

TEMA 2.- INSTRUMENTOS USADOS EN TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA.

2.1.- Señalización de los puntos de estación.

En topografía subterránea es muy habitual que las señales que marcan los puntos de estación no se puedan colocar en el suelo, ya que el paso de personal y de maquinaria podría hacerlas desaparecer. Por ello se colocan, normalmente, en el techo de las labores, utilizando una plomada para proyectarlas sobre el piso.

Para la puesta en estación proyectaremos el punto sobre el suelo, donde se marcará con un clavo, y se procederá a estacionar sobre este clavo utilizando el procedimiento habitual. En muchos casos se prefiere suspender una plomada desde el punto marcado en el techo y centrar el instrumento con referencia a esta plomada.

Los puntos de estación se elegirán de manera que los recorridos de los itinerarios sean lo más sencillos posible y su número de estaciones lo más bajo posible, para evitar la acumulación de errores. Las señales no deben estar sometidas a movimientos. Se deben numerar de forma ordenada y recoger claramente las observaciones necesarias en las libretas de campo, incluyendo croquis cuando sea preciso, para facilitar su localización.

En exterior, los puntos se suelen denominar usando letras mayúsculas. En interior se suelen emplear minúsculas, seguidas de apóstrofes o de subíndices en caso necesario.

Las estaciones marcadas en el techo de la labor deben ser fáciles de localizar y no estar expuestas a desaparecer. Para que el punto de estación quede marcado inequívocamente, emplearemos las siguientes normas:

- El hueco del cáncamo por el que pasa el hilo de la plomada debe ser de diámetro un poco superior al de éste.
- El cáncamo debe situarse en el plano vertical que contenga a la bisectriz del ángulo formado por las dos visuales a lanzar desde la estación: la de la estación anterior y la de la siguiente.
- El hilo de la plomada debe introducirse en el ojal siempre en el mismo sentido y utilizando esta norma para todas las estaciones.

Cuando la entibación es de madera (figura 2.1) las señales se clavan con facilidad. Pueden emplearse grapas de hierro, cerrando un poco la curvatura para aproximarla

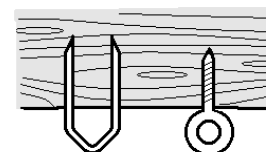


Fig. 2.1. Señalización de estaciones (1)

al grosor del hilo de la plomada. También puede emplearse un cáncamo normal, con el ojal pequeño.

Cuando la entibación es de metal puede sujetarse una cuña de madera, mediante grapas, y proceder como en el caso anterior. También se utiliza una pistola (de las que emplean los electricistas) para empotrar tornillos apropiados, provistos de un ojal, en la entibación.

En labores en roca puede utilizarse un martillo perforador para hacer un taladro e introducir en él un taco de madera sobre el que se clavará el cáncamo (figura 2.2). También pueden emplearse tacos de plástico. Utilizando cemento mezclado con sosa (para que fragüe rápido) se pueden sujetar grapas en el techo (figura 2.3). En este caso conviene doblar ligeramente las patas de la grapa hacia afuera y cerrar la curvatura de ésta, como se indicó antes.

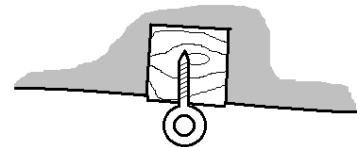


Fig. 2.2. Señalización de estaciones (2)

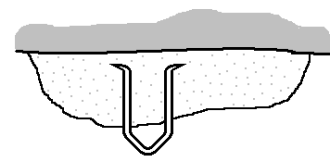


Fig. 2.3. Señalización de estaciones (3)

Para localizar fácilmente los puntos, conviene marcar un círculo rojo con pintura alrededor de cada uno, una vez puesta la señal que sujetará la plomada.

2.2.- Medida de ángulos.

