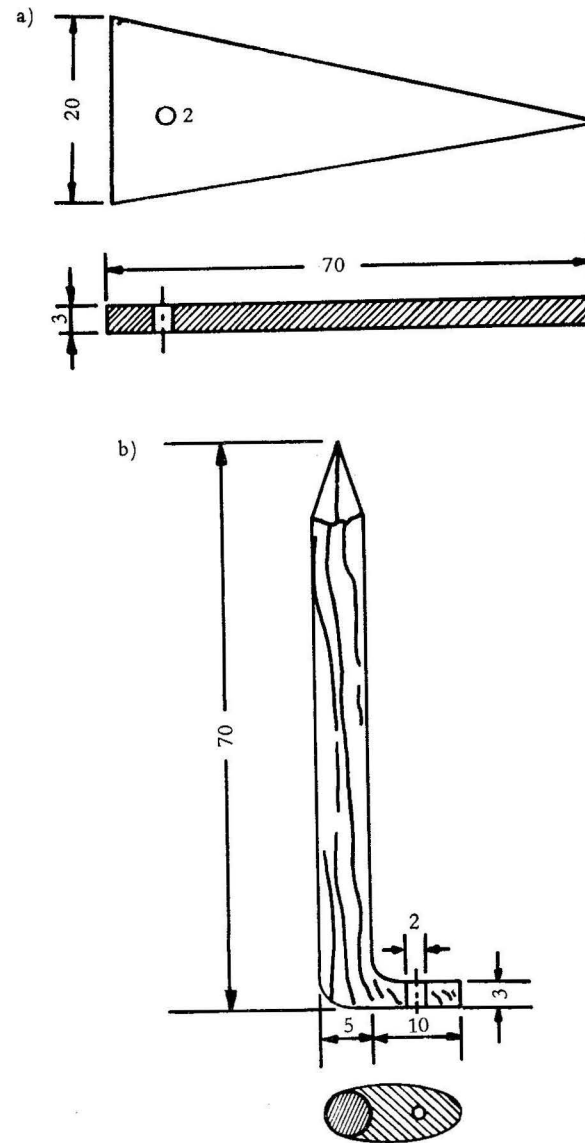


Fig. 2.14 Señales temporales en las poligonales subterráneas: a) plana; b) circular

Para indicar los lugares donde hay señales permanentes y provisionales, en los peones colocamos unas marcas con el número de los puntos (fig. 2.15). En el caso de no haber fortificación los haremos directamente en las paredes laterales.

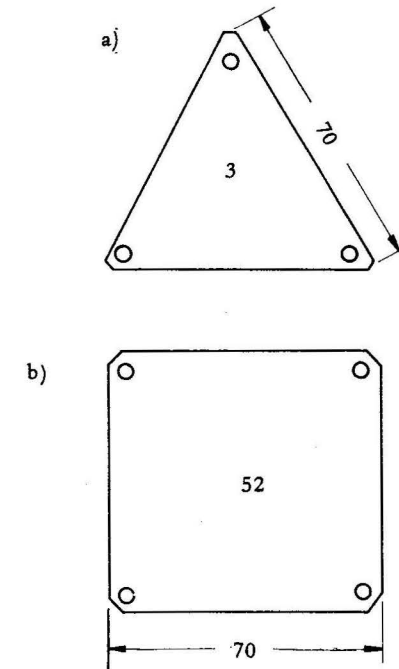


Fig. 2.15 Marcas para señalar los puntos de las poligonales subterráneas: a) permanentes; b) temporales

2.4 TEODOLITOS MINEROS

Para la medición de los ángulos horizontales y verticales en las poligonales subterráneas, empleamos los teodolitos mineros. A diferencia de los teodolitos que se usan en la superficie, los utilizados en los trabajos mineros deben realizar mediciones de ángulos horizontales y verticales con una inclinación de la visual bastante considerable, para lo cual van provistos de cuñas prismáticas que colocamos en el ocular. También empleamos teodolitos con anteojos excéntricos.

Teodolito excéntrico. En la figura 2.16 mostramos un modelo de teodolito TG-5, con anteojo excéntrico Θ T-5. El anteojo excéntrico consta del anteojo 3, que está fijo al eje 2 y en el otro extremo el limbo vertical 1. El anteojo tiene marcado en su parte superior un punto que coincide con el eje vertical del instrumento cuando este se encuentra en posición horizontal.

Este tipo de teodolito se emplea para el trazado de poligonales a través de excavaciones con una inclinación grande.

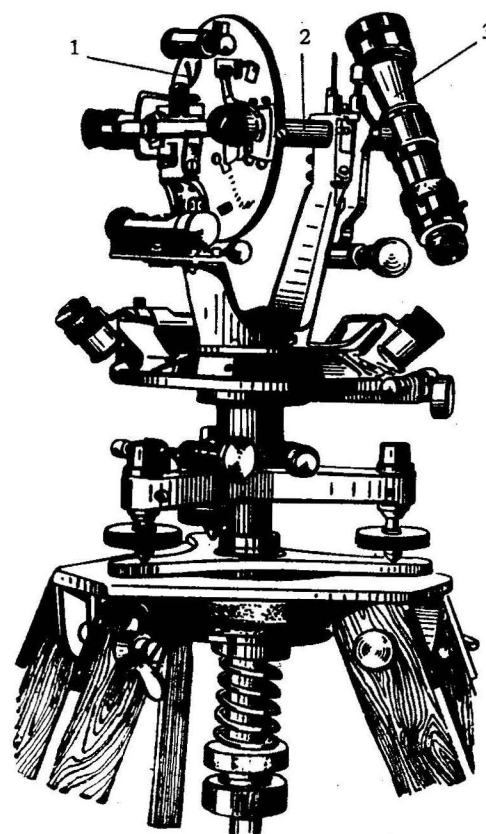


Fig. 2.16 Teodolito TG-5 con el anteojo excéntrico T-5: 1, limbo; 2, eje; 3, anteojo.

Teodolito Theo 080A. Fabricado por la Carl Zeiss, de Jena, RDA; es un teodolito óptico con una apreciación en los limbos horizontal y vertical de 5'. Se destina a la medición de poligonales técnicas y en trabajos en las excavaciones mineras secundarias y de arranque.

En las figuras 2.17 y 2.19 se muestra un teodolito de este tipo y las partes de que consta:

1. Tornillo de fijación del movimiento vertical.
2. Botón de enfoque.
3. Tornillo de ajuste para el nivel tubular de reversión.
4. Nivel tubular de reversión.
5. Diafragma giratorio para el nivel tubular de reversión.
6. Tornillo de sujeción para la palanca de apriete (33).
7. Botón para el movimiento fino lateral.
8. Botón de apriete del equipo a la plataforma nivelante.

9. Tornillos para regular el movimiento de las patas del trípode.
10. Tornillo de sujeción central ASI para fijar el equipo al trípode.
11. Gancho para colgar la plomada.
12. Tornillo para apretar las barras de madera del trípode.
13. Cabezal del trípode.
14. Placa de base de la plataforma nivelante.
15. Placa elástica de la plataforma nivelante.
16. Tornillos nivelantes para poner el equipo horizontal.
17. Agujero de espiga para reajustar los tornillos nivelantes.
18. Tornillos ciegos para el dispositivo de arrastre de la plancheta cartográfica.
19. Palanca de apriete de la mordaza de repetición.
20. Palanca de retención de la mordaza de repetición.
21. Botón para el movimiento fino vertical.
22. Espiga roscada para el movimiento fino vertical.
23. Colimador de puntería con punto para el centraje debajo de puntos cenitales.
24. Protector de los tornillos de ajuste de la palanca rayada (reticular) del anteojo.
25. Ocular del anteojo con tornillo moleteado de dioptrías.
26. Ocular del microscopio para la lectura de los limbos graduados.
27. Colimador de punterías.
28. Pivote sujetador para la brújula.
29. Punto marcador para la altura del instrumento.
30. Sujetador para el dispositivo de iluminación.
31. Espejo de iluminación.
32. Tornillo de apriete de la palanca de fijación.
33. Palanca de fijación del movimiento central.
34. Objetivo del anteojo.
35. Fijador de la brújula.

El sistema de ejes del teodolito permite la medición de los ángulos horizontales empleando el método de repetición. La lectura se realiza al mismo tiempo por ambos limbos con ayuda de un microscopio con una exactitud equivalente a 1^C o 1'. La lectura del limbo a través del microscopio la vemos en la figura 2.18.

El teodolito óptico Theo 080A, para realizar visuales inclinadas, está provisto de cuñas prismáticas o de oculares cenitales, los cuales observamos en las figuras 2.19 y 2.20.

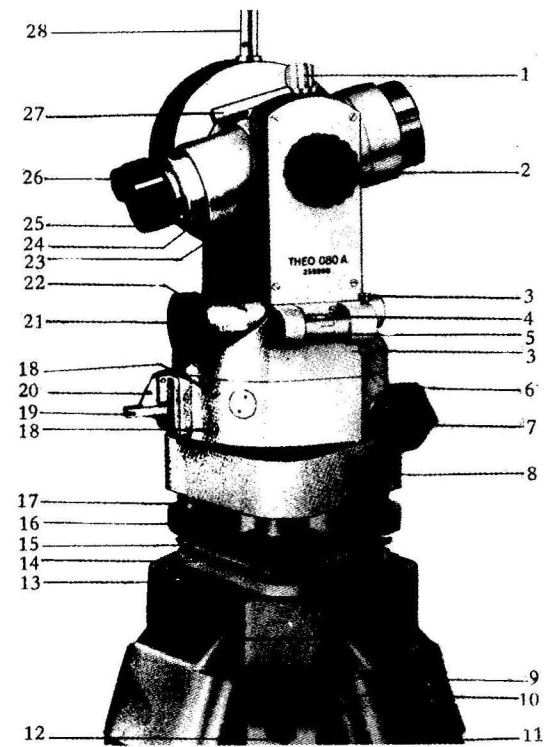


Fig. 2.17 Teodolito óptico Theo 080 A

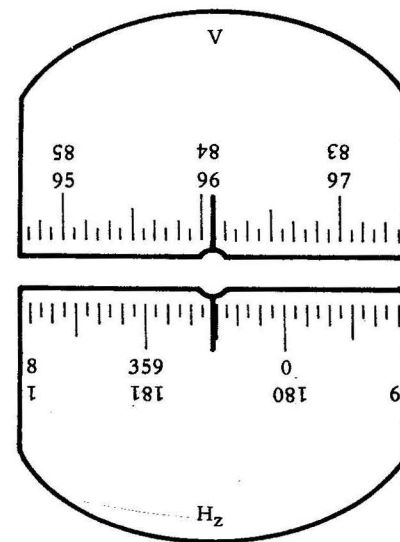


Fig. 2.18 Campo visual de la lectura del teodolito Theo 080 A

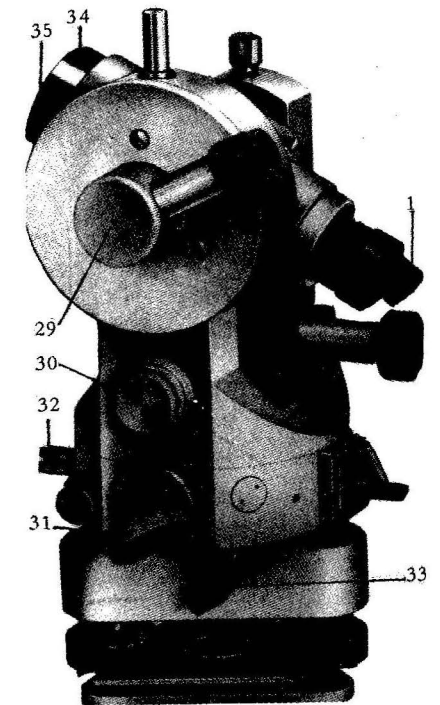


Fig. 2.19 Teodolito Theo 080 A con cuña prismática(1)

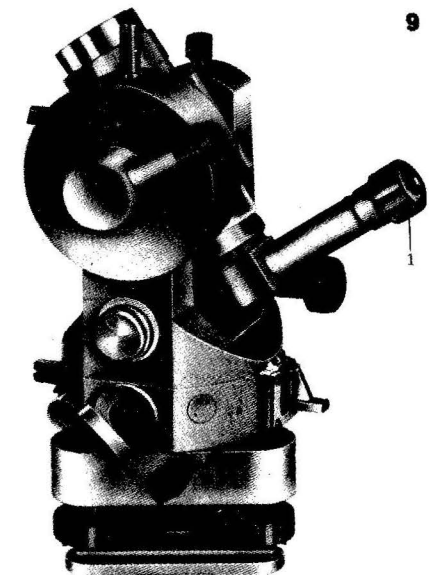


Fig. 2.20 Teodolito Theo 080 A con ocular cenital(1).

El teodolito Theo 080A está provisto de un equipo de mina 2 (consola), que permite colocarlo en los peones de la fortificación (fig. 2.21). Además, está dotado de un equipo de iluminación para realizar las mediciones de las excavaciones mineras.

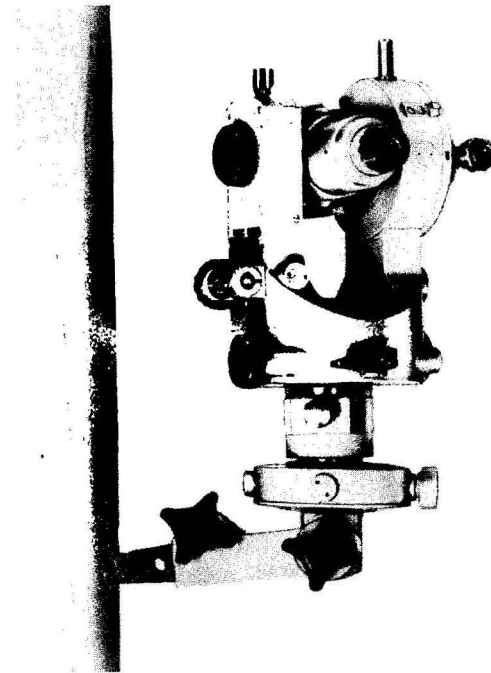


Fig. 2.21 Teodolito Theo 080 A instalado en una consola

El error medio en la medición del ángulo es de $7''$ con tres repeticiones.

Teodolito Theo 020A. Teodolito óptico fabricado por la Carl Zeiss de Jena, RDA; tiene una apreciación de $60''$, está provisto de un sistema de iluminación y de un microscopio que permite tomar las lecturas de los limbos vertical y horizontal simultáneamente (fig. 2.22).

Se emplea para el trazado de poligonales de diferente precisión. La medición de los ángulos horizontales es por el método de repetición, con un error medio de $3''$.

En la figura 2.23 mostramos el campo visual a través del microscopio de las lecturas de los limbos vertical y horizontal del teodolito Theo 020A.

Además de los teodolitos señalados con anterioridad, existe una gran variedad de teodolitos que, provistos del equipo de iluminación, podemos emplearlos en los trabajos de Topografía minera, por ejemplo: el Theo 010A (RDA), Wild T2 y T1 (Suiza), T2 (URSS) y otros que también pueden utilizarse para satisfacer las necesidades de la Topografía minera.

En la tabla 1 señalamos algunas características de los teodolitos usados en los trabajos de Topografía minera.

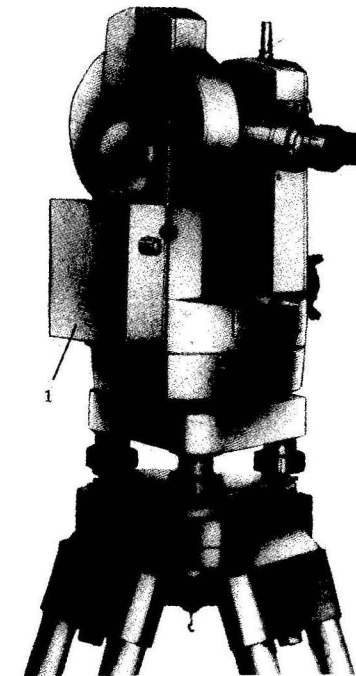


Fig. 2.22 Teodolito óptico Theo 020A 1, equipo de iluminación

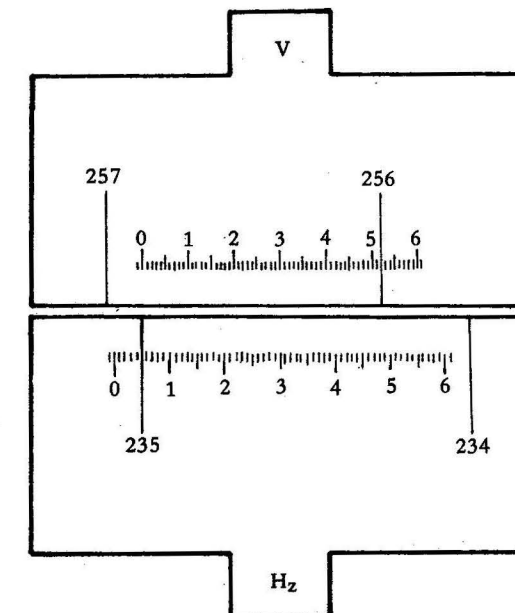


Fig. 2.23 Campo visual de la lectura del teodolito Theo 020A

Tabla 1

Tipo de teodolito	País	Parámetros fundamentales				
		Exactitud de la lectura (s)	Aumento de la lectura	Distancia mínima de enfoque (m)	Peso del equipo (kg)	Peso del complejo (kg)
Theo 010A	RDA	0,1	30	1,5	4,5	15,0
Theo 020A	RDA	6	25	1,5	4,2	14,7
Theo 080A	RDA	30	16	0,9	1,9	9,2
Wild T2	Suiza	0,1	28	1,4	5,4	12,0
Wild T1	Suiza	6	25	1,4	4,9	11,3
TG-5	URSS	30	21	1,7	4,5	16,6
OMT-30	URSS	30	18	1,0	3,2	15,6
T20	URSS	60	60	0,9	2,7	8,7
T15	URSS	12	20	1,5	3,5	12,0
T5	URSS	6	25	2,0	3,2	11,7
T2	URSS	0,1	27	1,5	5,2	15,2
TB-1	URSS	0,1	26	1,5	5,1	14,0
TE-B1	Hungría	0,1	30	2,0	5,5	15,4
TE-C1	Hungría	1	30	2,5	5,3	13,2
TE-D2	Hungría	6	24	2,0	4,6	12,0

2.5 CENTRACIÓN DEL TEODOLITO Y DE LAS SEÑALES

La centración de los teodolitos se puede llevar a cabo por encima o por debajo del punto por medio de plomadas de cordel, ópticas o por centración automática.

En la figura 2.24 mostramos algunos tipos de plomadas de cordel. En la figura 2.24a representamos una plomada sencilla, compuesta de un cuerpo metálico terminado en punta (1), el cordel (2) y una tapa con rosca donde se fija el cordel. En la figura 2.24b está representada una plomada con una punta de centración (1) que se regula por medio del cabezal (2).

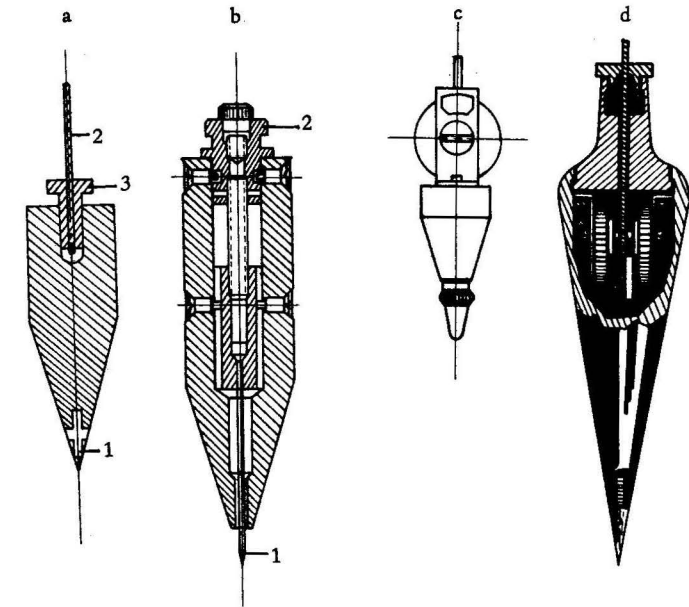


Fig. 2.24 Plomadas de centración

En las figuras 2.24c y d representamos dos tipos de plomadas utilizadas en los trabajos de Topografía minera.

Las plomadas ópticas proporcionan una centración más precisa y las utilizamos acopladas al soporte del teodolito, o colocadas directamente en el trípode como observamos en la figura 2.25.

La centración automática es otro método que proporciona una buena exactitud en la centración de los teodolitos y de las señales. Para realizar la centración automática necesitamos tres trípodes o consolas y dos señales de puntería.

El teodolito se sitúa en el vértice y las señales de puntería en los puntos trasero y delantero. Al medir el ángulo horizontal, en los lugares donde se encontraban el teodolito y la señal delantera dejamos los trípodes o las consolas, mientras que la señal trasera la colocamos en el trípode donde estaba el teodolito. El teodolito

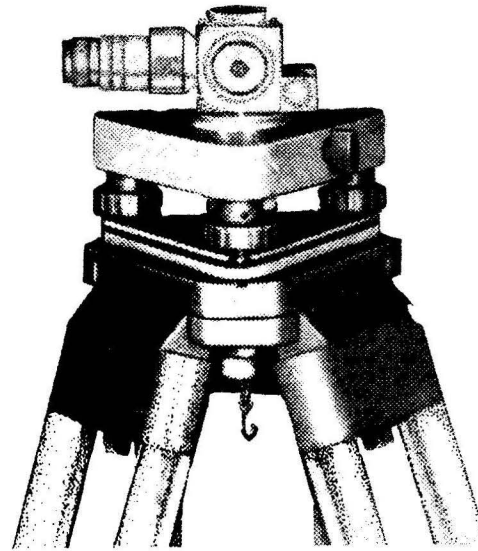


Fig. 2.25 Plomada óptica

pasa al trípode ocupado por la señal delantera, y el trípode de la señal trasera se traslada al nuevo punto delantero. El proceso se repite varias veces hasta dar por terminada la medición, y se obtiene de esta manera una alta precisión en la centración.

La exactitud en la centración del teodolito varía de acuerdo con el método empleado como se señala a continuación:

Tipo de centración	Error (en mm)
Centración automática	0,5 - 0,8
Con plomada óptica	0,8 - 1,0
Con plomada de cordel	1,2 - 1,5

En los trabajos de Topografía minera, al igual que en los trabajos de superficie, utilizamos señales de puntería colocadas en los puntos traseros y delanteros para indicar la posición de estos. Estas señales van provistas de los dispositivos necesarios para su iluminación. En la figura 2.26 ilustramos una señal de puntería circular del tipo Wild GZM-1, provista de una plomada óptica en su plataforma. En la figura 2.27 vemos una señal de puntería usada para el teodolito Theo 010A, que puede iluminarse con ayuda de un equipo colocado en su extremo posterior (fig. 2.28).

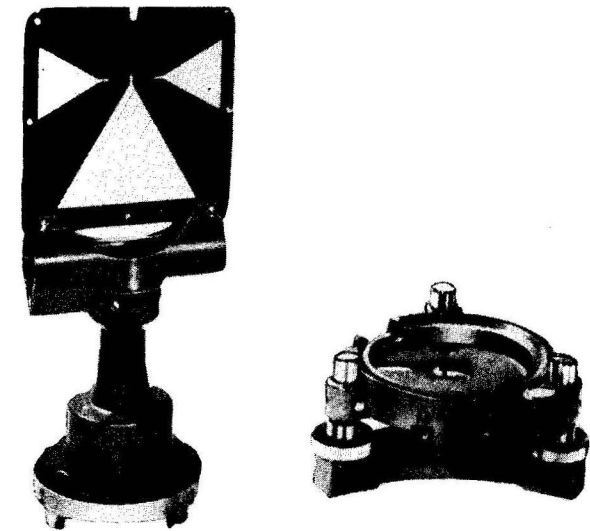


Fig. 2.26 Señal de puntería GZM-1

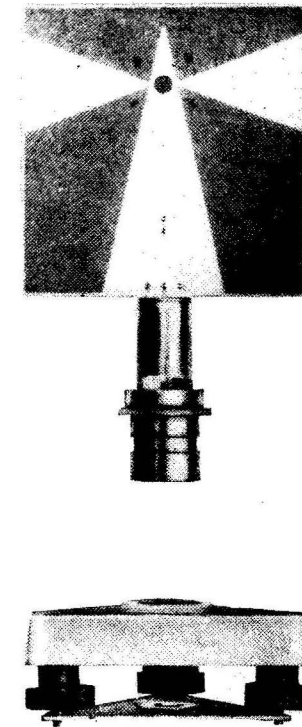


Fig. 2.27 Señal de puntería para el Theo 010 A

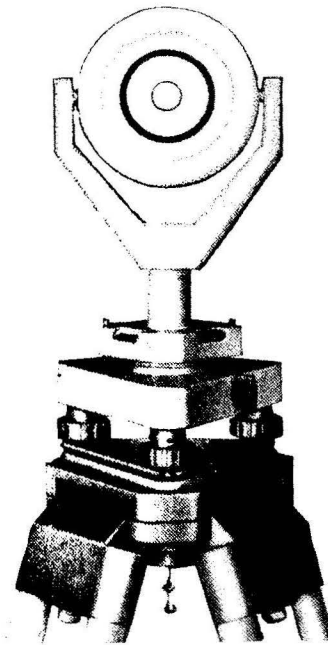


Fig. 2.28 Señal de puntería con equipo de iluminación

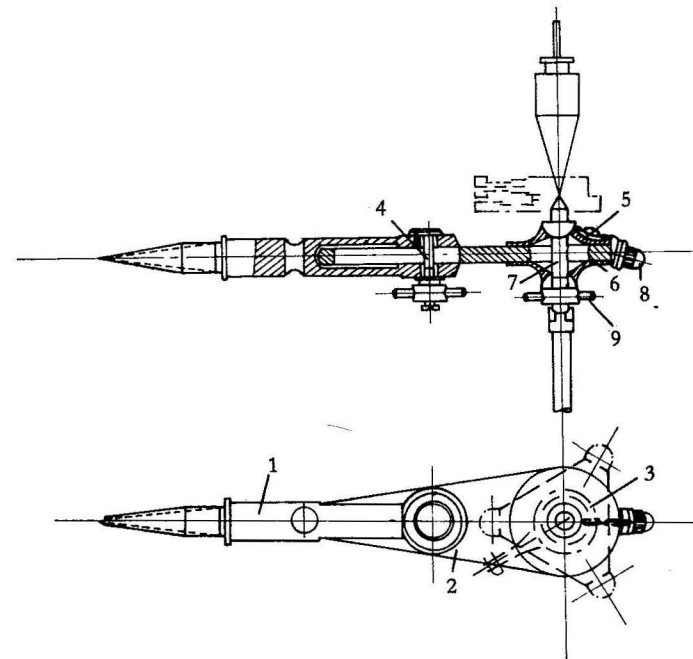


Fig. 2.29 Consolas

En la ejecución de las poligonales subterráneas y en las mediciones de las excavaciones subterráneas no siempre es posible estacionar el instrumento en el trípode. En las excavaciones mineras con un ángulo de inclinación muy grande y en las excavaciones con un intenso movimiento del transporte no se recomienda usar el trípode, en su lugar utilizamos las consolas (fig. 2.29), las que clavamos en el prón de la fortificación de madera de la excavación minera (fig. 2.30). Si la fortificación es metálica y con puntales de hierro, entonces usamos consolas especiales que se fijan de la fortificación.

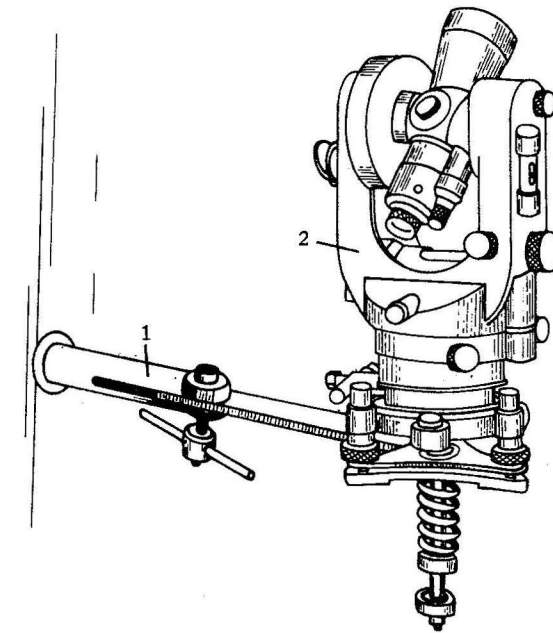


Fig. 2.30 Teodolito colocado en una consola: 1, consola; 2, teodolito

2.6 VERIFICACIONES Y CORRECCIONES DE LOS TEODOLITOS MINEROS

Antes de comenzar el trabajo con los teodolitos es necesario verificar las siguientes condiciones:

1. Perpendicularidad del eje vertical del teodolito con el eje del nivel (comprobación del nivel).
2. Perpendicularidad del eje de giro del anteojo con el eje vertical de giro del teodolito.
3. Perpendicularidad del eje visual con el eje de giro del anteojo (verificación del error de colimación).
4. Verificación del punto de centricidad.

La corrección de una serie de teodolitos de minas la realizamos por los mismos métodos que la de los teodolitos corrientes, es decir, con los métodos conocidos del curso de Topografía general. Es por eso que examinamos aquí tan solo los métodos de corrección específicos para los teodolitos de anteojo excéntrico.

Comprobación del error de colimación en teodolitos de anteojo excéntrico

A tal efecto se toma una hoja de papel, donde trazamos dos puntos a una distancia $2e$ uno de otro, donde e es el valor de la excentricidad del anteojo; medimos la excentricidad e directamente en el anteojo con una regla, partiendo del punto de centricidad hasta el centro del anteojo. Fijamos la hoja en la pared de manera que los dos puntos estén al mismo nivel e instalamos a 40-60 m el teodolito. En posición izquierda del anteojo excéntrico, enfocamos el punto izquierdo y tomamos la lectura A_1 en el círculo horizontal. Damos vuelta de campana al anteojo y girándolo 180° apuntamos al punto derecho para tomar la lectura A_2 . El error de colimación se determina según la fórmula:

$$C = \frac{A_1 - 180^\circ - A_2}{2} \quad (2.1)$$

Si $C \geq 2t$, donde t es la apreciación de los nonios, el error de colimación debe rectificarse. Para ello apuntamos de nuevo al punto izquierdo (encontrándose el eje visual en la posición izquierda), y tomamos la lectura A_1 del círculo horizontal. Damos vuelta de campana al anteojo, giramos el teodolito en el plano horizontal hasta que la visual coincida aproximadamente con el punto derecho, y marcamos en el nonio la lectura $A_1 + 180^\circ$. Concluido esto, hacemos coincidir con los tornillos laterales de corrección la imagen del punto derecho con la cruz filar. Para el control se repite la operación y, si el error de colimación es mayor que la apreciación doble de los nonios, se le rectifica de nuevo.

Rectificación de la posición del punto de centricidad del anteojo

Encontrándose el anteojo en posición horizontal, el punto de centricidad debe estar situado en el eje vertical de giro del teodolito. Para comprobar esta condición colocamos el teodolito bajo la punta de la plomada (preferentemente en una habitación o local cerrado), de forma horizontal, y estabilizamos el anteojo en la misma posición. Luego de centrar con gran cuidado el teodolito bajo la punta de la plomada, comenzamos a rotar este en torno al eje vertical. Si la desviación del punto de centricidad de la plomada no sobrepasa 0,5 mm se considera que dicho punto está marcado correctamente; en el caso contrario se elimina el punto incorrecto.

Para marcar el nuevo punto, el teodolito lo colocamos de nuevo bajo la punta de la plomada, marcamos con lápiz en el anteojo la proyección exacta de la punta mencionada. Giramos el teodolito 180° , se marca en el anteojo una nueva

posición de la punta de la plomada, estando el punto de centricidad entre las dos marcas; este punto lo trazamos con lápiz. Volvemos a centrar el teodolito valiéndonos del punto obtenido, comprobándolo mediante giro del teodolito. En el caso del resultado positivo el punto mencionado lo trazamos con un punzón de manera que su diámetro no sobrepase 1,5-2 mm.

2.7 MEDICIÓN DE LOS ÁNGULOS HORIZONTALES Y DE INCLINACIÓN

En la medición de los ángulos horizontales en las excavaciones mineras se utiliza tanto el método de reiteración como el método de repetición.

El método de reiteración se utiliza cuando el número de direcciones es mayor de dos. En todos los demás casos recomendamos usar el método de repetición como el más apropiado por ser el que menos errores de medición introduce.

Antes de continuar el levantamiento con el teodolito es obligatorio medir el último ángulo horizontal y la longitud del último lado. La diferencia entre los dos valores del ángulo no debe ser mayor de $1'$ en las poligonales precisas y $2'$ en las técnicas.

Los ángulos horizontales de las poligonales en las excavaciones mineras debemos medirlos con teodolitos que tengan una apreciación en el limbo horizontal no menor de $30''$ y los ángulos de las redes para levantamiento con teodolito de $1'$.

El error medio de la medición de un ángulo en las poligonales subterráneas está señalado en el siguiente cuadro:

Redes de apoyo	$\pm 20''$
Redes para levantamiento de primera categoría	$\pm 45''$
Redes para levantamiento de segunda categoría	$\pm 1'$

Medición de ángulos por el método de reiteración

Para medir el ángulo β comprendido entre las direcciones AC y BC (fig. 2.31) estacionamos en el punto C el teodolito y en los puntos A y B colgamos plomadas y medimos el ángulo en el orden siguiente:

1. Fijamos el limbo con la alidada de forma tal que la lectura en el limbo sea algo mayor que $0^\circ(2' - 3')$.
2. Soltamos el limbo y dirigimos el anteojo hacia la plomada trasera A, para tomar la lectura A_1 (si el instrumento tiene dos nonios, la lectura la tomamos por ambos).
3. Soltamos la alidada, dirigimos el anteojo hacia la plomada delantera B y tomamos la lectura A_2 .

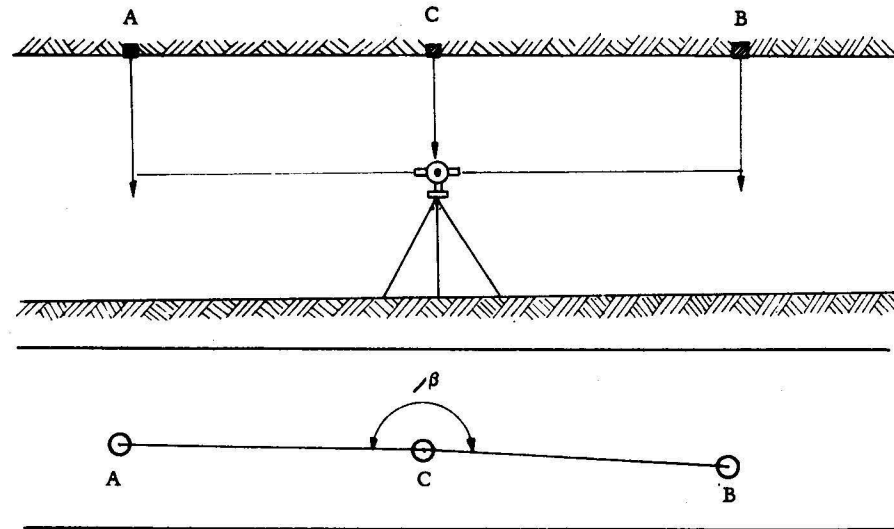


Fig. 2.31 Medición del ángulo horizontal en una excavación minera

4. Damos una vuelta de campana, soltamos la alidada y enfocamos la plomada trasera A, para tomar la lectura A_3 .
5. Soltamos la alidada, dirigimos el anteojo hacia la plomada delantera B y tomamos la lectura A_4 .

