



Grupo de Ingeniería Gráfica y Simulación  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
Industriales  
Universidad Politécnica de Madrid

---



# ***INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS***

<b>1.</b>	<b>INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS .....</b>	<b>4</b>
1.1.	ELEMENTOS DE LOS INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS .....	4
1.1.1	<i>Elementos accesorios: de unión, sustentación y maniobra.....</i>	4
1.1.1.1	Señales.....	4
1.1.1.2	Trípodes.....	5
1.1.1.3	Plomadas .....	7
1.1.2	<i>Elementos fundamentales.....</i>	8
1.1.2.1	Niveles.....	8
1.1.2.2	Anteojo .....	10
1.1.2.3	Objetivo .....	12
1.1.2.4	Montura del anteojo. Retículo .....	12
1.1.2.5	Hilos del retículo .....	14
1.1.2.6	Ocular .....	14
1.1.2.7	Poder de aumento del ocular.....	14
1.1.2.8	Enfoque .....	15
1.1.2.9	Tornillo de fijación y de movimiento lento .....	15
1.1.2.10	Limbos.....	16
1.1.2.11	Nonios .....	18
1.1.2.12	Micrómetro.....	18
<b>2.</b>	<b>MEDICION DE ÁNGULOS .....</b>	<b>22</b>
2.1.	HORIZONTALES .....	22
2.2.	VERTICALES .....	23
2.3.	MEDICION DE UN ÁNGULO HORIZONTAL.....	23
2.4.	MEDICION DE UN ÁNGULO VERTICAL .....	23
2.6.	MEDICIÓN DE UN ÁNGULO VERTICAL .....	24
2.7.	MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE ÁNGULOS .....	25
2.7.1	<i>Método simple.....</i>	25
2.7.2	<i>Método de repetición .....</i>	25
2.7.3	<i>Método de reiteración.....</i>	26
2.7.4	<i>Método de vuelta de horizonte .....</i>	27
2.7.5	<i>Método de direcciones .....</i>	27
2.8.	TAQUIMETRÍA.....	28
<b>3.</b>	<b>MEDIDA INDIRECTA DE DISTANCIAS POR MÉTODOS ESTADIMÉTRICOS .....</b>	<b>29</b>
3.1.	FUNDAMENTO DE LA ESTADÍA .....	29
3.1.1	<i>Estadímetros de primera categoría.....</i>	31
3.1.2	<i>Estadímetros de segunda categoría .....</i>	31
3.1.3	<i>Estadímetros de tercera categoría.....</i>	32
<b>4.</b>	<b>APARATOS TOPOGRÁFICOS.....</b>	<b>32</b>
4.1.	GONIÓMETRO .....	32
4.2.	ESQUEMA GENERAL DE UN GONIÓMETRO .....	32
4.3.	ANTEOJO COLIMADOR .....	33
4.4.	GONIOMETRO CENITAL O ECLIMETRO.....	33
4.5.	GONIOMETRO ACIMUTAL.....	33
4.6.	EL TEODOLITO .....	34
4.6.1	<i>Partes del teodolito .....</i>	36
4.6.2	<i>Ejes principales.....</i>	38
4.6.3	<i>Descripción.....</i>	39
4.6.4	<i>Características principales de los teodolitos.....</i>	40
4.6.5	<i>Manejo y aplicaciones del teodolito.....</i>	41
4.6.6	<i>Instalación del teodolito o taquímetro .....</i>	41
4.6.7	<i>Mecanismo para nivelar un aparato.....</i>	43
4.6.8	<i>Clasificación de los teodolitos .....</i>	44
4.6.8.1	Repetidores.....	44
4.6.8.2	Reiteradores.....	44
4.7.	TAQUÍMETRO.....	45
4.7.1	<i>Usos del taquímetro.....</i>	46
4.7.2	<i>Medida de los ángulos .....</i>	46
4.7.2.1	Itinerario orientado .....	46

4.7.2.2	Itinerario desorientado.....	47
4.7.3	<i>Longitudes de los ejes.</i> .....	47
4.7.4	<i>Calculo de los desniveles.</i> .....	47
4.7.5	<i>Condiciones que deben cumplir los teodolitos.</i> .....	47
4.7.6	<i>Clases de errores de los teodolitos</i> .....	48
4.7.6.1	Errores sistemáticos.....	48
4.7.6.2	De construcción:.....	48
4.7.6.3	De ajuste.....	48
4.7.6.4	Errores accidentales.....	48
4.8.	<b>MÉTODOS PARA AUMENTAR LA PRECISIÓN</b> .....	49
4.8.1	<i>Regla de BESSEL</i> .....	49
4.8.2	<i>Método de repetición</i> .....	49
4.8.3	<i>Método de reiteración</i> .....	50
4.9.	<b>TAQUIMETROS DIGITALES Y DE ESTACION TOTAL</b> .....	51
4.9.1	<i>Teodolitos digitales</i> .....	51
4.9.2	<i>Estacion Total</i> .....	52
4.10.	<b>PUESTA EN ESTACIÓN DE UN TEODOLITO</b> .....	52
<b>5.</b>	<b>CONDICIONES QUE DEBE REUNIR EL TEODOLITO</b> .....	<b>53</b>
5.1.	<b>VERIFICACIÓN Y CORRECCIÓN DEL TEODOLITO</b> .....	53
5.2.	<b>VERIFICACIÓN Y CORRECCIÓN DE LAS CONDICIONES PREVIAS</b> .....	53
5.2.1	<i>Coincidencia entre los ejes general y particular del aparato</i> .....	54
5.2.2	<i>Perpendicularidad de los ejes principal y secundario respecto a los limbos acimutal y cenital.</i> .....	54
5.2.3	<i>Invariabilidad del eje de colimación al enfocar a diferentes distancias</i> .....	54
5.2.4	<i>Los limbos han de estar uniformemente divididos</i> .....	55
5.2.5	<i>Error de desviación de índices</i> .....	55
5.2.6	<i>Excentricidad del limbo</i> .....	56
5.3.	<b>VERIFICACIÓN Y CORRECCIÓN DE LAS CONDICIONES DE AJUSTE</b> .....	56
5.3.1	<i>Verticalidad del eje principal</i> .....	57
5.3.2	<i>Perpendicularidad entre el eje de colimación y el eje secundario</i> .....	58
5.3.3	<i>Perpendicularidad entre los ejes secundarios y principal</i> .....	60
5.3.4	<i>Corrección del eclímetro</i> .....	61
5.3.5	<i>Error de verticalidad del hilo del retículo</i> .....	62
5.3.6	<i>Cuando la visual está horizontal, el nonio del circulo vertical debe leer 0° 0' 0''</i> .....	63
5.3.7	<i>NOTAS finales</i> .....	63
5.4.	<b>IRREGULARIDADES Y DESCORRECCIONES DE UN ANTEOJO</b> .....	63