Las circunstancias propias de los trabajos de interior obligan, con frecuencia, a establecer itinerarios de lados muy cortos, lo que supone mayores errores en la medida de ángulos. En particular, el error de dirección puede ser muy importante, especialmente si la puesta en estación no se hace con el cuidado necesario.

Antiguamente se empleaban teodolitos con anteojo excéntrico, de manera que se pudieran lanzar visuales verticales a lo largo de pozos y chimeneas. Pero las complicaciones que suponían, y la necesidad de introducir en todas las mediciones la corrección por excentricidad, han hecho que en la actualidad se utilicen, normalmente, equipos de uso general. Para poder lanzar visuales verticales, estos equipos se dotan de oculares acodados.

También pueden emplearse, siempre que la apreciación sea compatible con la precisión de los trabajos topográficos y que no existan perturbaciones magnéticas en el subsuelo, las brújulas.

Para transmitir la orientación a las labores de interior puede emplearse el giroteodolito, que estudiaremos más adelante, al tratar el tema de la orientación en labores subterráneas.

2.2.1.- Teodolitos, taquímetros y estaciones totales.

Como hemos indicado, suelen emplearse instrumentos similares a los de exterior, siempre teniendo en cuenta las condiciones de iluminación de las labores subterráneas y, en caso necesario, que sean antigrisú.

No obstante, existen equipos especialmente diseñados para trabajos de interior. Estos equipos se estacionan de manera que no interrumpan los servicios de arranque y de transporte de material.

En algunos casos se coloca el instrumento sobre una barra horizontal, que se apoya en los hastiales a altura suficiente para no interrumpir el transporte. En otros casos, especialmente si las labores son angostas, el instrumento se suspende de un perno introducido en el hastial o en el techo de la labor.

Los equipos antiguos se iluminaban, mediante el equipo adecuado, a través de los puntos de entrada de luz, de manera que pudieran tomarse lecturas sobre los limbos. Los teodolitos electrónicos y las estaciones totales disponen de una pantalla, donde pueden leerse los resultados de la medición, que puede estar iluminada.

Las plomadas y las señales de puntería se iluminan desde atrás, interponiendo una pantalla de papel o de plástico para no deslumbrar al operario del instrumento. También pueden iluminarse lateralmente. Todos los equipos de iluminación, en caso de minas de carbón, deben ser antigrisú.

La puesta en estación se realiza, generalmente, con relación a una plomada que cuelga de un cáncamo situado en el techo de la labor, como hemos visto (figura 2.4). Moveremos el instrumento, montado sobre el trípode, hasta situarlo aproximadamente bajo la plomada y, a continuación, utilizaremos el juego del instrumento sobre la meseta del trípode para afinar mejor. La plomada debe estar en la prolongación del eje principal del instrumento.

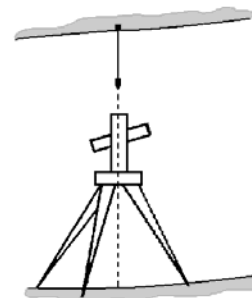


Fig. 2.4. Puesta en estación

Muchos instrumentos llevan una señal o un pivote para indicar el centro del anteojo. Si situamos el anteojo en posición horizontal, esta señal nos indicará el punto sobre el que debe estar la plomada para conseguir la puesta en estación. Si el aparato no dispone de esta señal, la materializamos estacionando aproximadamente bajo la plomada y marcando con un lápiz el círculo que describe la punta de ésta sobre el anteojo (situado en posición horizontal) al girar la alidada horizontal. El centro de este círculo es el punto buscado.

Para medir el ángulo entre ejes de un itinerario (figura 2.5) se sitúan plomadas en los tres puntos que lo definen, es decir en los puntos que marcan nuestra estación y las estaciones anterior y siguiente. Como en el caso de medición de ángulos en el exterior, si hemos orientado previamente el instrumento (con la visual de espaldas) obtendremos acimutes y si no, obtendremos las lecturas horizontales.

