

## **TEMA 3.- MÉTODOS TOPOGRÁFICOS SUBTERRÁNEOS.**

### **3.1.- Introducción.**

Mucho antes de que comiencen las labores de excavación es necesario realizar un levantamiento topográfico de superficie de la zona que será afectada por la explotación minera o por la obra subterránea en cuestión. Como hemos visto, la escala mínima de este levantamiento será de 1:5.000 ya que va a servir, entre otras cosas, para elaborar el plano de superficie correspondiente.

El levantamiento de superficie es un trabajo topográfico convencional, para el que habrá que establecer las redes planimétricas y altimétricas habituales y aplicar los métodos e instrumentos estudiados en la asignatura *Topografía*.

También puede resolverse esta fase mediante un levantamiento fotogramétrico, sobre el que habrá que incorporar los límites del grupo minero, la situación de los polvorines, etc.

Estos planos de superficie deben mantenerse permanentemente actualizados, pero en minería subterránea (al contrario de los que ocurre en minería a cielo abierto) las variaciones en superficie son relativamente pequeñas y se suelen limitar a la construcción de algunas instalaciones y edificios en el exterior y, eventualmente, al avance de vertederos de estériles. Mención aparte merece el caso de hundimientos en superficie provocados por las labores de interior, que estudiaremos más adelante.

El levantamiento y la actualización de planos, a partir de los vértices empleados para el levantamiento topográfico o fotogramétrico inicial, resulta sencillo y no vamos a extendernos en él.

Un caso especial es el constituido por los trabajos topográficos que permiten enlazar las labores de interior con el levantamiento exterior, necesarios para referir aquellas al mismo sistema de coordenadas empleadas en éste (y, en definitiva, enlazar con la red geodésica) y de los que nos ocuparemos más adelante.

En este capítulo vamos a tratar los métodos planimétricos y altimétricos empleados para el levantamiento de las labores subterráneas y para la actualización continua de estos trabajos, especialmente en lo que se refiere a la toma de avances de los frentes de explotación.

### 3.2.- Métodos planimétricos.

La distribución de las labores subterráneas hace inviable, en la mayoría de los casos, la aplicación del método de intersección para el levantamiento planimétrico de vértices en interior.

En ocasiones se emplea la intersección directa para el levantamiento de puntos de difícil acceso y en los cuales resultaría difícil, e incluso peligroso, situar una señal de puntería.

El procedimiento operativo consiste en

estacionar en dos puntos conocidos, tan alejados entre sí como sea posible, y visar desde cada uno de ellos al otro punto conocido y al punto que se desea medir. Como sabemos, las coordenadas planas de este último punto pueden calcularse a partir de las de los puntos conocidos y de las lecturas horizontales obtenidas. Esta operación puede realizarse también, como hemos visto, con distanciómetros o estaciones totales láser, siempre que la distancia al punto de estación no supere el alcance del equipo.

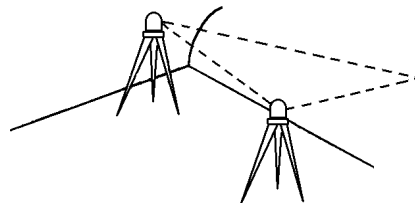


Fig. 3.1. Intersección

Tampoco es frecuente emplear la fotogrametría terrestre en interior, entre otras razones por los problemas de iluminación inherentes a los trabajos subterráneos. No obstante, en ocasiones se realizan levantamientos fotogramétricos situando un equipo giratorio que proyecta un haz de rayos láser, según un plano vertical, marcando el perfil de la labor. Este perfil puede ser fotografiado y restituído.

El método más usado es el de itinerario, a través de las galerías y otras labores, completado con el de radiación para el levantamiento de detalles.

#### 3.2.1.- Método itinerario.

Los itinerarios de interior se realizan y se calculan del mismo modo que los de exterior. Pero en este caso las dificultades son mayores, como se ha indicado, debido al elevado número de ejes, a su reducida longitud y a las dificultades de la puesta en estación y de la realización de las mediciones. Es fundamental poner especial atención en la planificación y en la ejecución de estos trabajos para evitar una acumulación excesiva de errores.

