

TEMA 5.- ENLACE ENTRE LEVANTAMIENTOS SUBTERRÁNEOS Y DE SUPERFICIE.

5.1.- Introducción.

Los trabajos topográficos de interior deben ir referidos al mismo sistema de coordenadas empleado en el levantamiento de superficie. Los levantamientos de exterior se enlazan con la red geodésica a partir de los vértices geodésicos, cuyas coordenadas geográficas y UTM han sido calculadas con gran precisión. Para los levantamientos subterráneos se precisa de puntos situados en el interior y cuyas coordenadas (en el mismo sistema UTM) se calculan con suficiente precisión.

A partir de estos puntos se podrán enlazar los levantamientos subterráneos con los de superficie. Se aplicarán los métodos explicados en el tema 3, fundamentalmente itinerario y radiación para la planimetría y nivelación geométrica y trigonométrica para la altimetría.

Mención especial merece la transmisión de orientación, que a menudo exige la aplicación de procedimientos específicos (diferentes de los de exterior) por la naturaleza y la dificultad de las labores subterráneas. La orientación se habrá transmitido cuando dispongamos, en interior, de dos puntos visibles entre sí y cuyas coordenadas (o el acimut de la alineación que forman) se conozcan.

5.2.- Coordenadas.

Necesitamos determinar las coordenadas X, Y y Z (UTM) de, al menos, un punto situado en el interior y a partir del cual se pueda realizar el levantamiento de las labores. Dependiendo del tipo de comunicación, o comunicaciones, con el exterior podemos tener los siguientes casos:

Comunicación por rampa.

Basta realizar un itinerario siguiendo la rampa, hasta dar coordenadas a un punto del interior. Conviene que el itinerario sea cerrado, de ida y vuelta, para que se pueda comprobar y compensar.

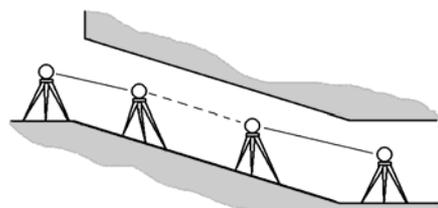


Fig. 5.1. Comunicación por rampa

Si se necesita bastante precisión en altimetría, conviene realizar además un itinerario por nivelación geométrica, que también debe ser cerrado. La altitud de los puntos de interior se determinará gracias a este itinerario.

Comunicación por pozo vertical.

Las coordenadas X e Y se transmiten al interior mediante una plomada. Las coordenadas del hilo de la plomada se determinan en el exterior, enlazándolas con el levantamiento de superficie. Las coordenadas planas del hilo en el interior serán las mismas.

Si se dispone de distanciómetro o estación total, capaz de lanzar una visual vertical, se pueden determinar simultáneamente las tres coordenadas del punto de estación en el interior. Naturalmente, la precisión depende de la nivelación del aparato, es decir, de que la visual sea realmente vertical.

Si no se dispone de este equipo, la Z se puede determinar, a partir de la de exterior, midiendo la profundidad del pozo con hilo de acero o cinta metálica.

Comunicación por rampa y pozo o por dos pozos.

En estos casos se pueden calcular las coordenadas de dos puntos de interior, uno a través de cada una de las labores de comunicación. Posteriormente se puede realizar un itinerario encuadrado, de interior, entre los dos puntos cuyas coordenadas se han determinado. Este itinerario, si es posible orientarlo, nos permitirá comprobar las coordenadas y, muy especialmente, que la transmisión de orientación es correcta.

En el caso de la figura 5.2, se han calculado las coordenadas de la estación interior *I*, mediante un itinerario por la rampa, a partir del punto exterior *E*. Enlazamos, con un itinerario de interior, los puntos *I* y *P*. Este itinerario se puede orientar lanzando una visual desde *I* a la estación anterior *A* del itinerario de la rampa. Si las coordenadas de *P* se habían determinado también, a partir del pozo, nos servirán como comprobación.