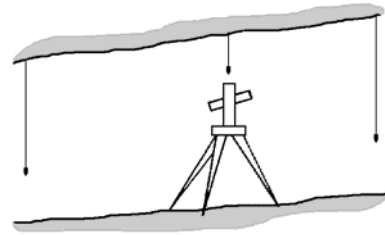


Fig. 2.5. Medición de ángulos

Si interesa calcular el ángulo interior, se puede hacer por diferencia de lecturas o, directamente, haciendo cero en la visual de espaldas.

Cuando no sea posible estacionar en el punto E previsto (por existir escombros, agua, inicio de una labor, etc.) lo haremos en un punto P lo más próximo posible y desde el que sean visibles las estaciones anterior A y siguiente B (figura 2.6). Aplicaremos la *reducción al centro de estación* para calcular los ángulos a y b y las distancias D_{EA} y D_{EB} que se habrían medido de haber podido estacionar en E .

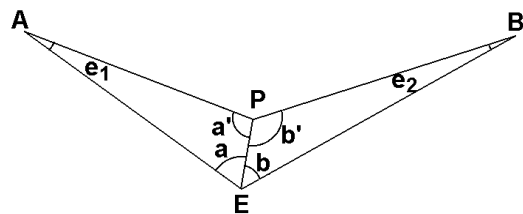


Fig. 2.6. Reducción al centro de estación

Tras estacionar en P visamos a los puntos A y B , determinando los ángulos a' y b' y midiendo las distancias D_{PA} y D_{PB} . También mediremos la distancia D_{EP} . En todos los casos nos referimos, naturalmente, a distancias reducidas.

Resolviendo los dos triángulos formados, de cada uno de los cuales conocemos dos lados y el ángulo comprendido, podremos calcular los ángulos a y b y las distancias D_{EA} y D_{EB} que nos interesan.

2.2.2.- Brújulas.

Las brújulas montadas sobre trípode se utilizan como en topografía de exterior, estacionando en los puntos señalados por plomadas y midiendo los rumbos correspondientes a los ejes de los itinerarios o a los puntos levantados por radiación.

Como sabemos, la ventaja fundamental de la brújula es que se orienta al norte magnético, una vez liberada la aguja. Como inconvenientes podemos mencionar:

- Menor precisión.
- La declinación magnética varía continuamente.
- Pueden existir anomalías en el campo magnético provocadas por minerales metálicos, maquinaria, vías, líneas eléctricas, etc.

En labores angostas se emplea la brújula colgada o brújula de minero (figura 2.7). Esta brújula se cuelga de un punto intermedio de una cuerda tendida entre los dos puntos extremos de la alineación a medir. Va montada sobre una suspensión cardán, de manera que puede nivelarse a pesar de la inclinación de la cuerda de la que cuelga.

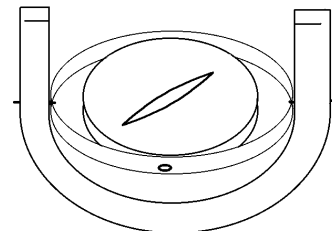


Fig. 2.7. Brújula colgada

Para evitar que la brújula deslice sobre la cuerda, si ésta está muy inclinada, se utilizan pinzas o se hacen nudos.

Las brújulas colgadas suelen ir divididas en medios grados. Para mejorar la apreciación se toma la media aritmética de las lecturas tomadas con las dos puntas de la aguja, previa corrección de la de espaldas. Suelen ser de limbo móvil y graduación inversa.

La brújula colgada sólo debe emplearse cuando no sea posible utilizar un instrumento más preciso. No mide ángulos verticales por lo que debe usarse acompañada de un eclímetro.

2.2.3.- Eclímetros.

Sirven para medir, en labores angostas, el ángulo vertical correspondiente a la alineación formada por dos puntos. Así podrá determinarse la distancia reducida y el desnivel entre ellos.