El valor del ángulo de una semirreiteración lo calculamos por la diferencia en entre las dos direcciones:

$$\begin{aligned}\beta_I &= A_2 - A_1 \\ \beta_D &= A_4 - A_3\end{aligned}\quad (2.2)$$

donde:

β_I — ángulo medido con el limbo vertical a la izquierda (semirreiteración)

β_D — ángulo medido con el limbo vertical a la derecha (semirreiteración).

El valor final del ángulo lo obtenemos por la fórmula:

$$\beta = \frac{\beta_D + \beta_I}{2} \quad (2.3)$$

El valor de β podemos calcularlo también promediando los valores de los segundos o minutos (de acuerdo con el caso) para la dirección del punto trasero:

$$\frac{A_1 + A_3}{2} = \beta_0$$

y para el punto delantero:

$$\frac{A_2 + A_4}{2} = \beta_F$$

el ángulo β estará dado por la expresión:

$$\beta = \beta_F - \beta_0 = \frac{A_2 + A_4}{2} - \frac{A_1 + A_3}{2} \quad (2.4)$$

restando y agrupando tendremos:

$$\beta = \frac{A_2 - A_1}{2} + \frac{A_4 - A_3}{2}$$

que es análogo a (2.3).

Medición de ángulos por el método de repetición

Para medir los ángulos por el método de repetición debemos seguir el siguiente orden:

1. Fijamos el cero de la alidada de forma tal que la lectura sea algo mayor que $0^\circ (2' - 3')$.
2. Soltamos el limbo, dirigimos el anteojo hacia la plomada trasera A, y tomamos la lectura A_1 (lectura inicial).
3. Soltamos la alidada, dirigimos el anteojo hacia la plomada delantera y tomamos la lectura de control A_2 .
4. Damos vuelta de campana, fijamos el limbo y rotándolo junto con la alidada enfocamos a la plomada trasera, no tomamos lectura.
5. Soltamos la alidada y dirigimos el anteojo hacia el punto delantero y tomamos la lectura A_3 (lectura final):

$$\beta = \frac{A_3 - A_1}{2} \quad (2.5)$$

Para el control de la medición calcularemos el valor del ángulo de control:

$$\beta_c = A_2 - A_1 \quad (2.6)$$

En la medición de los ángulos en las redes de apoyo y en las poligonales precisas a través de excavaciones horizontales la diferencia $\beta - \beta_c$ debe ser menor de $45''$. En el caso que uno de los lados del ángulo medido tenga muy poca inclinación y el otro sea inclinado esta diferencia debe ser menor de $90''$.

En las poligonales para crear redes de levantamiento la diferencia no debe ser mayor de $60''$ para las poligonales precisas primera categoría y $90''$ para las técnicas (segunda categoría).

El valor del ángulo medido con n repeticiones, lo calculamos por la fórmula:

$$\beta = \frac{K 360^\circ + A_3 - A_1}{2n} \quad (2.7)$$

donde:

K = número de vueltas completas del limbo.

En la medición de los ángulos horizontales en excavaciones con un ángulo de inclinación mayor de 30° recomendamos utilizar el método de reiteración, ya que da la posibilidad de obtener una mayor exactitud en el valor del ángulo.

Durante la medición de los ángulos horizontales en las excavaciones iniciales debemos tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. El limbo de los teodolitos repetidores durante todo el transcurso de la medición debe estar fijo.
2. La colocación del eje de giro del teodolito en la posición de la plomada debe llevarse a efecto con ayuda del nivel fijo.
3. La rotación de la alidada debe ser siempre hacia un solo lado.
4. La colocación del eje de giro del teodolito en la posición de la plomada debe hacerse antes de cada medición del ángulo.

La diferencia del valor de los ángulos obtenidos en diferentes reiteraciones, no debe superar las siguientes cantidades:

Tabla 2

Ángulo de inclinación de la excavación (en grados)	31-45°	46-60°	61-70°	71-75°
Diferencia admisible entre los ángulos de las reiteraciones independientes (en segundos)	45"	60"	90"	120"

Medición de los ángulos de inclinación

Los ángulos de inclinación de los lados de las poligonales subterráneas, los medimos para determinar las proyecciones de las longitudes de los lados en un plano horizontal y para la determinación del desnivel entre los puntos contiguos mediante la nivelación trigonométrica.

En la figura 2.32 está representado el esquema de medición de un ángulo de inclinación de lado AB. En el techo de la excavación encontramos los puntos A y B. En el punto A se encuentra estacionado el teodolito y en el punto B se encuentra colgada una plomada. La tarea consiste en medir el ángulo de inclinación δ del rayo visual que pasa a través del eje del anteojo 1 y a través del punto 2 señalado en el hilo de la plomada.

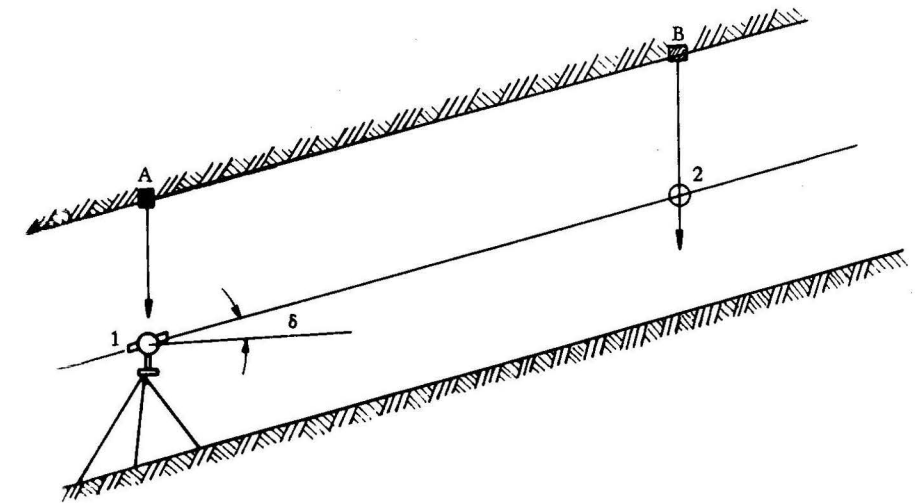


Fig. 2.32 Medición del ángulo de inclinación con un teodolito de anteojo central

Los ángulos de inclinación los medimos en dos posiciones del anteojo y en el orden siguiente:

1. Con el limbo vertical a la derecha del observador, dirigimos el anteojo hacia la plomada, apretamos el tornillo de fijación del limbo y de la alidada y accionamos el tornillo micrométrico del anteojo hasta hacer coincidir el hilo medio de la cruz filar con el punto 2.
2. Accionamos el tornillo micrométrico y desplazamos la burbuja del nivel del limbo vertical hacia el medio.
3. Tomamos la lectura y la anotamos. En caso que el teodolito tenga dos nonios tomamos ambas lecturas y calculamos el valor medio de ellas con el limbo a la derecha L_D .
4. Después damos vuelta de campana, repetimos las operaciones anteriores, y obtenemos el valor L_I .

El ángulo de inclinación δ lo calculamos con las siguientes expresiones:

$$\delta = \frac{L_D - L_I}{2}; \delta = L_D - L_0; \delta = L_0 - L_I \quad (2.8)$$

$$L_0 = \frac{L_D - L_I + 360^\circ}{2} \quad (2.9)$$

donde:

- L_D — lectura con el limbo vertical a la derecha
- L_I — lectura con el limbo vertical a la izquierda
- L_0 — lugar del cero.

Medición de los ángulos horizontales con teodolitos de anteojo excéntrico

En las excavaciones abruptas los ángulos horizontales y verticales los medimos frecuentemente con teodolitos de anteojo excéntrico. En la figura 2.33 está representado el esquema de la medición del ángulo ACB con el limbo a la derecha y a la izquierda del observador.

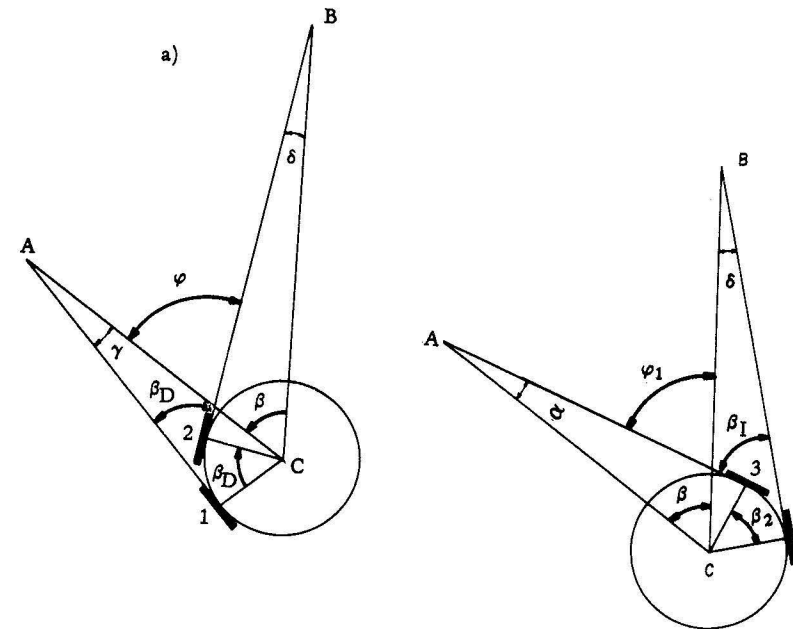


Fig. 2.33 Esquema de la medición de un ángulo horizontal con un teodolito de anteojo excéntrico

En la primera semirreiteración (fig. 2.33a), en la medición del ángulo ACB el eje de giro del anteojo ha girado el ángulo $1C2 = \beta_D$ habiendo tomado las lecturas A_1 y A_2 , de ahí que:

$$\beta_D = A_2 - A_1 \quad (2.10)$$

En la segunda semirreiteración (fig. 2.33b) junto con el ángulo β hemos medido el ángulo $3C4 = \beta_I$, obteniéndose las lecturas A_3 y A_4 . El valor de β_I lo obtenemos de la fórmula:

$$\beta_I = A_4 - A_3$$

La tarea consiste en determinar el valor del ángulo central β basándonos en los ángulos medidos β_D y β_I :

$$\begin{aligned} \varphi &= \beta_D + \gamma = \beta + \delta \\ \varphi' &= \beta_I + \delta = \beta + \gamma \end{aligned} \quad (2.11)$$

despejando el valor de β :

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_D + \gamma - \delta \\ \beta &= \beta_I - \gamma + \delta \end{aligned} \quad (2.12)$$

valiéndonos de la igualdad (2.12), tenemos:

$$\begin{aligned} 2\beta &= \beta_D + \beta_I \\ \beta &= \frac{\beta_D + \beta_I}{2} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Como consecuencia del ángulo de inclinación del eje de giro del anteojo, surge un error en el ángulo horizontal, por eso en cada visual a las señales delantera y trasera es necesario tomar la lectura del desplazamiento de la burbuja del nivel de inclinación en ambos extremos, e introducir una corrección en el ángulo medido por la inclinación del eje de giro del anteojo (fig. 2.34):

$$\Delta_i = i_1 \tan \delta_1 - i_2 \tan \delta_2 \quad (2.14)$$

donde:

- i_1 e i_2 — ángulos de inclinación del eje de giro del anteojo en las visuales a las señales delantera y trasera
- δ_1 y δ_2 — ángulos de inclinación del rayo visual a las señales delantera y trasera.

El ángulo de inclinación del eje de giro del anteojo se calcula por la fórmula:

$$i = \mu m \quad (2.15)$$

donde:

μ — valor de una división del nivel de inclinación

m — lectura que corresponde a la posición media de la burbuja del nivel.

$$m = \frac{D + I}{2}$$

donde:

D e I — lectura por el extremo derecho e izquierdo de la burbuja del nivel.

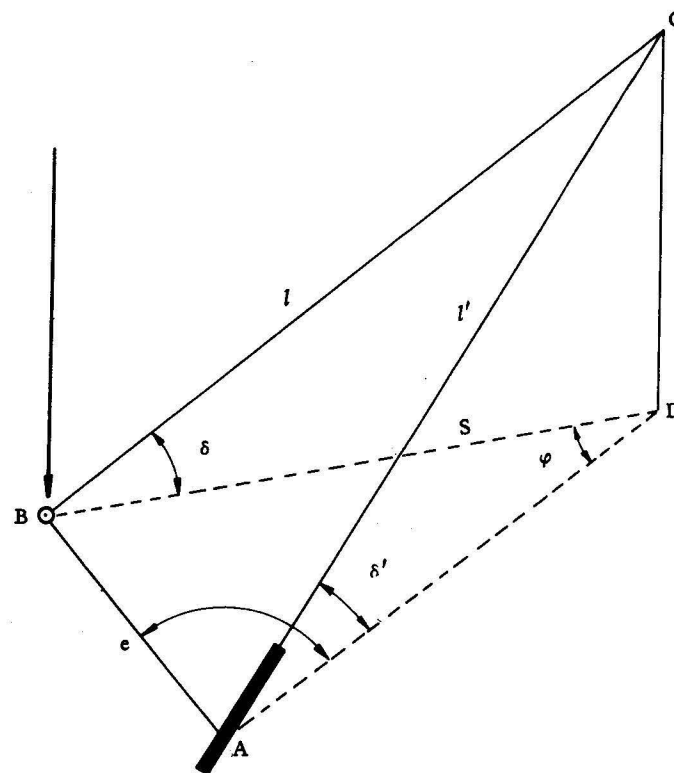


Fig. 2.34 Medición del ángulo de inclinación con un teodolito de anteojo excéntrico

Para determinar el signo de la corrección Δi es necesario tener en cuenta los signos de los factores de la derecha de la fórmula (2.14). Para esto el observador debe diferenciar la parte izquierda y derecha del nivel. Las lecturas en los extremos de la burbuja en la mitad izquierda darán el signo más y en la mitad derecha el signo menos. Con esto el signo de i en la fórmula (2.15) se determina algebraicamente de la suma $D + I$. El signo más lo dará la $\tan \delta$ cuando la inclinación del manto es ascendente y negativa cuando es descendente.

De lo anterior podemos sacar como conclusión que con la inclinación del rayo visual a más de 30° se requiere un gran cuidado en la rectificación del nivel y calado de la burbuja. En cualquier posición del teodolito la burbuja no debe desviarse más de 0,2 de una graduación.

Medición de ángulos verticales con teodolitos de anteojo excéntrico

La medición de los ángulos de inclinación con los teodolitos excéntricos se realiza igual que con los teodolitos de anteojo central.

En la figura 2.34 se ilustra el esquema de la medición de un ángulo vertical con un teodolito excéntrico. Como consecuencia de la excentricidad e del anteojo mediremos el ángulo δ' en el punto A, que es el punto de intersección del eje visual del anteojo AC con el eje de giro AB. La tarea consiste en determinar el ángulo δ sobre la base del ángulo medido δ' , la distancia medida y la excentricidad del anteojo e .

En los triángulos ACD y BCD el cateto CD es común a ambos, escribimos entonces la igualdad siguiente:

$$l \sin \delta = l' \sin \delta'$$

$$l' = \sqrt{l^2 + e^2}$$

$$\sin \delta = \frac{l' \sin \delta'}{l}$$

sustituyendo el valor de l'

$$\sin \delta = \sin \delta' \frac{\sqrt{l^2 + e^2}}{l}$$

introduciendo l en el radical obtendremos finalmente

$$\sin \delta = \sin \delta' \sqrt{1 + \frac{e^2}{l^2}} \quad (2.16)$$

Está plenamente comprobado que el error en la medición del ángulo vertical se acrecienta con el aumento del ángulo de inclinación y la disminución de la longitud del lado de la poligonal.

En el caso de medirse los ángulos con el teodolito de anteojo excéntrico, al ángulo vertical medido en dos posiciones del anteojo se introduce la corrección $\Delta \delta''$, que se calcula por la fórmula:

$$\Delta \delta'' = \rho'' \frac{e^2}{2l^2} \tan \delta' \quad (2.17)$$

onde:

e – valor lineal de la excentricidad del anteojo

l – distancia inclinada medida

δ' – ángulo vertical medido.

El ángulo vertical corregido δ se calcula por la fórmula:

$$\delta = \delta' - \Delta\delta \quad (2.18)$$

En la tabla 3 se dan los valores calculados (en minutos) de las correcciones para un ángulo vertical medido con un teodolito provisto del anteojo excéntrico $\Xi T 5$.

Tabla 3

δ' (en grados)	Longitud del lado (en m)				
	5	10	20	30	50
75	1,3	0,3			
82	2,5	0,6			
88	9,6	1,5	0,5		
89	17,3	4,8	1,0	0,5	
90	48,6	24,3	19,0	7,8	5,2

2.8 ERRORES EN LAS MEDICIONES DE LOS ÁNGULOS HORIZONTALES Y DE INCLINACIÓN

Las causas principales que originan los errores en las mediciones de los ángulos horizontales son el error de puntería m_p , el error de lectura m_L , el error de centración del teodolito m_T y el error de centración de las señales m_S .

La influencia que ejercen los errores de lectura y de puntería en la precisión de la medición de los ángulos horizontales depende del método de medición.

Si el ángulo es medido por el método de reiteración el error lo calculamos por la fórmula:

$$m_{\beta \cdot i} = \pm \sqrt{\frac{m_p^2}{n} + \frac{m_L^2}{n}} \quad (2.19)$$

Cuando el método empleado es por repetición el error lo obtenemos por la siguiente fórmula:

$$m_{\beta \cdot i} = \pm \sqrt{\frac{m_p^2}{n} + \frac{m_L^2}{2n^2}} \quad (2.20)$$

donde:

n – número de repeticiones o reiteraciones.

El error de lectura m_L lo determinamos por la fórmula:

$$m_L = \pm \frac{t}{2\sqrt{2}} \approx \frac{t}{3} \quad (2.21)$$

donde:

t – precisión del instrumento.

Para determinar el error de puntería empleamos la fórmula:

$$m_p = \pm \frac{60''}{A} \quad (2.22)$$

donde:

A – ampliación del anteojo.

La fórmula (2.22) la usamos cuando la puntería la realizamos con un solo hilo de la cruz filar. Al hacerse puntería con el bisector el error de puntería sería igual a:

$$m_p = \pm \frac{b''}{12} \quad (2.23)$$

donde:

b – ángulo formado por los dos hilos del bisector.

La precisión de las mediciones de los ángulos horizontales en las excavaciones mineras está muy influenciada por los errores de centración del teodolito y de las señales. El error producido por estas causas lo calculamos por la fórmula:

$$m_{\beta \cdot e}^2 = \frac{\rho^2 \cdot m_T^2}{2a^2b^2} (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta) \quad (2.24)$$

que también se puede expresar:

$$m_{\beta \cdot e} = \rho m_T \sqrt{\frac{1}{2a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{\cos \beta}{ab}} \quad (2.25)$$

Analizando la fórmula (2.25) para diferentes valores de β tendremos:

a) para $\beta = 180^\circ$; $\cos \beta = -1$

$$m_{\beta \cdot e} = \rho m_T \sqrt{\frac{1}{2a^2} + \frac{1}{2b^2} + \frac{1}{ab}} \quad (2.26)$$

b) para $\beta = 90^\circ$; $\cos \beta = 0$

$$m_{\beta \cdot e} = \rho m_T \sqrt{\frac{1}{2a^2} + \frac{1}{2b^2}} \quad (2.27)$$

c) para $\beta = 0^\circ$; $\cos \beta = 1$

$$m_{\beta \cdot e} = \rho m_T \sqrt{\frac{1}{2a^2} + \frac{1}{2b^2} - \frac{1}{ab}} \quad (2.28)$$

En la fórmula (2.25) tenemos que $m_{\beta \cdot e}$ equivale al error producido por la excentricidad del teodolito y de la señal, a y b son proyecciones horizontales de los lados del ángulo medido y m_T es el error de centración del teodolito.

El error resultante en la medición de un ángulo horizontal, lo calculamos por la fórmula:

$$m_\beta = \pm \sqrt{m_{\beta \cdot i}^2 + m_{\beta \cdot e}^2} \quad (2.29)$$

El error en la medición de un ángulo de inclinación lo determinamos de la siguiente forma:

$$m_\delta = \pm \sqrt{\frac{1}{2} (m_P^2 + m_L^2 + m_n^2)} \quad (2.30)$$

donde:

m_P — error de puntería

m_L — error de lectura

m_n — error de centración de la burbuja del nivel.

Los errores de lectura y puntería los calculamos según las fórmulas (2.21) y (2.22). El error de centración de la burbuja del nivel del limbo vertical depende de la sensibilidad y diseño del nivel.

Para los niveles cilíndricos corrientes el valor de m_n lo hallamos por la fórmula:

$$m_n = \pm 0,2 \tau \quad (2.31)$$

donde:

τ — sensibilidad del nivel del limbo vertical.

Para los niveles de coincidencia $m_n = \pm 0,1 \tau$. A fin de reducir los errores debemos cumplir las siguientes recomendaciones:

1. Las visuales deben ser lo más grande posible.
2. Emplear el método de centración más preciso para los teodolitos y señales.
3. Los orificios de los puntos debemos fijarlos para que las plomadas siempre mantengan la misma posición, no excederán de 2 mm de diámetro.
4. La puntería la hacemos al punto superior de la plomada.
5. Centramos dos veces el teodolito y hacemos dos mediciones de repetición o de reiteración, cuando los lados del ángulo son de 5-10 m de largo; si la longitud de los lados es inferior a 5 m la operación la hacemos triple.
6. Al medir los ángulos de las poligonales precisas y técnicas con lados inferiores a 20 m utilizamos el método de centración automática.

2.9 MEDICIÓN DE LAS LONGITUDES DE LOS LADOS DE LAS POLIGONALES SUBTERRÁNEAS

Las mediciones de distancias en las excavaciones mineras las efectuamos con ayuda de cintas de acero de 20, 30 y 50 m de largo. Las graduaciones de estas cintas las marcamos con un intervalo de 1 cm, con excepción del primer decímetro que estará dividido en mm.

En los trabajos de levantamiento del contorno de las excavaciones y en los frentes de arranque utilizamos cintas de tela de 5-20 m.

En la figura 2.35 mostramos cintas empleadas para medir las longitudes en los trabajos de Topografía minera.

Las mediciones de las distancias en las poligonales hay que realizarlas siempre con una tensión constante igual a la tensión de comparación, utilizando para ello un dinamómetro. Las cintas utilizadas en las mediciones de precisión deben estar comparadas con una cinta patrón y en su pasaporte anotaremos su longitud real, la temperatura de comparación y la tensión aplicada a la cinta durante la comparación.

La medición de las longitudes de los lados de las poligonales subterráneas las realizamos a través de plomadas colgadas en el techo de la excavación (fig. 2.36).

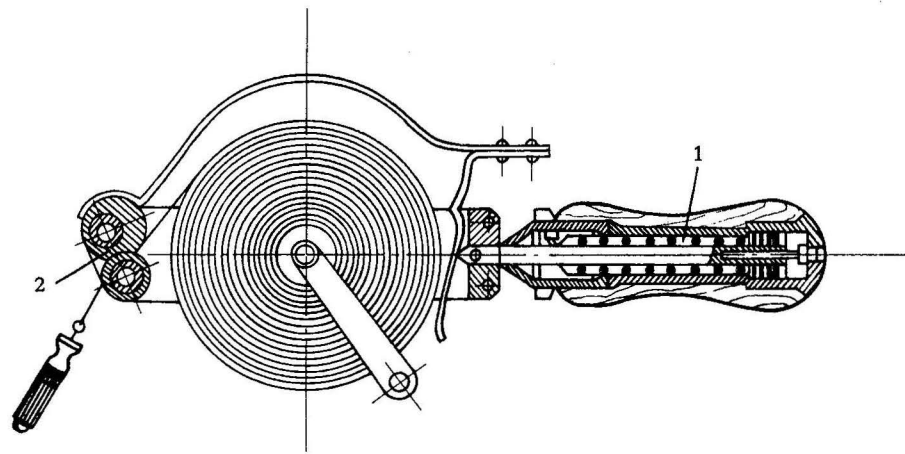


Fig. 2.35 Cinta de acero con dinamómetro: 1, dinamómetro; 2, amordazador

Para ello, después de la medición de los ángulos horizontales y verticales, en el punto A donde está estacionado el teodolito, fijamos el anteojo en la misma dirección observada y colocamos las plomadas 1, 2 y 3 de tal forma, que el intervalo entre ellas sea menor que la longitud total de la cinta. Las plomadas deben situarse lo más próximas posible a la línea de la visual del anteojo. Cuando la medición de la distancia es en excavaciones inclinadas, se hace necesario medir el ángulo de inclinación δ . En el caso de ser estas horizontales no será necesario medirlo.

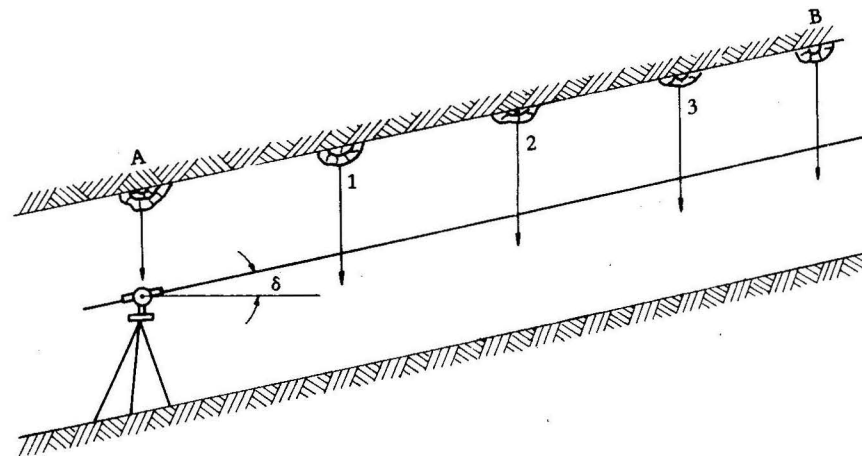


Fig. 2.36 Medición de las longitudes de los lados de las poligonales subterráneas

Para comenzar la medición, el observador delantero hace coincidir la cinta con el cordel de la plomada, aplicándole con el dinamómetro una tensión igual a la ten-

sión de comparación, informándole al observador trasero, que haga coincidir la cinta con el eje de giro del anteojo. Por la indicación del observador delantero, ambos toman simultáneamente las lecturas de la cinta. La operación anterior la repetimos en los restantes tramos.

Con el fin de tener un buen control, cada tramo debemos medirlo 2 o 3 veces, y desplazar la cinta dentro de un espacio de 1 dm a la izquierda y 1 dm a la derecha, admitiéndose una diferencia entre las mediciones no mayor de 2-3 mm.

La longitud del tramo será igual a:

$$l = l_2 - l_1 \quad (2.32)$$

donde:

l_2 — lectura de la cinta en el extremo delantero

l_1 — lectura de la cinta en el extremo trasero.

Después de la medición de los intervalos en una dirección, por el mismo método medimos los intervalos en la dirección contraria (desde el punto B hacia el A). La longitud del lado en la dirección directa o inversa será igual a la suma de las longitudes medias de los tramos medidos. Finalmente la longitud del lado AB será igual al valor medio de las longitudes en ambas direcciones. En la ejecución de poligonales subterráneas precisas es obligatorio el uso de los dinamómetros y la diferencia admisible entre dos mediciones de un mismo lado no debe ser mayor de $1/3\,000$ de la longitud. Además la temperatura del aire la mediremos con una exactitud de 1°C .

En las poligonales subterráneas técnicas el uso del dinamómetro y la medición de la temperatura no son obligatorias y la diferencia de dos mediciones de una misma distancia no debe ser mayor de $1/2\,000$ de la longitud.

En el transcurso de la medición, con la cinta colgante (fig. 2.37), medimos la longitud del arco ABC en lugar de la longitud requerida AC. Por esto es necesario, para determinar la longitud de la cuerda, introducir la corrección por la flecha de la catenaria que forma la cinta.

En la figura 2.37 tenemos que ABC es la posición colgante de la cinta, l — longitud del arco medido, f — flecha de la catenaria, O — centro del arco con radio $r = OA$ y AC — longitud de la cuerda l_0 .

$$l_0 = l - \Delta l_f \quad (a)$$

donde:

Δl_f — corrección por la flecha de la catenaria. En el caso dado la flecha es:

$$f = OB - OD = r - r \cos \alpha = r (1 - \cos \alpha) \quad (b)$$

pero:

$$1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (c)$$

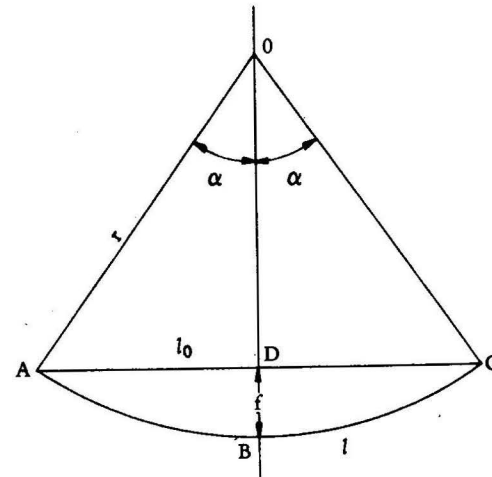


Fig. 2.37 Influencia de la flecha de la cinta en la medición de la distancia

y por ser α un ángulo pequeño:

$$1 - \cos \alpha = \frac{\alpha^2}{2}$$

sustituyendo (d) en (b) tendremos que:

$$f = \frac{r\alpha^2}{2}$$

La corrección por la flecha de la cinta podemos calcularla por la fórmula:

$$\Delta l_f = l - l_0 = 2r(\alpha - \sin \alpha) \quad (f)$$

ya que $l = 2r\alpha$; $l_0 = AC = 2r \sin \alpha$.

Desarrollamos en serie $\sin \alpha$, y tomando solo los dos primeros miembros, tendremos:

$$\sin \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{6} \quad (g)$$

$$\Delta l_f = 2r\left(\alpha - \alpha + \frac{\alpha^3}{6}\right) = \frac{r\alpha^3}{3}$$

$$\Delta l_f = \frac{r\alpha^3}{3}$$

multiplicando y dividiendo la expresión anterior por $r\alpha$ tendremos:

$$\Delta l_f = \frac{r\alpha^3}{3} \cdot \frac{r\alpha}{r\alpha} = \frac{r^2\alpha^4}{3r\alpha} = \frac{(r\alpha^2)^2}{3r\alpha} =$$

$$= \frac{4}{3r\alpha} \left(\frac{r\alpha^2}{2}\right)^2 = \frac{8f^2}{3l}$$

ya que $r\alpha = \frac{l}{2}$

$$\Delta l_f = \frac{8f^2}{3e} \quad (2.33)$$

El valor de la flecha podemos determinarlo en forma experimental como mostramos en la figura 2.38)

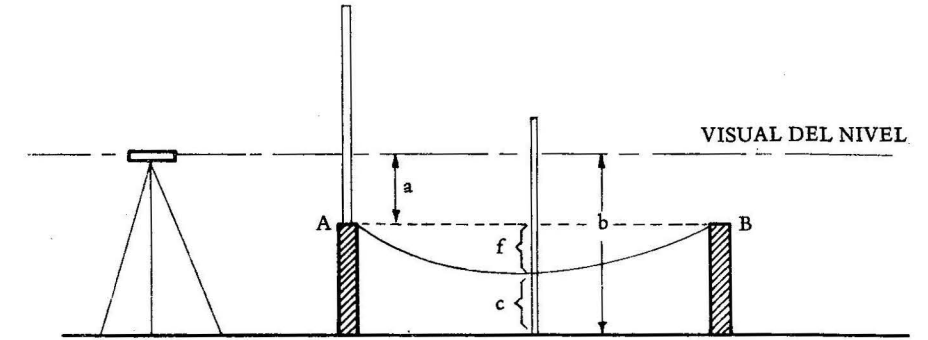


Fig. 2.38 Determinación de la flecha

Situamos las estacas A y B a una distancia igual a la longitud de la cinta y utilizando un nivel comprobamos que ambos puntos tengan la misma altura. Colocamos la cinta entre ambas estacas, dándole con ayuda de un dinamómetro, una tensión igual a la de comparación. Después, con ayuda de un nivel tomaremos en las miras las lecturas a y b ; además, tomaremos a ojo la altura c en la mira situada en el medio de la cinta. La flecha la calculamos por la expresión:

$$f = b - (a + c) \quad (2.34)$$

La corrección por la flecha para un intervalo l_i , que es menor que la longitud l de la cinta la determinamos por la fórmula:

$$\Delta l_{f,i} = \Delta l_f \frac{l_i^3}{l^3} \quad (2.35)$$

donde:

Δl_f calculada por la fórmula (2.33).

Además de la corrección por la flecha, durante la medición hay que considerar también las correcciones por temperatura y por la comparación de la cinta.

La corrección por temperatura la calculamos por la fórmula:

$$\Delta l_T = l \sigma (T - T_0) \quad (2.36)$$

donde:

- l — longitud medida en m
- T — temperatura durante la medición en °C
- T_c — temperatura de comparación en °C
- σ — coeficiente de dilatación lineal del material de la cinta (para el acero es 0,0000115 m/°C).

La corrección por comparación Δl_c la determinamos del resultado de la comparación.

Cuando en la medición de una distancia no aplicamos una tensión igual a la tensión de comparación, se hace necesario introducir una corrección por la variación de la tensión de la cinta, que calculamos por la fórmula:

$$\Delta l_t = \frac{l}{EA} (Q - Q_c) \quad (2.37)$$

donde:

- Q — tensión durante la medición en kg
- Q_c — tensión durante la comparación en kg
- E — módulo de elasticidad (2.10^6 kg/cm²)
- A — área de la sección transversal, cm².

El signo de esta corrección depende del signo de la diferencia ($Q - Q_c$) y se aplica solo cuando la diferencia es mayor de 2 kg.

En el siguiente cuadro se exponen los errores en la medición de las longitudes realizadas con distintos tipos de cintas, calculadas para una ΔQ de 1 kg.

Longitud de la cinta (en m)	20	30	50
Error de la longitud ocasionada por la tensión (en mm)	0,8	2,5	16

La corrección por la flecha de la catenaria puede calcularse también por la fórmula:

$$\Delta l_f = \frac{P^2 l^3}{24Q} \quad (2.38)$$

donde:

- P — peso de 1 m de cinta (0,0024 — 0,0036 kg/m)
- Q — tensión durante la medición en kg
- l — longitud del tramo medido en m.

La corrección por la flecha siempre es de signo negativo.

A la longitud del tramo medido le aplicamos las correcciones anteriores y tendremos la longitud del tramo buscada, libre de los errores por temperatura, tensión, comparación y flecha:

$$l' = l + \Delta l_T + \Delta l_t + \Delta l_c + \Delta l_f \quad (2.39)$$

La expresión anterior es una longitud inclinada, debiendo calcularse su proyección horizontal:

$$d = l' - \frac{h^2}{2l'} \quad (2.40)$$

donde:

- h — desnivel entre los extremos del tramo medido.