Según los casos, emplearemos unos u otros de los instrumentos topográficos que hemos visto. Los teodolitos y estaciones totales nos proporcionan los mejores resultados, pero en ocasiones habrá que emplear

brújulas y eclímetros para la medida de ángulos y cinta métrica para la de distancias.

### Itinerario cerrado.

Los itinerarios cerrados son aquellos en los que el punto final coincide con el inicial. Los aplicaremos siempre que sea posible, estableciendo un recorrido por las labores que interesa levantar hasta volver, por éstas o por otras ya levantadas, al punto inicial.

Para relacionar las coordenadas de los puntos visados con las de los vértices del levantamiento exterior, necesitaremos conocer las coordenadas de la primera estación del itinerario y disponer de una dirección de acimut conocido (1-1' en la figura 3.2), que nos permita orientar el itinerario. Esta orientación puede haberse transmitido a través de un pozo o de una rampa.

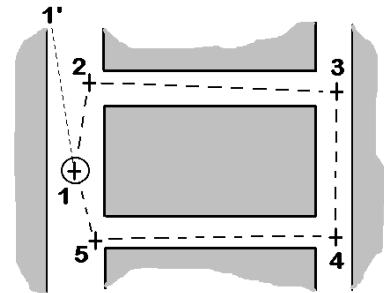


Fig. 3.2. Itinerario cerrado

El error de cierre acimutal puede calcularse, antes de resolver numéricamente el itinerario, a partir de la diferencia de los sumatorios de lecturas de espaldas y lecturas de frente. Una vez calculados los acimutes de los ejes, el error de cierre  $e_a$  se divide por el número de estaciones  $n$  y se compensa de la siguiente forma:

$$f = e_a/n$$

$$(\theta_1^2)_c = \theta_1^2 - f$$

$$(\theta_2^3)_c = \theta_2^3 - 2f$$

$$\dots$$

$$(\theta_{N-1}^N)_c = \theta_{N-1}^N - nf$$

que tiene en cuenta que, si utilizamos un goniómetro que no sea una brújula, los errores acimutales se van transmitiendo y acumulando a lo largo del itinerario. En itinerario cerrados la última estación  $N$  coincidirá con la primera. En el caso de que se emplee una brújula los errores angulares no se transmiten, ya que la brújula se orienta en cada estación de forma independiente de las demás estaciones. En este caso, para compensar los rumbos medidos se aplicará el mismo valor a todos ellos.

Los errores de cierre en cada una de las coordenadas (X, Y y Z) se compensan repartiéndolos de forma proporcional al valor absoluto de cada uno de los valores calculados para las

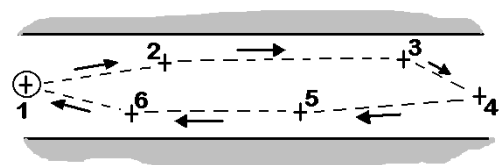


Fig. 3.3. Itinerario cerrado por una galería

coordenadas.

Otras veces (figura 3.3) se realizan itinerarios cerrados recorriendo una labor en un sentido y volviendo en sentido contrario por la misma labor hasta regresar al punto de estación. El inconveniente de estos itinerarios es que, para realizarlos de forma adecuada, conviene que las estaciones del recorrido de ida sean diferentes de las del recorrido de vuelta, lo que no siempre es factible en labores angostas. También en este caso necesitamos una visual de acimut conocido, desde la primera estación, para poder orientar el itinerario.

### Itinerario encuadrado.

En ocasiones se dispone de dos puntos de coordenadas conocidas, entre los que se puede establecer un itinerario encuadrado. En los itinerarios encuadrados de exterior, la orientación se consigue lanzando visuales entre las dos estaciones extremas ( $D$  y  $H$  en la figura 3.4), lo que no suele ser posible en interior ya que es raro que estos dos puntos sean visibles entre sí. Los puntos de interior de coordenadas conocidas pueden corresponder a dos pozos, cuyas coordenadas se han calculado mediante un itinerario de exterior ligado a la red geodésica. Mediante plomadas situadas en los pozos marcamos las estaciones en el interior y sus coordenadas planas ( $X$  e  $Y$ ) coincidirán con las de exterior y serán, por tanto, conocidas. Las coordenadas del punto de interior también pueden haberse medido a través de una rampa.