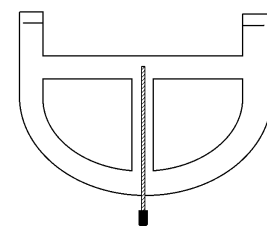


Fig. 2.8. Eclímetro

Están constituidos por un semicírculo graduado y una plomada que cuelga del centro del círculo. El hilo de esta plomada sirve como índice de lectura.

Se utilizan colgados de una cuerda tendida entre los puntos, como las brújulas mineras. En el caso de los eclímetros, si la cuerda es bastante horizontal conviene colgarlo del centro de ésta. En caso contrario es conveniente suspenderla alternativamente de ambos extremos del hilo, a un metro de cada uno de ellos, y hallar la media aritmética de las dos lecturas obtenidas.

Debe anotarse claramente si la inclinación es subiendo o bajando, para no cometer errores en el cálculo del desnivel.

2.3.- Medida de distancias.

Como ocurre en topografía de exterior, las distancias que van a interesar en topografía minera son las distancias reducidas. Por otra parte, también será necesario, en muchas ocasiones, determinar la profundidad de los pozos y otras labores.

2.3.1.- Medida directa de distancias horizontales.

La medida directa puede ser conveniente en algunos casos, especialmente cuando nos encontramos con distancias cortas y labores angostas en las que no resulta fácil estacionar un instrumento topográfico. El instrumento que vamos a utilizar es el rodete.

Para distancias inferiores a 20 ó 25m y sensiblemente horizontales la medición pueden realizarla dos operarios que tensan la cinta sujetándola a la altura del pecho. Las plomadas que nos señalan los puntos servirán de índices de lectura sobre la cinta. Si necesitamos efectuar la medición con más precisión, y para evitar el error producido por la catenaria que forma la cinta, será necesario apoyarla sobre el suelo, clavando en cada extremo (siguiendo las direcciones de las plomadas) unas agujas especiales.

Cuando la alineación a medir es inclinada, será necesario medir la inclinación (con goniómetro o eclímetro) para luego poder determinar la distancia reducida. Para proceder con la debida precisión, la inclinación medida debe corresponder, sensiblemente, al eje (o al piso) de la labor. Así, si medimos con un goniómetro la inclinación de la alineación marcada por dos

plomadas, debemos procurar que la altura del instrumento coincida con la del jalón sobre el que va el prisma de reflexión total.

Según hayamos medido una distancia cenital o una altura de horizonte, la distancia reducida se obtiene, como sabemos, multiplicando la distancia natural medida por el seno o por el coseno del ángulo, respectivamente.

Otra posibilidad es la de medir por resaltos horizontales, dividiendo la longitud total en tantos tramos horizontales como sea preciso y midiéndolos por separado. Entre cada dos tramos se sitúa una plomada, que indica el final de un tramo y el principio del siguiente. Las plomadas deben alinearse correctamente, preferiblemente con ayuda del anteojo de un goniómetro.

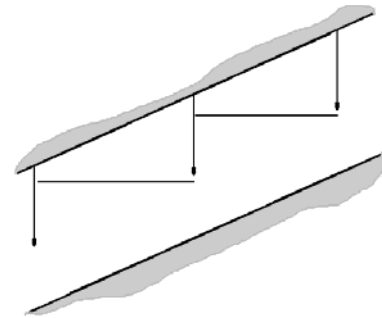


Fig. 2.9. Medida de la distancia por resaltos horizontales

En general, para realizar las mediciones con precisión, debemos tener en cuenta:

- La cinta métrica debe ser contrastada.
- Si es posible, mediremos sobre el suelo de la labor para tener en cuenta el error de catenaria.
- Cuando la longitud total a medir sea mayor que la de la cinta, debemos dividir aquella en tramos. Las señales (agujas, plomadas, etc.) que marquen cada tramo deben estar bien alineadas.
- Si la longitud a medir es inclinada, debemos medir también la inclinación para poder calcular la distancia reducida. Si la alineación está compuesta por tramos de distinta inclinación, mediremos por separado la distancia y la inclinación de cada tramo.