La proyección horizontal de la distancia medida también puede determinarse por las fórmulas:

$$d = l' \cos \delta \quad (2.41)$$

$$d = l' - \Delta l \quad (2.42)$$

donde:

- l' — longitud inclinada del lado
- δ — ángulo de inclinación del lado

$$\Delta l = 2l' \sin^2 \left(\frac{\delta}{2} \right) \text{ — corrección para determinar la proyección horizontal.}$$

En las mediciones de los lados de las poligonales técnicas, no es necesario tomar en consideración las correcciones por temperatura, flecha y tensión.

En los casos, que realicemos el levantamiento a alturas o profundidades mayores de 600 m, es necesario para obtener la proyección horizontal, introducir la

corrección por la reducción de la longitud al nivel medio del mar Δd_H utilizando la fórmula:

$$\Delta d_H = -d \frac{H}{R} \quad (2.43)$$

donde:

H — altura absoluta del punto medio del lado en m

R — radio de la Tierra en m.

El signo de la corrección depende del signo de la altura H . Si el punto está por encima del nivel medio del mar, la altura será positiva, y tendrá signo negativo cuando esté por debajo.

Finalmente aplicamos la corrección del ajuste al plano de proyección D'Lambert que podemos calcular por la fórmula:

$$\Delta d_L = dK \quad (2.44)$$

donde:

K — coeficiente de proyección de las distancias, que depende de la latitud (ver tabla 4).

Tabla 4
COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS DISTANCIAS EN FUNCIÓN DE LA LATITUD φ

	Cuba norte			Cuba sur			
	21°	22°	23°	19°	20°	21°	
0		0,9999546	1,0000001		1,0000261	0,9999606	0
1		0,9999528	1,0000034		1,0000226	0,9999621	1
2		0,9999512	1,0000068		1,0000191	0,9999637	2
3		0,9999496	1,0000103		1,0000157	0,9999653	3
4		0,9999482	1,0000139		1,0000124	0,9999670	4
5		0,9999468	1,0000176		1,0000091	0,9999680	5
6		0,9999455	1,0000214		1,0000060	0,9999707	6
7		0,9999443	1,0000252		1,0000029	0,9999727	7
8		0,9999431	1,0000291		1,9999999	0,9999748	8
9		0,9999421	1,0000331		1,9999970	0,9999769	9
10		0,9999411	1,0000372		0,9999942	0,9999792	10
11		0,9999402	1,0000414		0,9999915	0,9999815	11
12		0,9999394	1,0000457		0,9999888	0,9999839	12
13		0,9999387	1,0000500		0,9999863	0,9999864	13
14		0,9999381	1,0000544		0,9999838	0,9999889	14

15	1,0001188	0,9999375	1,0000590		0,9999814	0,9999916	15
16	1,0001133	0,9999371	1,0000636		0,9999791	0,9999943	16
17	1,0001079	0,9999367	1,0000682		0,9999769	0,9999972	17
18	1,0001026	0,9999364	1,0000730		0,9999747	1,0000001	18
19	1,0000973	0,9999362	1,0000779		0,9999727	1,0000031	19
20	1,0000922	0,9999361	1,0000828		0,9999707	1,0000061	20
21	1,0000871	0,9999360	1,0000878		0,9999688	1,0000093	21
22	1,0000821	0,9999361	1,0000929		0,9999670	1,0000125	22
23	1,0000772	0,9999362	1,0000981		0,9999653	1,0000159	23
24	1,0000724	0,9999364	1,0001034		0,9999637	1,0000193	24
25	1,0000676	0,9999367	1,0001088		0,9999621	1,0000228	25
26	1,0000630	0,9999371			0,9999606	1,0000264	26
27	1,0000584	0,9999375			0,9999592	1,0000300	27
28	1,0000539	0,9999381			0,9999579	1,0000338	28
29	1,0000495	0,9999387			0,9999567	1,0000376	29
30	1,0000452	0,9999394			0,9999556	1,0000416	30
31	1,0000410	0,9999402			0,9999545	1,0000456	31
32	1,0000368	0,9999411			0,9999536	1,0000496	32
33	1,0000327	0,9999421			0,9999527	1,0000538	33
34	1,0000288	0,9999431			0,9999519	1,0000581	34
35	1,0000249	0,9999443			0,9999512	1,0000624	35
36	1,0000210	0,9999455			0,9999506	1,0000669	36
37	1,0000173	0,9999468			0,9999500	1,0000714	37
38	1,0000137	0,9999482			0,9999495	1,0000760	38
39	1,0000101	0,9999497			0,9999492	1,0000807	39
40	1,0000066	0,9999512		1,0001150	0,9999489	1,0000854	40
41	1,0000032	0,9999529		1,0001098	0,9999486	1,0000903	41
42	0,9999999	0,9999546		1,0001046	0,9999485	1,0000952	42
43	0,9999967	0,9999564		1,0000996	0,9999485	1,0001002	43
44	0,9999935	0,9999583		1,0000946	0,9999485	1,0001053	44
45	0,9999905	0,9999603		1,0000897	0,9999486		45
46	0,9999875	0,9999623		1,0000848	0,9999489		46
47	0,9999846	0,9999645		1,0000801	0,9999492		47
48	0,9999818	0,9999667		1,0000754	0,9999495		48
49	0,9999790	0,9999690		1,0000709	0,9999500		49
50	0,9999764	0,9999714		1,0000664	0,9999505		50
51	0,9999738	0,9999739		1,0000620	0,9999512		51
52	0,9999714	0,9999765		1,0000577	0,9999519		52
53	0,9999690	0,9999791		1,0000534	0,9999527		53
54	0,9999666	0,9999819		1,0000493	0,9999536		54
55	0,9999644	0,9999847		1,0000452	0,9999545		55
56	0,9999623	0,9999876		1,0000412	0,9999556		56
57	0,9999602	0,9999906		1,0000373	0,9999567		57
58	0,9999582	0,9999937		1,0000335	0,9999579		58
59	0,9999564	0,9999969		1,0000298	0,9999593		59
60	0,9999546	1,0000001		1,0000261	0,9999606		60

2.10 LEVANTAMIENTO DE LOS DETALLES DE LAS EXCAVACIONES MINÉRAS

El levantamiento de los detalles de las excavaciones mineras lo realizamos desde los puntos y de los lados de las poligonales subterráneas. Los objetivos del

levantamiento son determinar el contorno de las excavaciones mineras, los contactos de las rocas y el mineral, los rasgos tectónicos del yacimiento, la forma y dimensiones de la fortificación de la excavación y el levantamiento de aquellos detalles que son necesarios para una correcta explotación del yacimiento. El levantamiento de los detalles podemos realizarlo por el método de las coordenadas o por el método polar. El más empleado es el de las coordenadas.

Antes de realizar el levantamiento en cada punto de estacionamiento del teodolito, medimos la sección de la excavación. Con esta finalidad, desde el centro del teodolito medimos las distancias de la derecha, de la izquierda, arriba y abajo y las anotamos en la libreta.

El levantamiento de los detalles podemos realizarlo por el método de las coordenadas (fig. 2.39). Para ello en los puntos 5 y 6 colgamos las plomadas y extendemos una cinta entre ellas; procedemos luego a medir con una cinta pequeña las líneas perpendiculares (ordenadas) b_1 , b_2 , b_3 y b_4 con una exactitud de 2-3 cm.

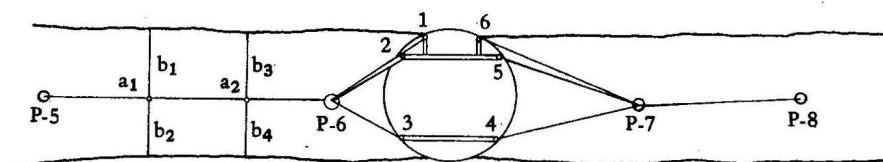


Fig. 2.39 Levantamiento del detalle en una excavación minera

Las abscisas a_1 y a_2 son las distancias desde el punto 5 hasta la base de cada una de las perpendiculares. El levantamiento de los detalles lo anotamos en la libreta del levantamiento (ver tabla 5). Además es obligatorio confeccionar un croquis con el levantamiento de los detalles, en el cual anotamos las distancias medidas.

En ocasiones los levantamientos del contorno de las excavaciones mineras los realizamos por el método polar; este método consiste en medir las direcciones y las distancias desde el punto de estacionamiento del teodolito hasta el punto característico del contorno. Este caso se presenta en el levantamiento de las zonas aledañas al pozo de la mina, donde los puntos característicos de la sección del pozo de la mina se levantan por el método polar.

En la figura 2.39 mostramos el levantamiento por el método polar de una zona próxima al pozo de la mina, donde los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 son los puntos característicos del contorno.

2.11 TRABAJO DE GABINETE DEL LEVANTAMIENTO CON TEODOLITO

Los elementos del trabajo de gabinete de un levantamiento con teodolito son:

1. Control del cálculo de los valores medios de los ángulos medidos.

2. Elaboración de las mediciones de las longitudes de los lados y cálculo de sus proyecciones horizontales.

3. Cálculo del error angular de cierre y su distribución entre los ángulos, cálculo de los acimut.

4. Cálculo de los incrementos de coordenadas, del error de cierre lineal y su distribución proporcional a las longitudes de los lados.

5. Cálculo de los incrementos de coordenadas rectificadas y de las coordenadas de los puntos.

El control del cálculo de los ángulos horizontales y verticales es la repetición del cálculo de sus valores numéricos obtenidos durante las mediciones realizadas en la mina.

La elaboración de las mediciones de las longitudes comprende la revisión en la libreta y el cálculo de la proyección horizontal. Para ello, a la distancia inclinada medida l , le aplicamos las correcciones necesarias y obtenemos la distancia inclinada corregida l' , la que a su vez debemos reducir a una proyección horizontal:

$$a) \quad l = l_2 - l_1$$

$$b) \quad l' = (l_2 - l_1) + \Delta l_T + \Delta l_c + \Delta l_f$$

$$c) \quad d = l' \cos \delta.$$

En aquellos casos necesarios aplicamos las correcciones por la reducción al nivel medio del mar Δd_H y por el ajuste al plano de proyección de Lambert Δd_L .

El error angular de cierre lo calculamos en dependencia del tipo de poligonal utilizada:

1. Para poligonales de enlace entre dos lados orientados

$$E_\beta = \Sigma \beta - (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (2.45)$$

donde:

$\Sigma \beta$ — suma de los ángulos medidos

α_1 — acimut del lado inicial

α_2 — acimut del lado final.

2. Para poligonales cerradas, cuando los ángulos medidos son interiores:

$$E_\beta = \Sigma \beta - 180^\circ (n - 2) \quad (2.46)$$

n — número de ángulos medidos.

3. Para poligonales cerradas, donde los ángulos medidos son exteriores:

$$E_\beta = \Sigma \beta - 180^\circ (n + 2) \quad (2.47)$$

Tabla 5
Instrumento. TG5
Observador. R. López
Fecha: 12-VI

Lugar: galería 343
Pág. 8

LIBRETA DE POLIGONALES

Puntos			1ª Posición					2ª Posición					Dimensio- nes de la excavación	Tramo	
Estación	Pto. obs.	Limbo	Nonio		Prom.		Nonio		Prom.						
			0	I	II	I	II	0	I	II	I	II			
7	6	Hz	0	00	00	00	15								7-
				00	30										
	8		178	21	30	21	30	356	43	30	43	15	$1.45 \frac{0.20}{2.80}$	2.45	a-B
				21	30				43	00					
		β_c	178	21	15			356	43	00					B-5
	β_7		178	21	30										
8	7	Hz	0	00	00	00	00								
				00	00										
			91	18	00	17	45	182	36	00	35	45			
	9			17	30				35	30			$1.90 \frac{0.25}{2.70}$	1.89	
	β_8	β_c	91	17	45			182	35	45					
			91	17	52										
	9	V	17	31	00	31	30	342	28	00	28	15			8-a
				30	00				28	30					
							35	35	03	15					a-9
	δ_9		17	31	37										

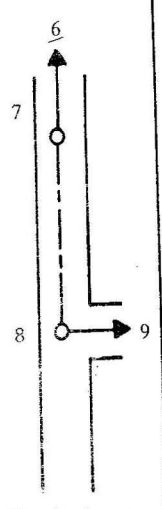
El error cometido lo comparamos con el admisible; si satisface la condición de ser menor, lo distribuimos en forma uniforme entre todos los ángulos medidos y tomamos sus valores con el signo contrario al error de cierre:

$$C_\beta = -\frac{E_\beta}{n}$$

C_β — corrección angular.

Aplicándole la corrección a los ángulos medidos, obtendremos los ángulos horizontales rectificados con los cuales calcularemos los acimut de cada uno de los lados por la fórmula:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} \pm \beta_n \pm 180^\circ \quad (2.48)$$

MEDICIONES DE LAS LONGITUDES							Croquis y observaciones
Lecturas	Diferencias de las lecturas	Lecturas	Diferencias de las lecturas	Lecturas	Diferencias de las lecturas	Longitud del tramo	
$\frac{28,112}{0.007}$	28,105	$\frac{29,635}{1,528}$	28,407			28,106	 El método empleado para la medición de los ángulos horizontales es por repetición
$\frac{27,432}{0.003}$	27,429	$\frac{28,012}{0.582}$	27,430			27,430	
$\frac{15,632}{0.011}$	15,621	$\frac{16,000}{0.381}$	15,619			15,620	
						71,156	
$\frac{25,431}{0,015}$	25,226	$\frac{25,110}{0,881}$	25,229			25,228	
$\frac{10,116}{0,005}$	10,111	$\frac{11,258}{1,146}$	10,112			10,111	
						35,339	

donde:

α_n — acimut del lado n a determinar

En esta operación debemos tener en cuenta que el ángulo β_n se le suma cuando está a la izquierda del recorrido y se le resta si está a la derecha. Además debemos tener presente que si la operación $(\alpha_{n-1} \pm \beta_n)$ es mayor que 180° , se le debe restar 180° y en caso contrario lo añadimos a la suma mencionada.

Distribuido acertadamente el error angular y bien calculados los acimut obtendremos al final el acimut inicial (dato) en las poligonales cerradas y el acimut del lado final en las poligonales de enlace; siendo esta la forma utilizada para controlar si el cálculo se ha realizado correctamente.

Los incrementos de coordenadas los calculamos por las fórmulas de la tarea topográfica directa:

$$\begin{aligned}\Delta X &= d \sin \alpha \\ \Delta Y &= d \cos \alpha\end{aligned}\quad (2.49)$$

Con el fin de simplificar el cálculo de los incrementos de coordenadas, los acimut debemos transformarlos en rumbos, en base a la relación expuesta en la tabla 6.

Tabla 6

Cuadrante	Relación rumbo-acimut
I	$r = \alpha$
II	$r = 180^\circ - \alpha$
III	$r = \alpha - 180^\circ$
IV	$r = 360^\circ - \alpha$

Después de transformados los acimut en rumbos, los incrementos de coordenadas los calculamos por la fórmula:

$$\begin{aligned}\Delta X &= d \sin r \\ \Delta Y &= d \cos r\end{aligned}\quad (2.50)$$

El signo de los incrementos de coordenadas depende del valor del acimut del lado (ver tabla 7).

Tabla 7

Incremento de coordenadas	$0^\circ - 90^\circ$	$90^\circ - 180^\circ$	$180^\circ - 270^\circ$	$270^\circ - 360^\circ$
	I Cuadrante	II Cuadrante	III Cuadrante	IV Cuadrante
ΔX	+	+	-	-
ΔY	+	-	-	+

Para el control del cálculo de los incrementos de coordenadas es posible utilizar la expresión:

$$\begin{aligned}\Delta X &= \Delta Y \tan r \\ \Delta Y &= \Delta X \cot r\end{aligned}\quad (2.51)$$

ΔX y ΔY – incrementos de coordenadas calculadas por la fórmula (2.50). En este caso tomamos el valor de tan o cot que sea menor que la unidad.

Como resultado de la suma de los incrementos de coordenadas calculados obtendremos los errores en los incrementos de coordenadas:

$$\begin{aligned}E_X &= \Sigma \Delta X \\ E_Y &= \Sigma \Delta Y\end{aligned}\quad (2.52)$$

Dichos errores en las poligonales trazadas entre dos lados orientados los calculamos por las fórmulas:

$$\begin{aligned}E_X &= \Sigma \Delta X + X_I - X_F \\ E_Y &= \Sigma \Delta Y + Y_I - Y_F\end{aligned}\quad (2.53)$$

donde:

X_I, Y_I – coordenadas del punto inicial

X_F, Y_F – coordenadas del punto final.

Los errores de los incrementos de coordenadas sirven para calcular el error lineal de cierre por la fórmula:

$$E_l = \pm \sqrt{E_X^2 + E_Y^2}\quad (2.54)$$

Este error lo comparamos con el admisible y en caso de ser menor lo distribuimos proporcionalmente a las longitudes de los lados y con signo contrario.

$$\begin{aligned}C_{X_i} &= -\frac{E_X}{P} d_i \\ C_{Y_i} &= -\frac{E_Y}{P} d_i\end{aligned}\quad (2.55)$$

donde:

d_i – longitud del lado

P – perímetro de la poligonal.

El error de cierre lineal relativo lo calculamos por la fórmula:

$$\frac{1}{\frac{P}{E_X}} = \frac{1}{\frac{P}{\sqrt{E_X^2 + E_Y^2}}} \quad (2.56)$$

Los incrementos de coordenadas corregidos los calculamos por las fórmulas:

$$\begin{aligned} \Delta X_c &= \Delta X + C_X \\ \Delta Y_c &= \Delta Y + C_Y \end{aligned} \quad (2.57)$$

Las coordenadas de los puntos de la poligonal las determinamos por las fórmulas:

$$\begin{aligned} X_i &= X_{i-1} \pm \Delta X_{ci} \\ Y_i &= Y_{i-1} \pm \Delta Y_{ci} \end{aligned} \quad (2.58)$$

Después de calcular las coordenadas de los puntos con los incrementos de coordenadas rectificadas debemos obtener al final del cálculo las coordenadas del punto inicial en las poligonales cerradas o las coordenadas del punto final en las poligonales de enlace; esta es la forma de controlar el cálculo.

Capítulo 3

ORIENTACIÓN

3.1 DESTINO, TIPOS Y PRECISIÓN DE LAS ORIENTACIONES

Las orientaciones son realizadas a fin de confeccionar los planos de los trabajos mineros en un sistema de coordenadas análogo al adoptado en la superficie, lo cual es indispensable para asegurar la precisión, la seguridad de los trabajos, así como preservar los objetos de la superficie de la influencia de las excavaciones mineras.

El objetivo concreto de la orientación es la determinación del acimut de un lado, trazado en la excavación minera y de las coordenadas de un punto de dicho lado. El momento crucial de la orientación es la determinación del acimut, pues el error cometido conduce al desajuste del plano completo de los trabajos mineros con respecto al plano de la superficie; los puntos más apartados tienen los errores máximos de localización. La figura 3.1a nos muestra una poligonal correcta trazada con línea continua y una poligonal trazada con línea discontinua desplazada, debido al error cometido en la orientación del lado de partida 1-2. Es evidente que el error va en aumento al alejarse los puntos del lado de partida (de orientación). Si el error del acimut es m_α , el punto n, situado a una distancia L del punto inicial se desplaza en este caso a:

$$m_{s, o} = \frac{m_\alpha}{\rho} L \quad (3.1)$$

Cuando L , por ejemplo, es igual a 1 000 m, y m_α es igual a 10', el error de la situación de n, será de 3 m, aproximadamente.

Según vemos en la figura 3.1b el error de las coordenadas del punto inicial es igual para todos los puntos, si el acimut del lado de partida 1-2 está correctamente determinado.

Además, el proceso de determinación del acimut adquiere gran importancia debido a que en la práctica resulta mucho más fácil llevar (con precisión necesaria) a la mina las coordenadas, que al acimut. Es por eso que el método de enlace de los levantamientos de la superficie con los de la mina lo denominamos orientación respecto al elemento principal determinante.

Los métodos conocidos de orientación son divididos en dos grupos:

1. Métodos geométricos.
2. Métodos físicos.

En los métodos geométricos, desde la superficie hasta el nivel a orientar de las excavaciones subterráneas, construimos un plano vertical y determinamos desde la superficie, mediante las mediciones angulares y lineales, el acimut del plano en el sistema de coordenadas adoptado. En la mina, usando distintos métodos, reali-

zamos el enlace respecto al plano vertical, y obtenemos de esta manera el acimut del lado de partida.

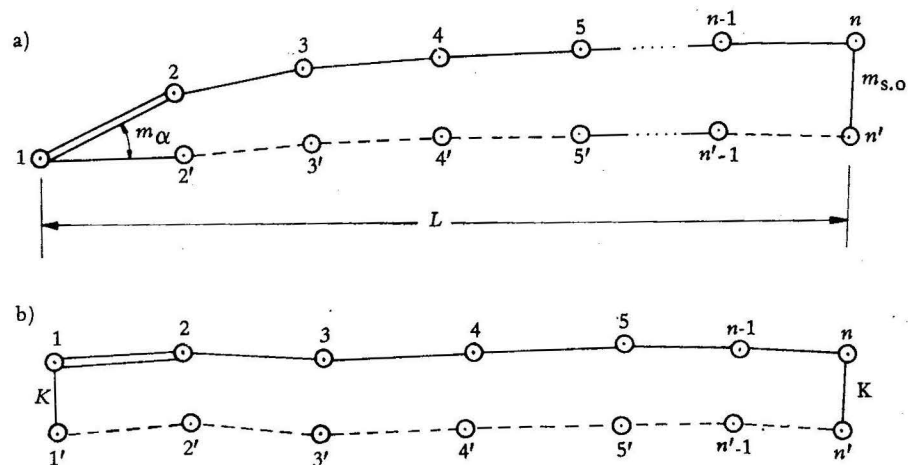


Fig. 3.1 Influencia de los errores de centración y orientación en el desplazamiento de los puntos de las poligonales

Los métodos físicos están basados en determinadas propiedades de la Tierra; en la actualidad se usan dos de ellos:

1. Magnético.
2. Giroscópico.

La precisión de la orientación depende de las tareas que debemos resolver y de la precisión requerida en los resultados. Se requiere por ejemplo una alta precisión de un orden de 5-10'' en los trabajos de construcción del metro, y en la apertura de túneles de gran extensión, pues dichas obras no deberán desviarse del trayecto planificado más de unos centímetros.

En los trabajos de explotación de yacimientos, a fin de garantizar una labor acertada y segura, la orientación debemos efectuarla con la debida precisión. Práctica y teóricamente está comprobado que en la mayoría de los casos el error permisible en la desviación de un punto extremo es igual a 1,5 m. Por el error permisible en la Topografía minera tomamos el doble del error medio cuadrático. Por eso en el caso nuestro, dicho error equivale a 0,75 m.

La posición exacta de un punto extremo depende de los errores de orientación, así como de los errores cometidos posteriormente al trazar las poligonales, de aquí se deduce que:

$$m_s^2 = m_{s.o}^2 + m_{s.p}^2 \quad (3.2)$$

donde:

m_s — error general en la situación del punto extremo

$m_{s.o}$ — error del punto mencionado, producto del error de orientación
 $m_{s.p}$ — error provocado por el trazado de la polygonal.

Para fundamentar la precisión necesaria de la orientación y del trazado de las poligonales nos valemos, generalmente, del principio de influencia igualada, en otras palabras $m_{s.o} = m_{s.p}$. De esta manera variamos las fórmulas anteriores:

$$m_s^2 = \pm 2 m_{s.o}^2 \quad (3.3)$$

$$m_s = \pm m_{s.o} \sqrt{2} \quad (3.4)$$

de aquí que:

$$m_{s.o} = \pm \frac{m_s}{\sqrt{2}} \quad (3.5)$$

Anteriormente señalamos que $m_s = 0,75$ m por lo que el error producto de la orientación estará dado por la siguiente expresión:

$$m_{s.o} = \frac{0,75 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,5 \text{ m}$$

Por tanto, el error en la posición del punto extremo de las excavaciones mineras, ocasionado tan solo por el de orientación, no excederá de 0,5 m. En base a ello y partiendo de la fórmula (3.1) es posible calcular el error promedio de orientación m_α en consonancia con la distancia entre el lado de partida y el punto extremo o, para un caso general, de acuerdo con la envergadura del campo minero:

$$m_\alpha = \pm \frac{m_{s.o}}{L} \rho = \pm \frac{0,5}{L} \rho \quad (3.6)$$

(donde L la tomamos en metros).

En la mayoría de los casos de la práctica minera el valor de L no supera los 1 500 m; en esos casos:

$$m''_\alpha = \pm \frac{0,5 \cdot 206\,265}{1\,500} = \pm 68''$$

En otras palabras se exige una precisión de aproximadamente 1'; esta precisión sirve generalmente de base para fundamentar la metodología de ejecución de las orientaciones.

Al efecto de realizar las orientaciones, en la superficie, a unos 200 m de la boca, colocamos puntos de partida, enlazados con ayuda de la poligonometría precisa con los puntos de la red de triangulación nacional.

A fin de tener un buen control, la orientación la efectuamos no menos de dos veces, y tratamos que la diferencia entre los acimut obtenidos en las distintas orientaciones realizadas no sea superior a $3'$. Como valor final del acimut en el subterráneo tomamos el valor promedio.

Deben ser materializados no menos de cuatro puntos con señales permanentes en el nivel de orientación. Dos de los puntos deben formar el lado de partida, y enlazar bien los dos restantes con los precedentes, para el control de la inmovilidad de los puntos del lado mencionado.

Conforme al esquema de apertura del yacimiento utilizamos los siguientes métodos de orientación geométrica:

1. A través de pozos inclinados o socavón.
2. A través de un pozo vertical.
3. A través de dos pozos verticales.

3.2 ORIENTACIÓN A TRAVÉS DE UN POZO INCLINADO O DE UN SOCAVÓN

En la figura 3.2 reproducimos el plano de un socavón, en el cual están materializados con ayuda de señales permanentes los puntos 3, 4, 5, 6 y C. Los puntos A y B de la superficie están enlazados con el sistema nacional de triangulación. Entonces la tarea de la orientación es determinar el acimut del lado 6-C y las coordenadas X_C y Y_C del punto C. Para ello entre los puntos B y C trazamos una poligonal midiendo los ángulos horizontales $\beta_B, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ y β_6 ; las longitudes de los lados $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ y l_7 , así como los ángulos de inclinación $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6$ y δ_7 .

La tarea de orientación la resolvemos en este caso por el método de la poligonometría. En dicho trabajo debemos usar la metodología y cálculos establecidos para la poligonometría precisa.

En la orientación a través de excavaciones abruptas (con ángulos de inclinación de más de $55-60^\circ$) se presentan grandes dificultades. En estos casos es recomendable usar teodolitos bien comprobados, y realizar tres mediciones independientes de los ángulos horizontales, centrando el teodolito al inicio de cada medición.

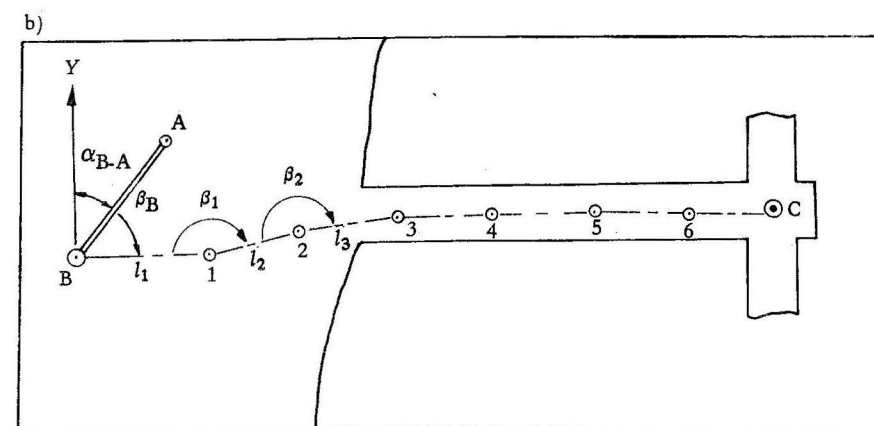
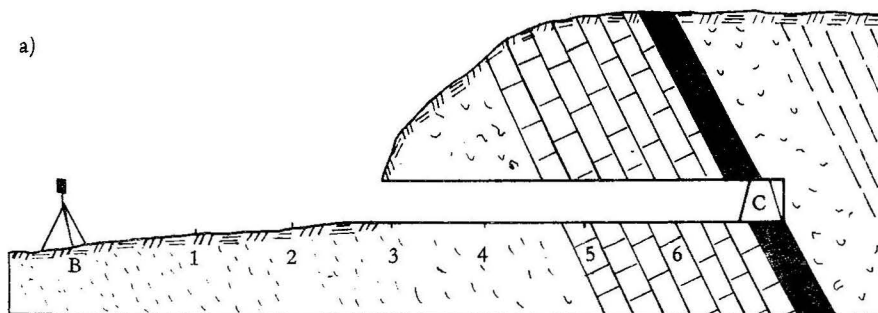


Fig. 3.2 Orientación a través de un socavón: a) corte vertical; b) en planta

3.3 ORIENTACIÓN POR UN POZO VERTICAL

El esquema del principio de la orientación por un pozo vertical está representado en la figura 3.3. En la superficie fijamos los puntos de acceso C y D y colgamos las plomadas A y B a través del pozo. Debemos determinar el acimut del lado C_1-D_1 y las coordenadas X_{C_1} y Y_{C_1} del punto C_1 en base a las coordenadas X_C , Y_C del punto C y el acimut conocido del lado D-C.

El principio de orientación geométrica por un pozo consiste en que el plano que atraviesan las plomadas, debemos tomarlo como un plano vertical, debido a lo cual el acimut que la línea A-B forma en la superficie es igual al acimut de la línea A_1-B_1 en el horizonte de orientación. La tarea general de orientación la descomponemos en este caso en dos tareas de solución independientes:

1. Tarea de proyección.
2. Tarea de enlace.

La primera tarea es proyectar, con una precisión de fracciones de milímetros, los puntos A y B desde la superficie al nivel de orientación. La tarea siguiente consiste en emplear todo el conjunto de mediciones angulares y lineales a fin de determinar el acimut de la línea de las plomadas AB en la superficie y transmitirlo al lado de partida C_1-D_1 . Lo específico aquí es que nos vemos imposibilitados de colocar el teodolito en los puntos A, B, A_1 , B_1 .

Las oscilaciones de las plomadas en la mina tienen cierta desviación promedio de su posición vertical, cuya magnitud denominamos *error de proyección*. El error de proyección de las plomadas A y B en las orientaciones efectuadas por un pozo vertical es el factor determinante de la precisión de la orientación.

Supongamos que la línea de las plomadas AB (fig. 3.4) en la superficie, tomó en la mina bajo la influencia de la ventilación, la posición A_1-B_1 , formando cierto

Sustituyendo en esa expresión los valores numéricos de las letras, tomamos: $\rho = 42''$, $\rho = 206\ 265$ y c (distancia entre plomadas) = 2, 3 y 4 m, obtendremos precisión de proyección necesaria de una plomada.

Distancia entre plomadas c (en m)	2	3	4
Precisión de la proyección e (en mm)	0,4	0,6	0,8

Los datos obtenidos muestran que las tareas de proyección debemos resolverlas con gran precisión, particularmente en pozos de gran profundidad, donde los errores de proyección van en considerable aumento. Además procuramos que las distancias entre las plomadas sean siempre lo más grandes posible.

Para llevar la dirección a la mina usamos, además de las plomadas de mina, los rayos visuales verticales o planos formados por instrumentos especiales. El método de proyección por plomada resulta el más simple y práctico.

La tarea de enlace en la orientación por un pozo vertical se resuelve por distintos métodos, de los cuales examinaremos los más difundidos en la práctica:

1. Método de enlace de los triángulos.
2. Método de enlace de los cuadriláteros.
3. Método de enlace simétrico (método de Fox).

Para efectuar la proyección de los puntos con plomadas de mina usamos los siguientes equipos:

1. Alambre de acero, de 0,5 a 2,0 mm de diámetro.
2. Dos ganchos de mano.
3. Dos poleas.
4. Dos láminas de centración.
5. Un juego de pesas.
6. Platos graduados de proyección.
7. Dos recipientes para aislar y estabilizar las plomadas.
8. Pesas menores, instrumentos de carpintería, clavos, etcétera.

Debemos usar alambre del menor diámetro posible, pero que posea buena resistencia a la tracción. El peso sujeto al alambre no debe exceder del 60% en su resistencia.

La resistencia a tracción del alambre de acero al carbón con los pesos correspondientes permisibles están expuestos en la tabla 8.

Tabla 8

Diámetro del acero (en mm)	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
Límite de resistencia a la tracción (en kg)	43	100	153	336	550
Peso permisible de las plomadas (en kg)	26	60	92	202	230
Largo de la varilla para un diámetro del peso de 250 mm (en cm)	30	40	50	100	150

Recomendamos emplear un alambre fino, aproximadamente de 1 mm de diámetro, en los pozos de una profundidad no superior a 300 m. Ya en profundidades mayores usaremos un alambre de 1 a 2 mm de diámetro.

El alambre cuya marca desconocemos es sometido a una prueba previa que consiste en colocar pesas en pedazos de 3-5 m de largo hasta romperlos, determinando de este modo su resistencia.

La construcción del peso de la plomada aparece en la figura 3.5, y está compuesto de los elementos siguientes:

1. Una varilla metálica (1), cuyo largo depende del peso que sujeta. Tiene en su parte superior un gancho para colgarlo del alambre y una rosca con tuerca para sujetarla al disco inferior.

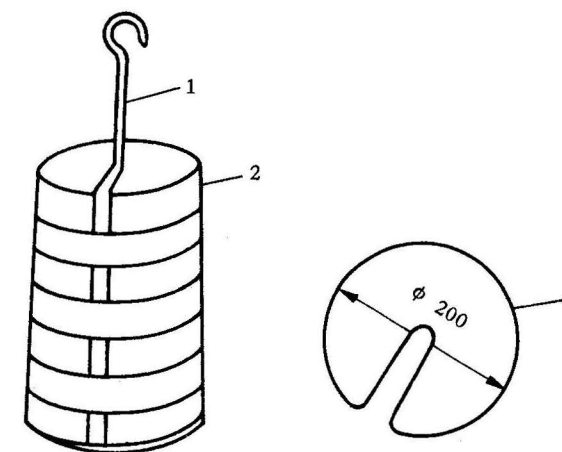


Fig. 3.5 Peso de la plomada

2. Un juego de discos metálicos de acero o hierro fundido (2), de 200 mm de diámetro y 50 mm de altura cada uno, con un corte radial para colocarlo en la varilla. La varilla la unimos al alambre por medio de un guardacabos que aparece en la figura 3.6.

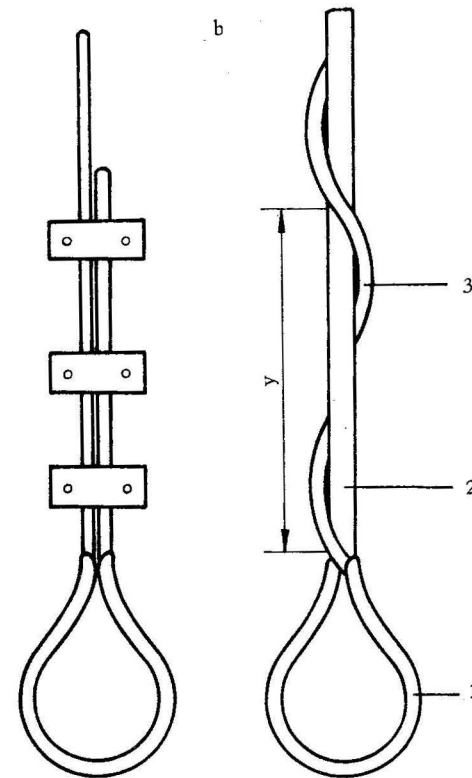


Fig. 3.6 Alambre para sujeción del peso 1, aro de sujeción del peso; 2, cable grueso; 3, cable fino torcido

El güinche manual (fig. 3.7) destinado a subir y bajar el alambre a la mina, debe estar provisto de dos trinquetes colocados a ambos lados del tambor y una palanca para manejarlo. La polea guía (fig. 3.8) cambia la dirección del alambre mientras que la lámina de centración asegura la inmovilidad del alambre en su punto superior en el proceso de orientación (fig. 3.9). Los puntos de suspensión de las plomadas los fijamos a unas barras especiales montadas sobre la torre.