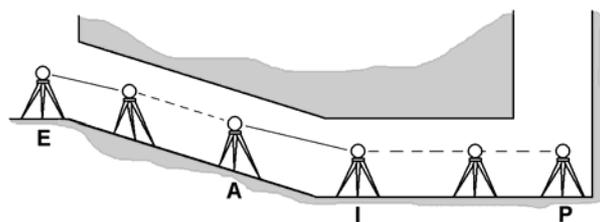


Fig. 5.2. Comunicación por rampa y pozo

5.3.- Transmisión de orientación.

La transmisión de orientación al interior es una operación especialmente delicada, ya que condiciona la precisión de todos los trabajos subterráneos.

Las precauciones deben extremarse al máximo, pues cualquier desviación se transmite a los itinerarios y, en definitiva, a todo el levantamiento de interior. En ocasiones se dispone de procedimientos para determinar el error, pero otras veces (comunicación por un solo pozo) la comprobación no es posible.

En el caso de rompimientos mineros el problema puede tener consecuencias graves, al impedir que las labores previstas “calen” correctamente. En apertura de túneles que se excavan desde ambos extremos, e incluso desde puntos intermedios a través de pozos, es imprescindible un replanteo exterior preciso del eje del túnel y una medición correcta de la profundidad de los pozos. Además, la transmisión de orientación a través de los pozos debe garantizar que la excavación del eje del túnel se orienta con suficiente precisión.

La transmisión de orientación es más o menos complicada según el número y el tipo de comunicaciones existentes entre interior y exterior. En función de éstas, del tipo de instrumentos disponibles y de la precisión requerida, emplearemos uno u otro de los siguientes métodos:

- itinerario enlazado con el exterior
- métodos magnéticos
- métodos ópticos
- métodos mecánicos
- métodos giroscópicos.

5.3.1- Transmisión de orientación mediante itinerario enlazado con el exterior.

Es el caso de una mina a la que se accede desde el exterior por una rampa. Un itinerario cerrado, comenzando en un punto del exterior previamente conocido, nos permitirá calcular las coordenadas de uno o más puntos en el interior. La orientación se consigue, desde la estación de interior, visando a la estación anterior del itinerario, ya que ambas tienen coordenadas conocidas.

También es el caso de una mina con dos pozos, a través de los cuales se hayan determinado las coordenadas de sendos puntos de interior. Si conseguimos enlazar estos dos puntos con un itinerario de interior, calcularemos las coordenadas de las estaciones del itinerario y, por tanto, dispondremos de datos para orientar los trabajos de interior.

Como sabemos, un itinerario de este tipo no tiene comprobación, lo que puede resultar arriesgado. Para evitar este problema, será conveniente repetirlo en sentido contrario, volviendo a la estación inicial. Como se ha

indicado, conviene que los puntos de estación del itinerario de ida no coincidan con los del de vuelta.

5.3.2- Transmisión de orientación por métodos magnéticos.

Los métodos magnéticos constituyen el procedimiento más sencillo para orientar las labores de interior. Se basan en la propiedad de una aguja imantada, sujeta por su centro y pudiendo girar libremente, para orientarse según las líneas del campo magnético terrestre.

Estos métodos no suponen ninguna complicación práctica, pero presentan inconvenientes importantes:

- Su precisión es limitada.
- Miden rumbos, no acimutes.
- No se deben usar en zonas que presenten anomalías magnéticas, provocadas por la existencia de minerales metálicos o por la maquinaria e instalaciones de interior.

En todos los casos será preciso determinar la declinación magnética, para poder transformar en acimutes los rumbos que hayamos calculado. Como sabemos, la declinación varía con el tiempo y con el lugar de medición, por lo que debe calcularse en la zona y en el momento en que se vayan a realizar las mediciones de interior.