## 1. Instrumentos topográficos

### 1.1. Elementos de los instrumentos topográficos

Órganos que componen y complementan a los instrumentos topográficos:

- *Elementos accesorios*
- *Elementos de unión, sustentación y maniobra*
- *Niveles*
- *Anteojo*
- *Círculos graduados o limbos*
- *Medida indirecta de distancias por métodos estadimétricos*
- *Medida indirecta de distancias por medio de ondas*
- *Medida directa de distancias.*

#### 1.1.1 **Elementos accesorios: de unión, sustentación y maniobra**

Son independientes del instrumento, pero indispensables para su utilización.

##### 1.1.1.1 **Señales**

Las señales, según la finalidad que se persiga, pueden ser **permanentes**, **semipermanentes** o **accidentales**; las primeras han de permanecer indefinidamente en el terreno y han de servir de apoyo a posibles trabajos posteriores, tales como replanteos, deslindes, parcelaciones, cotas sobre el nivel del mar, etc.; las semipermanentes basta que permanezcan en el terreno durante el tiempo que se invierta en los trabajos de la observación para hacer visible el punto a distancia.

Como señales semipermanentes se usan estacas de madera, de 20 o 30 cm de longitud, que se clavan en el suelo a golpe de mazo, o bien se pintan sobre losas o rocas cuando el terreno lo permite.

Cuando la distancia a que hayan de observarse los puntos sea grande, para hacerlos fácilmente visibles, se utilizan señales accidentales, generalmente *jalones*, *miras* o *banderolas*, constituidas éstas por un listón de madera de dos o tres metros de longitud, en cuyo extremo se coloca un trozo de tela blanca y roja que facilite la visibilidad

Los jalones, también de madera, tienen forma cilíndrica, de unos 3 cm de diámetro y de 1,5 a 2,5 m de altura, por un extremo terminan en un regatón de hierro para poderlos

clavar en el suelo y van pintados en decímetros o dobles decímetros alternativamente en blanco y rojo.

Las miras se utilizan para la medida indirecta de distancias.



### 1.1.1.2 Trípodes

Es el Soporte del aparato, con 3 pies de madera o metálicos, con patas extensibles o telescópicas que terminan en regatones de hierro con estribos para pisar y clavar en el terreno. Deben ser estables y permitir que el aparato quede a la altura de la vista del operador 1.40 - 1.50 m. Son útiles también para aproximar la nivelación del aparato.

Se utilizan para trabajar mejor, tienen la misma X e Y pero diferente Z ya que tienen una altura; el tipo más utilizado es el de **meseta**.

Para manejar cómodamente un instrumento ha de situarse de modo que la altura del anteojo sobre el suelo sea, poco más o menos, de 1.40 m, según la estatura del operador y para ello se utilizan los *trípodes*. Para la unión el tornillo enrosca en una placa de acero que hace de muelle, y va unida a las patas del instrumento, consiguiéndose la sujeción al comprimirla contra la meseta por la presión del tornillo.

En los trípodes de **meseta** la cabeza puede ser de madera o metálica, en forma de plataforma o meseta circular o triangular, sobre la que se coloca el instrumento. En algunos tipos pueden darse a la meseta ligeros desplazamientos laterales para facilitar el que, una vez colocado el aparato, coincida su eje con la vertical que pasa por el punto señalado en el suelo; en otros, por tener la meseta un gran orificio en el centro por el que pasa el elemento de unión, es este último el que se desplaza, permitiendo al instrumento ocupar diversas posiciones sobre la meseta.

Cada pata está formada por dos largueros unidos por travesaños, lo que les da una gran estabilidad compatible con un peso reducido. Pueden ser *rígidas o extensibles*, en estas últimas la mitad inferior de la pata se desliza en el interior de la otra mitad, a modo de corredera, facilitando el transporte al quedar el trípode con escasas dimensiones. Para su uso se extienden las patas, sujetándose fuertemente en esta posición por medio de tornillos de presión. Las patas de madera terminan en fuertes

regatones de hierro con un estribo que permite apoyar el pie para clavarla en el terreno, consiguiéndose con ello mayor estabilidad.

Los trípodes de meseta modernos llevan, como órganos para fijar el trípode al aparato, una guía metálica sujeta a la parte inferior de la meseta por uno de sus extremos, alrededor del cual puede girar, de modo que pase a través del amplio orificio circular de la meseta, un tornillo de unión que puede deslizarse en la guía a modo de carril, ambos movimientos, el giratorio del carril y el deslizamiento del tornillo de unión permiten a éste ocupar cualquier posición en la abertura circular del aparato.

No hace muchos años la casa Kern construía trípodes de **meseta basculante**, en éstos en vez de ir la meseta rígidamente sujeta a la cabeza del trípode, queda unida mediante una rótula que la permite bascular hasta centrar las burbujas de dos minúsculos niveles colocados sobre ella, marcando la horizontalidad en dos sentidos perpendiculares, sujetándose después la meseta en esta posición por unas palancas que la aprisionan.

Posteriormente la misma casa Kern modificó sus trípodes de meseta basculante y construyó los que se denominan **trípodes centradores**, que permiten estacionar el aparato con gran rapidez y bien centrado, sobre la vertical que pasa por el punto señalado en el suelo.

En este caso la meseta basculante tiene gran amplitud de movimientos sobre un casquete esférico en que termina el trípode; el aparato se coloca sobre la meseta y se une por medio de un bastón centrador provisto de un nivel esférico. El extremo inferior del bastón se sitúa exactamente sobre el centro de la estaca clavada en el terreno, y por movimientos de la meseta con el aparato, se consigue calar la burbuja del nivel esférico, bastando entonces apretar la rosca del bastón para que quede estacionado.