2.3.2.- Medida directa de distancias verticales.

Existen varios posibles métodos. En cada ocasión tendremos en cuenta la precisión necesaria antes de elegir entre uno y otro.

Medida con hilo de acero.

Se baja por la labor a medir un hilo de acero lastrado, que va enrollado en un torno provisto de freno (figura 2.10). Haremos sobre el hilo las señales necesarias para medir la profundidad de los distintos puntos de interés. A continuación se saca el hilo y se extiende en un terreno horizontal. Mediremos la distancia L entre las señales utilizando una cinta métrica debidamente contrastada.

Si la precisión del trabajo lo requiere, corregimos la distancia medida, teniendo en cuenta el alargamiento elástico del hilo de acero, con la expresión:

$$\Delta L = \frac{\gamma L^2}{2 E} + \frac{P L}{\Omega E}$$

Siendo:

- L la longitud medida con cinta expresada en cm
- γ el peso específico del acero: $0,0079 \text{ kg/cm}^3$
- E el módulo de elasticidad del acero: $2.100.000 \text{ kg/cm}^2$
- P el peso del lastre en Kg
- Ω la sección transversal del hilo en cm^2

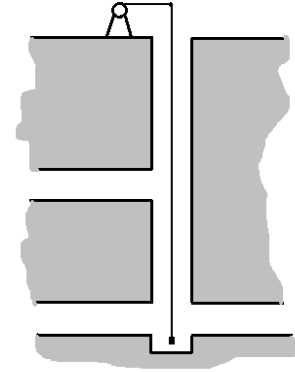


Fig. 2.10. Medida en pozos

El resultado viene expresado en cm y hay que añadirlo a la longitud medida.

Medida con cinta metálica.

Se utilizan cintas de 50m de longitud. Si se precisa medir profundidades mayores podemos unir dos cintas, obteniendo una de 100m.

Las cintas se lastran con un peso de 5kg y se van bajando de una labor a otra, haciendo sobre ella las señales correspondientes. Normalmente se desprecia el alargamiento de la cinta, pero es conveniente que ésta esté bien contrastada.

Método Firminy.

Es un método muy preciso, pero más complicado de realizar. Emplea un hilo de acero, normalizado y enrollado en un torno con freno. La medición se realiza gracias a una bancada, situada en el exterior, provista de una regla móvil de 4 ó 5 m de largo. Para medir la longitud del hilo entre dos señales (correspondientes a los dos puntos entre los que se quiere medir la profundidad) se va haciendo por tramos de la misma longitud que la regla.

2.3.3.- Medida indirecta de distancias.

Para medir distancias horizontales en interior se utilizan instrumentos similares a los empleados en topografía exterior. No nos extendemos en los métodos estadimétricos, suficientemente conocidos y que en la actualidad han sido sustituidos por los métodos electrónicos.

Los equipos electrónicos de medida de distancias pueden ser empleados en el interior, pero conviene comprobar antes que no se producen errores provocados por la reflexión en las paredes y el techo de las labores. Son muy convenientes las estaciones totales láser, ya que las distancias cortas pueden medirse sin empleo de prisma y el mismo haz láser nos indica el punto que estamos visando, lo que facilita el levantamiento de puntos de difícil acceso.

El empleo de estaciones totales permite, como sabemos, medir simultáneamente ángulos, distancias y desniveles, lo que simplifica enormemente el trabajo.

En el caso de minas grisúosas, es preciso comprobar previamente que los equipos electrónicos cumplen las normas de seguridad.

Para la medición de distancias verticales en pozos, también pueden emplearse determinados equipos electrónicos. Estos equipos deben ser susceptibles de lanzar visuales cenitales y admitir oculares acodados. Para medir la profundidad del pozo, el equipo debe situarse al fondo del mismo. Si fuese preciso estacionarlo sobre una plataforma, se deben montar dos: una para el equipo y otra para el operador. De lo contrario, los movimientos de éste podrían transmitirse a aquel.