Para declinar un instrumento magnético, se estaciona en uno o más vértices del exterior y se lanzan visuales a alineaciones de acimut conocido, determinando el rumbo de cada alineación. La diferencia entre cada rumbo medido y el acimut correspondiente nos da un valor de la declinación. Tomamos como resultado el valor promedio, siempre que no se hayan detectado valores aberrantes que puedan ser debidos a una anomalía magnética.

Los métodos magnéticos no son muy empleados, por las razones anteriores y porque, siempre que sea posible, se prefiere emplear instrumentos más rápidos y precisos en levantamientos de interior. Entre los instrumentos magnéticos empleados, podemos citar los siguientes:

- Brújulas y brújulas colgadas.- Son instrumentos cuya apreciación puede llegar a 5 o 10'. En brújulas excéntricas debe tenerse en cuenta la excentricidad a la hora de determinar los rumbos.
- Declinatorias.- Son agujas imantadas montadas sobre un taquímetro. Permiten orientarlo al Norte magnético, poniendo el limbo horizontal a

cero en la dirección señalada por la aguja. De esa manera, el taquímetro puede medir rumbos directamente.

- Teodolitos-brújula.- Más precisos que los anteriores, pudiendo llegar a apreciaciones de 1'.
- Magnetómetros.- Consiguen apreciaciones de 20 a 30". En este instrumento se sustituye la aguja imantada por un imán que cuelga de un hilo de cuarzo y las oscilaciones se perciben por reflexión de un rayo de luz en un espejo unido al hilo. Los *declinómetros* son aun más precisos y están dotados de un hilo de suspensión de platino-iridio.

5.3.3- Transmisión de orientación por métodos ópticos.

Estos métodos se basan en materializar, por procedimientos ópticos, un plano vertical que contiene a dos puntos fijos del exterior y a otros dos puntos fijos del interior. El acimut de la alineación formada por los puntos exteriores, que puede medirse con ayuda de los vértices exteriores, coincidirá con el de la alineación de interior que, de esta manera, queda orientada.

Mediante teodolito, taquímetro o estación total.

El instrumento debe estar perfectamente nivelado y su eje de colimación, al cabecear el anteojo, debe describir un plano vertical. Esta condición puede verificarse mediante el doble giro del anteojo o visando en toda su longitud el hilo de una plomada en reposo colgada de un punto fijo.

La transmisión de orientación puede realizarse con el instrumento en el exterior o en el interior.

a) Desde el exterior.- El instrumento a emplear debe ser capaz de lanzar visuales al nadir, lo que nos es muy frecuente. Se estaciona sobre la boca del pozo *P* y se visa una alineación exterior *P-A* de acimut conocido. A continuación, se cabecea el anteojo, visando al nadir, y, siguiendo las instrucciones del operador, unos ayudantes tienden en el fondo del pozo un hilo *H-I*, tan largo como permita la anchura del pozo (figura 5.3).

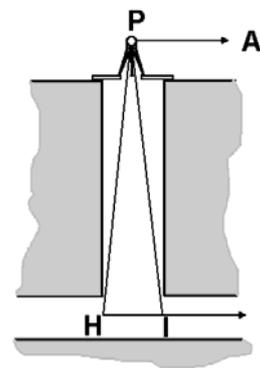


Fig. 5.3. Métodos ópticos: desde el exterior

El hilo debe quedar contenido en el plano vertical descrito por el eje de colimación, que es el mismo plano vertical que contiene a la alineación exterior. Lo comprobamos siguiéndolo en toda su longitud, usando únicamente el movimiento de cabeceo del anteojo.

Este método es complicado y sólo puede emplearse en pozos de poca profundidad, ya que a partir de 100m es difícil percibir imágenes nítidas en el interior.