Los trípodes provistos de bastón centrador no necesitan plomadas, ya que el propio bastón hace sus veces, lo que imprime gran rapidez al estacionamiento del aparato.

Los tornillos nivelantes mueven la plataforma del trípode; la plataforma nivelante tiene tres tornillos para conseguir que el eje vertical sea realmente vertical.



Trípode palomita

Trípode telescópico



Trípode pinza

La meseta o plataforma superior del trípode puede ser plana, convexa en algunos aparatos, y otras veces tiene una forma especial porque utiliza otros modos de sujeción entre trípode-aparato, por ejemplo en los trípodes de bastón centrador que utilizan una palanca de sujeción.

### 1.1.1.3 Plomadas

Para estacionar en un punto se hace uso de otro instrumento muy conocido, y acaso el mas antiguo de todos, que es la **plomada de gravedad**, la cual pende del centro de los aparatos topográficos entre las patas del trípode, y deberá situarse de modo que la vertical del hilo de la plomada pase por el punto señalado en el suelo, lo que supone que el teodolito esté en la misma vertical que el punto del suelo. El manejo de la plomada de gravedad puede resultar incómodo sobre todo los días de viento.

Muchos de los instrumentos modernos sustituyen la plomada clásica por una **plomada óptica**, constituida por un anteojo, que por medio de un prisma de reflexión total dirige la visual coincidiendo con el eje vertical del aparato y cuando éste quede estacionado deberá verse el centro de la señal en coincidencia con el centro del anteojo.

### 1.1.2 Elementos fundamentales

Los elementos vistos hasta ahora pueden considerarse como accesorios en los instrumentos topográficos, y de construcción relativamente sencilla, mientras que los niveles, anteojos, limbos con sus nonios o micrómetros, y dispositivos para la medida indirecta de distancias, constituyen órganos fundamentales que han de estar contruidos con notable precisión y ajuste para que el aparato sea aceptable, lo que sólo puede conseguirse, en los muy perfectos, por contados fabricantes. Estos elementos son los que en definitiva caracterizan a cualquier instrumento.

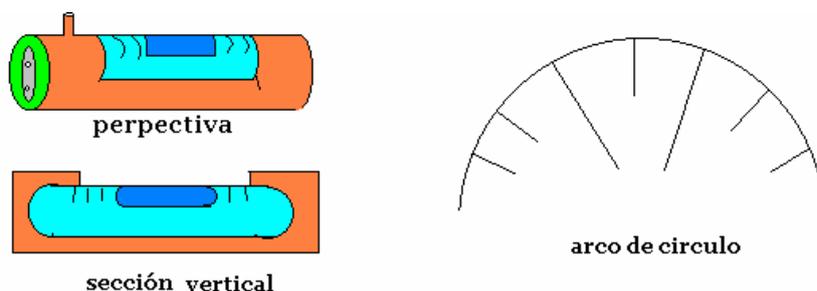
#### 1.1.2.1 Niveles

Su misión es conseguir que el aparato esté en un plano horizontal. Hay 2 tipos fundamentales: **nivel esférico** y **nivel tubular** (o tórico, o nivel de aire).

Deben estar contruidos con notable precisión y ajuste para que el aparato sea aceptable: **sensibilidad**.

##### 1.1.2.1.1 Nivel de aire

El nivel de aire está constituido por un tubo de vidrio de forma *tórica*, de muy escasa curvatura, cerrado a la lámpara por sus extremos. El tubo está casi lleno de un líquido de escasa viscosidad (alcohol o éter), dejando una burbuja de aire mezclada con los vapores del líquido, que ocupará siempre la parte más alta del tubo.



Para comprobar la posición de la burbuja, el nivel está dividido por trazos transversales situados cada 2 mm. Cuando el centro de la burbuja coincide con el centro del tubo de vidrio se dice que el nivel está **calado** y se llama **calar** la burbuja a llevarla por movimientos de aquél a la posición central, lo que se comprueba por la disposición equidistante de sus extremos con relación a las divisiones.

La tangente al ecuador del nivel, trazada en el punto central, se denomina **eje del nivel**, y ocupará la posición horizontal cuando la burbuja quede calada. **Radio de curvatura** del nivel es el radio del ecuador de la superficie tórica.

Si está descorregido impide medir. Hay que calarlo con los tornillos que lleva el aparato. Para corregir el nivel hay que bajarlo un ángulo determinado y después estando en el plano horizontal con los tornillos se nivela el ángulo que se haya determinado. Se puede trabajar descorregido, pero hay que cambiar la constante que da el fabricante. Para trabajar descorregido se necesita un plano paralelo.

El tubo de vidrio va montado en un cilindro de latón abierto por la parte superior, y en los niveles que no forman parte de un instrumento topográfico se unen a una reglilla del mismo metal por medio de una charnela en un extremo y de un tornillo en el otro, llamado **tornillo de corrección**; la base del nivel ha de ser paralela al eje, y colocándola sobre una superficie plana estará ésta horizontal cuando la burbuja quede calada.

**Sensibilidad del nivel:** Interesa mucho, en todos los niveles, conocer el ángulo de giro dado en segundos correspondiente al desplazamiento de la burbuja en una división. A este ángulo, expresado en segundos, se le denomina *sensibilidad* del nivel y será igual al que formen al cortarse en el centro de la superficie tórica, dos radios consecutivos.

La sensibilidad y el radio de curvatura guardan entre sí una relación sencilla; teniendo en cuenta que la longitud de una división es siempre de 2 mm. Dividiendo esta magnitud por el radio nos dará el ángulo que buscamos expresado en radianes, y multiplicando por los segundos del radian obtendremos la sensibilidad:

$$S = \frac{2}{R} 206265$$

S: *Sensibilidad (en segundos)*

R: *Radio (mm)*

Por tanto da igual conocer la sensibilidad o el radio de curvatura del nivel, Pero es más cómodo el uso de la sensibilidad, y *rara* vez se hace referencia al radio de curvatura.