Las pesas de las plomadas del nivel de orientación las colocamos en amortiguadores que son recipientes (generalmente barriles de metal) llenos de agua o aceite usado (lubricante de motor). Los amortiguadores limitan la amplitud de las oscilaciones de las plomadas, preservándolas también de la corriente de la ventilación y del goteo.

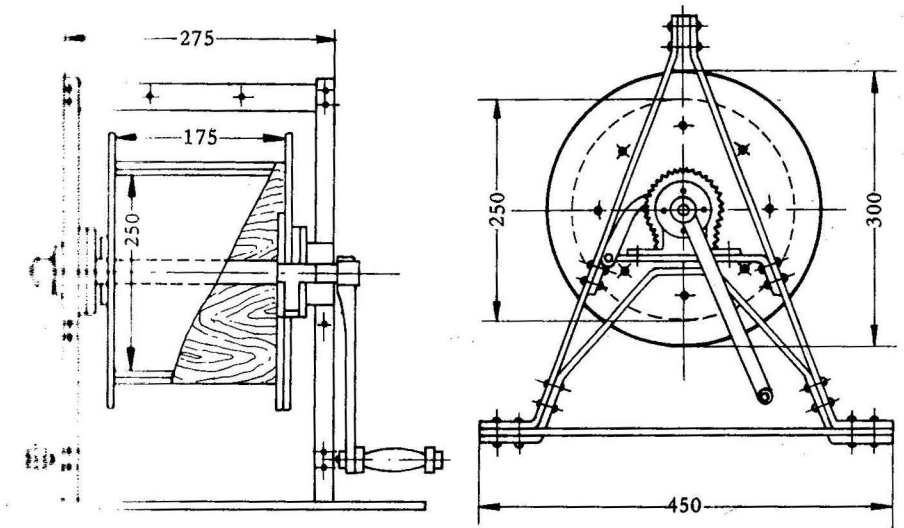


Fig. 3.7 Güinche manual

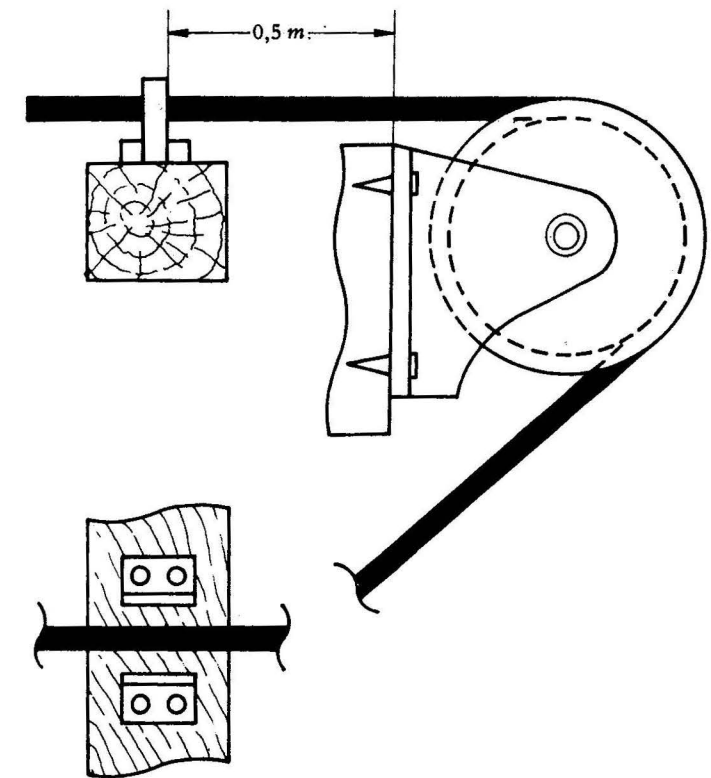


Fig. 3.8 Polea guía

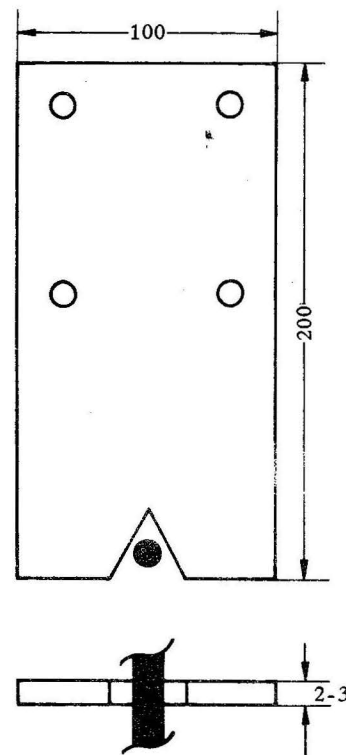


Fig. 3.9 Lámina de centración

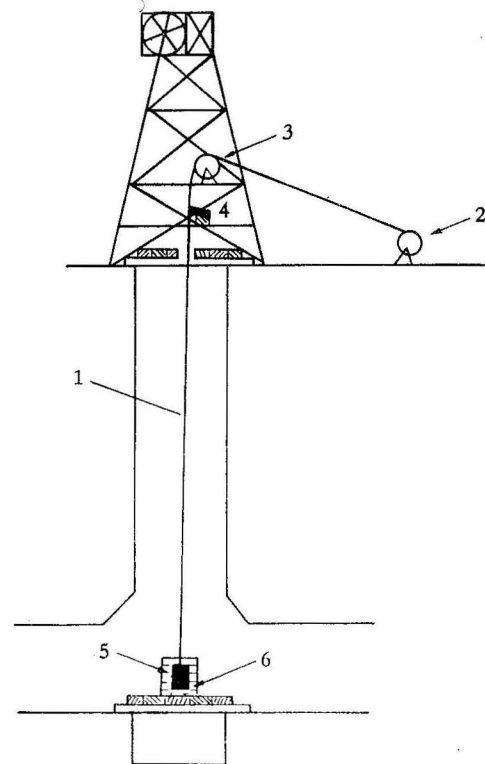


Fig. 3.10 Esquema para la situación del equipo en la orientación con plomadas de mira

En la figura 3.10 está representado el esquema de situación de las plomadas y del equipo durante el proceso de orientación. El alambre (1) de la plomada de mina, enrollado en el tambor del güinche (2), pasa por la polea guía (3), sigue por la lámina de centración (4), baja al nivel de orientación. La pesa de la plomada (5) la colocamos en el amortiguador (6).

El descenso de un punto a la mina podemos efectuarlo por plomada tanto inmóvil como oscilante. Bajo el término plomada inmóvil denominamos a una plomada cuya amplitud no sea mayor de 0,2 - 0,3 mm, fenómeno únicamente posible en los pozos de poca profundidad carentes de una fuerte corriente de aire y de goteo. El enlace lo llevamos a cabo ajustándolo directamente a los alambres de las plomadas de libre colgadura.

Cuando es imposible neutralizar el movimiento de la plomada, producto de la corriente o goteo, la tarea de orientación la cumplimos efectuando observaciones de las oscilaciones de la plomada, para calcular posteriormente su estado de reposo. Para lograr este objetivo usamos instrumentos con escalas, el tipo más difundido está representado en la figura 3.11. El instrumento, llamado plato graduado de

proyección está provisto de dos escalas M y N, a las cuales se hacen observaciones de las oscilaciones de las plomadas. Dichas observaciones pueden llevarse a cabo conforme a dos esquemas:

- a) con dos teodolitos (fig. 3.12);
- b) con un teodolito (fig. 3.13).

De los dos métodos empleados se le otorga una mayor preferencia al segundo método.

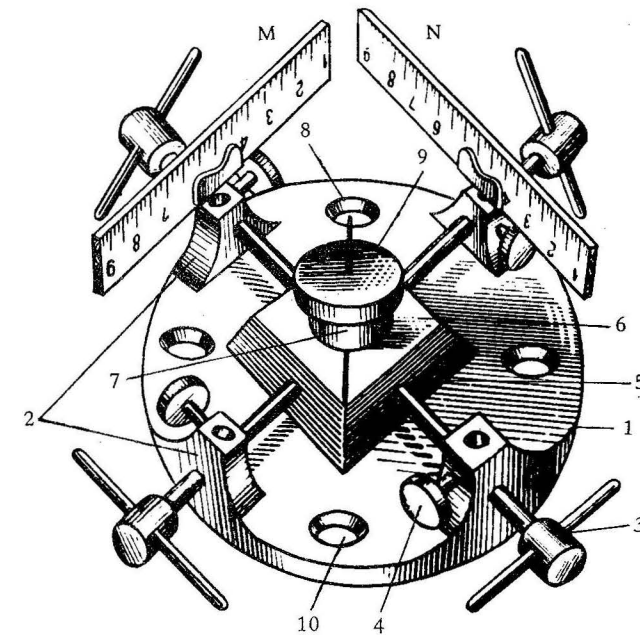


Fig. 3.11 Platos graduados de proyección: 1, plataforma del plato; 2, base del vástago; 3, vástago para fijar el cordel; 4, vástago de fijación; 5, plataforma interior; 6, borde superior de la plataforma interior; 7, cilindro inferior de la plataforma; 8, cable; 9, tornillo de fijación de la plataforma interior; 10, orificios de fijación del plato graduado; M y N escalas

Las observaciones de las oscilaciones de las plomadas, digamos para la escala N, se efectúan del modo siguiente: Hacemos mover la plomada en un plano paralelo al plano de la escala N y con ayuda del teodolito se toman lecturas en los extremos izquierdo y derecho de las oscilaciones de las plomadas, observándolas por la escala. En cada posición de la plomada se realizan de 10 - 12 lecturas. El valor de la lectura correspondiente al reposo absoluto de la plomada se calcula por la fórmula:

$$N = \frac{1}{2} \left[\frac{\sum a_i}{n} + \frac{\sum b_i}{m} \right] \quad (3.10)$$

donde:

$$\Sigma a_i = a_1 + a_2 + \dots + a_n; \quad \text{suma de las lecturas de escala tomadas en posición izquierda de la plomada} \quad (3.11)$$

$$\Sigma b_i = b_1 + b_2 + \dots + b_m; \quad \text{suma de las lecturas tomadas en la posición derecha de la plomada} \quad (3.12)$$

n — número de lecturas a la izquierda

m — número de lecturas a la derecha.

Una vez hecha la operación, hacemos oscilar a la plomada en un plano paralelo al plano de la escala M , volviendo a repetir el trabajo anteriormente descrito. Al emplear el esquema 1 (fig. 3.12), situaremos los teodolitos en los puntos A y B.

En el esquema 2 (fig. 3.13), nos valemos de un espejo (1) para obtener la imagen de la plomada y de la escala M .

El estado de reposo de la plomada M lo obtendremos de la fórmula:

$$M = \frac{1}{2} \left[\frac{\Sigma a'_i}{n'} + \frac{\Sigma b'_i}{m'} \right] \quad (3.13)$$

donde los elementos tienen el mismo significado.

Después de haber determinado el estado de reposo de las plomadas (N y M), con ayuda del teodolito hacemos coincidir los alambres con las lecturas n y m .

Si carecemos de fijador de ranura para meter el alambre, pero tenemos en su lugar una aguja, el alambre lo apartamos y hacemos coincidir la aguja con las lecturas n y m y efectuamos todas las mediciones con respecto a ella.

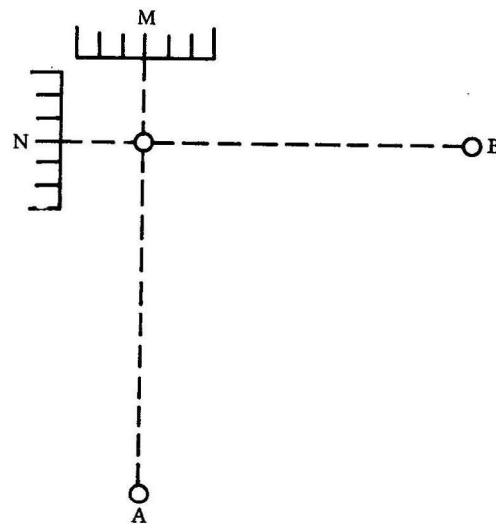


Fig. 3.12 Observaciones mediante dos teodolitos de las oscilaciones de la plomada: N y M, escalas; A y B teodolitos

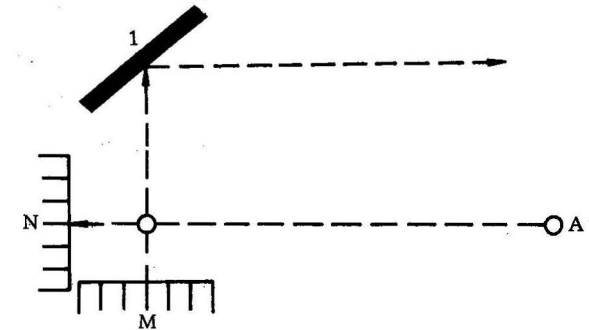


Fig. 3.13 Observaciones de las oscilaciones de las plomadas con un teodolito: A, teodolito; N y M, escalas; 1, espejo

3.4 ENLACE DE LAS PLOMADAS POR EL MÉTODO DE LOS TRIÁNGULOS

La figura 3.14 nos muestra el esquema de enlace por el método de los triángulos. En la superficie conocemos las coordenadas de los puntos C y D y el acimut α_{DC} . La tarea de enlace consiste en determinar el acimut del lado $C_1 D_1$ y las coordenadas del punto C_1 en el subterráneo.

Supongamos que la tarea de proyección de las plomadas está resuelta ya, o sea, que las plomadas se mantienen en estado de reposo. El enlace lo realizan simultáneamente dos brigadas, una en la superficie y otra bajo mina. En los puntos C y C_1 estacionamos los teodolitos y efectuamos las siguientes mediciones:

1. Medición de los ángulos horizontales ω y γ en la superficie y ω_1 y γ_1 bajo mina.
2. Medición de las longitudes a , b y c en la superficie y a_1 , b_1 y c_1 bajo mina.

Como resultado de todo esto, en la superficie y bajo mina quedan formados dos triángulos CAB y $C_1 A_1 B_1$, respectivamente.

Cada longitud debemos medirla no menos de 5 veces, siempre con la misma tensión de la cinta. La diferencia entre las mediciones independientes de una sola longitud no puede ser mayor de 2 mm.

Los ángulos debemos medirlos no menos de 2 veces cada uno con una precisión de hasta $10''$.

Elaboramos los resultados en el gabinete; calculamos primero los ángulos α y β del triángulo superior y los ángulos α_1 y β_1 del triángulo inferior, para lo que utilizamos la ley de los senos:

$$\begin{aligned} \text{sen } \alpha &= a \frac{\text{sen } \gamma}{c}; & \text{sen } \beta &= b \frac{\text{sen } \gamma}{c} \\ \text{sen } \alpha_1 &= a_1 \frac{\text{sen } \gamma_1}{c_1}; & \text{sen } \beta_1 &= b_1 \frac{\text{sen } \gamma_1}{c_1} \end{aligned} \quad (3.14)$$

o las fórmulas de las tangentes:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}$$

$$\tan \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}}$$

$$\tan \frac{\alpha_1}{2} = \sqrt{\frac{(p_1-b_1)(p_1-c_1)}{p_1(p_1-a_1)}}$$

$$\tan \frac{\beta_1}{2} = \sqrt{\frac{(p_1-a_1)(p_1-c_1)}{p_1(p_1-b_1)}}$$

donde:

$$p = \frac{1}{2} (a + b + c) \text{ y } p_1 = \frac{1}{2} (a_1 + b_1 + c_1)$$

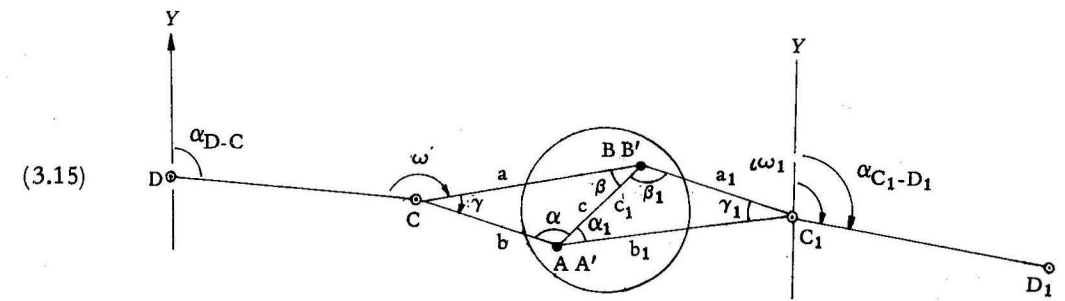
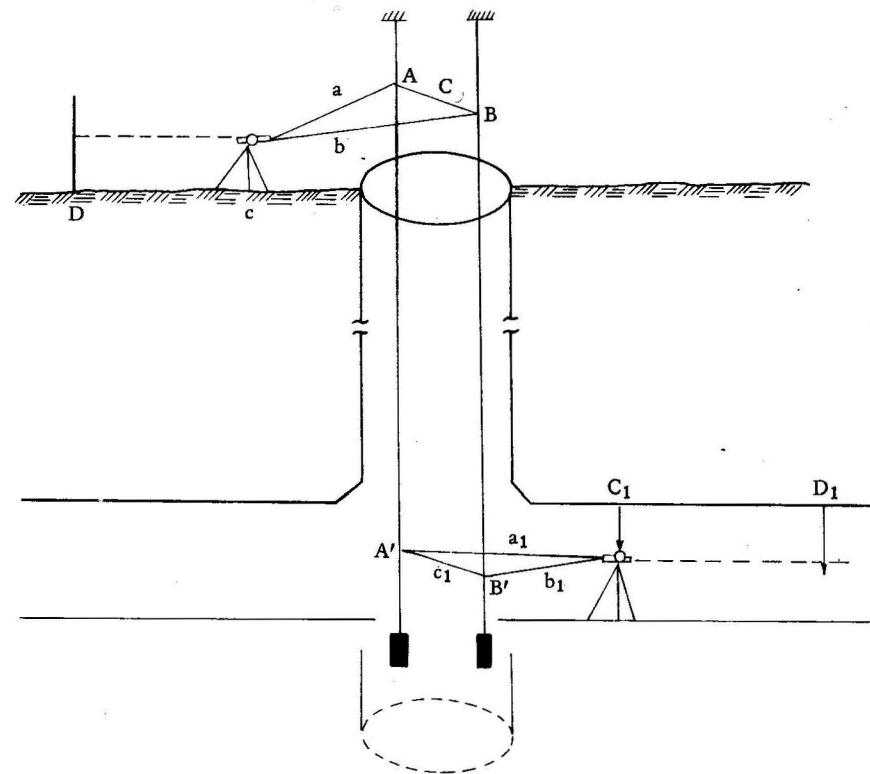


Fig. 3.14 Enlace por el método de los triángulos

La ley de los senos la usamos para el cálculo de los ángulos de las plomadas en los triángulos de forma alargada, en los cuales los ángulos α_1 o β son menores que 20° y los ángulos α o β_1 son mayores que 160° . En los triángulos de una forma muy alargada con los ángulos α_1 o β menores de 2° y los ángulos α o β_1 mayores que 178° , podemos emplear en lugar de la ley de los senos las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} \alpha'' &= a \frac{\gamma''}{c}; & \beta'' &= b \frac{\gamma''}{c} \\ \alpha_1'' &= a_1 \frac{\gamma_1''}{c_1}; & \beta_1'' &= b_1 \frac{\gamma_1''}{c_1} \end{aligned} \quad (3.16)$$

En los demás casos usamos las fórmulas de las tangentes.

A fin de ejecutar el control de la medición de los lados en los triángulos de enlace calculamos las longitudes de los lados c que enlazan las plomadas mediante la fórmula:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma \quad (3.17)$$

Los valores calculados de c los comparamos con las longitudes directamente medidas de los lados c y c_1 del triángulo superior e inferior respectivamente. La diferencia entre las longitudes calculadas y medidas no será superior a ± 3 mm en el triángulo superior y ± 5 mm en el triángulo inferior.

Al calcular el triángulo de enlace por la fórmula de las tangentes, calculamos también el ángulo γ , a fin de ejecutar el control, por la fórmula que sigue:

$$\tan \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}} \quad (3.18)$$

de modo que el ángulo calculado no tenga diferencia con el directamente medido en más de $2' 30''$.

Después de realizar los cálculos de los ángulos formados por las plomadas determinamos los errores angulares de cierre, deducidos de las fórmulas:

$$\Delta\omega = \alpha + \beta + \gamma - 180^\circ \quad (3.19)$$

$$\Delta\omega_1 = \alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 - 180^\circ$$

Los errores obtenidos los distribuimos por igual entre todos los ángulos, y calculamos el acimut del lado C_1D_1 :

$$\begin{aligned} \alpha_{CA} &= \alpha_{DC} + \omega + \gamma \pm 180^\circ \\ \alpha_{A_1C_1} &= \alpha_{CA} + \alpha + \alpha_1 \pm 180^\circ \\ \alpha_{D_1D_1} &= \alpha_{A_1C_1} + \gamma_1 + \omega_1 \pm 180^\circ \end{aligned} \quad (3.20)$$

suponiendo que las poligonales interceptan la plomada A (A_1). A fin de ejecutar el control calculamos una vez más el acimut del lado C_1D_1 , imaginándonos que la poligonal atraviesa esta vez la plomada B (B_1):

$$\begin{aligned} \alpha_{CB} &= \alpha_{DC} + \omega \pm 180^\circ \\ \alpha_{B_1C_1} &= \alpha_{CB} - (\beta + \beta_1) \pm 180^\circ \\ \alpha_{C_1D_1} &= \alpha_{B_1C_1} + \omega_1 \pm 180^\circ \end{aligned} \quad (3.21)$$

Ambos valores del acimut $\alpha_{C_1D_1}$ deben ser exactamente iguales.

En base a los acimut y a las longitudes de los lados calculamos los incrementos de las coordenadas con los cuales obtendremos finalmente las coordenadas del punto C_1 . Es recomendable calcular las coordenadas del punto C_1 por dos vías:

$$\begin{aligned} X_{C_1} &= X_C + b \sin \alpha_{CA} + b_1 \sin \alpha_{A_1C_1} \\ X_{C_1} &= X_C + a \sin \alpha_{CB} + a_1 \sin \alpha_{B_1C_1} \\ Y_{C_1} &= Y_C + b \cos \alpha_{CA} + b_1 \cos \alpha_{A_1C_1} \\ Y_{C_1} &= Y_C + a \cos \alpha_{CB} + a_1 \cos \alpha_{B_1C_1} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Con esto termina la tarea de enlace por el método de los triángulos.

Analizando el fenómeno de la influencia de los errores en las mediciones de los ángulos y longitudes de los triángulos de enlace en la precisión del traslado del acimut a la mina podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. Debemos procurar que la distancia C entre las plomadas sea lo más grande posible.

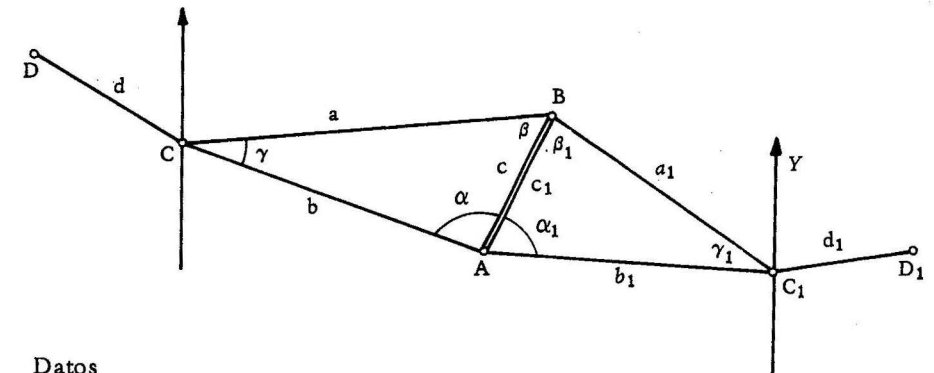
2. La forma más ventajosa del triángulo de enlace es una forma alargada con los ángulos α_1 y β próximos a 0° y los ángulos β_1 y α próximos a 180° .

3. En la orientación principal no se permite que los ángulos α_1 y β sean mayores de 20° y que los ángulos β_1 y α sean menores de 160° . Dicha condición puede ser despreciada tan solo en las orientaciones de poca importancia (secundarias), haciendo los cálculos de los ángulos, como ya dijimos anteriormente, por las fórmulas de las tangentes.

4. Los teodolitos debemos estacionarlos lo más cerca posible de las plomadas.

5. Los puntos D y D_1 deben situarse a la distancia máxima posible de los puntos C y C_1 .

A continuación exponemos un ejemplo del cálculo de una orientación por el método de los triángulos.



Datos

$$X_D = 1\,000,000$$

$$Y_D = 1\,500,000$$

$$\alpha_{DC} = 06^\circ 05' 10''$$

Mediciones en la superficie

$$\angle DCB = 210^\circ 09' 30''$$

$$\angle DCA = 210^\circ 34' 40''$$

$$a = 9,446$$

$$b = 6,124$$

$$c = 3,322$$

$$\gamma = 00^\circ 25' 10''$$

$$d = 38,420 \text{ m}$$

Mediciones en el subterráneo

$$\angle D_1C_1A_1 = 179^\circ 34' 10''$$

$$\angle D_1C_1B = 180^\circ 11' 30''$$

$$a_1 = 7,159$$

$$b_1 = 10,480$$

$$c_1 = 3,322$$

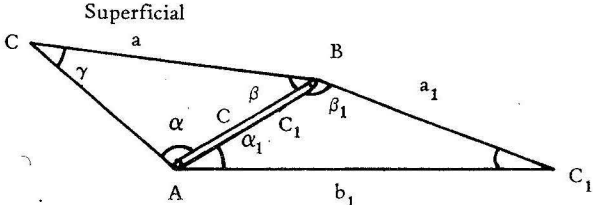
$$\gamma_1 = 00^\circ 37' 20''$$

$$d_1 = 44,320$$

Iniciaremos el cálculo resolviendo los triángulos en la superficie y en el subterráneo (ver tabla 9).

Fecha: 20 Enero 1975
 Cálculo: J. Pérez
 Lugar: Mina Tordera

Tabla 9

 Subterráneo				Fórmulas usadas $\text{Sen } \alpha = a \frac{\text{Sen } \gamma}{c}$ $\text{Sen } \beta = b \frac{\text{Sen } \gamma}{c}$ $c_c^2 = a^2 + b^2 - 2 ab \cos \gamma$				
Triángulo superficial								
1	a	9,446	4	γ	$00^{\circ}25'10''$	17	$\text{Cos } \gamma$	0,99997320
2	b	6,124	10	$\alpha = 180^{\circ} - \alpha$	$178^{\circ}48'26''$	18	$-2 ab$	115,694
3	c	3,322	11	β	$00^{\circ}46'24''$	19	d^2	89,227
5	Sen C	0,00732062	12	$\gamma + \alpha + \beta$	$180^{\circ}00'00''$	20	b^2	37,503
6	Sen C	0,00220368		Ángulos	verificados	21	C_0^2	11,039
7	Sen γ	0,02081596	13	γ		22	C_c	3,322
8	α'	$01^{\circ}11'34''$	14	α		23	C_m	3,322

9	Sen β	0,01349534	15	β		24	$C_c - C_m$	0,000
			16	$\gamma + \alpha + \beta$			Admisible	0,003
Triángulos subterráneos								
1	a_1	7,159	4	γ_1	$00^\circ 37' 20''$	47	$\cos \gamma_1$	0,99994103
2	b_1	10,480	10	γ_1	$01^\circ 20' 28''$	18	$-2 a_1 b_1$	150,052
3	c_1	3,322	11	$\beta_1 = 180 - \beta'_1$	$178' 02' 12''$	19	a_1^2	51,251
5	sen γ_1	0,01085961	12	$\gamma_1 + \alpha_1 + \beta_1$	$180^\circ 00' 00''$	20	b_1^2	109,830
6	$\frac{\text{sen } \gamma_1}{C_1}$	0,00326900		ángulos	verificados	21	$C_{c_1}^2$	11,038
7	sen α_1	0,02340277	13	γ_1		22	C_{c_1}	3,322
8	sen β_1	0,03425912	14	α_1		23	C_{m_1}	3,322
9	β_1	01 57 48	15	β_1		24	$C_{c_1} - C_{m_1}$	0,000
			16	$\gamma_1 + \alpha_1 + \beta_1$			Admisible	0,005

Revisó: A. Pérez
 Fecha: 25 Enero 1975

Cálculo del acimut $C_1 - D_1$

$$\alpha_{C-B} = \alpha_{D-C} + \angle DCB \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{C-B} = 36^\circ 14' 40''$$

$$\alpha_{B_1-C_1} = \alpha_{C-B} - (\beta + \beta_1) \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{B_1-C_1} = 37^\circ 26' 10''$$

$$\alpha_{C_1-D_1} = \alpha_{B_1-C_1} + \angle BC_1D_1 \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{C_1-D_1} = 37^\circ 14' 40''$$

Cálculo de las coordenadas

$$X_{C_1} = X_D + d \sin \alpha_{D-C} + a \sin \alpha_{C-B} + a_1 \sin \alpha_{B_1-C_1}$$

$$Y_{C_1} = Y_D + d \cos \alpha_{D-C} + a \cos \alpha_{C-B} + a_1 \cos \alpha_{B_1-C_1}$$

Sustituyendo los valores correspondientes tendremos:

$$X_{C_1} = 1\,014,117$$

$$Y_{C_1} = 1\,551,493$$

Las coordenadas del punto D_1 las calculamos por la expresión

$$X_{D_1} = X_{C_1} + d_1 \sin \alpha_{C_1-D_1}$$

$$Y_{D_1} = Y_{C_1} + d_1 \cos \alpha_{C_1-D_1}$$

Sustituyendo los valores:

$$X_{D_1} = 1\,040,940$$

$$Y_{D_1} = 1\,586,774$$

3.5 ENLACE DE LAS PLOMADAS POR EL MÉTODO DE LOS CUADRILÁTEROS

Este método lo usamos cuando no haya posibilidades de formar los triángulos de enlace óptimos en el subterráneo.

En la figura 3.15 está representado un esquema de enlace de las plomadas por medio de un cuadrilátero. A través del pozo hacemos descender las plomadas A y B y en las proximidades de la estación del pozo materializamos los puntos P_1 y P_2 . La tarea plantea determinar las coordenadas de los puntos P_1 y P_2 y el acimut del lado P_1P_2 . Suponiendo que la tarea de proyección esté resuelta, para resolver la tarea de enlace por el método del cuadrilátero, mediremos por medio

de tres repeticiones los ángulos $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 . Para relacionar los trabajos de enlace con los puntos de las poligonales subterráneas medimos el ángulo β_0 . Además, mediremos las distancias entre las plomadas A y B y entre los puntos P_1 y P_2 .

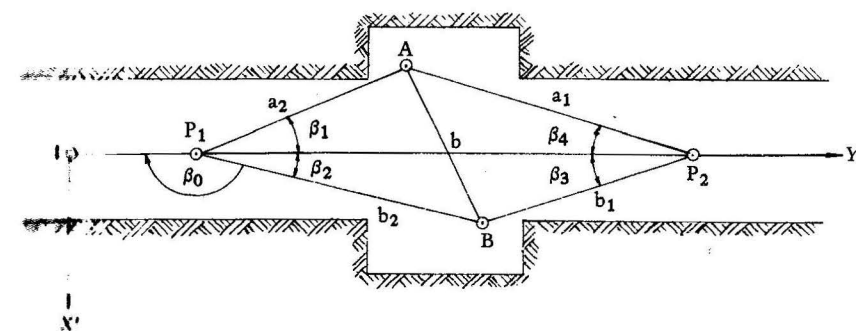
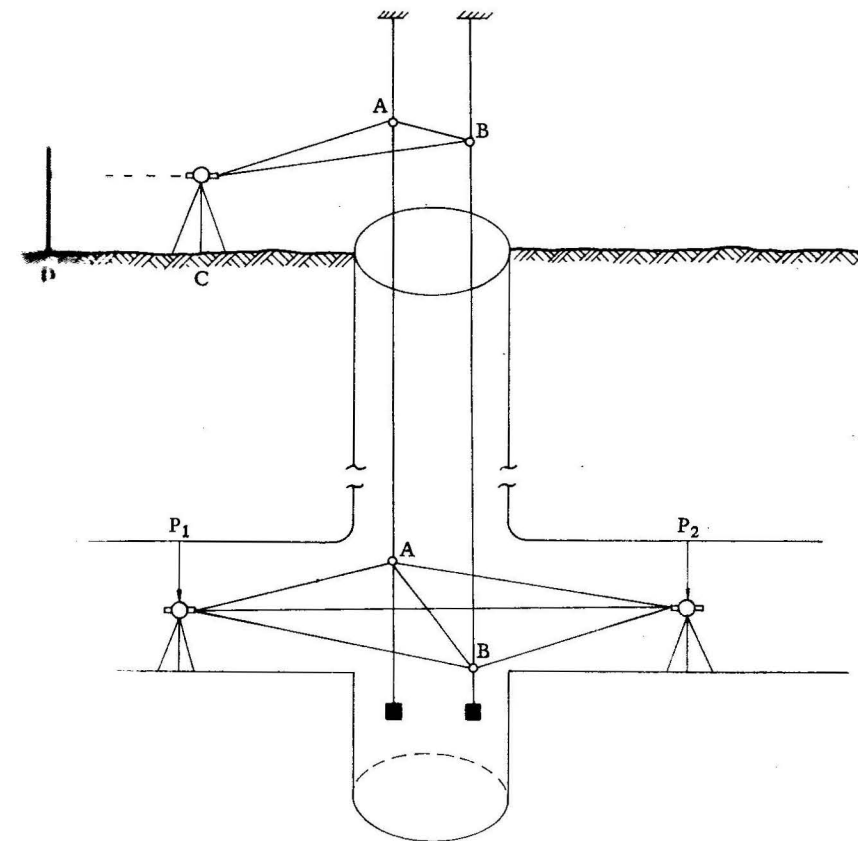


Fig. 3.15 Enlace por el método del cuadrilátero

La solución de la tarea podemos realizarla por varios de los métodos geodésicos conocidos. Analizaremos uno de los más fáciles, el método del acimut condicional.

El punto P_1 lo tomamos como origen de las coordenadas y hacemos coincidir la dirección P_1P_2 con el eje de las ordenadas. Empleando el método de la intersección directa calcularemos las coordenadas condicionales de las plomadas A y B y el acimut condicional α'_{A-B} de la línea que une a las plomadas.

En base a la diferencia del acimut α_{A-B} determinado en la superficie y del acimut condicional de esta dirección, determinaremos el acimut P_1-P_2 en el sistema de coordenadas que existe en la superficie.