Para la puesta en estación habrá que montar dos plataformas independientes en la boca del pozo, una para el instrumento y otra para el operador, con las aberturas necesarias para poder lanzar las visuales al nadir.

b) Desde el interior.- En este caso, el instrumento debe ser capaz de lanzar visuales al cenit y admitir anteojos acodados. Se estaciona en el fondo del pozo y se visa una alineación $F-A$ interior. Esta será la dirección cuyo acimut se va a determinar. Empleando únicamente el movimiento de cabeceo del antejo, se visa al cenit y se marcan dos puntos M y N en la boca del pozo (figura 5.4).

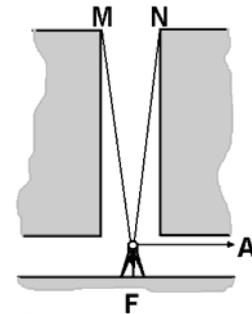


Fig. 5.4. Métodos ópticos: desde el interior

Estos puntos estarán situados en el mismo plano vertical que contiene a la alineación $F-A$. El acimut de la alineación $M-N$, que coincide con el de la $F-A$, se determina en el exterior.

Este método, como el anterior, sólo es recomendable para pozos anchos y poco profundos.

Mediante anteojos cenit-nadir.

Estos equipos se conocen también con el nombre de *plomadas ópticas de precisión*. Se trata de instrumentos capaces de lanzar visuales al nadir. La precisión que se puede conseguir con ellos depende de la sensibilidad del sistema de nivelación que incorporen, ya que el resultado será tanto mejor cuanto más se aproxime a la vertical la visual lanzada.

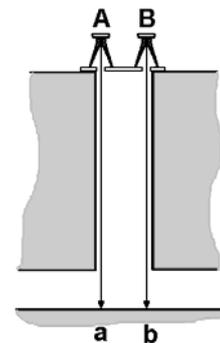


Fig. 5.5. Anteojos cenit-nadir

Se estaciona el instrumento, sucesivamente, en dos puntos del borde del pozo A y B tan alejados entre sí como sea posible (figura 5.5). Las visuales permiten marcar los dos puntos de interior a y b situados en las verticales de A y B . Como la alineación interior $a-b$ está contenida en el mismo plano vertical que la exterior $A-B$, su orientación será la misma.

Este sistema puede ser más preciso que el anterior, pero no debe emplearse para profundidades de más de 200m, porque los errores provocados por la refracción atmosférica empiezan a ser relevantes para esa profundidad.

Equipos láser.

Estos equipos permiten lanzar un rayo láser en la dirección del eje de colimación. La ventaja respecto a los anteriores es que la luz láser es visible cuando se proyecta sobre un objeto, lo que permite marcar los puntos visados directamente.

Montados sobre una estación total, situada en el fondo del pozo y perfectamente nivelada, no hará falta emplear oculares acodados ya que la luz es visible en una plataforma situada sobre la boca del pozo y permite marcar puntos como si se emplease un teodolito.

Como en los casos anteriores, la precisión del sistema depende de que la nivelación del instrumento sea precisa. Conviene verificarlo mediante el doble giro del anteojo o visando en toda su longitud el hilo de una plomada en reposo colgada de un punto fijo.

5.3.4- Transmisión de orientación por métodos mecánicos.

Se basan en el empleo de plomadas, que permiten proyectar al interior (a lo largo de un pozo) los puntos medidos en el exterior. Con dos plomadas en reposo se puede materializar un plano vertical. Si medimos en el exterior el acimut de la alineación formada por los dos hilos de las plomadas, lo que resulta sencillo, habremos determinado la orientación de esa misma alineación en el interior. Esta orientación se transmite, ya desde el interior, a otra alineación fija, por ejemplo la formada por dos estaciones del itinerario de interior.

Dependiendo de la profundidad del pozo, se emplean plomadas con lastres de entre 10 y 50kg de peso e hilos de hierro dulce o acero de entre 0,5 y 2mm de diámetro. El hilo va enrollado en un torno provisto de freno y se hace pasar por una polea fija en la superficie.