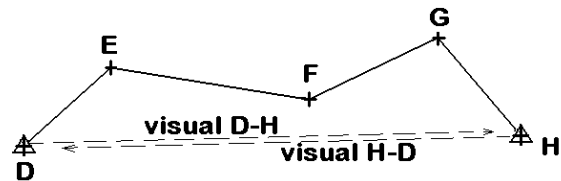


Fig. 3.4. Itinerario encuadrado (exterior)

Además, puede ser que hayamos transmitido la orientación al interior por un pozo o por una rampa (direcciones  $d-d'$  y  $h-h'$  en la figura 3.5). La transmisión de orientación al interior se estudiará posteriormente, pero podemos adelantar que nos proporciona una dirección de acimut conocido a partir del punto materializado en el interior, lo que permite orientar el instrumento topográfico estacionado en él (o calcular la corrección de orientación, si se prefiere trabajar así).

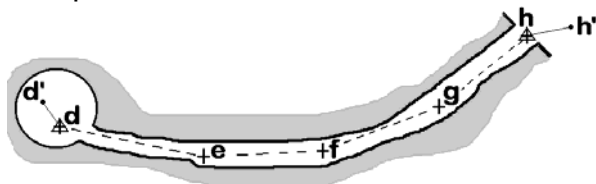


Fig. 3.5. Itinerario encuadrado (interior) con estaciones extremas ( $d$  y  $d'$ ) orientadas

En otras ocasiones no se dispone más que de las coordenadas de una sola estación, que puede estar orientada o no estarlo.

En función de los datos disponibles sobre las estaciones inicial ( $E_i$ ) y final ( $E_f$ ) se pueden dar los siguientes casos:

- $E_I$  y  $E_F$  conocidos y visibles entre sí.- El itinerario se resuelve y se compensa por el procedimiento que ya conocemos: la primera visual de espaldas (de  $E_I$  a  $E_F$ ) sirve para orientar el itinerario y la última visual de frente (de  $E_F$  a  $E_I$ ) sirve para calcular el error de cierre acimutal.
- $E_I$  y  $E_F$  conocidos y no visibles entre sí. Ambos están orientados.- El itinerario se resuelve de forma similar, pero en esta ocasión la orientación se consigue lanzando desde  $E_I$  la visual de acimut conocido ( $V_1$ ) y el error de cierre acimutal se calcula lanzando desde  $E_F$  la otra visual ( $V_2$ ) de acimut conocido (figura 3.6).

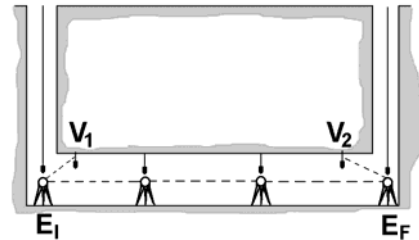


Fig. 3.6. Itinerario encuadrado con estaciones extremas orientadas

- $E_I$  y  $E_F$  conocidos y no visibles entre sí. Sólo  $E_I$  está orientado.- Se orienta el itinerario mediante la visual de  $E_I$ . Se resuelve y se calculan las coordenadas de  $E_F$ . Comparando estas coordenadas con las que conocemos de antemano, se ve si el error de cierre es excesivo. Para compensarlo, calculamos el acimut  $\theta_{IF}^F$  y la distancia reducida  $D_{IF}$  de la alineación de los dos puntos con las coordenadas conocidas de ambos. A continuación volvemos a calcularlos pero empleando para  $E_F$  las coordenadas obtenidas tras resolver el itinerario. La diferencia entre estos dos acimutes se aplica a los acimutes de todos los tramos del itinerario. Las distancias de los tramos se corrigen multiplicándolas por la relación entre las dos distancias calculadas. Finalmente, se vuelven a calcular, con estos nuevos datos, las coordenadas de todas las estaciones.
- $E_I$  y  $E_F$  conocidos y no visibles entre sí. Ninguno de los dos está orientado.- Partimos de una orientación arbitraria desde  $E_I$  y resolvemos el itinerario hasta calcular las coordenadas de  $E_F$ . Procedemos como en el caso anterior, corrigiendo los acimutes y las distancias de los tramos del itinerario. La diferencia es que, en este caso, el itinerario no tiene comprobación.
- Sólo  $E_I$  es conocido y está orientado.- El itinerario no tiene comprobación.