El trabajo de gabinete de los datos iniciales consta de los siguientes pasos:

1. Cálculo de las coordenadas de las plomadas en el sistema condicional.

a) del triángulo P_1AP_2 por el teorema de los senos es posible calcular las longitudes de los lados a_1 y a_2 :

$$\begin{aligned} a_1 &= \text{sen } \beta_1 \frac{b}{\text{sen } \gamma} \\ a_2 &= \text{sen } \beta_4 \frac{b}{\text{sen } \gamma} \end{aligned} \quad (3.23)$$

donde:

$$\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_4)$$

b) determinar el acimut de los lados a_1, a_2 ;

c) cálculo de las coordenadas condicionales de la plomada A;

$$X'_A = a_2 \text{ sen } (360^\circ - \beta_1) = a_1 \text{ sen } (180^\circ + \beta_4) \quad (3.24)$$

$$X'_A = a_2 \cos (360^\circ - \beta_1) = b + a_1 \cos (180^\circ + \beta_4)$$

d) del triángulo P_1P_2B calculamos las coordenadas de la plomada B;

$$X'_B = b_2 \text{ sen } \beta_2 = b + b_1 \text{ sen } (180^\circ - \beta_3) \quad (3.25)$$

$$Y'_B = b_2 \cos \beta_2 = b + b_1 \cos (180^\circ - \beta_3)$$

2. Por las coordenadas condicionales calculamos el acimut de la línea de las plomadas y la longitud entre ambas:

$$\begin{aligned} \tan \alpha'_{A-B} &= \frac{X'_B - X'_A}{Y'_B - Y'_A} \\ C_c &= \frac{X'_B - X'_A}{\text{sen } \alpha'_{AB}} = \frac{Y'_B - Y'_A}{\cos \alpha'_{AB}} \end{aligned} \quad (3.26)$$

La distancia calculada entre las plomadas (C_c) la comparamos con la distancia medida directamente en la mina C_1 entre las plomadas. Tendremos entonces:

$$\Delta C = C_c - C_1 \leq 3 \text{ mm}$$

3. Cálculo del acimut y de las coordenadas de los puntos P_1 y P_2 en el sistema de coordenadas adoptado en la superficie.

El acimut lo calculamos de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \alpha_{P_1-P_2} &= \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B} \\ \alpha_{P_1-A} &= \alpha_{P_1-P_2} - \beta_1; \quad \alpha_{P_2-A} = \alpha_{P_1-P_2} \pm 180^\circ + \beta_4 \\ \alpha_{P_1-B} &= \alpha_{P_1-P_2} + \beta_2; \quad \alpha_{P_2-B} = \alpha_{P_1-P_2} \pm 180^\circ - \beta_3 \end{aligned} \quad (3.27)$$

donde:

α_{A-B} — acimut de la línea de las plomadas en el sistema de coordenadas adoptado en la superficie.

Las coordenadas de los puntos P_1 y P_2 las calculamos por las fórmulas:

$$\begin{aligned} X_{P_1} &= X_A + a_2 \text{ sen } \alpha_{A-P_1} = X_B + b_2 \text{ sen } \alpha_{B-P_1} \\ Y_{P_1} &= Y_A + a_2 \cos \alpha_{A-P_1} = Y_B + b_2 \cos \alpha_{B-P_1} \\ X_{P_2} &= X_A + a_1 \text{ sen } \alpha_{A-P_2} = X_B + b_1 \text{ sen } \alpha_{B-P_2} \\ Y_{P_2} &= Y_A + a_1 \cos \alpha_{A-P_2} = Y_B + b_1 \cos \alpha_{B-P_2} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Con el cálculo de las coordenadas de los puntos P_1 y P_2 concluye el método de enlace del cuadrilátero.

Al hacer uso del método anteriormente expuesto, a fin de efectuar el enlace debemos seguir las normas siguientes:

1. Usar dos teodolitos, estacionándolos en los puntos P_1 y P_2 .
2. Los puntos P_1 y P_2 deben colocarse lo más próximos posible a la línea de las plomadas AB, en posición simétrica respecto a estas.
3. El punto I debe situarse a la distancia máxima del punto P_1 .

3.6 ENLACE DE LAS PLOMADAS POR EL MÉTODO SIMÉTRICO (DE FOX)

Este método permite resolver de forma simultánea las tareas de proyección y enlace. Su esencia consiste en lo siguiente:

Al horizonte de orientación se bajan las plomadas A y B (fig. 3.16), por ambos lados de las plomadas a una distancia de 5 m aproximadamente y más o menos paralela a la línea AB fijamos los puntos P_1 y P_2 .

Debemos procurar que las líneas AB y $P_1 P_2$ se distancien lo menos posible una de la otra. En los puntos P_1 y P_2 estacionamos teodolitos, colocando al lado de las plomadas a una distancia de 8-10 cm de cada una de ellas y en el sentido perpendicular a la línea $P_1 - P_2$, las escalas M y N, cuyas caras deben estar dirigidas a los puntos $P_1 P_2$, respectivamente.

Para solucionar la tarea de proyección y de enlace hacemos las siguientes observaciones y mediciones:

1. El teodolito estacionado en el punto P_1 se apunta al punto P_2 y tomamos la lectura m en la escala M correspondiente a la posición $P_1 - P_2$.

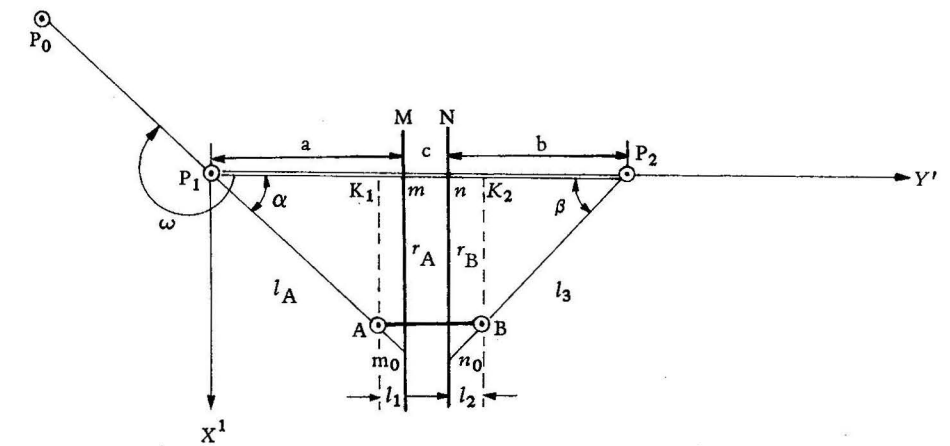
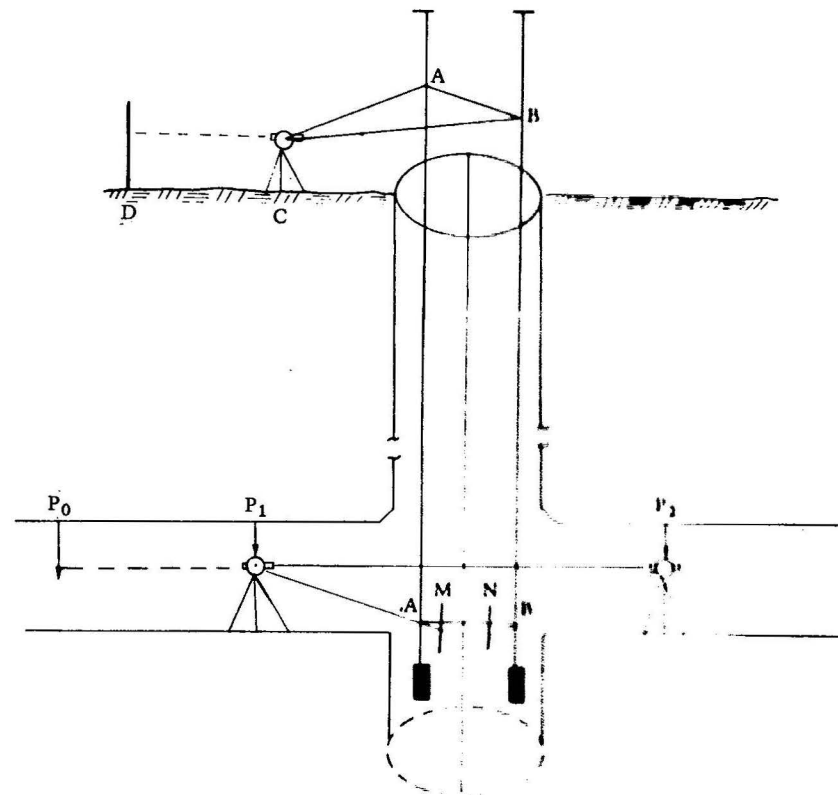


Fig. 3.16 Enlace por el método simétrico

2. Haciendo oscilar la plomada A en el plano de la escala M tomamos 15-18 lecturas en los puntos extremos de oscilación. Luego, por la fórmula dada en el epígrafe 3.3, calculamos la lectura m_0 , que corresponde al estado de reposo de la plomada A.

3. Dando la vuelta de campana al anteojo del teodolito volvemos a repetir las mediciones descritas en los incisos 1 y 2.

4. De esas dos series de observaciones sacaremos lecturas promedios m y m_0 correspondientes a la línea $P_1 - P_2$ y al estado de reposo de la plomada A.

5. Una operación análoga hacemos con el teodolito en el punto P_2 tomando las lecturas n y n_0 de la escala N que corresponden a la línea $P_2 P_1$ y al estado de reposo de la plomada B; las lecturas m , m_0 , n y n_0 debemos efectuarlas con una precisión de hasta 1 mm.

6. Con ayuda de una regla graduada en milímetros, mediremos las distancias l_1 y l_2 comprendidas entre las escalas M y N y las plomadas A y B. La regla la colocamos perpendicular a las escalas, de manera tal que la marca cero de esta coincida con el borde de la escala. Haciendo oscilar la plomada en el plano perpendicular a las escalas, tomamos 5-7 lecturas independientes para cada plomada en sus puntos extremos de oscilación. En base a las lecturas obtenidas, calculamos de la fórmula anteriormente expuesta los valores promedios de l_1 y l_2 . Las lecturas de la regla podemos tomarlas con una precisión de ± 1 mm.

7. Medimos las distancias a , b y c con una cinta, con una precisión de ± 1 mm. A fin de controlar las operaciones realizadas determinamos la distancia comprendida entre los puntos P_1 y P_2 , la que al obtenerse con la precisión exigida debe ser igual a la suma $(a + b + c)$.

8. Para poder enlazar la línea $P_1 P_2$ a la poligonal subterránea trazada en sus proximidades, medimos el ángulo ω .

Con el fin de determinar el acimut de la línea $P_1 P_2$ y calcular las coordenadas del punto P_1 vamos a introducir un sistema condicional de coordenadas para calcular las coordenadas de las plomadas A y B. El sistema mencionado está mostrado en la figura 3.16. Las coordenadas condicionales Y'_A y Y'_B las calculamos de las fórmulas:

$$\begin{aligned} Y'_A &= a - l_1 \\ Y'_B &= a + c = l_2 \end{aligned} \quad (3.29)$$

Las coordenadas X'_A y X'_B las determinamos partiendo de la semejanza de los triángulos $P_1 K_1 A$, $P_1 m m_0$, $P_2 B K_2$ y $P_2 n n_0$:

$$\frac{K_1 A}{P_1 K_1} = \frac{m m_0}{P_1 m} \quad \text{y} \quad \frac{K_2 B}{P_2 K_2} = \frac{n n_0}{P_2 n}$$

según la figura 3.16:

$$\begin{aligned} K_1 A &= X'_A; \quad P_1 K_1 = a - l_1; \quad m m_0 = m_0 - m = r_A; \quad P_1 m = a \\ K_2 B &= X'_B; \quad P_2 K_2 = b - l_2; \quad n n_0 = n_0 - n = r_B; \quad P_2 n = b \end{aligned}$$

de aquí que:

$$\begin{aligned} X'_B &= \frac{b - l_2}{b} r_B \\ X'_A &= \frac{a - l_1}{a} r_A \end{aligned} \quad (3.30)$$

El acimut de la línea $P_1 P_2$ lo obtenemos de la fórmula:

$$\alpha_{P_1 - P_2} = \alpha_{A - B} - \alpha'_{A - B} \quad (3.31)$$

donde:

$\alpha_{A - B}$ — acimut de la línea de las plomadas obtenido del enlace en la superficie
 $\alpha'_{A - B}$ — acimut condicional de la línea de las plomadas AB en el sistema anteriormente mencionado.

El acimut condicional $\alpha'_{A - B}$ lo determinamos por la fórmula:

$$\tan \alpha'_{A - B} = \frac{X'_B - X'_A}{Y'_B - Y'_A} \quad (3.32)$$

Tras haber puesto en la fórmula los valores de las coordenadas condicionales de las plomadas previamente calculados así como haber efectuado las transformaciones necesarias, obtenemos la fórmula siguiente:

$$\tan \alpha'_{A - B} = \frac{r_B \left(\frac{l - l_2}{b} \right) - r_A \left(l - \frac{l}{a} \right)}{c + l_1 + l_2} \quad (3.33)$$

Para determinar las coordenadas del punto P_1 del triángulo $AP_1 K_1$ hay que calcular el ángulo α y la longitud l_A ; lo que obtenemos de la fórmula:

$$\tan \alpha = \frac{r_A}{a}; \quad l_A = \frac{a - l_1}{\cos \alpha} \quad (3.34)$$

El acimut de la línea AP_1 será en este caso:

$$\alpha_{A - P_1} = \alpha_{P_1 - P_2} + \alpha \pm 180^\circ \quad (3.35)$$

Las coordenadas del punto P_1 podemos calcularlas por las fórmulas corrientes, es decir:

$$\begin{aligned} X_{P_1} &= X_A + l_A \sin \alpha_{A - P_1} \\ Y_{P_1} &= Y_A + l_A \cos \alpha_{A - P_1} \end{aligned} \quad (3.36)$$

Igualmente, solucionando el triángulo $BK_2 P_2$ es posible calcular las coordenadas del punto P_2 , mediante el cálculo previo del ángulo β y la longitud l_B , los cuales obtenemos de las fórmulas siguientes:

$$\tan \beta = \frac{r_B}{b}; \quad l_B = \frac{b - l_2}{\cos \alpha} \quad (3.37)$$

El acimut de la línea BP_2 será:

$$\alpha_{B - P_2} = \alpha_{P_2 - P_1} - \beta \pm 180^\circ \quad (3.38)$$

Finalmente las coordenadas del punto P_2 podemos calcularlas por las fórmulas:

$$\begin{aligned} X_{P_2} &= X_B + l_B \sin \alpha_{B - P_2} \\ Y_{P_2} &= Y_B + l_B \cos \alpha_{B - P_2} \end{aligned} \quad (3.39)$$

Al efectuar el enlace por el método de Fox debemos observar las siguientes recomendaciones:

1. Los puntos P_1 y P_2 deben quedar situados próximos a las plomadas, es decir, las longitudes a y b deben ser mínimas.
2. Debemos procurar que la distancia c entre las plomadas sea la máxima.
3. Debemos cuidar que los lados $P_1 P_2$ y el formado por la línea de las plomadas AB sean paralelos.
4. Las escalas M y N debemos colocarlas lo más cerca posible de las plomadas, y medir las distancias l_1 y l_2 con la máxima precisión posible.

Los métodos descritos anteriormente proporcionan la precisión necesaria; cumplidas todas las recomendaciones al respecto. El más difundido es el método de enlace por los triángulos. Sin embargo, al ser imposible construir triángulos alargados, aplicamos con éxito el método del cuadrilátero.

El método simétrico (de Fox), lo usamos en sustitución del método de los triángulos cuando faltan instrumentos de proyección. Para emplear este método siempre es factible encontrar dos escalas de cualquier material que posean una longitud de 20 - 25 cm.

3.7 ORGANIZACIÓN DE LAS LABORES EN LOS TRABAJOS DE ORIENTACIÓN

Antes de afrontar los trabajos de orientación debemos realizar ciertas labores de preparación, cuya tarea fundamental consiste en confeccionar el proyecto.

El cumplimiento riguroso de estos trabajos sirve de garantía para obtener un buen resultado y la precisión necesaria en la orientación. Antes de elaborar el proyecto de orientación es necesario seguir las instrucciones siguientes:

1. Efectuar el dibujo de la sección del pozo, su unión con la estación del pozo y las construcciones de la superficie.
2. Examinar la posibilidad de retirar los recipientes de elevación del pozo.
3. Analizar la posibilidad de reducir al mínimo la velocidad de la corriente de aire en el momento de los trabajos de orientación, así como conocer el carácter del goteo.
4. Cerciorarnos de la existencia del equipo necesario para llevar a cabo la orientación (materiales para cubrir el pozo y para la construcción de andamios).

Para la confección del proyecto de orientación, dibujamos a escala 1:50 el plano del pozo y de las excavaciones adyacentes, en este plano indicamos la situación de la armazón del pozo y de los puntos de acceso en la superficie. Después trazamos los lugares donde colocaremos las plomadas, situándolas a la mayor distancia posible una de otra; es importante que ubiquemos los lugares de colocación de los gúinches, poleas, vigas para las placas de centración, así como los andamios y barriles de amortiguación. Conforme a la posición de las plomadas respecto a

las construcciones de la superficie y a las excavaciones adyacentes del pozo, elegimos el método de enlace. Puede ocurrir en este caso que en la superficie y bajo mina sea más ventajoso aplicar distintos métodos de enlace, digamos, el método de enlace por el triángulo en la superficie y el de Fox bajo mina. Elaborado el proyecto, directamente en el lugar del trabajo, es necesario consultar el plano, comprobarlo y trazar los lugares de estacionamiento de los teodolitos y barriles de amortiguación, y escoger los métodos de sujeción de andamios, cubiertas, vigas y los lugares adecuados para su colocación.

De acuerdo con la profundidad del pozo elegimos el diámetro del alambre, el peso con que se trabaje, calculando también el alargamiento del alambre por la fórmula:

$$\Delta l = k \theta l \quad (3.40)$$

donde:

k — alargamiento de un alambre de 1 m de largo experimentando la acción de un peso de 1 kg, cuyos valores aparecen en el siguiente cuadro:

Diámetro del alambre (mm)	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
k — alargamiento de 1 m con 1 kg: (cm)	0,0255	0,0100	0,0064	0,0028	0,0016

θ — peso (en kg)

l — largo del alambre (en m)

Δl — alargamiento del alambre (en cm).

La orientación la realizan dos brigadas que trabajan en la superficie y en el nivel de orientación. La brigada número uno está formada por: topógrafo, ayudante, obrero y carpintero. La brigada número dos tiene: topógrafo, dos ayudantes, obrero y carpintero.

Antes de iniciar el trabajo entre las dos brigadas tenderán un cable telefónico o elaborarán un sistema sonoro de comunicación a fin de avisar la bajada o subida de las plomadas.

El trabajo lo realizarán en el orden siguiente:

1. El personal de la brigada número dos baja todos los instrumentos y equipos al nivel de orientación.
2. Los elevadores se colocan por encima de la plazoleta superior de admisión.

3. El personal de la brigada número dos se aparta del pozo, emitiendo una señal al respecto, a la brigada número uno.

4. La brigada número uno tapa la boca del pozo con una cubierta de tabloncillos gruesos.

5. La brigada número uno monta las vigas de las poleas y placas de centración, y selecciona también los lugares para los ganchos y poleas. El gancho y la polea correspondientes son colocados de modo tal que sus ejes estén paralelos. A la vez la brigada número dos después de poner el andamio, coloca una cubierta sobre la boca de la parte inferior del pozo, comunicándolo a la otra brigada.

6. Luego de haber dado la brigada número uno la señal de bajada de las plomadas la otra se aparta del pozo.

Las plomadas se bajan observando las siguientes normas:

A. Al bajar las plomadas, el peso debe ser de 3-5 kg. Las plomadas se bajan en orden sucesivo.

B. La bajada de las plomadas debe ser lenta (2 m/s). Deben detenerse cada 50 m para amortiguar las oscilaciones de estas.

C. Hay que tener mucho cuidado con el alambre durante la bajada, pasando necesariamente por entre las manos del responsable.

D. Las plomadas no deben llegar hasta el mismo nivel de orientación, sino que debemos dejar un trecho para el estiramiento de la plomada, luego de haberla cargado con el peso previsto, debido a lo cual esta bajará hasta el nivel correspondiente.

7. Una vez recibidas las plomadas en el nivel de orientación la brigada número dos construye bajo las plomadas, a una altura de 1,5 m del suelo de la estación del pozo, andamios para colocar los platos graduados de proyección. Sobre los orificios hechos en el andamio (de 8-10 cm de diámetro), se colocan dichos platos. Las plomadas se pasan a través de los agujeros de los platos y a partir de este momento comenzamos a colocarle pesos hasta alcanzar el requerido para el trabajo.

8. La verificación de la posición libre de las plomadas (cuando no toquen la fortificación), la efectuaremos por:

- luz;
- correspondencia;
- tiempo de oscilación de las plomadas;
- comparando las distancias entre las plomadas;
- medidas en el horizonte de orientación y en la superficie.

La verificación con la luz consiste en que en el nivel de orientación mueven, en torno de la plomada, una fuente de luz, por ejemplo una lámpara de mina. Si la luz se deja observar sin desaparecer, se considera que la plomada cuelga libremente. Pero el método expuesto podemos aplicarlo tan solo en profundidades pequeñas.

El método de verificación por correspondencia consiste en lo siguiente: en la superficie, se deja caer libremente un anillo de 2-3 cm de diámetro (fabricado de un alambre liviano) si el anillo baja sin detenerse hasta el nivel de orientación, se supone que la plomada está colgada libremente. Para el control recomendamos bajar dos o tres anillos.

En la comprobación de la posición de la plomada por el tiempo de oscilación de esta partimos de la suposición de que la plomada representa de por sí un tipo de péndulo, calculando el semiperíodo de oscilación por la fórmula:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.41)$$

donde:

t — semiperíodo o tiempo de oscilación de la plomada entre los puntos extremos (en s)

π — 3,14

l — largo de la plomada (en m)

g — aceleración de la gravedad (en m/s²).

En el caso de haber correspondencia entre los valores de t (observado y calculado), se supone que la plomada cuelga libremente en el pozo.

Las mediciones de longitudes en la superficie y en el subterráneo deben ser objeto de comparación, admitiéndose una diferencia no mayor de 2 mm.

9. En el nivel de orientación se le da solución al problema de proyección calculando también los estados de reposo de las plomadas.

10. Las brigadas efectúan el enlace por los métodos establecidos.

3.8 ORIENTACIÓN POR DOS POZOS VERTICALES

Cuando se da el caso de dos pozos en una mina, enlazados por una excavación, la orientación la efectuamos haciendo descender por cada pozo una sola plomada (fig. 3.17). Del punto de acceso de la superficie M a cada plomada trazamos una poligonal, que en el caso nuestro tiene el recorrido M - I - A hacia la plomada A en la cual medimos los ángulos horizontales β'_M y β_I y las longitudes l_I y l_A . Al hacer el recorrido M - II - III - B hacia la plomada B mediremos los ángulos horizontales β''_M , β_{II} , β_{III} y las longitudes l_{II} , l_{III} y l_B .

Dichas mediciones son suficientes para, valiéndonos de las coordenadas conocidas de los puntos M y N, calcular las coordenadas de las plomadas A y B. En la mina también trazamos entre las plomadas A y B la poligonal A-1-2-3-4-5-B, en la cual medimos los ángulos β_1 , β_2 , β_3 , β_4 y β_5 y las longitudes l_1 , l_2 , l_3 , l_4 , l_5 y l_6 .

Las mediciones de los ángulos y las longitudes en la superficie y en la mina las efectuamos de acuerdo con las normas establecidas para las poligonales precisas.

Al realizar la orientación a través de dos pozos verticales resolvemos el problema de la proyección debido a la gran distancia entre las plomadas, lo que origina

que no se requiera gran exactitud en esta tarea como en los casos de orientación por un pozo.

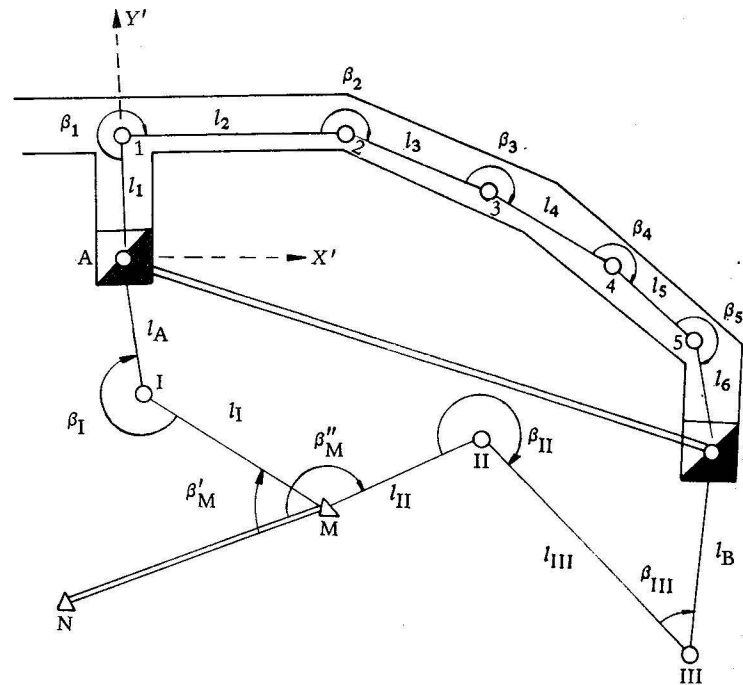


Fig. 3.17 Orientación por dos pozos verticales

En el epígrafe 3.3 hicimos la deducción de la fórmula (3.9), válida para calcular la precisión lineal necesaria de la proyección en función de la distancia c entre las plomadas, así como para el cálculo del error angular necesario de proyección que tiene la fórmula:

$$e = \pm \frac{\theta c}{\rho}$$

Sustituyendo en esta fórmula los valores de c y θ que son iguales a 50 m y 20'' respectivamente, obtendremos un valor de $e = \pm 5$ mm.

Esta precisión en la proyección es fácil de obtener al apuntar tan solo la cruz filar del anteojo del teodolito al punto medio de las oscilaciones de las plomadas. El uso de los platos graduados de proyección lo hacemos exclusivamente en los casos de existir en la mina una fuerte corriente de aire y goteo y cuando la distancia entre las plomadas sea menor de 30 m.

El orden del trabajo en la orientación por dos pozos es el siguiente:

1. Elaboramos los ángulos y las longitudes de las poligonales medidas en la superficie y en la mina.

2. De las poligonales trazadas en la superficie calculamos en el sistema nacional las coordenadas de las plomadas A y B usando en nuestro caso concreto las fórmulas:

$$X_A = X_M + l_1 \sin \alpha_{M-I} + l_A \sin \alpha_{I-A}$$

$$Y_A = Y_M + l_1 \cos \alpha_{M-I} + l_A \cos \alpha_{I-A}$$

$$X_B = X_M + l_{II} \sin \alpha_{M-II} + l_{III} \sin \alpha_{II-III} + l_B \sin \alpha_{III-B} \quad (3.42)$$

$$Y_B = Y_M + l_{II} \cos \alpha_{M-II} + l_{III} \cos \alpha_{II-III} + l_B \cos \alpha_{III-B}$$

3. De las coordenadas de los puntos A y B calculamos el acimut y el largo de la línea AB en la superficie valiéndonos de las fórmulas:

$$\tan \alpha_{A-B} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \quad (3.43)$$

$$L_{A-B} = \frac{Y_B - Y_A}{\cos \alpha_{A-B}} = \frac{X_B - X_A}{\sin \alpha_{A-B}} \quad (3.44)$$

4. Adoptando un sistema condicional de coordenadas con origen en el punto A ($X'_A = 0$ y $Y'_A = 0$) y el eje Y' coincidiendo con la línea A-1, o sea, que $\alpha'_{A-1} = 0$.

A continuación procedemos al cálculo de los acimut en el sistema condicional:

$$\alpha'_{A-1} = 0$$

$$\alpha'_{1-2} = \alpha'_{A-1} + \beta_1 \pm 180^\circ$$

$$\alpha'_{2-3} = \alpha'_{1-2} + \beta_2 \pm 180^\circ \quad (3.45)$$

$$\alpha'_{5-B} = \alpha'_{4-5} + \beta_5 \pm 180^\circ$$

Las coordenadas de la plomada B en el sistema condicional de coordenadas las obtenemos de las fórmulas:

$$X'_B = l_1 \sin \alpha'_{A-1} + l_2 \sin \alpha'_{1-2} + \dots + l_6 \sin \alpha'_{5-B} \quad (3.46)$$

$$Y'_B = l_1 \cos \alpha'_{A-1} + l_2 \cos \alpha'_{1-2} + \dots + l_6 \cos \alpha'_{5-B}$$

5. De las coordenadas condicionales de las plomadas calculamos el acimut condicional y el largo del lado AB en la mina:

$$\tan \alpha'_{AB} = \frac{X'_B}{Y'_B} \quad (3.47)$$

$$L'_{AB} = \frac{Y'_B}{\cos \alpha'_{AB}} = \frac{X'_B}{\sin \alpha'_{AB}} \quad (3.48)$$

6. Se determina la diferencia entre las longitudes L y L' (distancia entre plomadas), las cuales hemos determinado sobre la base de las condiciones tomadas en la superficie y las tomadas en el sistema condicional.

$$E_S = L'_{AB} - L_{AB} \quad (3.49)$$

La diferencia no deberá ser mayor del valor

$$E_{s.a} = \frac{1}{5\,000} P \quad \text{cuando} \quad P \leq 1 \text{ km} \quad (3.50)$$

$$E_{s.a} = \frac{1}{3\,000} P \quad \text{cuando} \quad P > 1 \text{ km}$$

donde:

P — suma de las longitudes de todas las poligonales medidas en la superficie y en la mina.

7. Calculamos el acimut α_{A-1} del primer lado A-1 de la poligonal subterránea, haciendo dichos cálculos en el sistema nacional de coordenadas adoptado en la superficie:

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B} (+360^\circ) \quad (3.51)$$

Si la diferencia es negativa le sumamos 360° . La deducción de esta fórmula es evidente si observamos la figura 3.18.

donde:

α_{A-B} — acimut de la línea AB en el sistema nacional

α'_{A-B} — acimut de la línea AB en el sistema condicional de coordenadas.

8. Calculamos los acimut de los lados restantes de la poligonal subterránea en el sistema nacional de coordenadas.

Las fórmulas usadas son:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{A-1} + \beta_1 \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + \beta_2 \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{5-B} = \alpha_{4-5} + \beta_5 \pm 180^\circ$$

Los cálculos de los acimut pueden ser controlados por las fórmulas:

$$\alpha_i = \alpha'_i + \Delta\alpha \quad (3.52)$$

$$\Delta\alpha = \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B}$$

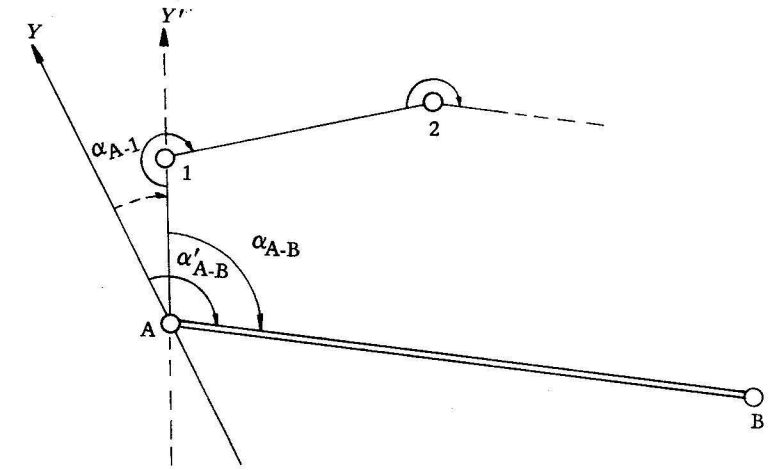


Fig. 3.18 Esquema para la determinación del acimut del primer lado en la orientación por los pozos verticales

9. De las fórmulas conocidas calculamos los incrementos de las coordenadas de la poligonal subterránea en el sistema nacional de coordenadas.

10. Calculamos las diferencias entre los incrementos de las coordenadas según las fórmulas:

$$E_Y = \Sigma \Delta Y_i - (Y_B - Y_A) \quad (3.53)$$

$$E_X = \Sigma \Delta X_i - (X_B - X_A)$$

donde:

$\Sigma \Delta Y_i$ y $\Sigma \Delta X_i$ — suma de los incrementos de las coordenadas de la poligonal subterránea

$(X_A, Y_A), (X_B, Y_B)$ — coordenadas de las plomadas A y B obtenidas por medio de los cálculos de la poligonal en la superficie.

Calculamos el error lineal general E_s por la fórmula:

$$E_s = \pm \sqrt{E_X^2 + E_Y^2} \quad (3.54)$$

El error lineal obtenido debe ser igual al error E_s obtenido en el inciso 6, fórmula (3.49).

11. Los errores E_X y E_Y los distribuimos proporcionalmente entre todos los incrementos de acuerdo con las longitudes de los lados, o sea:

$$\Delta X_{i.c} = \Delta X_i + C_{X_i} \quad (3.55)$$

$$\Delta Y_{i.c} = \Delta Y_i + C_{Y_i}$$

donde:

$\Delta X_i \cdot c$ y $\Delta Y_i \cdot c$ — incrementos rectificados de las coordenadas de un lado de la poligonal subterránea

ΔX_i y ΔY_i — incrementos de las coordenadas calculados conforme a lo expuesto en el inciso 9

C_{X_i} , C_{Y_i} — correcciones de los incrementos calculados por las fórmulas:

$$\begin{aligned} C_{X_i} &= -\frac{E_X}{P_M} l_i \\ C_{Y_i} &= -\frac{E_Y}{P_M} l_i \end{aligned} \quad (3.56)$$

P_M — perímetro de la poligonal subterránea

l_i — longitud del lado.

12. Sobre la base de los incrementos de las coordenadas calculamos las coordenadas de todos los puntos de la poligonal subterránea, tomando la plomada A como el punto de partida. Finalmente calculamos las coordenadas de la plomada B que deben coincidir con las coordenadas de esta, obtenidas en base a la poligonal de la superficie (véase el inciso 2), siendo dicha operación el control sobre los cálculos realizados.

Todos los cálculos los llevamos a cabo en hojas de cálculo idénticas a las usadas en poligonometría.

A fin de ejercer un control sobre todo el conjunto de mediciones en la superficie y en la mina hay que calcular el acimut del lado 1-2, rehaciendo estas. La diferencia máxima de los acimut de este lado obtenidas en ambas orientaciones no debe exceder de 3'.

Al efectuar la orientación por dos pozos verticales hay que procurar que las poligonales en la superficie y en la mina tengan la cantidad mínima posible de puntos y que sus formas se aproximen a las poligonales alargadas.

Para la organización óptima del trabajo de orientación recomendamos la siguiente sucesión:

1. Trazar la poligonal en la superficie con medición de los ángulos y longitudes, salvo los directamente adyacentes a las plomadas A y B, que son en nuestro caso (fig. 3.17) los ángulos β_I y β_{III} y las longitudes l_A y l_B .

2. Al mismo tiempo con la otra brigada podemos efectuar todo tipo de mediciones de la poligonal subterránea, excluyendo los ángulos y los lados adyacentes a las plomadas A y B, en el caso nuestro los ángulos β_1 y β_4 y las longitudes l_1 y l_6 .

3. Una vez bajada la plomada por uno de los pozos, ambas brigadas hacen el enlace simultáneo en la superficie y en la mina, o sea que miden los ángulos β_I y β_1 y las longitudes l_A y l_1 en la superficie y en la mina, respectivamente.