Para atenuar las oscilaciones de las plomadas y lograr que estén en reposo lo más rápidamente posible, se introducen los lastres en depósitos, situados en el fondo del pozo y llenos de agua o aceite. Los hilos deben iluminarse correctamente, empleando una lámpara para cada uno y pantallas de papel o plástico de distinto color.

Antes de comenzar la operación de orientación, conviene verificar que la trayectoria de los hilos es perfectamente vertical, es decir, que no tocan ningún

saliente del pozo. Para ello se mide la distancia entre ellos en el exterior y en el interior, comprobando que ambas distancias coinciden.

Métodos directos de orientación.

Consisten en estacionar el instrumento topográfico (teodolito, taquímetro o estación total) de forma que su eje principal esté contenido en el plano vertical formado por los hilos de dos plomadas (figura 5.6).

En exterior calculamos el acimut $\theta_H^{H'}$ de la alineación formada por los hilos H y H' . Para ello, por intersección o itinerario, calculamos las coordenadas de un punto E próximo al borde del pozo. El punto E se habrá elegido de forma que esté contenido en el plano vertical formado por los hilos de las plomadas. Al estacionar en él comprobaremos que esta condición se cumple.

Visando a otro punto conocido del exterior conseguimos orientar el instrumento (o calcular la corrección de orientación) y visando a las plomadas calculamos el acimut de la dirección que definen.

En interior estacionamos el instrumento en un punto I , también contenido en el plano vertical de las plomadas y situado a cierta distancia de ellas. Visando en la dirección de las plomadas, cuyo acimut conocemos por haberlo medido en el exterior, podemos orientar el instrumento. Finalmente, visamos a otro punto P , midiendo el acimut de la alineación $I-P$. Los dos puntos se habrán marcado de forma permanente y queda así constituida una base interior de acimut conocido.

La operación se puede realizar tangenteando los hilos o bisecándolos. Es importante que las plomadas se cuelguen de forma que sigan aproximadamente la dirección de la labor en la que están los puntos I y P , para que I se pueda situar a cierta distancia de ellas.

Métodos trigonométricos.

a) Empleo de dos plomadas. Una sola estación.- Una vez colocadas las plomadas y determinado en el exterior el acimut de la alineación que forman $\theta_H^{H'}$, se hace estación en el punto interior I y se visa a los hilos de las plomadas H y H' , determinando por diferencia de lecturas el ángulo γ (figura 5.7). Para

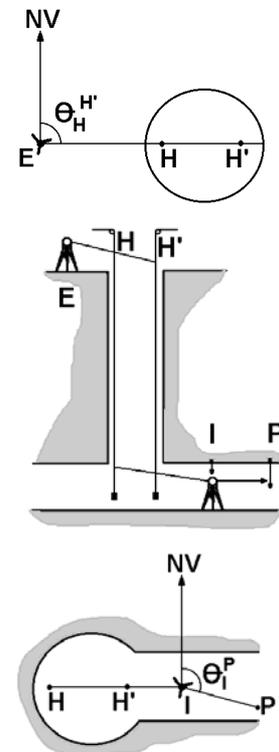


Fig. 5.6. Métodos mecánicos (1)

determinarlo con precisión, es recomendable utilizar los métodos de repetición o de reiteración. A continuación se visa a otro punto P previamente señalado. La alineación $I-P$ es la que vamos a orientar.