Como vemos, si sólo se han determinado las coordenadas en los pozos, relacionándolas con la red exterior, pero no se ha transmitido la orientación al interior, el itinerario tiene solución pero no se puede comprobar ni compensar, salvo que las estaciones extremas sean visibles entre sí. En los itinerarios

abiertos denominados *colgados*, podemos calcular las coordenadas de las estaciones pero no el error de cierre. Esto supone que cualquier error importante puede pasar desapercibido, lo que resulta arriesgado. La única solución consiste en repetir el itinerario en sentido contrario, procurando, como hemos indicado, estacionar en puntos distintos a los anteriores.

### 3.2.2.- Método de radiación.

Emplearemos el método de radiación para completar el levantamiento de las distintas labores de interior. Se levantarán todos los detalles que deban figurar en los planos de la explotación y también aquellos que puedan ser relevantes para las labores de investigación (fallas, contactos, etc.) y de planificación minera (secciones, perfiles, etc.).

El método de radiación se aplica desde las estaciones de los itinerarios. Como sabemos, se puede trabajar con el instrumento topográfico orientado, midiendo directamente los acimutes de las alineaciones visadas. Si optamos por no orientar el instrumento, será preciso lanzar una visual a una dirección de acimut conocido (normalmente la estación anterior del itinerario) para poder trabajar mediante corrección de orientación. Lo más adecuado es realizar conjuntamente los itinerarios y la radiación, siempre que sea posible. De esta manera ahorramos tiempo y reducimos la posibilidad de que se produzcan errores groseros, ya que sólo hay que estacionar una vez en cada punto de estación.

Tal como ocurre con los itinerarios, todos los puntos radiados deben referirse a la red exterior para trabajar en un sistema de coordenadas común a ambas redes.

En caso necesario, puede levantarse por radiación una estación destacada  $e_d$  desde la que se levantan posteriormente, también por radiación, los puntos de interés 1, 2, 3, etc. (figura 3.7). Para poder orientar esta estación destacada se lanza, una vez hemos estacionado en ella, una visual de espaldas a la estación  $p$  del itinerario desde la que la habíamos levantado.

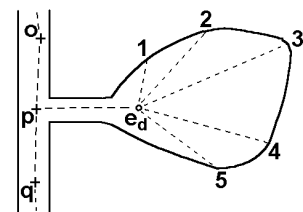


Fig. 3.7. Estación destacada

### 3.2.3.- Método de abscisas y ordenadas.

Este método puede aplicarse cuando las distancias se miden con cinta métrica. Se emplea para levantar puntos de detalle a partir de una alineación

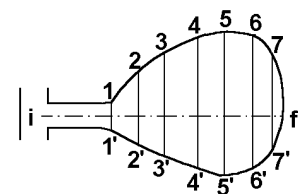


Fig. 3.8. Método de abscisas y ordenadas

central *i-f* materializada por la cinta (figura 3.8).

Con una segunda cinta levantamos las ordenadas de los puntos, llevándola perpendicularmente a la primera cinta, que actúa como eje de abscisas.

### **3.3.- Métodos altimétricos.**

Al igual que sucede en los trabajos de exterior, los requerimientos de precisión en levantamientos altimétricos de interior son muy variables y dependen de la finalidad de cada uno de ellos. Así, en la toma de avances puede que no se necesite gran precisión altimétrica pero cuando nos referimos a una galería que debe tener una pendiente regular, y puede estar sometida a movimientos del terreno, estos requerimientos pueden ser muy estrictos.