4. Un enlace análogo debemos hacerlo con respecto a la segunda plomada.

3.9 ORIENTACIÓN MAGNÉTICA

La orientación magnética se basa en la propiedad de la aguja magnética de estabilizarse en el plano del meridiano magnético.

El esquema de la orientación magnética está representado en la figura 3.19. En la orientación magnética, es necesario determinar la corrección λ , llamada declinación del meridiano magnético. Para ello escogemos en la superficie un lado A-B con acimut conocido. Haciendo uso del instrumento con la aguja magnética medimos el acimut de dicho lado. La declinación del meridiano magnético será:

$$\lambda = \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B} \quad (3.57)$$

donde:

α_{A-B} — acimut del lado A-B

α'_{A-B} — acimut magnético del mismo lado.

En el nivel de orientación medimos el acimut magnético α'_{1-2} del lado 1-2 y luego de haber introducido la corrección de la declinación del meridiano magnético, calculamos el acimut de este lado valiéndonos de la fórmula:

$$\alpha_{1-2} = \alpha'_{1-2} + \lambda \quad (3.58)$$

En los casos de necesidad introducimos la corrección por la convergencia de los meridianos estudiadas con anterioridad.

Para la transmisión de las coordenadas por el pozo de la mina bajamos una plomada trazando hacia ella poligonales en la superficie y en la mina.

En la orientación magnética usamos instrumentos especiales que permiten realizar mediciones de los acimut magnéticos con la precisión necesaria (de orden de 1-2').

Pese a su sencillez la orientación magnética presenta dificultades considerables en su empleo, una de las cuales es la variación de la declinación magnética con el transcurso del tiempo. Estas variaciones se dividen en: diarias, anuales, seculares y simultáneas (tormentas magnéticas). Las desviaciones magnéticas diarias pueden ascender hasta 15' - 20'.

Con vistas a evitar la influencia del tiempo en la aguja magnética, aplicamos una metodología especial de orientación que asegure un control sobre la desviación magnética en la superficie. Durante todo el proceso de orientación debemos tomar en consideración en la elaboración final de los resultados cualquier desviación mag-

nética observada. Está prohibido efectuar orientaciones durante la existencia de tormentas magnéticas.

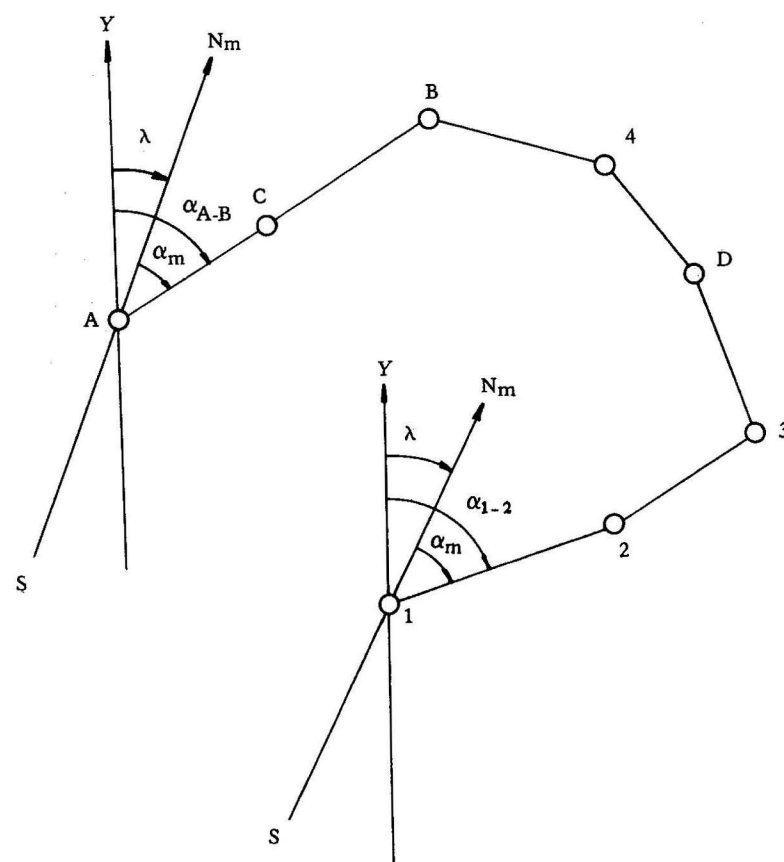


Fig. 3.19 Orientación magnética

La desviación de la aguja magnética bajo la influencia de minerales, masas magnéticas y corriente eléctrica, también es una deficiencia grande de la orientación mencionada. Sobre la aguja magnética actúan las masas volcánicas, hierro magnético y otros minerales ferrosos, ejerciendo así mismo su influencia las masas magnéticas de las minas tales como: raíles, mecanismos metálicos y los cables eléctricos de los trenes. Sin perjudicar directamente la posición de la aguja, el escape de corriente alterna puede, por medio de sus corrientes parásitas, afectar también a la aguja.

Es por eso que en la actualidad la orientación magnética solo es permitido usarla en la orientación de minas pequeñas o niveles aislados cuyas excavaciones no tengan gran extensión.

En las regiones que no exista red geodésica, es posible emplear la orientación magnética en las minas con el objetivo de determinar los elementos del sistema condicional de coordenadas.

Los trabajos debemos realizarlos con gran minuciosidad siempre y cuando al aplicar la orientación magnética, evitemos situar los instrumentos magnéticos en las proximidades de las masas férreas o cables eléctricos. A fin de ejercer el control de los acimut de cada lado es necesario medirlos en sus dos extremos.

La diferencia entre los acimut de un solo lado calculada en los puntos extremos no sobrepasará de 3'. La diferencia entre los acimut magnéticos de un solo lado calculada de distintas orientaciones magnéticas no excederá de 5', pudiendo ascender a 10' cuando se trate de la orientación en las minas con una distancia entre el pozo y los límites del campo minero no mayor de 700 m.

3.10 MÉTODOS ESPECIALES DE ORIENTACIÓN

Prácticamente en todos los casos del laboreo de los minerales, así como en el laboreo de las capas contiguas, abruptas y potentes, necesitamos efectuar excavaciones con pendientes abruptas o verticales (como pozos ciegos, chimeneas y contrapozos), los que enlazan las excavaciones de preparación y de arranque en sus distintos niveles. Debido a que en muchos casos es difícil e incluso imposible tender una poligonal cualquiera en las excavaciones abruptas, sin hablar ya de las verticales, se plantea el problema del enlace de los levantamientos de distintos niveles por métodos de orientación especiales. No se requiere que dichas orientaciones se realicen con gran precisión, pues estas no son de gran importancia. Es por eso que los métodos que se emplean en esas orientaciones, aunque no son muy precisos, tampoco requieren trabajos voluminosos en comparación con los anteriormente descritos.

En las orientaciones de las excavaciones mencionadas podemos usar, además de los métodos explicados, los siguientes:

1. Método del cordel inclinado y de las plomadas auxiliares.
2. Método de la plomada quebrada.
3. Método de las plomadas en una línea continua.
4. Método de una plomada y cordel tangente.
5. Con ayuda de la brújula.

Método del cordel inclinado y de las plomadas auxiliares

En el contrapozo, entre el nivel principal y el de orientación, tendemos el cordel AB (fig. 3.20) y le colocamos en los puntos B y a, unas plomadas livianas. Con ayuda del teodolito estacionado en el punto A medimos el ángulo CAa', el cual debido a que el cordel y la plomada aa' se encuentran en un solo plano vertical, equivale al ángulo CAB = β .

En el nivel de orientación el teodolito lo estacionamos en el punto D, situado en la línea continua de la plomada y el cordel inclinado, o sea, en la línea continua

de los puntos b y b'. En la línea continua de los puntos D, b, b', con ayuda del eje visual del teodolito, fijamos el punto D'. De ahí que el acimut del lado D'D sea igual al acimut α_{A-D} y se calcule por la fórmula:

$$\alpha_{D'-D} = \alpha_{C-A} + \beta \pm 180^\circ \quad (3.59)$$

donde:

α_{C-A} — acimut del lado C-A
 β — ángulo horizontal CAa'.

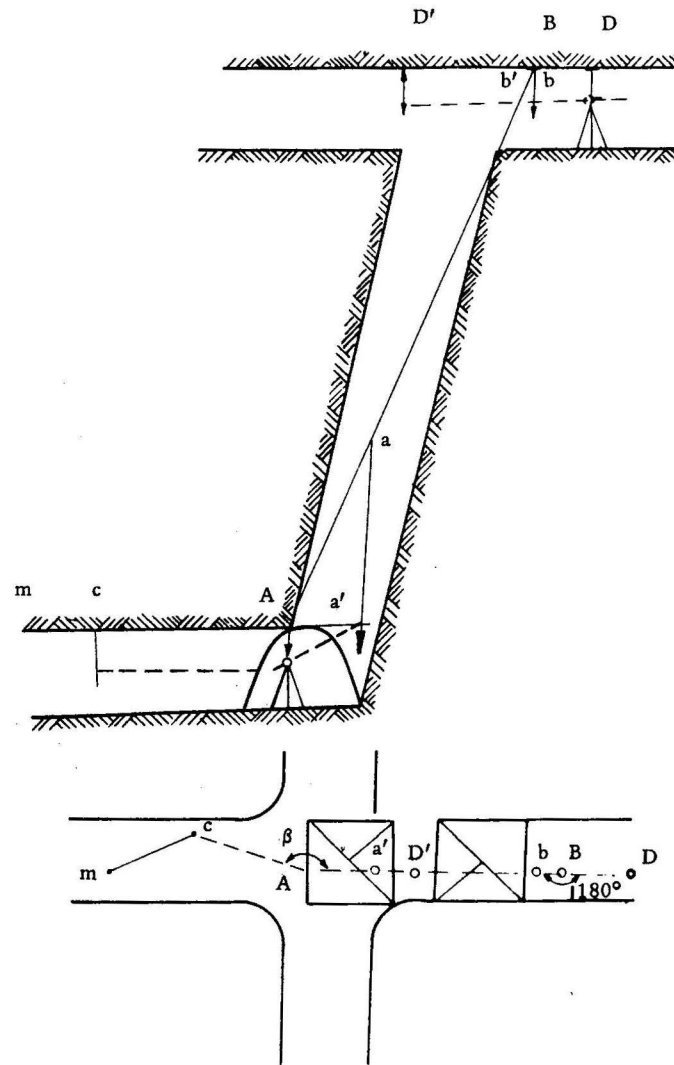


Fig. 3.20 Orientación por el método del cordel inclinado y plomadas auxiliares

A los efectos de transmitir las coordenadas medimos la longitud del cordel AB, calculado el ángulo de inclinación de los triángulos Aaa' y Bbb', en los cuales hacemos la medición de dos catetos.

Si el estacionamiento del teodolito es en cualquier punto, entonces será necesario construir un triángulo de enlace con vértices en la plomada B, en el punto D y en el cordel inclinado, donde estaría el tercer vértice.

El error de la orientación de las excavaciones por el método mencionado es de 2-3'.

Método de la plomada quebrada

Bajamos un cordel a través de una galería inclinada, lo sujetamos en C (fig. 3.21), y le colgamos un peso (P) de 10-15 kg. Por otra parte la plomada (A) en el nivel superior, es atraída a un lado mediante el tensor AT₁, su extremo T₁ se fija en una señal provisional. La operación análoga podemos hacerla usando el tensor BT₂ en el nivel inferior. En los puntos T₁ y T₂ estacionamos los teodolitos, hacemos observaciones en dos posiciones del antejo en el punto T₁, y desplazamos el punto C de suspensión del cordel hasta que esté en el mismo plano del punto A. Una vez efectuado esto, los segmentos AC, AT₁, AB y BT₂ se encontrarán en un solo plano vertical. Medimos los ángulos horizontales DT₁C y BT₂E los cuales nos permitirán transmitir el acimut de un nivel a otro. Para efectuar el traslado de las coordenadas hay que medir las longitudes AB, T₁C y BT₂. Con la ayuda del semicírculo de suspensión, próximo a los puntos A y B, medimos el ángulo de inclinación del cordel en el tramo AB, para escoger después el valor promedio.

El error que obtenemos por este método es de 2-4'.

Método de las plomadas alineadas

Al no haber visibilidad en un contrapozo para poder transmitir el acimut, es posible emplear el método de las plomadas alineadas. En el contrapozo, colocamos las plomadas A y B alineadas con el punto C en el nivel inferior (fig. 3.22). Luego en la dirección de la línea que une las plomadas A y B situamos el punto C' en el nivel superior. Entonces los valores de los acimut de los segmentos B-A, C-B y A-C' serán idénticos, puesto que los cuatro puntos C, B, A y C' se encontrarán en un mismo plano vertical.

Después de colocar de ese modo las plomadas, medimos el ángulo formado entre la línea que une las plomadas A y B y el lado C-D. De igual forma medimos el ángulo formado entre la línea que une las plomadas A y B y el lado C'-D' en el nivel superior.

Al medir los ángulos contiguos de los puntos C y C' el antejo se apunta a la plomada lejana.

A fin de transmitir las coordenadas en el caso mencionado mediremos las longitudes y los ángulos de inclinación de todos los segmentos comprendidos entre los puntos C-C'.

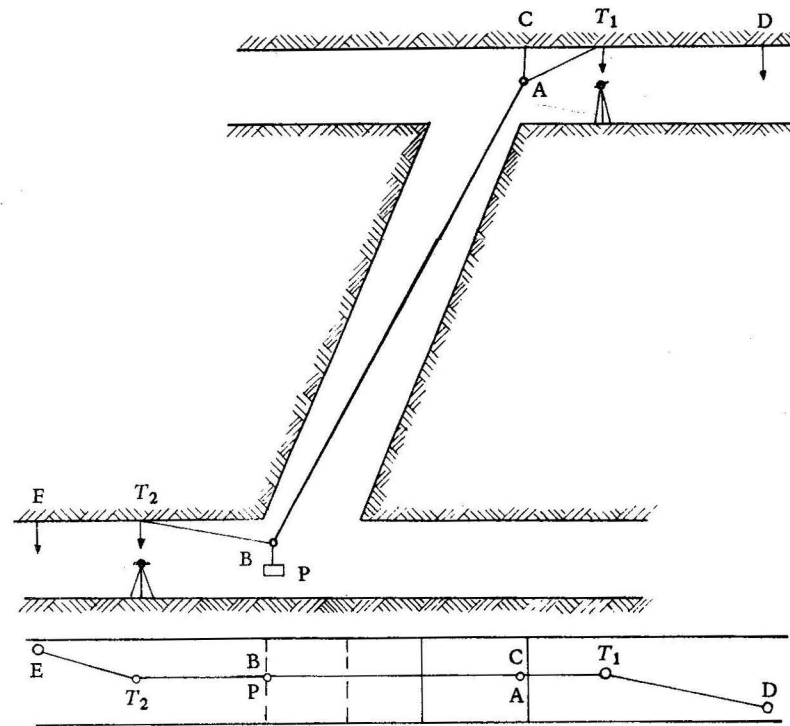


Fig. 3.21 Orientación por el método de la plomada quebrada

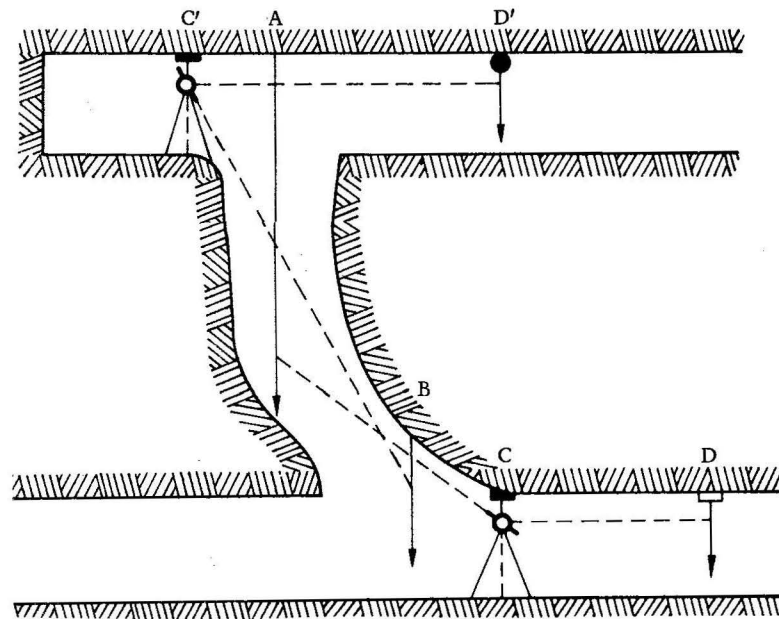


Fig. 3.22 Orientación por el método de las plomadas alineadas

El método de orientación expuesto proporciona una precisión de aproximadamente 5' y depende de la exactitud de la alineación de las plomadas así como del teodolito.

Método de la plomada con cordel tangente

Cuando haya necesidad de orientar una excavación de poca sección (pozo ciego, pozo de exploración, etc.) o una excavación con muchos mecanismos, fortificaciones o algo similar podemos usar el método de la plomada con cordel tangente, ilustrado en la figura 3.23.

En el punto O del nivel superior fijamos una plomada bajándola hasta el nivel inferior. Fijamos un cordel en el punto C', lo tendemos a lo largo de la excavación, sujetándolo en los puntos A, B y T de modo que el cordel roce la plomada OP.

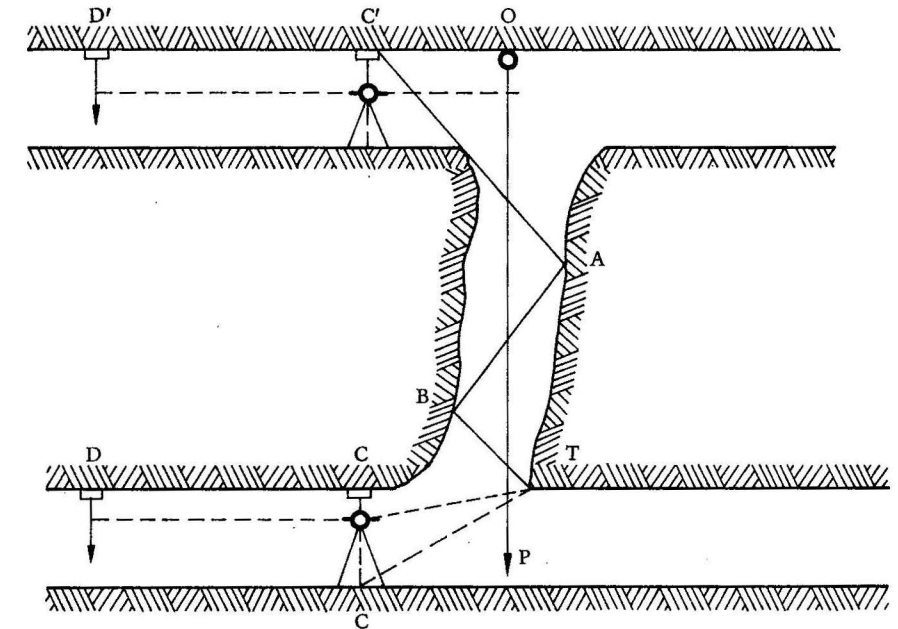


Fig. 3.23 Orientación por el método de la plomada con cordel tangente

Arbitrariamente en el plano formado por el cordel C'ABT, en el nivel principal, así como en el nivel de orientación estacionamos el teodolito.

Estacionado el teodolito de una manera arbitraria el enlace se efectúa por el método del triángulo de enlace, mientras que en el método de alineación basta medir los ángulos $D'C'O$ y DCT .

A fin de facilitar la colocación del teodolito en el plano del cordel del nivel inferior debemos tender un cordel desde el punto T hacia el punto C, hasta inter-

ceptar la plomada. Luego estacionamos el teodolito por encima o por debajo del punto C.

La precisión en la transmisión del acimut por el método mencionado es de 15'-20'.

Con ayuda de la brújula

La orientación magnética se utiliza con gran éxito en las excavaciones carentes de rocas y masas magnéticas (equipos de metal, medios de transporte y otros).

La orientación magnética en comparación con los demás métodos es la más simple y de mayor rendimiento. Esta orientación en excavaciones auxiliares la efectuamos mediante el empleo de una brújula de suspensión.

Los trabajos de orientación con ayuda de una brújula de suspensión los efectuamos en el orden siguiente:

Después de examinar las excavaciones situadas en los niveles inferior y superior, cerca del contrapozo seleccionamos un lado donde la aguja de la brújula no sufra alteraciones producidas por agentes externos. En la excavación desde donde realizamos la transmisión del acimut tendemos un cordel entre los puntos A y B y medimos con la brújula el acimut magnético (fig. 3.24).

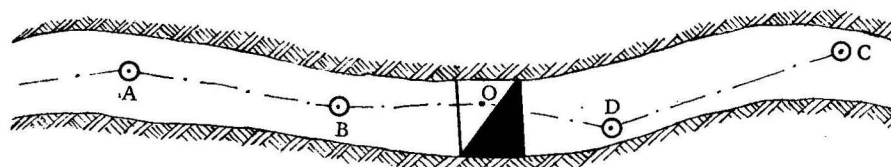


Fig. 3.24 Esquema de orientación con una brújula

En la medición del acimut magnético la brújula la colgamos en los extremos del cordel y girándola 180° en cada extremo. Las lecturas las tomamos por los dos extremos de la aguja (cuatro lecturas en cada extremo).

La diferencia entre los valores promedio de los acimut directo e inverso no excederá de 30'.

De las coordenadas de los puntos A y B calculamos el acimut α_{A-B} . El valor de la inclinación magnética lo obtendremos por la diferencia entre el acimut anteriormente calculado y el acimut magnético.

$$\lambda = \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B} \quad (3.60)$$

donde:

α_{A-B} — acimut del lado AB

α'_{A-B} — acimut magnético del mismo lado.

La medición del acimut magnético entre los puntos D y C en el nivel inferior la efectuamos con la misma sucesión que la del nivel superior. Después de haber introducido el valor de la declinación λ el acimut magnético del lado D-C, será:

$$\alpha_{D-C} = \alpha'_{D-C} + \lambda \quad (3.61)$$

Las coordenadas de un nivel a otro las transmitimos bajando una plomada y efectuando el enlace en sus puntos superior e inferior. El error por el método mencionado es de 15'-20'.

Capítulo IV

ALTIMETRÍA SUBTERRÁNEA

4.1 TRANSMISIÓN DE LA COTA DE LA SUPERFICIE

A LA MINA

Para enlazar en el espacio los levantamientos subterráneos y los de la superficie se requiere efectuar la transmisión de la cota a la mina. La necesidad de expresar las cotas de la superficie y las de la mina en un sistema único de altimetría (sobre el nivel del mar) es indispensable para la solución de los problemas que expon-dremos a continuación:

1. Confección de los cortes verticales del yacimiento unificado con la super-ficie.
2. Preservación de las edificaciones de la superficie de la influencia nociva de las excavaciones mineras.
3. Obtención de los datos necesarios para la proyección del laboreo de los ni-veles más profundos.

Para transmitir las cotas a las excavaciones mineras que se comunican con la superficie por medio de un socavón o un pozo inclinado usamos los métodos de nivelación geométrica o trigonométrica. La transmisión de la cota a las excava-ciones laboreadas por un pozo vertical la hacemos midiendo la profundidad de la mina; para ello existen varios métodos:

1. Por una cinta de mina larga.
2. Por una cinta corrierte.
3. Por un medidor de profundidad.

A fin de efectuar los trabajos para transmitir las cotas a las excavaciones mine-ras, en la superficie y en la estación del pozo fijamos puntos de nivelación. Para determinar las cotas de los puntos de nivelación fijados en las proximidades de las bocas de los pozos es recomendable realizar recorridos de nivelación geométrica desde los puntos de nivelación del sistema nacional.

Para cualquier método que usemos para transmitir la cota a través de un pozo vertical debemos efectuar una doble medición. La diferencia máxima entre las dos mediciones no debe ser mayor de:

donde: $\Delta h = 10 + 0,2 H$ (en mm) (4.1)

H — profundidad del pozo de la mina (en m).

4.2 TRANSMISIÓN DE LA COTA CON UNA CINTA DE MINA LARGA

Las cintas de mina son fabricadas de un acero de alta calidad de 100-1 000 m de largo. La figura 4.1 nos muestra una cinta de mina de 1 000 m de largo enro-llada en el tambor de un gúinche especial. La cinta está dividida en decímetros. La lectura en centímetros y en milímetros es tomada por unas reglas auxiliares especiales que van sujetas a la cinta mediante unos pasadores que son introdu-cidos en los orificios de los decímetros (fig. 4.2). Cada cinta debe estar provista del pasaporte en el cual anotamos los siguientes datos:

1. La corrección de comparación de la cinta.
2. El peso sujeto a la cinta o su tensión durante la comparación.
3. La temperatura en el momento de la comparación.

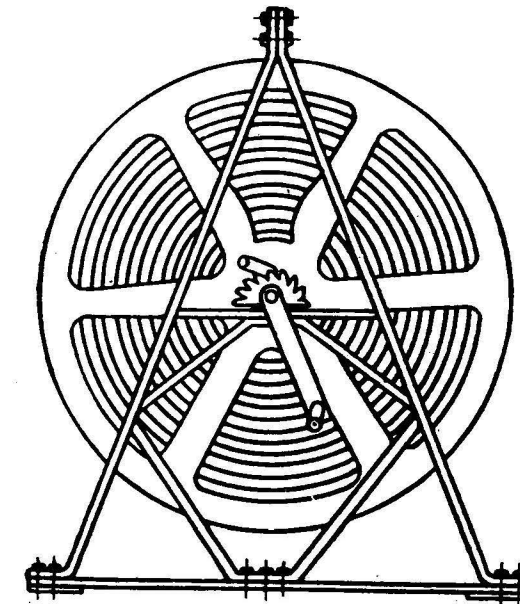


Fig. 4.1 Cinta de mina larga

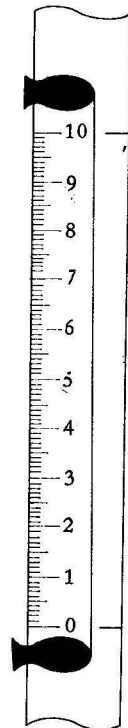


Fig. 4.2 Tramo de cinta con regla auxiliar

El esquema de la transmisión de la cota por una cinta de mina lo mostramos en la figura 4.3. Cerca de la boca del pozo y en la estación de este fijamos los

puntos de nivelación A y B. La boca del pozo así como su parte inferior se cubren con andamios de tabloncillos gruesos.

El guinche con la cinta (1) lo situamos cerca de la torre, al igual que uno de los niveles (2) y fijamos sobre la boca del pozo la polea (3). Bajamos la cinta al pozo con un peso liviano; este peso lo reemplazamos en la estación del pozo por el peso de trabajo igual al de comparación de la cinta. En los orificios de los decímetros de la cinta, fijamos las reglas auxiliares de modo tal que las graduaciones de estas, al aumentar, coincidan con las de la cinta, llevando a cabo dicho trabajo tanto en la superficie como en la mina. La tarea posterior es tomar las lecturas en la cinta, a cuyo fin, los niveles estacionados en la superficie de la mina y en la estación del pozo, los apuntamos simultáneamente (por una señal especial) a la cinta así como a las miras colocadas sobre los puntos de nivelación. Las lecturas en la cinta las tomamos con dos alturas del instrumento. Para ello desplazamos la cinta hacia abajo o hacia arriba 1-2 m y realizamos una nueva observación con vistas a ejercer el control con la segunda posición. En la figura 4.3 las lecturas de la cinta correspondientes a los ejes visuales de los niveles, están designadas como M y N.

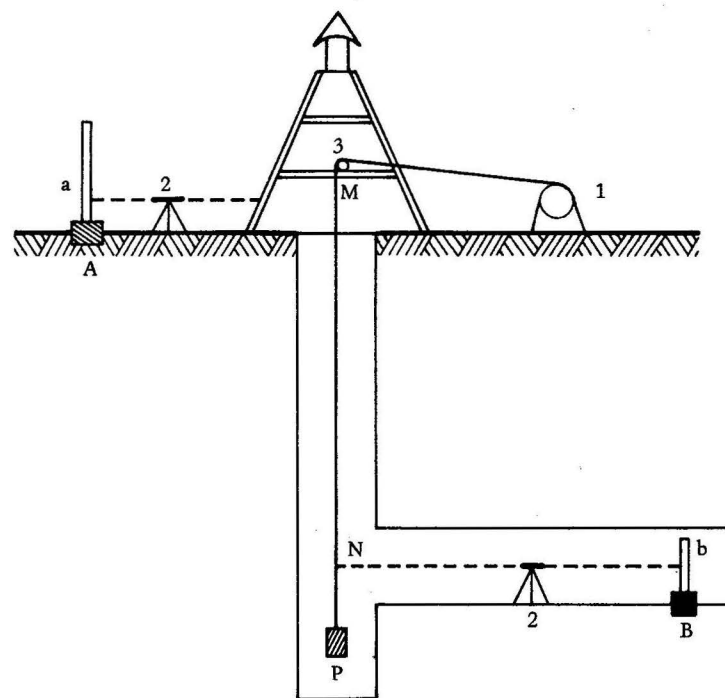


Fig. 4.3 Transmisión de la cota mediante una cinta de mina larga

La cota del punto de nivelación B la calculamos por la fórmula.

$$H_B = H_A - H \quad (4.2)$$

donde:

H — distancia vertical entre los puntos de nivelación A y B

H_A — altura o cota absoluta del punto A.

El valor de H lo obtenemos a su vez de:

$$H = (N - M) + (b - a) + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_T + \Delta L_c \quad (4.3)$$

donde:

ΔL_1 — corrección por el alargamiento de la cinta producto de su propio peso

ΔL_2 — corrección por el alargamiento de la cinta producto del peso de la carga, si este no es igual al peso de comparación

ΔL_c — corrección por comparación

ΔL_T — corrección por temperatura

a y b — lecturas en las miras situadas en la superficie y en el subterráneo respectivamente.

La corrección ΔL_1 se calcula por la fórmula:

$$\Delta L_1 = \frac{10\gamma}{E} L^2 \quad (\text{en cm}) \quad (4.4)$$

donde:

γ — peso específico del acero de la cinta (en gr/cm^3)

L — tramo de la cinta usada en la medición (en m)

E — módulo de elasticidad $2 \cdot 10^6$ (en kg/cm^2).

La corrección ΔL_2 por el alargamiento de la cinta originada por el peso de la carga la calculamos de la siguiente forma:

$$\Delta L_2 = \frac{L(Q - Q_0)}{EA} \quad (\text{en cm}) \quad (4.5)$$

donde:

Q — peso de la carga durante la medición (en kg)

Q_0 — peso de la carga durante la comparación (en kg)

A — área de la sección transversal de la cinta (en cm^2)

E — módulo de elasticidad $2 \cdot 10^6$ (en kg/cm^2).

La corrección por temperatura la obtenemos por la temperatura media de la medición.

$$\Delta L_T = \sigma L(T_M - T_0) \quad (4.6)$$

donde:

T_M — temperatura media del aire en el pozo de la mina (en °C)

T_0 — temperatura de comparación de la cinta (en °C)

σ — coeficiente de dilatación lineal del material del cual está hecha la cinta ($\sigma = 0,0000115$).

La temperatura media de la cinta se calcula por la fórmula:

$$T_M = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

donde:

T_1 — temperatura del aire en la entrada de la mina

T_2 — temperatura del aire en la estación del pozo.

La temperatura de comparación de la cinta T_0 y la corrección por comparación se obtienen del pasaporte de la cinta.

La fórmula (4.3) se emplea cuando la graduación de la cinta va aumentando desde arriba hacia abajo. En el caso contrario debe usarse la fórmula:

$$\Delta H = (M - N) + (b - a) + \Delta L_1 + \Delta L_T + \Delta L_c + \Delta L_2 \quad (4.7)$$

4.3 TRANSMISIÓN DE LA COTA CON UNA CINTA CORTA

Este método lo empleamos cuando no existen cintas de gran longitud y no es profunda la excavación vertical (50-70 m). La transmisión de la cota con una cinta corta la efectuaremos del modo siguiente (fig. 4.4): en la parte superior del pozo situamos el clavo (1). Estacionando el nivel entre el clavo y el punto de nivelación A y una vez colocadas las miras sobre el clavo y el punto mencionado, tomamos las lecturas a y a_1 . Al lado del clavo (1) colocamos la cinta y hacemos coincidir la marca cero de la cinta con la parte superior del clavo. Al extremo inferior de la cinta sujetamos el peso (P), igual al peso de comparación de esta. Al nivel de la última graduación de la cinta fijamos el clavo (2). Quitamos la cinta, bajamos con esta y la colgamos junto al clavo (2), poniendo el clavo (3), y así sucesivamente. La operación se repite hasta que el peso (P) alcance la altura del eje visual del nivel colocado en la estación del pozo. De la mira situada en el punto de nivelación (B), tomamos mediante el nivel la lectura b . Por último, en la cinta a la altura del eje visual tomamos la lectura ΔL de la cinta. La cota del punto de nivelación la calculamos por la fórmula:

$$H_B = H_A + (a - a_1) - (H + b) \quad (4.8)$$

donde:

H — distancia vertical entre el nivel del clavo (1) y el nivel de la visual del instrumento colocado en la estación del pozo.

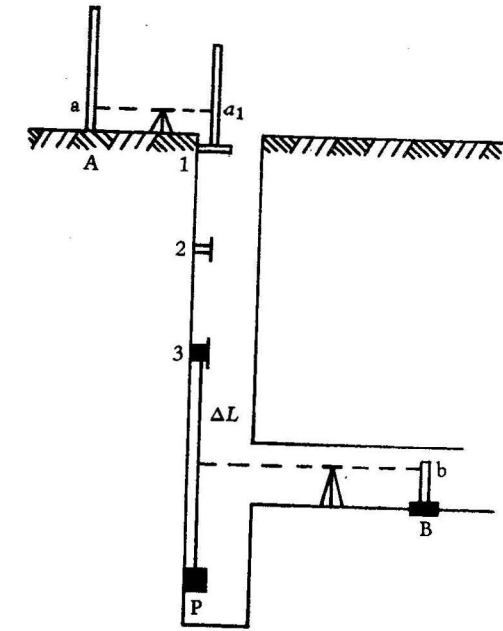


Fig. 4.4 Transmisión de la cota con una cinta corta

El segmento H se calcula por la expresión:

$$H = nL + \Delta L + \Delta L_T \quad (4.9)$$

donde:

n — número de longitudes completas de la cinta que contiene el segmento H

L — longitud de la cinta en el momento de comparación

ΔL — lectura de la cinta tomada desde el clavo (3) hasta el nivel de la visual del instrumento

ΔL_T — corrección por temperatura, calculada por la fórmula (4.6).

4.4 TRANSMISIÓN DE LA COTA CON EL MEDIDOR DE PROFUNDIDAD

Con el fin de acelerar los trabajos de medición de las profundidades de los pozos en las minas, fueron diseñados los medidores de profundidad que proporcionan una medición automática de la profundidad del pozo.

El empleo de este método es muy conocido y está basado en el principio de los medidores de profundidad marinos. Los medidores de profundidad con fines de la topografía minera fueron contruidos por primera vez en la URSS por el profesor F.F. Pavlov; sin embargo, él no encontró el uso práctico.

En la URSS se fabrica el medidor automático DA-2 (fig. 4.5) para medir profundidades. El equipo también puede ser usado para la medición de longitudes en excavaciones inclinadas.