Los radios de los niveles no deben ser ni muy pequeños, porque determinarían una sensibilidad insuficiente, ni muy grandes, pues imposibilitarían su uso, por no ser posible mantener calada la burbuja. Las sensibilidades usuales en los instrumentos topográficos no suelen ser inferiores a un minuto en los menos precisos, ni superar a cinco segundos en los más perfeccionados.

La sensibilidad oscila entre 1' y 20" en goniómetros normales.

#### 1.1.2.1.2 Nivel esférico

Se utiliza cuando no se requiere una perfecta nivelación. Es una caja cilíndrica tapada por un casquete esférico, y con un líquido poco viscoso en el interior, dejando una burbuja. Cuanto menor sea el radio de curvatura menos sensible será; sirven para obtener de forma rápida el plano horizontal. Estos niveles tienen en el centro un círculo, dentro del cual hay que colocar la burbuja para hallar un plano horizontal bastante aproximado. Son rápidos y prácticos, pero tienen menor precisión que los niveles tóricos, su precisión está en 1' como máximo aunque lo normal es 10' o 12'.

#### 1.1.2.1.3 Modo de calar la burbuja en el aparato

La burbuja señala la parte del aparato que está alta.

Para nivelar un nivel tubular fijo en un aparato se pone primero el nivel alineado en la dirección de 2 tornillos cualesquiera y accionando los 2 tornillos a la vez en sentido opuesto se cala la burbuja. Después se gira el aparato para que el nivel quede en la

dirección perpendicular y finalmente moviendo solamente el tercer tornillo se vuelve a calar, así queda nivelado el aparato, y el aparato se dice que está "**estacionado**".

Para saber hacia donde se va a desplazar la burbuja al mover los tornillos se aplica la **regla del pulgar de la mano izquierda**: el movimiento del pulgar de la mano izquierda señala la dirección en la que se va a desplazar la burbuja.

#### 1.1.2.1.4 Nivel de coincidencia

Un modo de precisar más con un nivel tubular es dividir la imagen del nivel con una serie de prismas que cortan la burbuja longitudinal y transversalmente, y superponer 2 partes opuestas en un pequeño antejo.

Este nivel duplica la apreciación (la sensibilidad del nivel no cambia), y además aquí no se cometen errores al apreciar las divisiones. Permite hacer nivelaciones con gran rapidez.

#### 1.1.2.2 Anteojo

Se atribuye a Galileo la construcción del primer antejo, si bien ya había sido descubierto con anterioridad, noticia que llegó a Galileo en forma vaga, pero que bastó a su ingenio para construir uno con dos lentes pegadas con cera a un tubo de cartón, consiguiendo, por su propio razonamiento, resolver el problema de ver los objetos lejanos como si estuviesen cerca. El antejo de Galileo se extendió rápidamente y contribuyó a un considerable avance de las ciencias astronómicas.

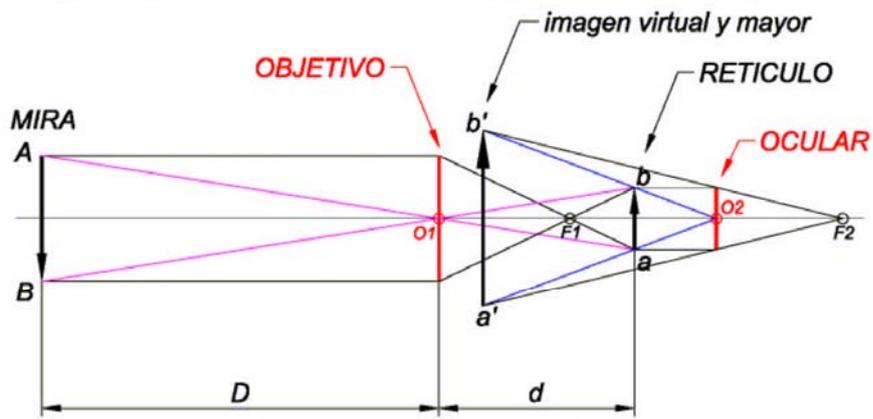
No es, sin embargo, el antejo de Galileo el que se usa en los instrumentos topográficos, sino otro sistema óptico descubierto por Kepler en 1611, que se conoce con el nombre de **antejo astronómico** que invierte las imágenes. El antejo de Galileo es el que hoy se utiliza en los gemelos de teatro, mediante el acoplamiento de dos de ellos. El fundamento de todos los anteojos es la formación de imágenes a través de las lentes.

Este antejo daba una imagen invertida. Los avances de la óptica han permitido conseguir una imagen directa intercalando más lentes y sin que apenas se pierda claridad en la imagen.

##### 1.1.2.2.1 Fundamento óptico del antejo astronómico

El antejo astronómico consta de dos lentes, o sistemas convergentes, montadas en un tubo, formando un sistema dióptrico centrado, con la facultad de poder variar la distancia entre las dos lentes (ocular y objetivo). Una de éstas se dirige hacia el objeto que ha de visarse y por esta razón se denomina **objetivo** del antejo, mientras el ojo del observador se aplica a la otra lente llamada por tal motivo **ocular**.

Fundamento óptico del anteojo astronómico



$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

O: centro óptico

f: foco

Si suponemos un objeto **AB** situado a gran distancia del objetivo O, según la teoría de las lentes, se formará una imagen **ab** real, invertida y menor. La distancia **D** del objeto a la lente y la **d** de la lente a la imagen se relacionan con la distancia focal **f** por la fórmula de las lentes convergentes:

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

De este modo, cuando el objeto está muy distante, la imagen se forma en el foco y al acercarse el objeto a la lente sin llegar a la distancia focal, la imagen se aleja del objetivo.

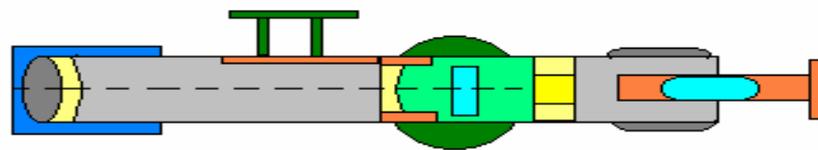
Para obtener la imagen **a** de un punto cualquiera **A** del objeto, se traza por este punto el eje secundario **AO1** que pasa por el centro óptico **O1** sin experimentar refracción y el rayo **Aα** paralelo al eje principal que se refractará pasando por el foco **f1**; la intersección de los dos rayos en **a** dará la imagen **a** del punto **A**. Todos los rayos luminosos que partan de **A**, e incidan en el objetivo, se refractan al pasar a través de éste y se concentran en **a**, imagen del punto. Del mismo modo el punto **B** tendrán su imagen en **b** y el objeto **AB** formará su imagen **ab** en el interior del anteojo.