Lo mismo ocurre en explotaciones muy mecanizadas. El emplazamiento correcto de la maquinaria de perforación y extracción exige un trabajo altimétrico preciso, máxime cuando se pretende comunicar entre sí labores preexistentes mediante chimeneas, rampas o galerías.

Los trabajos altimétricos de interior deben estar relacionados con los de exterior. Para determinar la altitud de los puntos de interior, a partir de los de exterior, utilizaremos alguno/s de los siguientes métodos:

- Medir, con hilo de acero o cinta metálica, la profundidad del pozo desde la embocadura hasta cada uno de los niveles de la explotación.
- Medir con distanciómetro, o estación total, la profundidad del pozo mediante una visual vertical.
- Realizar un itinerario altimétrico a través de una rampa de acceso al interior.

Una vez calculada la altitud de algún punto del interior, se arrastra a todos los puntos que se levanten, sean estaciones de itinerarios o puntos radiados. Como en planimetría, conviene que los itinerarios altimétricos sean cerrados o encuadrados, para poder calcular y compensar los errores de cierre.

En muchas ocasiones, las señales que marcan las estaciones de los itinerarios estarán situadas en el techo de la labor, por lo que puede ser conveniente realizar la nivelación por éste y referirla a dichas señales. En otras ocasiones, la nivelación se hace por el piso y va referida a señales situadas en éste o a la proyección sobre él de las señales situadas en el techo. En cada ocasión debe quedar perfectamente especificado a cuál de los dos casos se refiere la coordenada Z de cada punto.

Por lo demás, se utilizan en interior los mismos métodos que en exterior: nivelación trigonométrica y nivelación geométrica. Cuando la inclinación de la labor se haya medido con un eclímetro colgado, mediremos también la longitud real  $l$  de la misma y calcularemos el desnivel entre sus puntos extremos con la expresión:

$$\Delta Z = l \operatorname{sen} \alpha$$

siendo  $\alpha$  la inclinación respecto a la horizontal (altura de horizonte). Para arrastrar la altitud de un punto a otro hay que tener en cuenta si la inclinación de la labor es en sentido ascendente (desnivel positivo) o descendente (desnivel negativo).

### 3.3.1.- Nivelación trigonométrica.

Se emplea cuando los requerimientos de precisión no son muy estrictos. La nivelación trigonométrica tiene la ventaja de que puede efectuarse en paralelo a los itinerarios planimétricos, aprovechando las mismas puestas en estación, pero es menos precisa que la nivelación geométrica. También la emplearemos para calcular la  $Z$  de los puntos radiados. En función de que las referencias se sitúen en el techo o en el suelo, podemos encontrarnos con los siguientes casos:

El punto de estación y el punto visado se materializan en el piso de la labor.

Como sabemos, si se lanza una visual a una mira o un prisma de reflexión total, el desnivel entre el punto visado  $V$  y el de estación  $E$  viene dado por:

$$Z_E^V = t + i - m = D_R / \operatorname{tg} \varphi + i - m$$

siendo:

- $t$ : tangente topográfica. Será positiva en las visuales ascendentes y negativa en las descendentes. Se aplica con su signo.
- $D_R$ : distancia reducida entre los dos puntos.
- $\varphi$ : distancia cenital de la visual lanzada.
- $i$ : altura del instrumento.
- $m$ : altura del prisma respecto al suelo.

La altitud del punto visado será:

$$Z_V = Z_E + Z_E^V$$

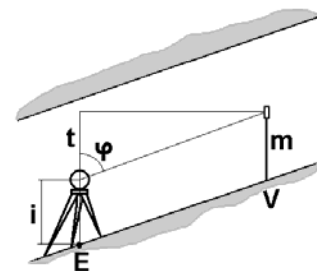


Fig. 3.9. Nivelación trigonométrica (1)



El punto de estación se materializa en el piso y el punto visado en el techo de la labor.

Si visamos a la punta de la plomada, que cuelga del punto  $V$  materializado en el techo de la labor, será:

$$Z_E^V = t + i + m' = D_R / \operatorname{tg} \varphi + i + m'$$

- $m'$ : longitud del hilo de la plomada.