Medimos también las distancias reducidas $D_{HH'}$, entre los hilos, y D_{IH} , entre el punto de estación y el hilo H . Para calcular el acimut θ_I^P de la alineación $I-P$ necesitamos calcular el ángulo ω que forman las prolongaciones de las alineaciones $H-H'$ e $I-P$. Aplicando el teorema del seno en el triángulo $HH'I$:

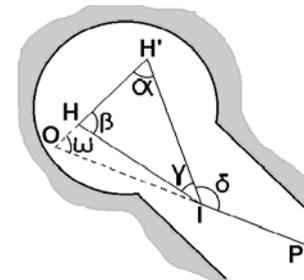


Fig. 5.7. Métodos mecánicos (2)

$$\text{sen } \alpha = \frac{D_{IH}}{D_{HH'}} \text{sen } \gamma$$

En el triángulo OIH' :

$$\alpha + \omega + (200^g - \delta) = 200^g$$

$$\omega = \delta - \alpha$$

Una vez calculado ω , obtenemos el acimut buscado θ_I^P sumando o restando el valor de ω al acimut de la alineación de los hilos $\theta_{H'}^{H'}$.

El inconveniente principal de este sistema es que exige medir las longitudes, lo que resulta incómodo y poco preciso

b) Empleo de dos plomadas. Dos estaciones.- Se marcan dos estaciones interiores I_1 e I_2 . Si es posible, conviene situarlas como en la figura 5.8, una a cada lado de las plomadas H y H' . Desde cada estación se visa a la otra y a los dos hilos, obteniendo por diferencia de lecturas los ángulos α , β , γ y δ (figura 5.8).

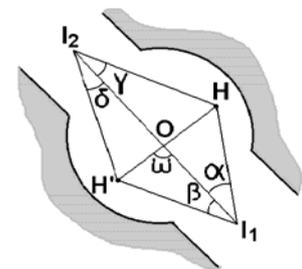


Fig. 5.8. Métodos mecánicos (3)

Aplicando el teorema del seno en los triángulos HOI_1 y $H'OI_1$:

$$\frac{OI_1}{\text{sen}(\omega - \alpha)} = \frac{OH}{\text{sen } \alpha}$$

$$\frac{OI_1}{\text{sen}(\omega + \beta)} = \frac{OH'}{\text{sen } \beta}$$

de donde:

$$\frac{OH}{OH'} = \frac{\text{sen } \alpha \text{ sen}(\omega + \beta)}{\text{sen } \beta \text{ sen}(\omega - \alpha)} \quad (1)$$

Aplicando el teorema del seno en los triángulos HOI_2 y $H'OI_2$:

$$\frac{OI_2}{\text{sen}(\omega - \delta)} = \frac{OH'}{\text{sen} \delta}$$

$$\frac{OI_2}{\text{sen}(\omega + \gamma)} = \frac{OH}{\text{sen} \gamma}$$

de donde:

$$\frac{OH}{OH'} = \frac{\text{sen} \gamma \text{sen}(\omega - \delta)}{\text{sen} \delta \text{sen}(\omega + \gamma)} \quad (2)$$

Igualando (1) y (2), tenemos:

$$\frac{\text{sen} \alpha \text{sen}(\omega + \beta)}{\text{sen} \beta \text{sen}(\omega - \alpha)} = \frac{\text{sen} \gamma \text{sen}(\omega - \delta)}{\text{sen} \delta \text{sen}(\omega + \gamma)}$$

y desarrollando:

$$\frac{\text{sen} \alpha (\text{sen} \omega \cos \beta + \cos \omega \text{sen} \beta)}{\text{sen} \beta (\text{sen} \omega \cos \alpha - \cos \omega \text{sen} \alpha)} = \frac{\text{sen} \gamma (\text{sen} \omega \cos \delta - \cos \omega \text{sen} \delta)}{\text{sen} \delta (\text{sen} \omega \cos \gamma + \cos \omega \text{sen} \gamma)}$$