Si ahora la lente ocular se coloca de modo que la imagen **ab**, obtenida antes, quede situada entre la lente y su foco anterior y se mira a través del ocular, los rayos que partan de **ab** penetrarán en el ojo como si procediesen de su imagen **a'b'**, virtual invertida y mayor. Esta segunda imagen **a'b'** se obtendrá igual que la primera trazando el eje secundario **oa** de uno de sus puntos y el rayo **αα'** paralelo al eje principal, uniendo el punto **α'** con el foco **f2** y prolongando hasta que corte al rayo **oa**, quedará determinada la imagen **a'** del punto **a**; del mismo modo se hallará la **b'** del **b**.

El resultado final es que el objeto lejano AB lo podemos ver invertido y amplificado a la distancia de la *visión distinta*. Se denomina **distancia de la visión distinta** a la menor separación del ojo a la que se ven los objetos con la máxima nitidez, generalmente 25 cm en una vista normal.

Se denomina **enfocar** a hacer que la imagen del objeto se forme sobre el plano donde está el diafragma y el retículo, con la imagen nítida.

Existen dos tipos de anteojos; el del enfoque externo, y el de enfoque interno. En el primero el enfoque se hace moviendo el objetivo. En el segundo el objetivo permanece fijo y el enfoque se logrará mediante una lente interior móvil llamada **lente de enfoque**. El desplazamiento de esta lente es muy pequeño, no suele ser mayor de 2 mm. Además de evitar holguras y evitar el mecanismo de cremallera tiene la ventaja de que al ser más compacto evita la entrada de humedad y polvo que dañan los anteojos. También hay que tener en cuenta que este anteojo a igualdad de aumentos tiene menor longitud.



**Anteojo de enfoque interno**

### 1.1.2.3 Objetivo

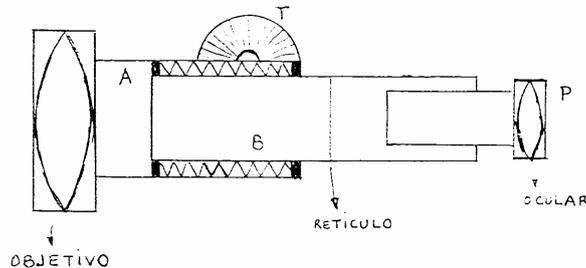
Es una lente compuesta de un exterior cóncavo, de crown glass, y otro interior cóncavo convexo, de cristal. Tiene que ser una lente compuesta, si fuera uno biconvexo tendría el inconveniente de la aberración esférica y la aberración cromática. El objetivo produce sobre el plano del retículo una imagen del objeto.

### 1.1.2.4 Montura del anteojo. Retículo.

El anteojo astronómico consta de 3 tubos. El primer tubo A de latón ensanchado en su extremo donde va montado el objetivo, generalmente formado por varias lentes que constituyen un sistema convergente. En el otro extremo se monta un segundo tubo B que lleva una cremallera en la que engrana un piñón, y al hacerle girar le obliga al segundo tubo a desplazarse dentro del A. A su vez, en el tubo B se introduce de forma suave, un tercer tubo, C, mucho más corto que los anteriores, en el que va montado el ocular; el movimiento de este tubo se hace a mano. Al tubo intermedio B se le llama **tubo ocular**, no obstante ir esta lente montada en el tubo C, al que se le conoce con el nombre de **tubo porta-ocular**. Un tercer tubo P, más corto que los otros dos, que lleva la lente ocular entra a presión en B, tiene un pequeño desplazamiento, se llama tubo porta ocular.

La primera imagen, dada por el objetivo, cualquiera que sea el alejamiento del objeto, ha de formarse siempre en el mismo sitio del tubo B para que la segunda imagen dada por el ocular quede a la distancia de la visión distinta (unos 25 cm). En dicho emplazamiento llevan los anteojos un anillo, sostenido por cuatro tornillos, que constituye un diafragma, que limita la imagen, en el que va empotrado un disco de

vidrio denominado **retículo** con dos líneas grabadas, llamadas *hilos*, uno vertical y otro horizontal, formando lo que se denomina la **cruz filar**. El punto de intersección de ambos hilos constituye el *centro del retículo*, y el centro de la cruz debe coincidir con el centro del retículo. El retículo se coloca en el diafragma. Para que la primera imagen se forme sobre el retículo se mueve el tornillo T desplazando el tubo B dentro de A (enfoque del objeto).



Por medio del piñón y cremallera se hará avanzar más o menos el tubo B hasta que el retículo coincida exactamente con la imagen dada por el objetivo, operación que se llama **enfocar** el objeto, y esta primera imagen y la cruz filar a ella superpuesta, vienen a constituir el objeto para la lente ocular, que dará la imagen definitiva atravesada por la que se obtiene de los dos hilos del retículo. Generalmente lleva éste otros dos hilos horizontales que se utilizan para la medida indirecta de distancias.

El desplazamiento permite ajustar a la vista de cada uno la imagen del retículo y la de la primera lente (enfoque del retículo). Primero se hace siempre el enfoque del retículo.

Se llama **colimar** un punto hacer que su imagen se forme en el centro del retículo.

#### 1.1.2.4.1 Ejes de un anteojo

En el anteojo astronómico se consideran tres ejes:

- **Eje óptico:** es la recta que une el centro óptico del objetivo y el centro óptico del ocular. El eje óptico es la dirección según la cual un rayo de luz no experimenta desviación al atravesar una lente. El eje óptico debe coincidir con la línea de vista, para lo cual se pueden subir o bajar los hilos del retículo.
- **Eje mecánico** es la recta que pasa por el centro óptico del objetivo y un punto teórico en el centro del tubo ocular.
- **Eje de colimación** es la recta que une el centro óptico del objetivo con el centro del retículo.