Naturalmente, si visamos directamente al punto situada en el techo, haremos  $m' = 0$ .

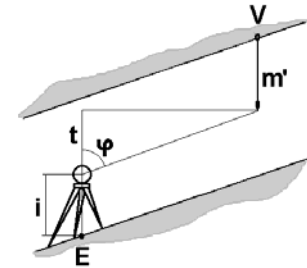


Fig. 3.10. Nivelación trigonométrica (2)

El punto de estación se materializa en el techo y el punto visado en el piso de la labor.

El instrumento se estaciona con relación a la plomada que cuelga del punto  $E$ , marcado en el techo de la labor. Si visamos a la mira o al prisma situado en el punto  $V$  del piso, tendremos:

$$Z_E^V = t - i' - m = D_R / \operatorname{tg} \varphi - i' - m$$

- $i'$ : coaltura del instrumento. Es la altura desde el centro del anteojo del instrumento hasta el punto de estación situado en el techo.
- $m$ : altura del prisma desde el suelo.

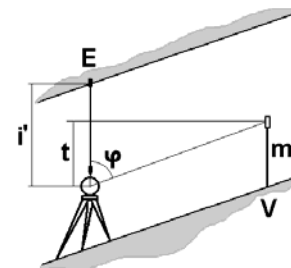


Fig. 3.11. Nivelación trigonométrica (3)

Como en los casos anteriores,  $t$  se aplica con su signo. En este caso, el desnivel está medido con relación al techo de la labor.

Ambos puntos se materializan en el techo de la labor.

Suponiendo que visamos a la punta de la plomada que cuelga de  $V$ , será:

$$Z_E^V = t - i' + m' = D_R / \operatorname{tg} \varphi - i' + m'$$

- $m'$ : longitud del hilo de la plomada.
- $i'$ : coaltura del instrumento.

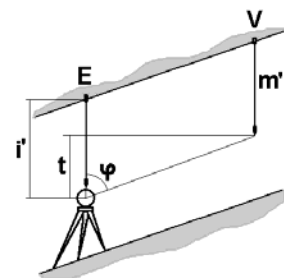


Fig. 3.12. Nivelación trigonométrica (4)

Como vimos anteriormente, si visamos directamente a un punto del techo, haremos  $m' = 0$ . En este caso, el desnivel también está medido con relación al techo de la labor.

### 3.3.1.- Nivelación geométrica.

Se emplea en los casos en que los requerimientos en precisión altimétrica sean grandes. Se realizan itinerarios altimétricos con nivel, independientes de los planimétricos, tal como se hace en topografía exterior. Las miras empleadas suelen ser más cortas (2 ó 3 m) para poder situarlas en el interior de las labores.

Se aplica el método del punto medio, estacionando el nivel en un punto aproximadamente equidistante de aquellos cuyo desnivel se quiere determinar. Las miras se sitúan en el piso, normalmente sobre los carriles del transporte, si se hace por vía férrea. En ocasiones se nivela por el techo, utilizando miras que cuelgan desde éste.

#### Nivelación por el piso de la labor.

Se estaciona en un punto intermedio  $E$ , visando sucesivamente a una mira situada en los puntos  $A$  y  $B$  cuyo desnivel pretendemos determinar (figura 3.13):

$$Z_A^B = m_A - m_B$$

Y la altitud de  $B$  se calcula, a partir de la de  $A$ , mediante:

$$Z_B = Z_A + Z_A^B$$

Empleando el método del punto medio, cada punto que se nivela se refiere al anterior, no al punto de estación. Por tanto, no es necesario señalar de forma permanente los puntos de estación utilizados.

#### Nivelación por el techo de la labor.

En este caso (figura 3.14) la  $Z$  de los puntos se refiere al techo de la labor, no al suelo. Las miras se cuelgan de las señales situadas en el techo. Hay que tener en cuenta que las miras se sitúan al revés, con el origen en el techo.