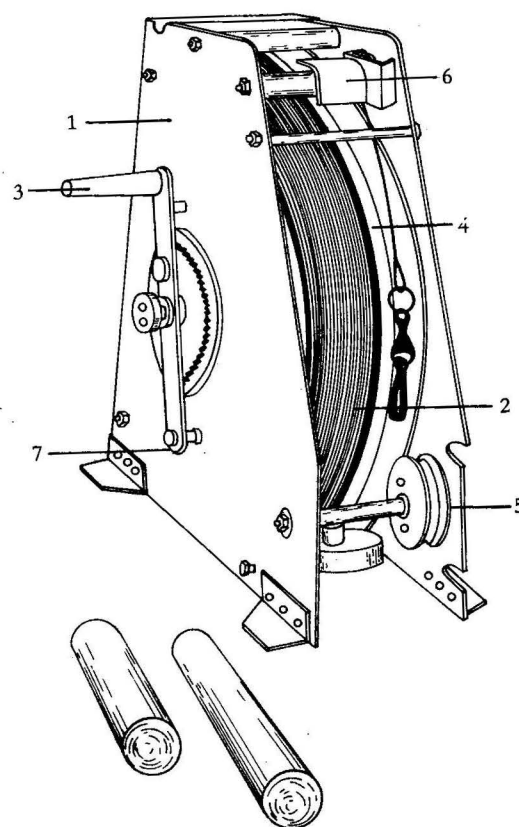


Fig. 4.5 Medidor de profundidad DA-2

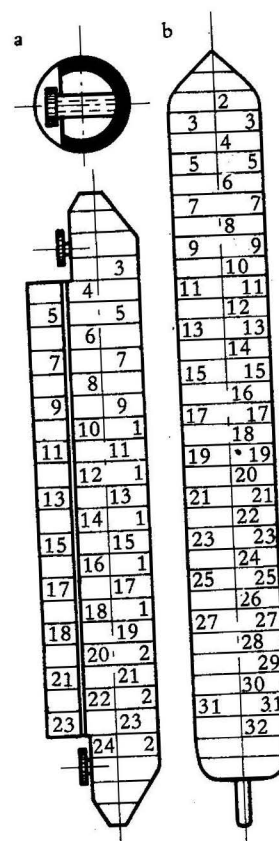


Fig. 4.6 Miras del medidor de profundidad: a) mira de peso; b) mira de control

El equipo consta de un soporte (1), del tambor (2), cabrestante con un alambre de acero enrollado en él y la agarradera (3), el disco de medición (4) con una escala circular con las poleas dirigidas (5), el contador de revoluciones (6) del disco de medición. Para determinar la temperatura del disco de medición este posee un termómetro (7). En el equipo se incluye la mira de peso (fig. 4.6a) y una mira de control (fig. 4.6b).

La primera de ellas está construida de acero, recubierta de plomo y tiene una forma cilíndrica.

La forma cilíndrica de la mira de control también puede ser de aluminio. La superficie de la mira está graduada en centímetros.

El tambor del cabrestante y el disco de medición están colocados en un solo eje, pero giran independientemente. Al hacer descender el alambre por el pozo

principal de la mina, en su extremo, con la ayuda de un gancho, colgamos la mira de peso, y 1-2 m más arriba con un tornillo de fijación inmovilizamos la mira de control.

Girando la agarradera (3) del cabrestante, enrollamos desde el tambor el cabrestante. Desde la polea (5) dirigimos el alambre hacia la ranura del disco de medición que es el último en girar. La cantidad de revoluciones completas la obtenemos de un contador de revoluciones que está unido al disco por medio de ruedas dentadas.

Las revoluciones incompletas pueden apreciarse en la escala del disco de medición. Así mismo, la longitud de la circunferencia del disco es igual a 1 m y está dividida en 100 partes iguales, de ahí que el valor nominal de una división de la escala circular sea de 1 cm.

Al transmitir las cotas el equipo de medir, las distancias lo colocamos en el área de admisión de arriba (fig. 4.7).

Girando el tambor del cabrestante del medidor de profundidad hacemos descender el alambre con la mira de peso y la mira de control hasta el horizonte del nivel situado en el punto A en la superficie.

Después, dejamos de girar el tambor y a través del anteojo del nivel tomamos las lecturas: b_1 en la escala de la mira de peso, a_1 en la mira situada sobre el punto de nivelación (R) y también tomamos la lectura N en la escala circular y en el contador del equipo.

Bajamos el alambre de forma tal que la mira de control ocupe el lugar de la mira de peso y repetimos de nuevo las lecturas. Después el extremo del alambre con la mira de peso (P) y la de control (K), lo dejamos descender hasta el nivel de la plazoleta de descarga de las vagonetas, donde a través del anteojo del nivel estacionado en el punto B, tomamos las lecturas: b_2 en la mira de peso (P_1), a_2 en la mira situada en el punto de nivelación (M) y la lectura N' en el contador y en la escala circular del equipo. Lecturas análogas se obtienen después del descenso hasta el horizonte del nivel, en la mira de control.

La cota buscada del punto de nivelación M la obtenemos de la fórmula:

$$H_M = H_R - \Delta H \quad (4.10)$$

donde:

ΔH — diferencia de nivel entre los puntos R y M.

A su vez:

$$\Delta H = a_2 + (N + n) - (N' + n') - a_1 \quad (4.11)$$

Introduciendo las correcciones:

$$\Delta H = a_2 + (N + n) - (N' + n') - a_1 + \Delta H_d + \Delta H_k + \Delta H_t + \Delta H'_t \quad (4.12)$$

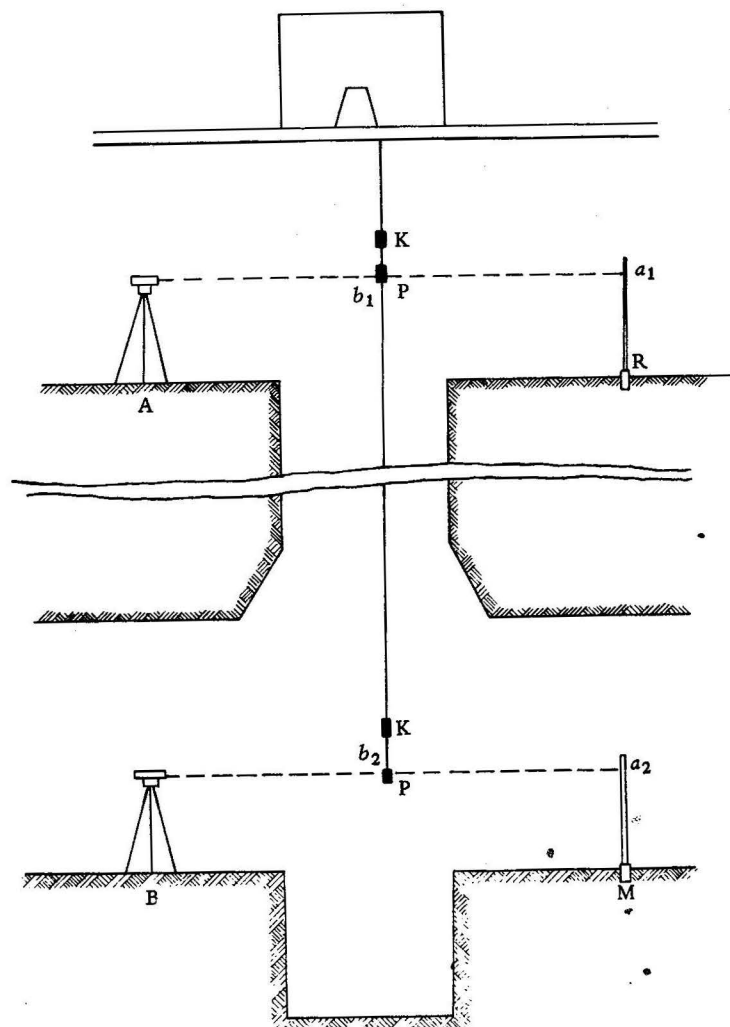


Fig. 4.7 Transmisión de la cota con el medidor de profundidad DA-2

donde:

- a_1, a_2 — lectura de las miras situadas en los puntos R y M (en m),
- N, N' — lectura del contador y de la escala circular del medidor de profundidad, teniendo la mira de peso en la superficie y en la plazoleta de descarga de las vagonetas (en m)
- n, n' — lecturas en la mira de peso, encontrándose ella en la superficie y en la plazoleta de descarga (en m)
- ΔH_d — corrección por el diámetro del alambre (en m).

ΔH_k — corrección por comparación del disco de medición (en m)

ΔH_t — corrección por la diferencia de temperatura, entre la temperatura de comparación y la de trabajo del disco de medición (en m)

$\Delta H'_t$ — corrección por la diferencia de temperatura en la superficie y en el subterráneo (en m).

La corrección ΔH_d (debido a la diferencia del recorrido, transitado por cualquier punto del eje del alambre o con cualquier punto de la circunferencia de la ranura del disco) es la más significativa en magnitud y la determinamos por la fórmula:

$$\Delta H_d = (N' - N) d\pi \quad (4.13)$$

donde:

d — diámetro del alambre (en m), lo tomamos de la instrucción o lo medimos con un micrómetro.

La corrección por comparación del disco de medición del medidor de profundidad la calculamos por la fórmula:

$$\Delta H_k = (N' - N) (l - 1) \quad (4.14)$$

donde:

l — longitud real de la circunferencia del disco según el pasaporte de la fábrica (en m).

La corrección por la diferencia de temperatura del disco durante el trabajo y la comparación podemos calcularla por la fórmula:

$$\Delta H_t = \sigma (N' - N) (T_T - T_0) \quad (4.15)$$

donde:

σ — coeficiente de dilatación lineal del disco de medición ($\sigma = 0,00001$)

T_T — temperatura del disco de medición del equipo durante la medición (la determinamos con el termómetro del instrumento) (en °C)

T_0 — temperatura del disco durante la comparación (en °C).

La corrección $\Delta H'_t$ podemos calcularla por la fórmula:

$$\Delta H'_t = \sigma (N' - N) (T - T_T) \quad (4.16)$$

donde:

T — temperatura media del aire en el pozo principal de la mina, en grados (la determinamos en forma análoga a la empleada cuando transmitimos la cota con una cinta de mina o un alambre de acero).

En la elaboración de los resultados de la transmisión de la cota a la magnitud ΔH de la fórmula (4.12), podemos hallarle solución dos veces, una vez usando las lecturas de la mira de peso y la otra usando las lecturas de la mira de control. La diferencia entre los resultados obtenidos de ΔH no deben ser mayores al planteado en la fórmula (4.1). Como resultado final tomaremos la media aritmética.

Un control efectivo podemos hacerlo realizando dos transmisiones de la cota mediante el desplazamiento del alambre hacia abajo o hacia arriba.

El uso del medidor de profundidad disminuye el tiempo de los trabajos y con este tipo de medición podemos aumentar considerablemente la exactitud en la transmisión de las cotas al subterráneo.

4.5 NIVELACIÓN GEOMÉTRICA EN LAS EXCAVACIONES MINERAS

La nivelación en las excavaciones mineras tiene como finalidad determinar las cotas de los puntos situados en las excavaciones, confeccionar los perfiles y cortes verticales de las excavaciones y dar dirección a las excavaciones en un plano vertical. Las mediciones las efectuamos sobre la base de los puntos de nivelación fijados en la estación del pozo, cuyas cotas absolutas fueron obtenidas como resultado de la transmisión de la cota. Cuando el ángulo de inclinación de la excavación no es mayor de $5 - 8^\circ$, aplicamos la nivelación geométrica, mientras que en las excavaciones con mayor inclinación usamos la nivelación trigonométrica.

Los puntos de la red altimétrica los marcamos con señales especiales que constituyen puntos de nivelación permanentes. Los puntos de nivelación los establecemos en los fundamentos de las instalaciones permanentes, así como en rocas firmes del suelo, en los techos y en las paredes de las excavaciones. Como puntos de nivelación podemos usar también los puntos permanentes de las poligonales subterráneas. En la figura 4.8 están representados dos tipos de puntos de nivelación establecidos en las paredes de la excavación.

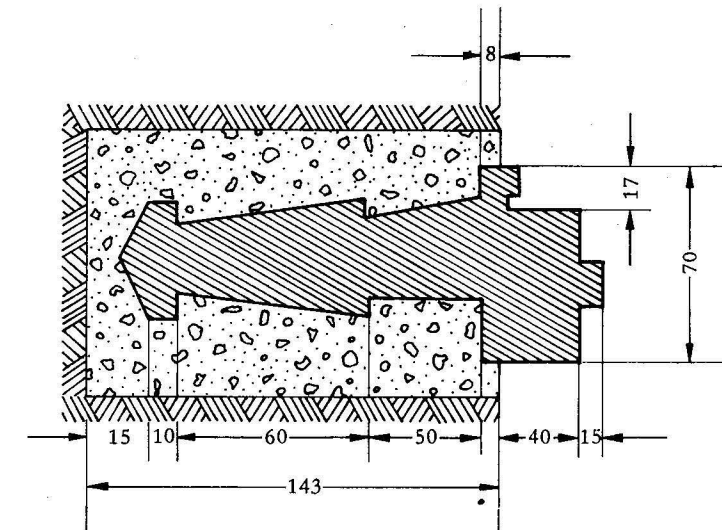
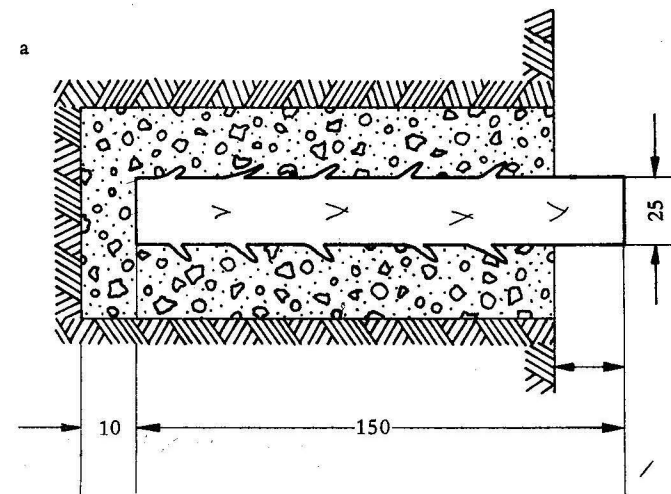


Fig. 4.8 Punto de nivelación establecido en la pared de una excavación: a) de madera; b) metálico

Para materializar los puntos en los fundamentos de la estación del pozo recomendamos los puntos de nivelación a y b representados en la figura 4.9.

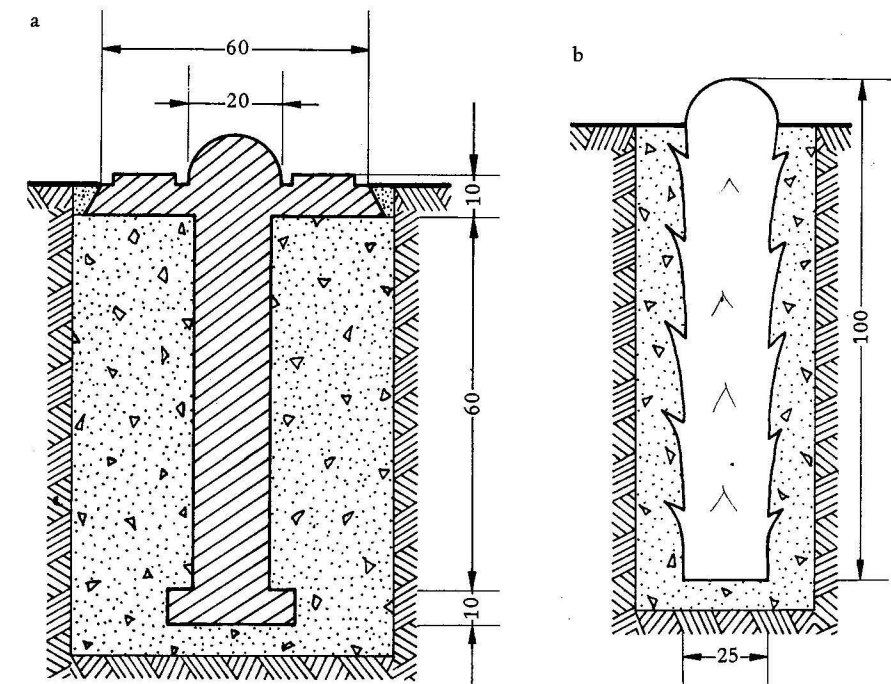


Fig. 4.9 Puntos de nivelación establecidos en la estación del pozo: a) complejo; b) simple

Los puntos de nivelación podemos situarlos en parejas, a una distancia de 20-50 m uno de otro. La distancia entre las parejas es de 300-500 m.

Para poder identificar los puntos de nivelación en las excavaciones y en los peones de las fortificaciones colocamos unas marcas metálicas con el número del punto. A falta de fortificaciones en algunas excavaciones los puntos los marcamos con pintura directamente en las paredes de las excavaciones.

En los trabajos de nivelación geométrica, en las excavaciones mineras, se usan niveles análogos a los empleados en los trabajos topográficos en la superficie. En los últimos años se ha introducido ampliamente el uso de los niveles con horizontalización automática del eje visual (nivel compensador).

Entre los niveles más usados para realizar los recorridos de nivelación en las excavaciones mineras encontramos el compensador Koni 025 (fig. 4.10) de la Carl Zeiss de Jena, RDA; también de la Carl Zeiss es empleado el nivel de línea Ni 030 (fig. 4.11). Otro nivel empleado con este fin es el HB-1T (fig. 4.12) fabricado en la URSS, que tiene como ventaja la sencillez en su construcción y la comodidad en el trabajo.

Las miras empleadas en las minas son análogas a las usadas en los trabajos de topografía en la superficie, solo hay diferencia en su longitud, ya que las usadas en las minas no deben ser mayores de 2 m, aunque las miras que más frecuente-

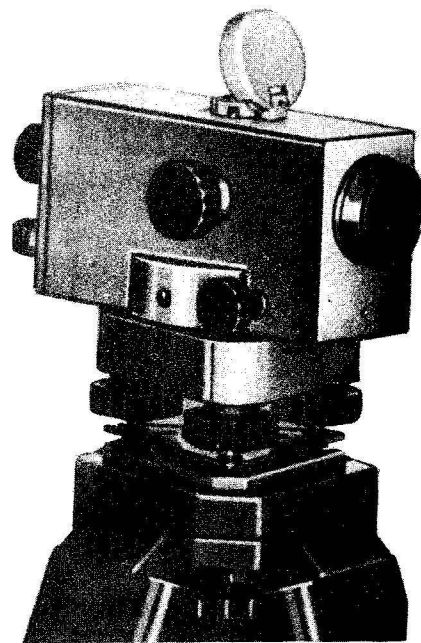


Fig. 4.10 Nivel Koni 025

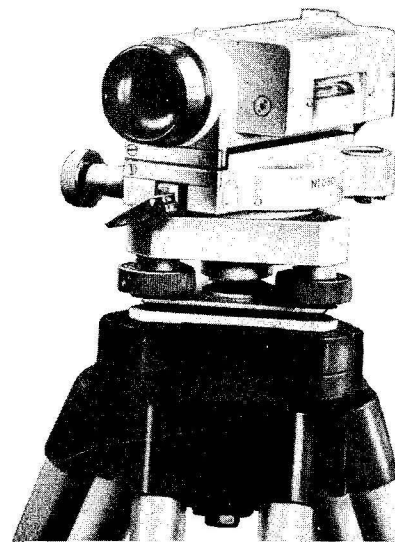


Fig. 4.11 Nivel Ni 030

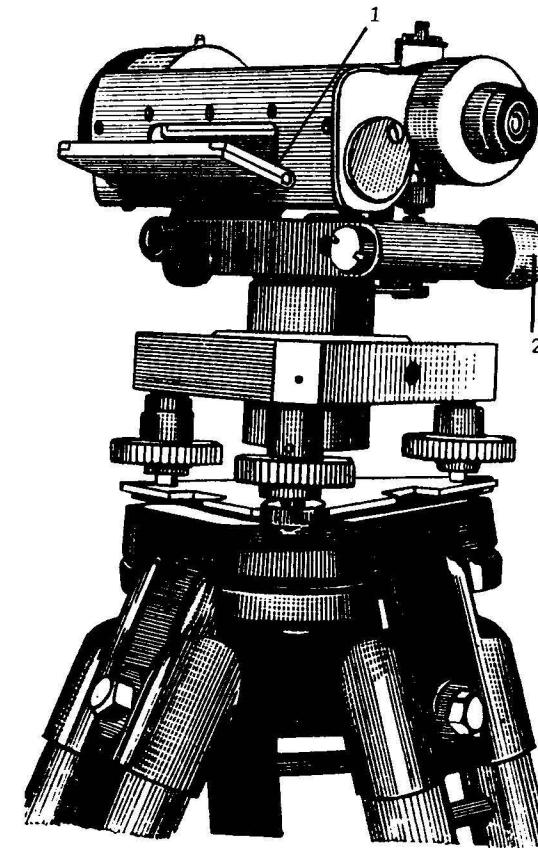


Fig. 4.12 Nivel HB-1T: 1, nivel de coincidencia; 2, tornillo micrométrico

mente utilizamos son de 1.5 m de longitud. En la figura 4.13 hay una muestra de los diferentes tipos de mira de nivelación usados en las excavaciones mineras.

Antes del trabajo en la mina, las miras deben ser comprobadas mediante un patrón a través de toda su longitud. El error casual en un decímetro de la mira, no debe ser superior a ± 1 mm.

La nivelación geométrica para determinar la cota de los puntos de nivelación y de los puntos de las poligonales las realizamos siempre con el nivel en el punto medio y las lecturas en la mira las hacemos hasta el milímetro. La distancia entre el nivel y la mira no debe ser mayor de 30 m, y el desnivel debe efectuarse en dos posiciones del instrumento, pudiendo admitir una diferencia no mayor de 3 mm.

Los recorridos de nivelación debemos hacerlos en forma de polígonos cerrados, entre puntos de cota fija o en dos direcciones (ida y vuelta); así se evitan los recorridos libres o abiertos, los cuales usaremos exclusivamente cuando sean de poca extensión y en excavaciones secundarias.

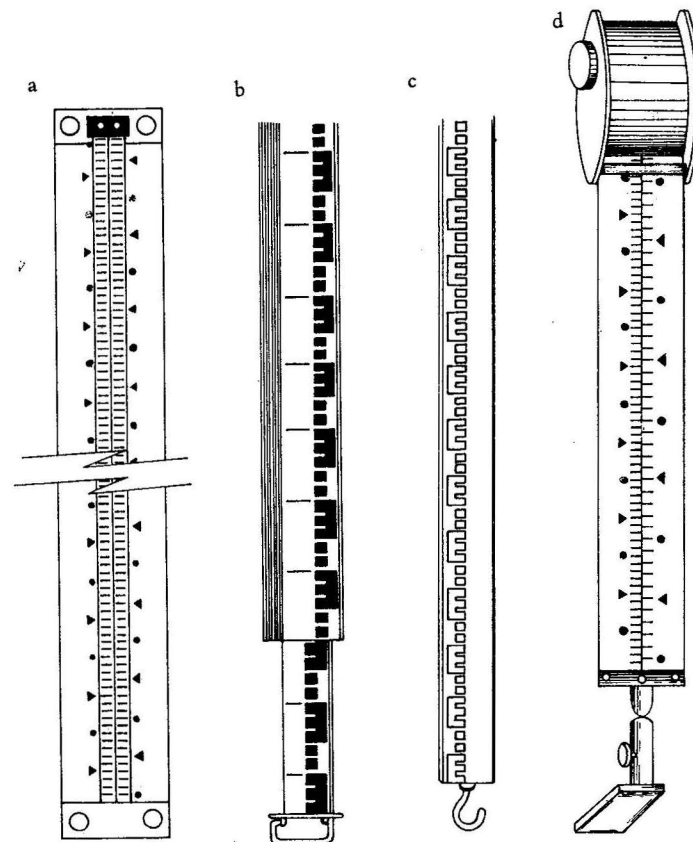


Fig. 4.13 Miras de Nivelación: a) graduada con cinta de invar; b) movable; c) colgante; d) cinta de invar

La nivelación geométrica en las excavaciones mineras de acuerdo con su precisión podemos dividirla en: precisa y técnica.

La nivelación precisa la realizamos para crear la red de puntos de apoyo altimétrica en la mina y para determinar también la cota de los puntos permanentes de las poligonales subterráneas. Generalmente los recorridos de nivelación precisa los hacemos a través de las galerías principales. El error de cierre admisible es: $25 \text{ mm } \sqrt{L}$

donde:

L — longitud del recorrido o perímetro del polígono en km.

La nivelación técnica sirve para obtener las cotas de los puntos de las excavaciones secundarias, para efectuar el control sobre la inclinación de las excavaciones mineras y para confeccionar los perfiles del piso y del techo de la excavación.

Los recorridos de nivelación técnica deben apoyarse siempre en un punto de nivelación de un orden superior. El error de cierre de una nivelación técnica no debe superar los $50 \text{ mm } \sqrt{L}$.

donde:

L — longitud del recorrido o perímetro del recorrido en km.

La nivelación geométrica en las galerías de transporte la ejecutamos a través de puntos de nivelación situados a una distancia que oscila entre 10-20 m. Los recorridos se extienden entre puntos de cota fija de la red de apoyo altimétrica o desde un punto, pero en dos direcciones (ida y vuelta). El error de cierre no debe ser mayor de $30 \text{ mm } \sqrt{L}$.

donde:

L — longitud del recorrido en km.

En todos los casos, el desnivel h entre los puntos lo determinamos por la fórmula conocida de la topografía general:

$$h = ME - MF \quad (4.17)$$

donde:

ME — lectura de la mira en el punto trasero

MF — lectura de la mira en el punto delantero.

A diferencia de la nivelación en la superficie las lecturas de las miras en la nivelación bajo mina pueden ser positivas, si la marca cero de la mira coincide con el punto establecido en el suelo, y negativas cuando el cero en la mira coincide con el techo.

En la figura 4.14 mostramos los diferentes casos de situación de la mira en una excavación subterránea. En los puntos A, D y E las lecturas en las miras tienen signo negativo, mientras que las situadas en los puntos B y C tienen signo positivo.

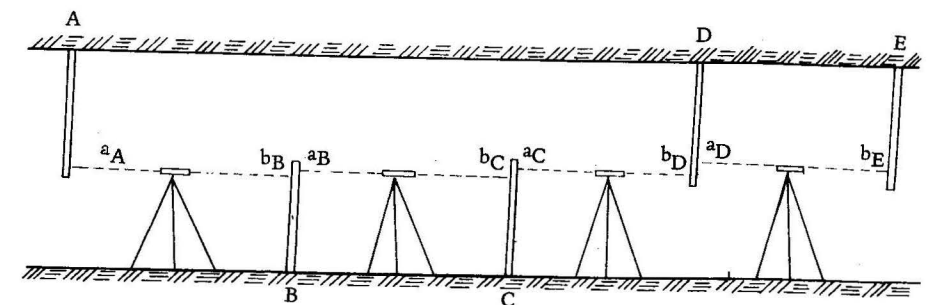


Fig. 4.14 Esquema de situación de las miras de nivelación en una excavación subterránea

El desnivel en cada uno de los tramos lo calculamos de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} h_{A-B} &= (-a_A) - b_B \\ h_{B-C} &= a_B - b_C \\ h_{C-D} &= a_C - (-b_D) \\ h_{D-E} &= (-a_D) - (-b_E) \end{aligned} \quad (4.18)$$

4.6 TRABAJO DE CAMPO DE UNA NIVELACIÓN TÉCNICA

El trabajo de campo en la nivelación técnica comprende las etapas siguientes:

1. Trazado de los puntos.
2. Lectura en los puntos de apoyo.
3. Cálculo de control.
4. Lectura en los puntos intermedios.

Los puntos intermedios en las excavaciones mineras los trazamos cada 10 m a partir del punto de cota conocida. En el trazado de los puntos podemos usar una cinta de tela con medición simultánea de las cotas de dichos puntos. En el riel de nivelación (izquierdo o derecho) los puntos los marcamos con tiza, pudiendo señalarlos con una señal especial, o con pintura, en las paredes laterales de la excavación.

La distancia entre el nivel y los puntos de apoyo no debe exceder los 50 m.

En la figura 4.15 exponemos el esquema de nivelación de un perfil de una parte limitada de una vía de transporte. El punto I está en este caso estabilizado en el techo y su cota es conocida. Los puntos de enlace son el 6 y el 10, siendo intermedios los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 9. Mediante los puntos de enlace la cota la transmitimos a los puntos restantes del recorrido. Los puntos intermedios sirven tan solo para conocer el perfil de la vía.

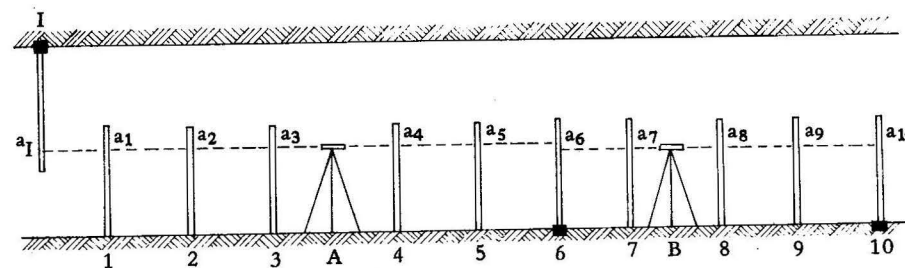


Fig. 4.15 Nivelación geométrica en una excavación subterránea

Después de haber estacionado el nivel en el punto A, de las miras colocadas en los puntos I y 6, tomamos las lecturas $-a_{I.1}$ y $a_{6.1}$ calculando el desnivel entre los puntos citados por la fórmula:

$$h_1 = -a_{I.1} - a_{6.1} \quad (4.19)$$

donde:

- $a_{I.1}$ — Lectura de la mira en el punto I en la primera puesta del instrumento
 $a_{6.1}$ — Lectura de la mira en el punto 6 en la primera puesta del instrumento.

En la fórmula debemos considerar el signo de la lectura a_I como negativo por estar colocada la mira en un punto del techo de la galería.

Después de haber alterado la altura del nivel (bajándola o subiéndola arbitrariamente unos centímetros) volvemos a tomar las lecturas $-a_{I.2}$ y $a_{6.2}$ de las miras en la segunda posición del instrumento. El desnivel entre los puntos lo calcularemos utilizando la fórmula:

$$h_2 = -a_{I.2} - a_{6.2} \quad (4.20)$$

donde:

- $a_{I.2}$ — Lectura de la mira en el punto I en la segunda puesta del instrumento
 $a_{6.2}$ — Lectura de la mira en el punto 6 en la segunda puesta del instrumento.

La diferencia entre los resultados obtenidos de los desniveles no debe ser mayor de 3 mm. Al cerciorarnos que el desnivel está correctamente determinado, efectuamos, sin mover el instrumento, la nivelación de los puntos intermedios. A este efecto la mira la colocamos en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 sucesivamente con tomas de las lecturas correspondientes a_1, a_2, a_3, a_4 y a_5 .

El nivel lo trasladamos, estacionándolo en el punto B situado entre los puntos de enlace 6 y 10, repitiendo el proceso de nivelación análogo al anteriormente descrito.

Al final de la nivelación enlazamos el último punto a uno cuya cota conocemos. En el caso de no haber encontrado un punto de cota conocida trazamos el recorrido de nivelación de vuelta dirigida al punto inicial, que es, en nuestro caso concreto, el punto I.

Esta nivelación se realiza solamente a través de los puntos de enlace.

4.7 ELABORACIÓN DE UNA NIVELACIÓN TÉCNICA

El proceso de elaboración de los resultados de una nivelación geométrica, tiene las etapas siguientes:

1. Control sobre las anotaciones y los cálculos de control efectuados en la mina; cálculo de los desniveles promedio entre los puntos de enlace.

2. Cálculo del error del recorrido de nivelación y su distribución entre los desniveles.
3. Cálculo de cotas de los puntos de enlace.
4. Cálculo de las cotas de los puntos intermedios.
5. Confección del perfil real de la vía de transporte o de la excavación.
6. Confección del perfil de proyección y cálculos de las magnitudes necesarias.

Para tener una idea más clara acerca de las etapas, tomaremos un ejemplo. Todas las anotaciones y los cálculos los realizamos en una libreta especial de nivelación. Vamos a suponer que a fin de conocer el perfil de la vía de transporte comprendida entre los puntos de apoyo 3 y 2 de cotas conocidas se tiende un recorrido de nivelación técnica, previa división del tramo de vía mencionado en segmentos de 10 m cada uno.

En el proceso de nivelación se ha determinado que para obtener el perfil del tramo citado basta con tener un solo punto de enlace, el cual será al mismo tiempo un punto del perfil de la vía de transporte.

Los resultados de la nivelación los registramos en las columnas 3, 4 y 5 de la tabla 10, y anotamos en las dos primeras las lecturas de las miras colocadas en los puntos de enlace obtenidos en dos posiciones del nivel. En la columna 5, se registran tan solo las lecturas efectuadas en los puntos intermedios y solo después de la segunda posición del instrumento.

En la columna 6 anotamos los desniveles entre los puntos de enlace obtenidos en las dos posiciones del nivel. El desnivel entre los puntos 3 y 14, registrado en la primera posición del instrumento, se ha obtenido como diferencia entre las lecturas $(-1\ 028) - (1\ 514) = -2\ 542$ y $(-1\ 019) - (1\ 520) = -2\ 539$ en la segunda posición. La diferencia entre los desniveles es de 3 mm, igual a la diferencia permisible (3 mm). En forma análoga se han obtenido los desniveles entre los puntos 14 y 2.

De los desniveles obtenidos en las dos posiciones del instrumento calculamos el valor promedio, anotándolo en la columna 8.

Todos los cálculos citados se efectúan en la mina, sometiéndose al siguiente control en el proceso de elaboración de gabinete. En cada página independiente sumamos los valores de las columnas 3, 4, 6 y 8, de la libreta de nivelación, los resultados serán los valores Σ_1 , Σ_2 , Σ_3 y Σ_4 . Si son correctos los cálculos realizados debe ser válida la igualdad:

$$\frac{\Sigma_1 - \Sigma_2}{2} = \Sigma_3 - \Sigma_4 \quad (4.21)$$

Dicho control lo denominamos *control por páginas*. Después de haber sido efectuado el control mencionado calculamos los desniveles entre los puntos de apoyo 3 y 2, valiéndonos a este efecto de los desniveles promedio apuntados en la columna 8. El desnivel observado es igual a la suma de los valores promedios citados, que en el caso nuestro es de $\Sigma h = + 252$ mm. Este desnivel será igual (dentro

del margen de la diferencia admisible) al desnivel obtenido como diferencia entre las cotas dadas de los puntos 2 y 3.

$$h = H_2 - H_3 \quad (4.22)$$

Dicha diferencia tiene en el caso concreto el valor de:

$$h = 121,462 - 121,218 = 244 \text{ mm}$$

El desnivel obtenido de las mediciones se diferencia del conocido:

$$E = \Sigma h - h = 252 - 244 = + 8 \text{ mm}$$

La diferencia permisible E_a la obtenemos de la expresión:

$$E_a = \pm 30 \sqrt{L} \text{ mm}$$

donde:

L — largo del recorrido en km. En nuestro ejemplo esta distancia es $L = 130 \text{ m} = 0,13 \text{ km}$.

siendo:

$$E_a = \pm 30 \sqrt{0,13} = \pm 11 \text{ mm}$$

Por cuanto la diferencia obtenida (8 mm) es menor que la permisible (11 mm) hay que compensarla, o sea, distribuir la diferencia E (tomándola con el signo contrario) proporcionalmente entre los desniveles promedios anotados en la columna 7. En nuestro caso concreto tenemos dos desniveles promedios, siendo por tanto el

valor de la compensación de cada desnivel: $C = -\frac{E}{2} = -4 \text{ mm}$. Estos valores

los registramos en la columna 7. La cota del punto de enlace o de apoyo la obtenemos de la suma del valor de la cota del punto de enlace o de apoyo anterior más el valor promedio del desnivel entre ellos y sumada además la corrección de la compensación. En nuestro caso la cota del punto de enlace 14 es igual a:

$$121,218 + (-2,540) + (-0,004) = 118,674$$

La cota del punto de apoyo 2 la obtenemos por la suma:

$$118,674 + (+2,792) + (-0,004) = 121,462$$

El hecho de que coincidan los valores de la cota obtenida del último punto de apoyo, con el valor de la cota conocida de este, es testimonio de que los cálculos y la compensación han sido efectuados correctamente.