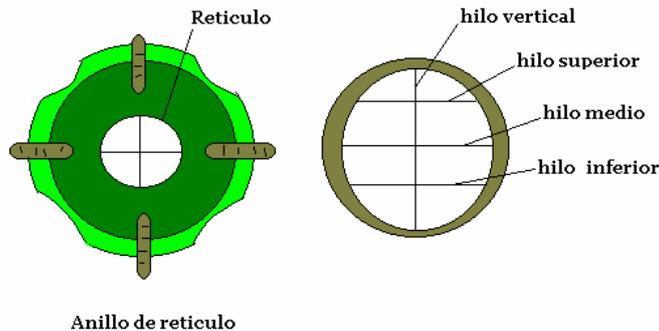
El eje de colimación puede considerarse como la intersección de dos planos, determinados respectivamente por el centro óptico del objetivo y las líneas horizontal y vertical del retículo; al primero se le denomina *plano horizontal de colimación* y, al segundo, *plano vertical de colimación*. Los planos horizontal y vertical de colimación deben ser respectivamente vertical y horizontal cuando se hace una medición.

Los tres ejes, óptico, mecánico y de colimación en los aparatos en buen uso y bien corregidos, han de coincidir formando una sola recta cualquiera que sea la posición del tubo ocular.

**1.1.2.5 Hilos del retículo**

Son un par de hilos, uno horizontal y otro vertical, sostenidos por un anillo metálico llamado retículo. Generalmente son hilos de tela de araña o de plástico. Ahora se usan rayados finamente sobre un vidrio. El retículo puede llevar también otros hilos adicionales para Taquimetría, llamados hilo superior e hilo inferior, equidistantes del hilo medio.

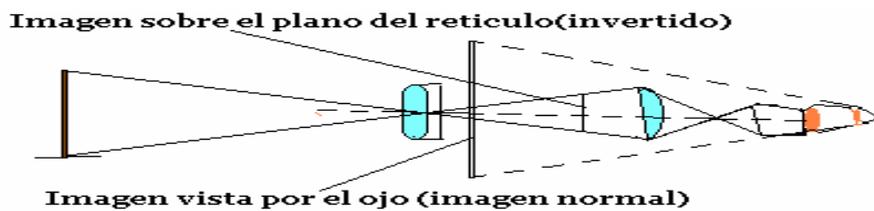
Sobre el plano de los hilos del retículo debe caer la imagen formada sobre el plano del retículo.



**1.1.2.6 Ocular**

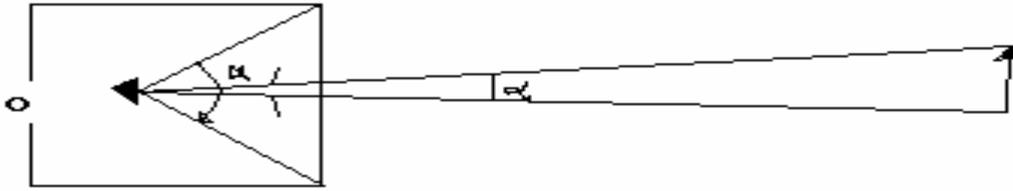
Hace las veces de un microscopio ampliando la imagen formada sobre el plano del retículo. Hay dos tipos de ocular:

- a) El que invierte la imagen que ha formado el objetivo presentándola al ojo en su posición normal ; lo usan los anteojos llamados de imagen normal
- b) El que no invierte la imagen formada por el objetivo sino que solo la aumenta. Lo llevan los aparatos llamados de imagen invertida. Este tipo es más ventajoso por hacer más corto el anteojo y además porque debido a que tiene menos lentes, da una imagen más brillante y clara.



**1.1.2.7 Poder de aumento del ocular**

Es la relación existente entre el ángulo bajo en el cual se ve la imagen sin antejo y el ángulo bajo en el cual se ve la imagen aumentada. El poder de aumento del telescopio varía en los teodolitos de 20 a 40 diámetros, según sea teodolito.



**Poder de aumento del ocular**

**1.1.2.8 Enfoque**

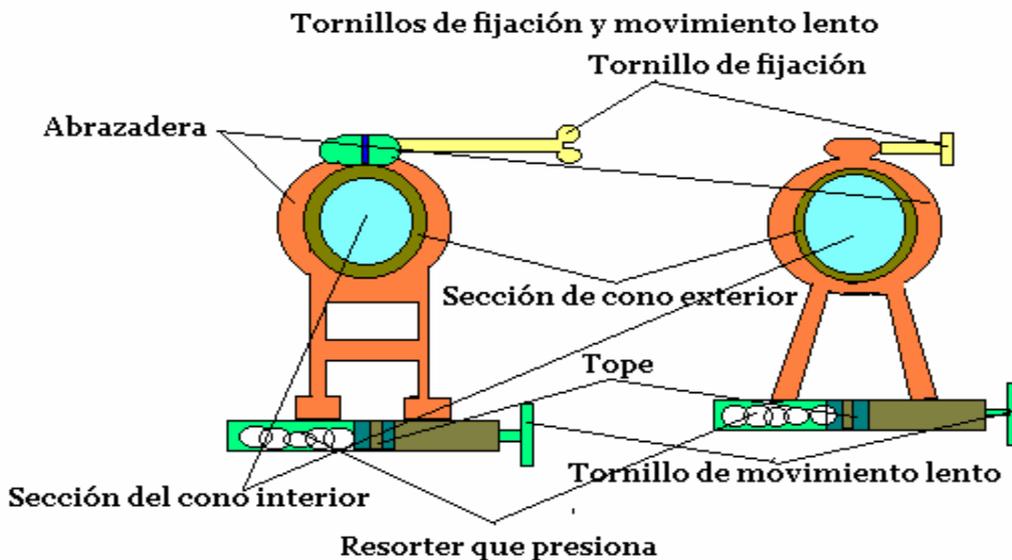
- a) *Del ocular:* se mueve el porta ocular hacia dentro y hacia fuera hasta que se vean nítidos los hilos del retículo.
- b) *Del objetivo:* con el tornillo de enfoque y gracias a un sistema de engranaje que permite deslizar el porta objetivo, se hace que la imagen coincida sobre el plano del retículo.

Es aconsejable mantener ambos abiertos mientras se esté observando, pues así se fatigan menos.