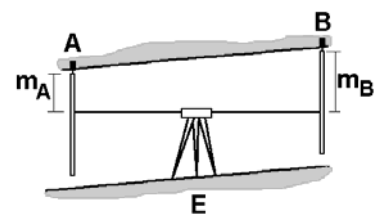


Fig. 3.14. Nivelación geométrica (2)

En este caso, la expresión a emplear es la siguiente:

$$Z_A^B = m_B - m_A$$

Y la altitud de  $B$  se calcula, a partir de la de  $A$ , como en los casos anteriores:

$$Z_B = Z_A + Z_A^B$$

### 3.4.- Toma de avances.

Se pretende levantar topográficamente los avances de la explotación con una cierta periodicidad, al menos mensual. Si se trata de tajos de extracción de mineral y estéril, que van a seguir avanzando posteriormente, los requerimientos de precisión no suelen muy grandes. Si se trata de labores de interconexión entre otras labores previas, lo que se conoce como *rompimientos mineros*, la precisión en el replanteo y en el seguimiento de los trabajos es vital. Los rompimientos mineros se estudiarán en detalle más adelante.

Es importante que los técnicos responsables de los trabajos topográficos estén bien informados de los avances que se han ido produciendo en los frentes desde que se hizo el levantamiento anterior. También es conveniente revisar los frentes antes de levantarlos, para comprobar que los puntos de estación no han sido afectados por las voladuras o por otras causas. Esto permitirá, cuando llegue el momento oportuno, realizar el trabajo topográfico en el menor tiempo posible y no entorpecer las labores de extracción.

La toma de avances se realiza a partir de las estaciones de los itinerarios que se han levantado con anterioridad.

En el caso más sencillo (figura 3.15) se dispone de una estación  $e$  próxima al frente y de otra estación anterior  $d$ , visible desde ésta y siendo conocidas las coordenadas de ambas. Estacionando en  $e$  y lanzando una visual a  $d$ , que nos puede servir para orientar el instrumento topográfico o para calcular la corrección de orientación, tendremos datos suficientes para calcular las coordenadas de los puntos del frente que visemos a continuación (1 a 4 en la figura 3.15).

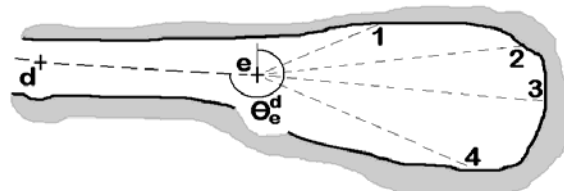


Fig. 3.15. Toma de avances desde la estación  $e$  del itinerario

Cuando las labores son de difícil acceso, podemos situar dos puntos próximos al frente desde los que levantaremos el frente por intersección directa. Otra posibilidad es emplear una estación total láser, como hemos comentado antes.

Si el punto  $e$  se encuentra alejado y el frente no es visible desde él, podemos hacer lo siguiente:

- Si la distancia no es muy grande (figura 3.16) estacionamos en  $e$ , lanzamos la visual de espaldas a  $d$  y, a continuación levantamos una estación destacada  $e'$ , desde la que se domine bien el frente. Estacionando luego en  $e'$  lanzamos una visual de espaldas a  $e$ , para transmitir la orientación, y levantamos los puntos del frente.
- Si la distancia es grande, levantamos un itinerario de relleno apoyado en  $e$  hasta llegar a las proximidades del frente. Normalmente se trata de un itinerario abierto. Desde la última estación del itinerario levantamos el frente, procediendo como en el caso anterior.

En todos los casos necesitamos que esté señalada la estación  $d$ , de coordenadas conocidas y visible desde  $e$ . Si esta estación hubiese desaparecido, habrá que reconstruir el itinerario entre la primera estación disponible y la estación  $e$ . A partir de ahí, se opera como en los casos anteriores.

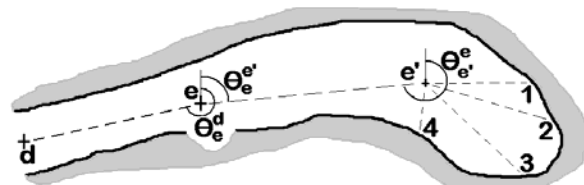


Fig. 3.16. Toma de avances desde una estación destacada  $e'$