Dividimos numerador y denominador del primer miembro por $\text{sen} \alpha$, $\cos \omega$ y $\text{sen} \beta$ y los del segundo miembro por $\text{sen} \gamma$, $\cos \omega$ y $\text{sen} \delta$:

$$\frac{\text{tg} \omega \cot g \beta + 1}{\text{tg} \omega \cot g \alpha - 1} = \frac{\text{tg} \omega \cot g \delta - 1}{\text{tg} \omega \cot g \gamma + 1}$$

y desarrollando:

$$\begin{aligned} & \text{tg}^2 \omega \cot g \beta \cot g \gamma + \text{tg} \omega \cot g \beta + \text{tg} \omega \cot g \gamma + 1 = \\ & = \text{tg}^2 \omega \cot g \alpha \cot g \delta - \text{tg} \omega \cot g \alpha - \text{tg} \omega \cot g \delta + 1 \end{aligned}$$

de donde, finalmente:

$$\text{tg} \omega = \frac{\cot g \alpha + \cot g \beta + \cot g \gamma + \cot g \delta}{\cot g \alpha \cot g \delta - \cot g \beta \cot g \gamma}$$

Una vez calculado ω , podemos obtener el acimut de la alineación formada por las estaciones I_1 y I_2 a partir del acimut medido en el exterior $\theta_H^{H'}$.

c) Empleo de tres plomadas.- Las tres plomadas se sitúan alineadas y equidistantes. Esto se consigue haciendo pasar los hilos por agujeros calibrados realizados en una vigueta metálica. Se estaciona en I , situado a una distancia de H' que sea el doble aproximadamente de la distancia entre hilos (figura 5.9). Como en los casos anteriores, el problema queda resuelto calculando α , ya que:

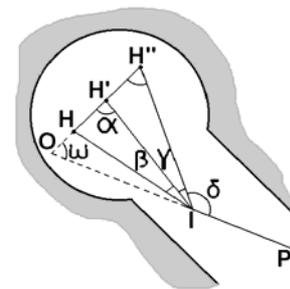


Fig. 5.9. Métodos mecánicos (4)

$$\omega = \gamma + \delta - \alpha$$

y los ángulos β , γ y δ se miden con el instrumento topográfico al estacionar en I y visar a los tres hilos.

En el triángulo $IH'H''$:

$$\frac{H'H''}{\text{sen } \gamma} = \frac{IH''}{\text{sen}(\alpha - \gamma)}$$

y en el IHH' :

$$\frac{HH'}{\text{sen } \beta} = \frac{IH''}{\text{sen}(\alpha + \beta)}$$

Dividiendo las dos ecuaciones:

$$\frac{H'H'' \text{ sen } \beta}{HH' \text{ sen } \gamma} = \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}(\alpha - \gamma)}$$

y como las plomadas son equidistantes $HH' = H'H''$

$$\frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \gamma} = \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}(\alpha - \gamma)}$$

de donde:

$$\text{sen } \beta \text{ sen}(\alpha - \gamma) = \text{sen } \gamma \text{ sen}(\alpha + \beta)$$

Desarrollando:

$$\text{sen } \beta \text{ sen } \alpha \text{ cos } \gamma - \text{sen } \beta \text{ cos } \alpha \text{ sen } \gamma = \text{sen } \gamma \text{ sen } \alpha \text{ cos } \beta + \text{sen } \gamma \text{ cos } \alpha \text{ sen } \beta$$

$$\text{sen } \alpha (\text{sen } \beta \text{ cos } \gamma - \text{sen } \gamma \text{ cos } \beta) = \text{cos } \alpha (\text{sen } \gamma \text{ sen } \beta + \text{sen } \gamma \text{ sen } \beta)$$

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha} = \frac{\text{sen } \gamma \text{ sen } \beta + \text{sen } \gamma \text{ sen } \beta}{\text{sen } \beta \text{ cos } \gamma - \text{sen } \gamma \text{ cos } \beta} \quad \text{tg } \alpha = \frac{2 \text{ sen } \gamma \text{ sen } \beta}{\text{sen}(\beta - \gamma)}$$

5.3.5- Transmisión de orientación por métodos giroscópicos.

El giróscopo es un aparato ideado por Foucault, en 1852, para demostrar que la dirección de la meridiana y la latitud de un lugar se pueden medir a partir de la rotación de un cuerpo en la superficie terrestre.