**1.1.2.9 Tornillo de fijación y de movimiento lento**

Por cada movimiento de giro del aparato hay un juego de tornillos de presión y de coincidencia. El primero permite el libre giro o bloquea el movimiento, el segundo una vez que el primero ha bloqueado permite pequeños desplazamientos para atinar la puntería con el retículo del antejo.

El aparato posee unos mecanismos para poder fijarlo en cualquier posición e imprimirle pequeños movimientos respecto al eje fijo. Cuando está suelto el cono exterior puede girar libremente alrededor. Cuando se ajusta la abrazadera presiona y le impide girar. Sin embargo se le puede imprimir un pequeño giro a todo el conjunto ajustando o aflojando, el cual actúa directamente sobre el tope que permanece fijo.



En los aparatos modernos se procura que el tomillo de presión tenga distinta forma que el de coincidencia para evitar confusiones, a veces es una pinza o tiene otras formas.

### 1.1.2.10 Limbos

Los limbos son los instrumentos de medida de los ángulos y están constituidos por círculos graduados dispuestos uno horizontalmente, para la medida de ángulos acimutales, llamado por ello **limbo acimutal**, y otro vertical o **eclímetro**, o **limbo cenital**, para la medida de estos ángulos. Están divididos de 0g a 400<sup>g</sup> (graduación centesimal) o de 0° a 360° (graduación sexagesimal).

Los limbos frecuentemente son metálicos, con una cinta de plata embutida en la parte perimetral en la que va marcada la graduación y pueden ir al descubierto o protegidos en el interior de cajas cilíndricas.

Normalmente en los aparatos el limbo será fijo y los índices se desplazarán solidarios con la alidada.

Se dice que la graduación de un limbo es normal si crece en la dirección de las agujas del reloj, también llamada graduación dextrorsum.

Algunas casas constructoras han sustituido los limbos metálicos por otros de vidrio, que tienen la ventaja de que los trazos de la graduación pueden hacerse con una precisión extraordinaria y quedando grabados con absoluta nitidez; la lectura de estos limbos, generalmente por transparencia, es incomparablemente más clara que en los limbos metálicos y su rotura es difícil, dada la forma como van montados, incluso por caída del instrumento.

Los limbos de vidrio son de un espesor de varios milímetros y tienen forma de anillo, con una montura de acero de análogo coeficiente de dilatación.

Cualquiera que sea la naturaleza del limbo ha de ir rigurosamente dividido. La perfección que desde hace años se alcanza con las máquinas de dividir hace que éste no sea un motivo de preocupación para los instrumentos de marcas acreditadas en los que la uniformidad y finura de sus trazos supera todo lo imaginable.

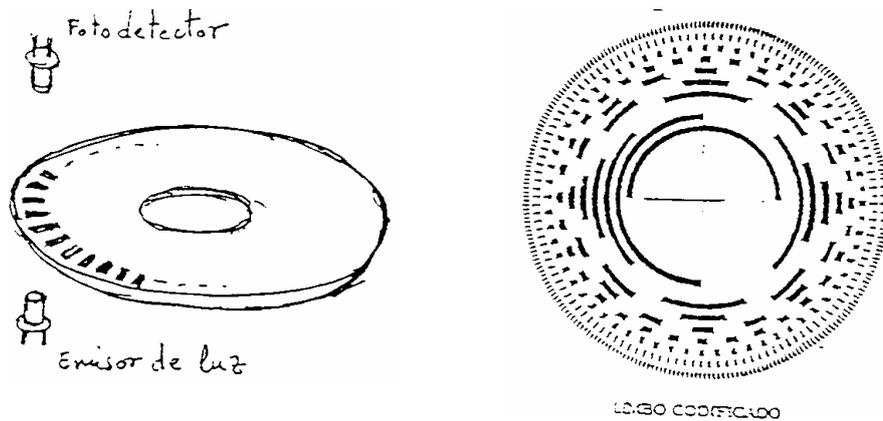
Esto permite, en los instrumentos modernos buenos, conseguir grandes precisiones con limbos de muy pequeño diámetro. Así por ejemplo, el limbo cenital de vidrio del teodolito T2 de Wild, de tan sólo 70 mm de diámetro, va dividido en 2000 partes, con tal uniformidad de las divisiones que aun por medio de un micrómetro puede apreciarse la milésima de división equivalente a 2".

La calidad de estas máquinas de dividir, utilizando limbos de vidrio, han simplificado considerablemente los antiguos instrumentos, obteniéndose las mismas precisiones con los actuales, a pesar de ser de mucho menor peso, más manejables, rápidos, y de manejo seguro. Sin embargo la precisión que se consiguió obtener con los más perfectos aparatos antiguos, como los viejos teodolitos Repsol y Pistor, o con los círculos Brunner, que sirvieron para la triangulación geodésica de primer orden en España, solo es superada por contados aparatos.

En los instrumentos modernos buenos, los diámetros de los limbos de vidrio no suelen pasar de los 90 mm, mientras los limbos metálicos de teodolitos de análoga precisión llegan a los 250 mm.

En los aparatos electrónicos modernos los limbos utilizados suelen ser los llamados limbos incrementales, llevan divisiones pero sin números, van alternando divisiones

transparentes y opacas, las transparentes dejan pasar la luz de un emisor cuya señal es recogida por un sensor.



Las divisiones opacas no dejan pasar la señal. Estas señales son transformadas en digitales mediante un codificador.

Realmente hacen falta 2 sensores, uno fijo y otro móvil, para que el fijo haga de referencia. Normalmente se añaden otros dos sensores en la parte opuesta del limbo que hacen de segundo Índice; incluso muchos aparatos llevan 4 Índices en lugar de dos.

Como las divisiones de estos limbos no suelen ser menores de 1 para interpolar medidas en medio utilizan algún sistema electrónico adicional con lo que se llega a 20s, o incluso hasta 2s. Cada casa comercial tiene su procedimiento de interpolación.

Hay aparatos de medida electrónica que en lugar de limbos incrementales tienen limbos absolutos con 9 o más pistas codificadas y emisores y sensores en cada una de las pistas.