LIBRETA DE NIVELACIÓN

Fecha: 20 de Abril 1979
Cálculo: A. Pérez
Pág. 1

Est.	Pto.	Lectura de la mira			Desnivel	Corr	Desnivel promedio	Altura del instrumento	Cota	Pto.	Observaciones
		Atrás	Delante	Intermedia							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	3	—1028 (1)			—2542			120,200	121,218	3	Nivel N, 030
		—1019 (3)				—4	—2540				No. 125240
	14		1514 (2)		—2539				118,674	14	$C_i = 120,200$
			1520 (4)								$\Sigma_s = \frac{X_6}{721,200}$
	15			1258 (5)					118,942	15	

	16			1202 (6)				118,798	16	$\Sigma_5 = \frac{-7,558}{713,442}$
	17			1530 (7)				118,670	17	
	18			1360 (8)				118,840	18	
	19			1088 (9)				119,112	19	
	20			1120 (10)				119,080	20	
				$\Sigma_5 = 7558$				$\Sigma_5 = 713,442$		
II	14	3080			+2791			118,674	14	
		3070				-4	+2792			
	2		0289		+2793			121,462	2	
			0277							
		$\Sigma_1 = 4104$	$\Sigma_2 = 3600$		$\Sigma_3 = +0504$		$\Sigma_4 = +0252$	CONTROL:		
		En las columnas 3, 4 y 5, las cifras entre paréntesis indican el orden de la observación						$\frac{\Sigma_1 - \Sigma_2}{2} = 0252$		
								$\Sigma_3 - \Sigma_4 = 0252$		

Calculadas las cotas de los puntos de enlace, iniciamos el cálculo de las cotas de los puntos intermedios, basándonos en la altura del instrumento. La altura del instrumento C_i la obtenemos aplicando la fórmula:

$$C_i = C_t + ME_2 \quad (4.23)$$

donde:

C_t — cota del punto de enlace o de apoyo trasero

ME_2 — lectura de la mira colocada en el punto citado en la segunda posición del instrumento

C_i — altura del instrumento.

El horizonte o altura del instrumento correspondiente a cada estación lo anotamos en la columna 9.

Las cotas de los puntos intermedios los calculamos por la fórmula siguiente:

$$C_p = C_i - l_p \quad (4.24)$$

donde:

l_p — lectura de la mira colocada en el punto intermedio; estas lecturas las anotamos en la columna 5.

Ejemplo: la cota del punto intermedio 15 la obtuvimos de la siguiente forma:

$$C_{15} = 120,200 - 1,258 = 118,942$$

El control para las cotas de los puntos intermedios lo realizamos en las columnas 10 y 12 de la libreta de nivelación.

El control lo realizamos sobre la base de los valores Σ_5 , Σ_6 y C_i , obtenidos de las columnas 5, 10 y 9 respectivamente.

Si los cálculos son correctos debe cumplirse lo siguiente:

$$\Sigma_6 = nC_i - \Sigma_5 \quad (4.25)$$

donde:

Σ_6 — suma de las cotas de los puntos intermedios

Σ_5 — suma de las lecturas en los puntos intermedios

n — número de puntos intermedios

C_i — altura del instrumento.

Con esto termina la elaboración de los datos obtenidos durante la ejecución de la nivelación.

La tabla 11 representa una parte del perfil de una vía de transporte cuya nivelación acabamos de explicar. Para facilitar la ejecución del dibujo de los perfiles de

las vías de transporte, habitualmente empleamos dos escalas diferentes. Como escala horizontal escogemos aquella con la cual está confeccionado el plano principal de las excavaciones mineras (1:500, 1:1 000, 1:2 000).

Para la escala vertical escogemos una escala diez veces mayor que la horizontal (1:50, 1:100, 1:200).

Para dibujar los perfiles seguimos los siguientes pasos: primero, en la parte inferior del papel marcamos, de acuerdo con la escala horizontal seleccionada, los puntos intermedios, trazando en sus orígenes el número del punto.

A lo largo de las líneas verticales anotamos las cotas de los puntos. En base a estas cotas hacemos los cálculos de la inclinación de la parte de la vía de transporte comprendida entre los puntos intermedios, usando la fórmula:

$$i = \frac{C_{p(n+1)} - C_{p \cdot n}}{d}, \quad (4.26)$$

donde:

$C_{p(n+1)}$ y $C_{p \cdot n}$ — cotas de los puntos intermedios posteriores y anteriores respectivamente

d — distancia entre los puntos citados.

La inclinación entre los puntos 18 y 19, por ejemplo, es igual a:

$$i = \frac{119,112 - 118,840}{10} = \frac{+ 0,272}{10} = + 0,027$$

Estas inclinaciones las anotamos en el renglón $\frac{\text{inclinaciones}}{\text{distancias}}$ por encima de la línea inclinada cuya dirección indica la bajada o la subida de la vía en el tramo dado, por debajo de la línea apuntamos las distancias entre los puntos correspondientes.

Arriba del renglón que indica la rasante, trazamos una línea horizontal correspondiente al valor redondeado de la cota mínima de los puntos (en m). En nuestro caso dicha cota equivale a 118,000 m. Por encima de la línea citada trazamos una serie de líneas horizontales a una distancia de 0,5 - 1,0 m una de otra. Debe considerarse la escala vertical.

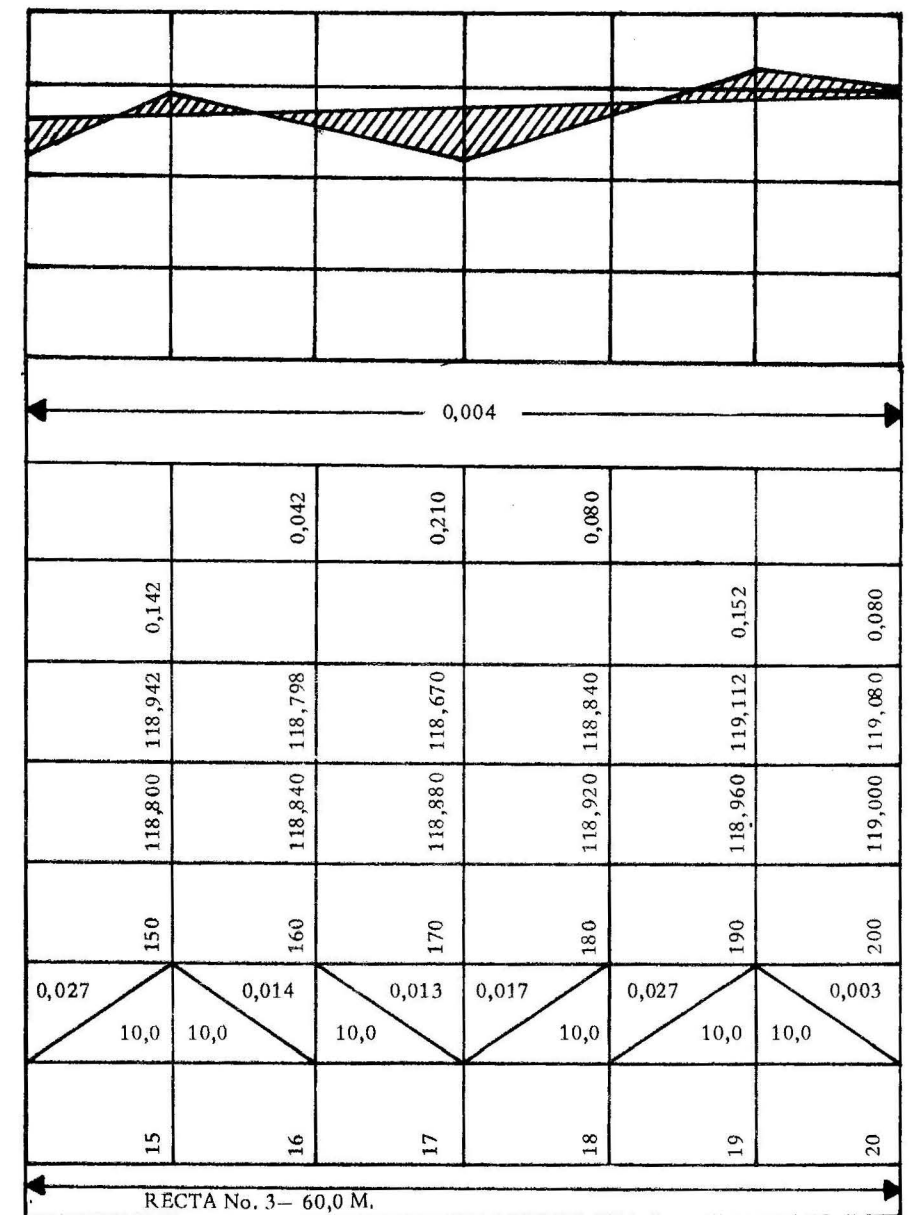
Sobre la base de las líneas verticales dibujamos, valiéndonos de las cotas, el perfil real de la vía.

Si es necesario confeccionamos, conforme al perfil dado, el proyecto de corrección de la inclinación de la vía. A tal efecto, tomamos cierta inclinación proyectada para la vía, supongamos 0,004. Marcamos en este perfil y bajo la inclinación mencionada la línea proyectada de la vía (rasante), tratando de conseguir como resultado la corrección mínima posible en la vía.

Es suficiente para ello que las áreas sombreadas (tabla 11), que figuran por encima de la rasante, sean aproximadamente iguales a las situadas por debajo de

Tabla 11
TRAZADO DEL PERFIL DE UNA EXCAVACIÓN

	119,000
	118,500
	118,000
Rasante	
Terraplén	0,096
Desmonte	—
Cota del terreno	118,674
Cota de la rasante	118,760
Distancia al origen	140
Inclinaciones	
Distancias	
Estaciones	14
Alineaciones	



Escala horizontal 1:500
Escala vertical 1:50

esta. La cota de la línea de proyección (rasante), tomada en su punto inicial (en el punto 14 en nuestro caso), lo obtenemos del proyecto; calculamos las cotas del resto de los puntos en base a la inclinación proyectada $i = 0,004$ y la distancia entre los puntos $d = 10 \text{ m}$. Para obtener la cota de la rasante aplicamos la fórmula:

$$C_{p(n+1)} = C_p + n + i d \quad (4.27)$$

donde:

C_p y $C_{p(n+1)}$ — cotas de los puntos anteriores y posterior, respectivamente.

La cota de la rasante en el punto 19, por ejemplo, la calculamos como sigue:

$$C_{19} = 118,920 + 0,004 \cdot 10 = 118,960$$

En otras palabras, para obtener en nuestro ejemplo la cota de la rasante de cierto punto, es necesario sumar a la cota del punto anterior de la rasante, el valor $0,040 \text{ m}$. Las cotas de la rasante calculadas de esta manera las anotamos en el perfil, en el renglón cota de la rasante (tabla 11).

La última fase es la obtención de los datos necesarios en la corrección del perfil real, que son: espesor del suelo que debe quitarse a la excavación o agregársele para que la vía ocupe el nivel adecuado conforme al proyecto. Los valores citados los apuntamos directamente en el perfil y son la diferencia entre la cota real y la cota de proyecto de cada punto. Si dicho valor tiene signo negativo, quitamos una parte de suelo. Si el signo es positivo rellenamos.

Sacando del perfil los datos al respecto, el topógrafo de mina apunta estos en cada punto intermedio y en los peones de la fortificación indica con pintura la cantidad de centímetros que debe aumentar o disminuir el nivel del suelo en cada punto intermedio.

La inclinación entre los puntos la rectificamos mediante un nivel de plomada.

Un nivel de plomada (fig. 4.16) tiene como partes integrantes una barra (1), dos soportes (2) y un estempe (3). Del estempe pende una plomada (4), cuyo cordel coincide con la marca vertical de la barra si el piso de la excavación tiene la inclinación correcta. Para diseñar un nivel de plomada ha de determinarse la altura del segundo estempe h_2 , tomando previamente una altura arbitraria h_1 del primer soporte. El cálculo lo efectuamos usando la fórmula:

$$h_2 = h_1 - i l \quad (4.28)$$

donde:

i — inclinación según el proyecto

l — longitud de la barra.

Si tomamos en nuestro ejemplo $i = 0,004$, $l = 2 \text{ m}$ y $h_1 = 5 \text{ cm}$, obtenemos:

$$h_2 = 5 \text{ cm} - 0,004 \cdot 200 \text{ cm} = 4,2 \text{ cm}$$

La subida o bajada de una excavación carente de vías de transporte la determinamos mediante la colocación del nivel de plomada sobre cuñas clavadas en el piso de la excavación con tramos de l metros una de otra.

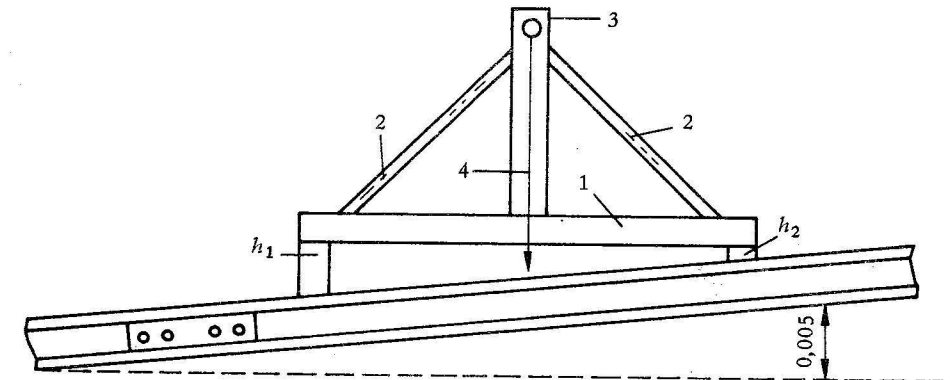


Fig. 4.16 Nivel con plomada

4.8 NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA EN LAS EXCAVACIONES MINERAS

La nivelación trigonométrica la ejecutamos en las excavaciones mineras con un ángulo de inclinación de más de $5-8^\circ$. Para la ejecución de la nivelación trigonométrica utilizamos teodolitos mineros con una apreciación en su limbo vertical no menor de $30-60''$. Los teodolitos con una apreciación de $30''$ y menor, deberán usarse para la nivelación trigonométrica en excavaciones con un ángulo de inclinación hasta 45° y una longitud del lado de la poligonal de más de 40 m . La nivelación trigonométrica la realizamos al mismo tiempo que las poligonales.

En la figura 4.17 está representado el esquema de una nivelación trigonométrica. Los puntos A y B están situados en el techo de la excavación y los puntos 1 y 2 en el piso. En el primer caso hay que determinar el desnivel entre los puntos A y B y en el segundo entre los puntos 1 y 2.

Para determinar el desnivel h_{A-B} , en el punto A, estacionamos el teodolito, en el punto B colgamos una plomada y en uno de sus puntos hacemos la marca b. Para esto frecuentemente amarramos un cordel. Hacia este punto dirigimos el anteojo del teodolito y tomamos la lectura del ángulo de inclinación δ a través del limbo vertical. En el punto A medimos con una cinta el tramo P_1 , distancia a través de la vertical desde el punto A hasta el eje de giro del anteojo del teodolito (punto a). Después medimos la distancia inclinada desde el punto a, hasta el punto b y finalmente el tramo P_2 , cuando P_2 es la distancia a través de la vertical desde el punto B hasta el punto b.

El ángulo de inclinación δ lo medimos en dos posiciones del anteojo y en cada estación calculamos el punto cero. La diferencia del valor del punto cero en las

estaciones no debe ser mayor que $2t$, donde t es la precisión de la lectura del limbo vertical.

La longitud de los tramos P_1 y P_2 debe medirse no menos de dos veces con una exactitud hasta el mm. La diferencia entre las dos mediciones no debe ser mayor de 3 mm. La distancia l la medimos con una cinta de acero igual que los lados de las poligonales subterráneas:

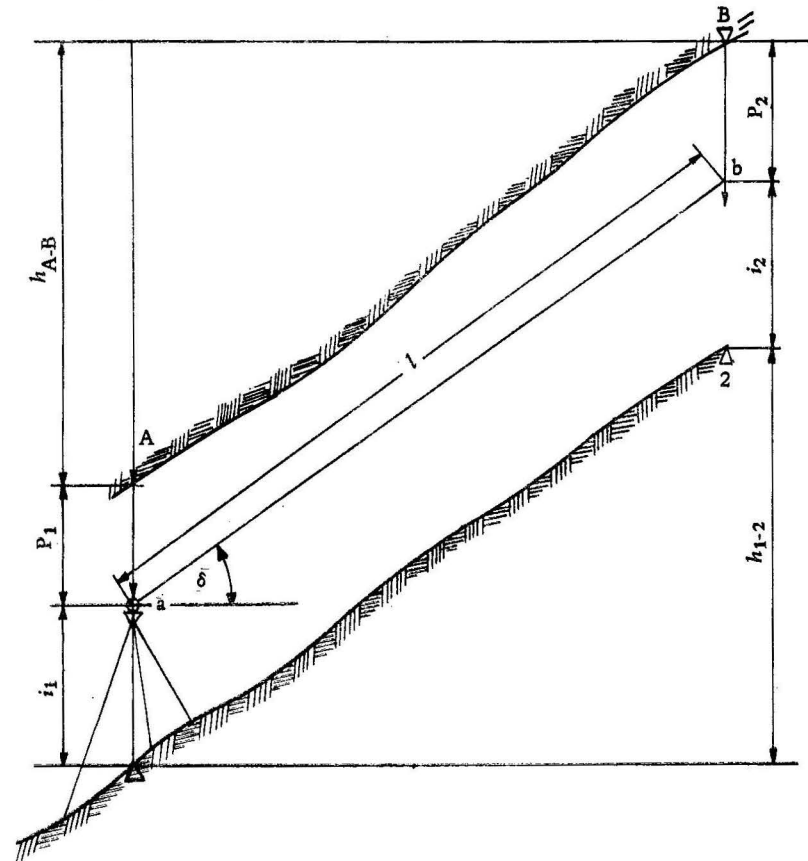


Fig. 4.17 Nivelación trigonométrica en las excavaciones mineras

El desnivel h_{A-B} puede ser calculado por la fórmula:

$$h_{A-B} = l \sin \delta - (P_1 - P_2) \quad (4.29)$$

Si los puntos están situados en el piso de la excavación (1 y 2), entonces la fórmula (4.28) tendrán la forma siguiente:

$$h_{1-2} = l \sin \delta + (i_1 - i_2) \quad (4.30)$$

Para el control del desnivel es necesario determinar su valor dos veces, en dirección de ida y vuelta. La diferencia no debe ser mayor de $1:1\,500\,l$, si la longitud $l < 30$ m y $1:2\,000$ si $l > 30$ m.

Los recorridos de la nivelación trigonométrica deben ser cerrados o trazados entre puntos de nivelación geométrica.

El error relativo en estos casos no debe superar:

1. $1:3\,000$ en la medición de las longitudes de los lados, de acuerdo con lo establecido en las normas para las poligonales precisas.
2. $1:2\,000$ en la medición de las longitudes de los lados, de acuerdo con lo establecido en las normas para las poligonales técnicas.

La diferencia en los desniveles de todo el recorrido de la nivelación trigonométrica no debe ser mayor que:

$$\Delta h = 10 \sqrt{n_1 + n_2} \quad (4.31)$$

donde:

n_1 y n_2 — número de lados del recorrido en las direcciones de ida y vuelta.

4.9 TRANSMISIÓN DE LA COTA A LOS SUBNIVELES A TRAVÉS DE LOS CONTRAPOZOS

En la preparación y explotación de los bloques tiene gran importancia el enlace de las excavaciones laterales no solo en el plano horizontal, sino también en el vertical. Para ello es necesario transmitir la cota desde el nivel principal hasta el subnivel.

En el enlace realizamos con una exactitud no muy elevada la determinación de la cota de los puntos, para los cuales no es necesario construir puntos especiales en la excavación, pudiendo emplear los puntos del levantamiento con teodolito. El método de transmisión de la cota al subnivel depende del tipo de excavación que une el subnivel con la galería principal.

A través de un contrapozo vertical. Cuando estamos en presencia de este tipo de excavación, la transmisión de la cota la efectuamos con ayuda de una cinta, que se hace descender a través del contrapozo, lo que permitirá transmitir la cota por un método análogo al estudiado en el epígrafe 4.2.

A través de un contrapozo inclinado. En este caso la cota es transmitida al subnivel por medio de la nivelación trigonométrica al mismo tiempo que realizamos la poligonal subterránea.

En algunas ocasiones existe la posibilidad de emplear al mismo tiempo la nivelación geométrica y la trigonométrica (fig. 4.18). En este caso en la parte vertical del contrapozo colocamos la cinta y con un nivel situado en el subnivel tomamos la lectura b en el extremo superior de la cinta. En el extremo inferior de la cinta tomamos la lectura a con un teodolito estacionado en un punto topográfico situado en la galería principal. Después mediremos el ángulo de inclinación δ , la longitud L desde el eje del teodolito hasta el punto a , y las longitudes l_1 y l_2 .

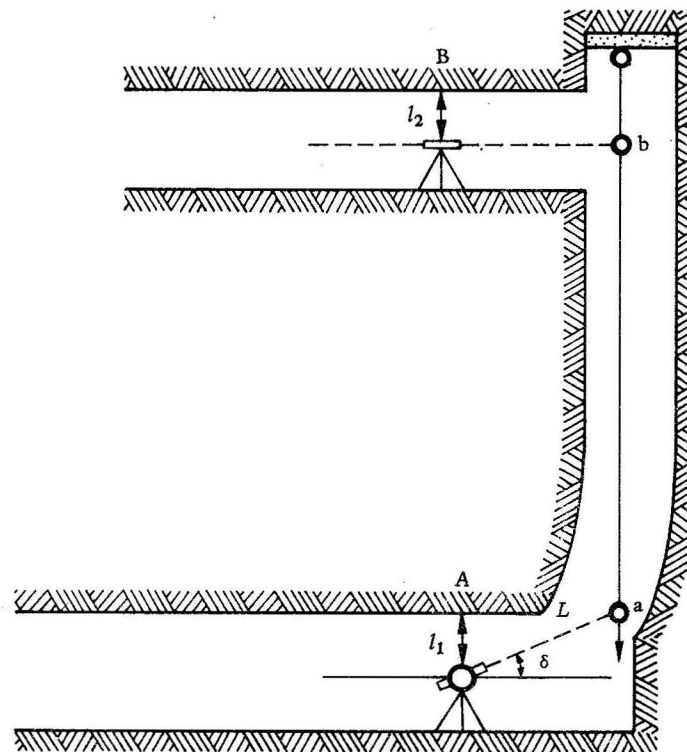


Fig. 4.18 Transmisión de la cota a través de un contrapozo

El desnivel entre ambos horizontes lo calculamos por la fórmula:

$$h_{A-B} = (b - a) + (l_2 - l_1) + L \sin \delta \quad (4.32)$$

4.10 TRANSMISIÓN DE LA COTA A UNA MINA SUBTERRÁNEA POR MEDIO DE UN TELÉMETRO

Es conocido que la transmisión de la cota desde un punto de cota fijo situado en la superficie a los puntos de la red topográfica subterránea, puede realizarse a través de las excavaciones mineras verticales, inclinadas y horizontales. Queda establecido entonces en las instrucciones técnicas para la ejecución de los trabajos de Topografía minera, que la transmisión de la cota debe hacerse dos veces como mínimo.

La transmisión de las cotas por las excavaciones con un ángulo de inclinación mayor de $5-8^\circ$ debe realizarse mediante la nivelación trigonométrica, la que recomendamos ejecutar al mismo tiempo que hacemos el recorrido poligonométrico.

De acuerdo con las instrucciones técnicas para la ejecución de los trabajos de Topografía minera, la exactitud relativa de las mediciones lineales no debe sobrepasar a 1:3 000.

La diferencia de los resultados de la doble determinación de la cota en una excavación no debe sobrepasar

$$\Delta h = 10 \sqrt{n_1 + n_2}$$

Si consideramos que $n_1 = n_2 = n$ tendremos que:

$$\Delta h = 14 \sqrt{n} \quad (4.33)$$

donde:

n_1 — número de lados en el recorrido de ida

n_2 — número de lados en el recorrido de vuelta.

En las fórmulas expresadas observamos que para el aumento de la exactitud de la transmisión de la cota a través de excavaciones inclinadas, es necesario disminuir el número de lados o aumentar sus longitudes. Antes, en la ejecución de estos trabajos existían inconvenientes en las mediciones lineales; hoy en día, con la presencia de los telémetros con una precisión no mayor de ± 10 mm, es posible con el aumento de las longitudes de los lados del recorrido de la nivelación trigonométrica no solo aumentar la productividad del trabajo en la transmisión de la cota, sino aumentar la exactitud en la determinación de la cota.

La transmisión de la cota en una mina a través de excavaciones mineras verticales en la actualidad se realiza mediante cintas de minas, alambres y medidores de profundidad.

La diferencia entre dos valores de la cota en una doble determinación no debe sobrepasar de la cantidad

$$\Delta h = (10 + 0,2 H) \text{ mm}$$

donde:

H — profundidad del pozo de la mina en m.

Con la aplicación de un nuevo método de mediciones lineales, es posible realizar la transmisión de la cota a la mina mediante un telémetro. La ventaja de la transmisión de la cota en las excavaciones subterráneas con un telémetro respecto a otros métodos consiste en la poca pérdida de tiempo (no más de 1-2 horas independientemente de la profundidad del pozo) en la realización de este trabajo y una exactitud más elevada para la determinación de la cota. Por lo tanto, la exactitud de la transmisión de la cota se determina por la exactitud del telémetro que usamos.

Según veremos a continuación tenemos dos variantes posibles de transmisión de la cota en una mina mediante un telémetro.

Transmisión de la cota con un telémetro con un aditamento especial

En las proximidades del pozo principal de la mina colocamos el telémetro (T) (fig. 4.19) con el objetivo del sistema transmisor-receptor fuertemente unido al

aditamento especial (P) (espejo o prisma plano), que refleja la superficie, que forma con los ejes ópticos de los tubos transmisor y receptor del telémetro un ángulo de 45° .

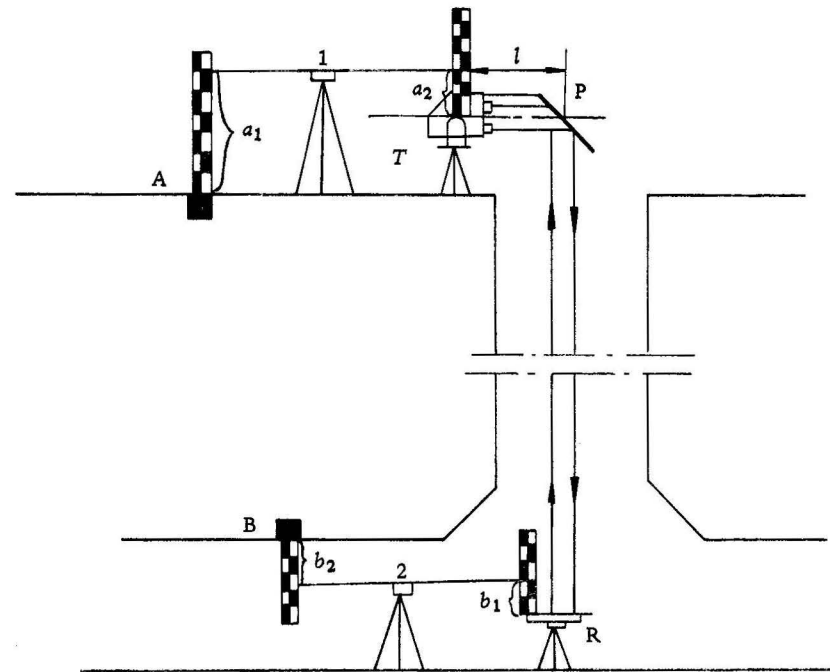


Fig. 4.19 Transmisión de la cota con un telémetro con aditamento especial

Mediante este aditamento, el flujo lumínico, que parte del tubo transmisor, hace un giro de 90° y se dirige verticalmente hacia abajo, donde encuentra el reflector (R), colocado en la estación inmediata al pozo, en la jaula o en un andamio. Los rayos de luz reflejados inciden sobre la superficie del espejo (P), dirigiéndose de nuevo hacia el tubo receptor del telémetro.

Para determinar la cota H_B del punto B en el subterráneo utilizamos dos niveles. Uno de ellos, el 1, sirve para determinar el horizonte o cota del instrumento en la superficie (cota del eje óptico del telémetro); con el nivel 2 se transmite la cota desde el reflector R al punto de referencia B.

La cota del punto B situado en la estación inmediata al pozo la calculamos por la fórmula:

$$H_B = H_A + (a_1 - a_2) - (S - l) + (b_1 + b_2) \quad (4.34)$$

donde:

H_A — cota del punto de referencia en la superficie
 a_1 y a_2 — lectura de las miras en la superficie

S — distancia medida con el telémetro

l — constante del aditamento

b_1 y b_2 — lecturas de las miras en el subterráneo.

Transmisión de la cota mediante la medición directa de la profundidad del pozo principal con un telémetro sin aditamento especial

En la plazoleta de recepción superior del pozo colocamos unas piezas de madera que recubran la boca del pozo dejando un orificio sobre el cual situamos el telémetro (T), de forma tal que los ejes ópticos del sistema de recepción y transmisión ocupen una posición vertical.

En el horizonte inferior, en la estación inmediata al pozo, colocamos el reflector (R), como podemos ver en la figura 4.20.

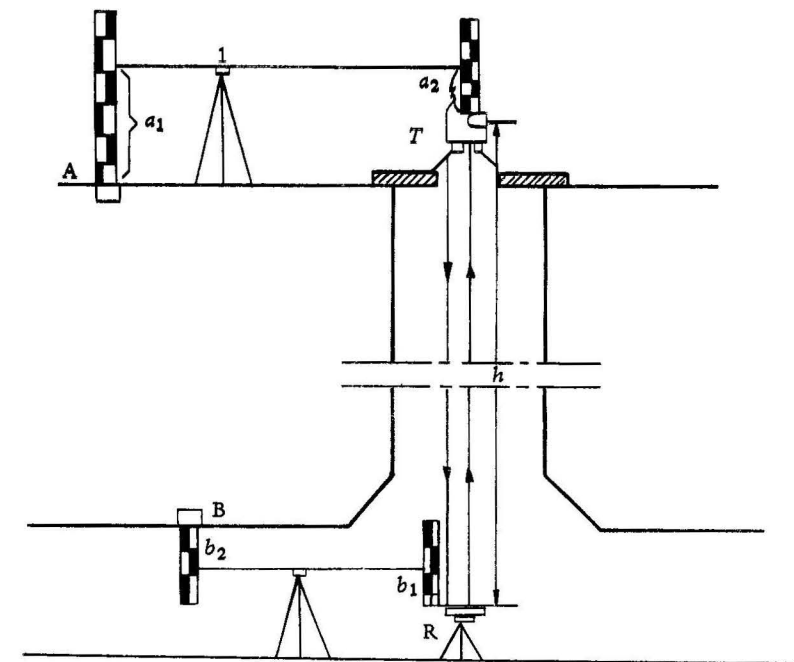


Fig. 4.20 Transmisión de la cota con un telémetro sin aditamento especial: 1 y 2 niveles

La transmisión de la cota consiste en la medición directa de la profundidad del pozo con el telémetro y la nivelación en la superficie y en la mina.

La cota del punto de referencia B situado en la estación inmediata al pozo la calculamos por la fórmula:

$$H_B = H_A + (a_1 - a_2) - h + (b_1 + b_2) \quad (4.35)$$

La transmisión de la cota con este método es posible con telémetro lumínico con moduladores de luz mecánico o de cristal y también, con telémetros ópticos cuánticos.

Para la transmisión de la cota H con telémetro es necesario preparar un aditamento especial formado por un espejo plano corriente fijado delante del objetivo receptor-transmisor del sistema óptico en una barra de longitud de 0,72 m como mostramos en la figura 4.19.

Durante la medición de la profundidad del pozo con el telémetro se determina la temperatura y la presión del aire alrededor de la boca del pozo, en la estación inmediata al pozo y alrededor del reflector al inicio y al final de la observación. Como valor final de la temperatura y de la presión del aire para el cálculo de la velocidad de la luz se tomará la media aritmética de todas las mediciones.

Para la prevención contra la caída de agua, producto del goteo en el reflector, dirigimos sobre este último una corriente de aire con una presión de 3-4 atm.

La medición de la profundidad del pozo la realizamos con tres mediciones. El tiempo necesario para la transmisión de la cota a la mina oscila entre 1,5-2 horas.

Uno de los esquemas antes expuestos de transmisión de la cota en la mina con un telémetro y aditamento especial, fue realizado en condiciones de producción en octubre de 1961 por V. Z. Pachenkov con ayuda del telémetro lumínico DST-2 (Д СТ-2); la cota se transmitió a la mina a través de un pozo vertical con una profundidad de 365 m a un punto de referencia situado en el subterráneo, cuya cota había sido determinada con anterioridad con una cinta de mina larga.

La diferencia entre las alturas obtenidas por el método convencional y el método con telémetro, resultó ser igual a $\Delta H = -0,122$ m lo que corresponde a la exactitud de la medición de la distancia con el telémetro DST-2.

Es conocido también el estudio del empleo de los telémetros de radio para determinar la profundidad del pozo. Sin embargo, la dificultad fundamental para transmitir la cota es que la exactitud es afectada considerablemente por la influencia que resulta de la reflexión de las ondas de radio en la fortificación y en las paredes del pozo y por otras causas; de ahí que su empleo no se haya difundido tanto como ha ocurrido con los telémetros lumínicos.

BIBLIOGRAFÍA

- FILATOV, S.A. y otros: *Instrucciones técnicas para la ejecución de los trabajos de Topografía minera*. Segunda edición. Editorial Niedra, Leningrado, 1973.
- KAZAKOVSSKII, D.A. y otros: *Trabajos de Topografía minera*. Primera edición. Editorial Ugletejizdat, Moscú, 1959.
- _____: *Trabajos de Topografía minera*. Segunda edición. Editorial Niedra, Moscú, 1970.
- OGLOBLIN, D.N.: *Trabajos de Topografía minera*. Segunda edición. Editorial Niedra, Moscú, 1972.
- OMELCHENKO, A.N.: *Manual para los trabajos de Topografía minera*. Tercera edición. Editorial Niedra, Moscú, 1973.
- PASCHENKOV, V.Z.: *Telémetros de radio y lumínicos*. Primera edición. Editorial Niedra, Moscú, 1972.

Este libro ha sido impreso
por el Combinado Poligráfico
«Evelio Rodríguez Curbelo»
Se terminó de imprimir en el
mes de febrero de 1984
«Año del XXX Aniversario
del Moncada»