Consta de una masa M que gira a gran velocidad alrededor de un eje $A-A'$, sujeta por una suspensión cardán que permite que el eje pueda

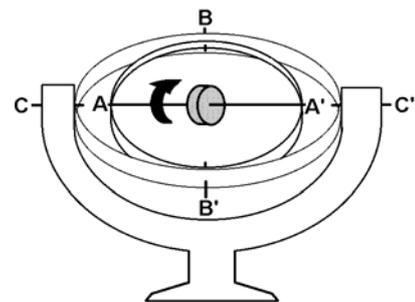


Fig. 5.10. Giróscopo

ocupar cualquier posición (figura 5.10). Si no existen fuerzas externas, el giro de M hace que el eje $A-A'$ se mantenga en una posición inalterable.

Pero al actuar también el movimiento de rotación de la Tierra, el eje $A-A'$ describe una superficie cónica (movimiento de precesión) alrededor de una paralela al eje de la Tierra trazada por el centro de M . Si se fuerza al eje $A-A'$ a mantenerse horizontal, el movimiento de precesión se transforma en una oscilación al Este y al Oeste de la meridiana, lo que nos permitirá determinar la dirección de ésta. Esto se consigue suspendiendo un giro-motor (que gira a gran velocidad) de una cinta metálica, para que la gravedad lo obligue a mantenerse horizontal.

Los giróscopos van montados sobre un teodolito o una estación total y disponen de un ocular por el que se observa un retículo graduado (figura 5.11). Las oscilaciones pueden apreciarse en el retículo gracias a una señal luminosa que oscila con el giro-motor. Cada semioscilación dura unos 4 minutos, por lo que es posible seguirla, actuando sobre el tornillo de coincidencia del movimiento particular del teodolito, de forma que la señal luminosa se mantenga en el centro de la escala del retículo.

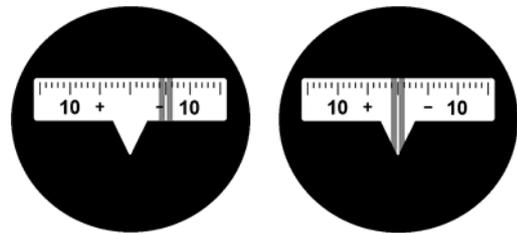


Fig. 5.11. Retículo de un giroteodolito

Antes de cambiar de sentido, la señal permanece parada unos segundos lo que nos permite anotar la lectura U_1 del limbo horizontal del teodolito. Repetimos la operación para la segunda semioscilación, obteniendo la segunda lectura U_2 . Para una orientación precisa, anotaremos un mínimo de dos oscilaciones completas (figura 5.12). Según Schuler, la posición de la meridiana se obtiene a partir de:

$$N_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_1 + U_3}{2} + U_2 \right)$$

$$N_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_2 + U_4}{2} + U_3 \right)$$

$$N = \frac{\sum N_i}{n}$$

N será la lectura del limbo acimutal que corresponde a la visual a la meridiana.

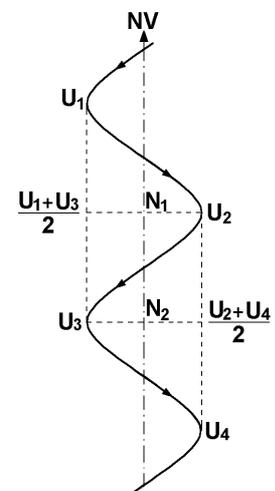


Fig. 5.12. Orientación con giroteodolito

Antes de comenzar la operación, el anteojo del teodolito debe estar orientado aproximadamente al Norte verdadero. Esto se consigue con una brújula (previamente declinada) o con alguno de los métodos de orientación rápidos (pero menos precisos) que permiten los giróscopos.

La precisión de este método está entre 10^s y 1^m .