**Sistemas de graduación en los limbos acimutales y cenitales:** La graduación de los limbos puede ser indistintamente centesimal o sexagesimal. Los acimutales suelen ser de graduación *normal*, es decir, creciendo de izquierda a derecha. Algunos, sin embargo tienen graduación *anormal*, van divididos en sentido contrario. En los dos casos los limbos acimutales se dividen siempre de 0 a  $400^g$  (o  $360^\circ$ ), pudiendo subdividirse los grados en fracciones más pequeñas.

Los limbos cenitales tienen a veces menor diámetro que los acimutales, pero aun en este caso, suelen ir divididos en igual número de divisiones, aunque no siempre la graduación crece hasta los  $400^g$  (o  $360^\circ$ ), adoptando diversas disposiciones.

Con el primer tipo se mide el ángulo que una visual forma con la horizontal (**altura de horizonte**).

El anteojo al bascular arrastra dos índices I y II en los extremos de un diámetro y ambos (en este tipo de graduación) darán la misma lectura, debiendo tener cuidado en anotar si la visual es ascendente o descendente, ya que esto no puede deducirse sólo de las lecturas del limbo.

Los otros dos tipos de graduación dan el ángulo  $\alpha$  que la visual forma con la vertical (*distancia cenital*), complementaria de la *altura de horizonte*.

### 1.1.2.11 Nonios

Es un mecanismo que permite aumentar o disminuir la precisión de un limbo.

Para la construcción del nonio se dividen  $n-1$  divisiones del limbo entre  $n$  divisiones del nonio. Si  $G$  es la graduación de una división del limbo, y  $g$  es la graduación de una división del nonio, la sensibilidad  $S$  del nonio es la diferencia entre la magnitud del limbo y la magnitud del nonio.

$$(n-1)*G=n*g$$

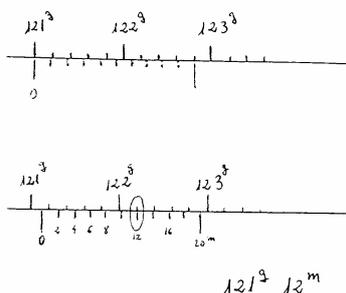
$$N*G-G=n*g$$

$$n*G-n*g=G$$

$$n*(G-g)=G$$

$$S=G-g=G/n$$

$$S=G/n$$



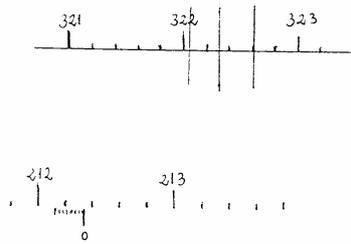
### 1.1.2.12 Micrómetro

Es un mecanismo óptico que permite hacer la función de los nonios pero de forma que se ven una serie de graduaciones y un rayo óptico mediante mecanismos, lo que aumenta la precisión.

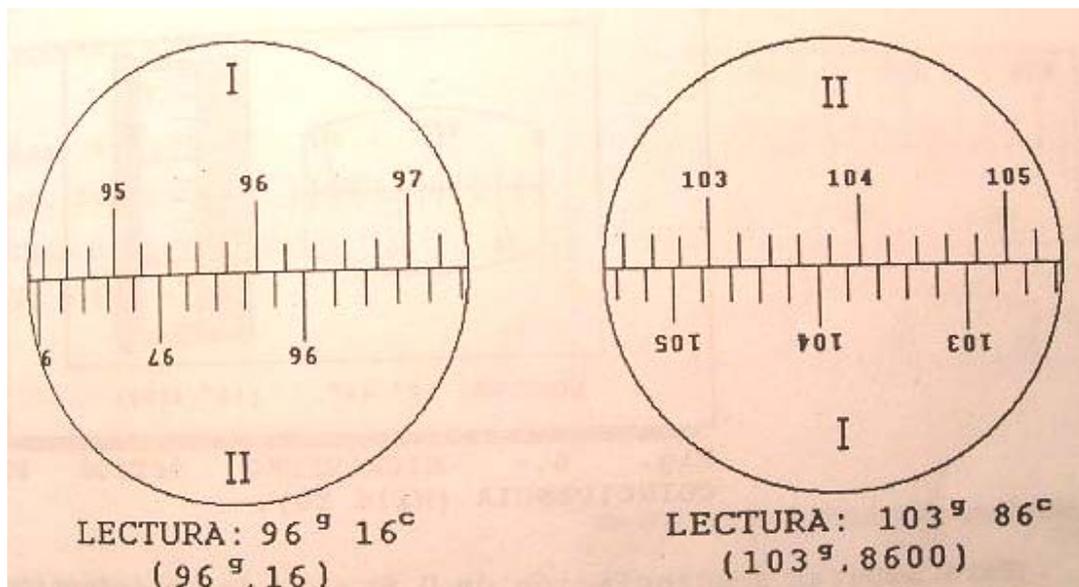
En definitiva es un elemento para hacer la lectura de ángulos, que consta de un microscopio para observar ampliada la zona del limbo a leer, además este microscopio lleva una escala graduada que se superpone a la imagen del limbo. La graduación del microscopio coincide con la graduación del limbo.

Hay varios tipos, aunque casi sólo se usa el micrómetro óptico de coincidencia.

- a) *Micrómetro de 3 hilos. Superpone 3 hilos sobre el limbo, son como 3 índices; la lectura es la media de las 3 lecturas.*



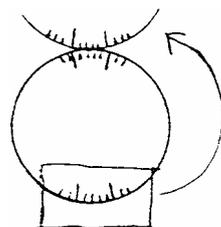
b) *Micrómetro óptico de estima*: permite la lectura sin necesidad de reticulos o hilos.

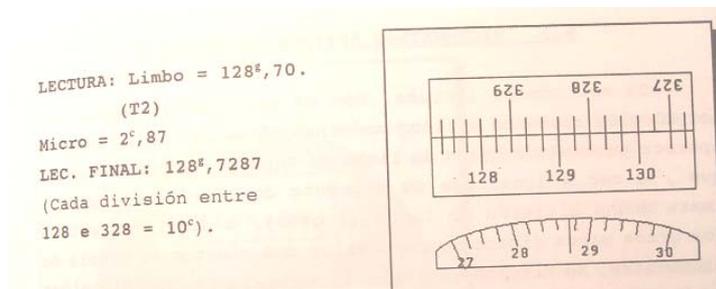
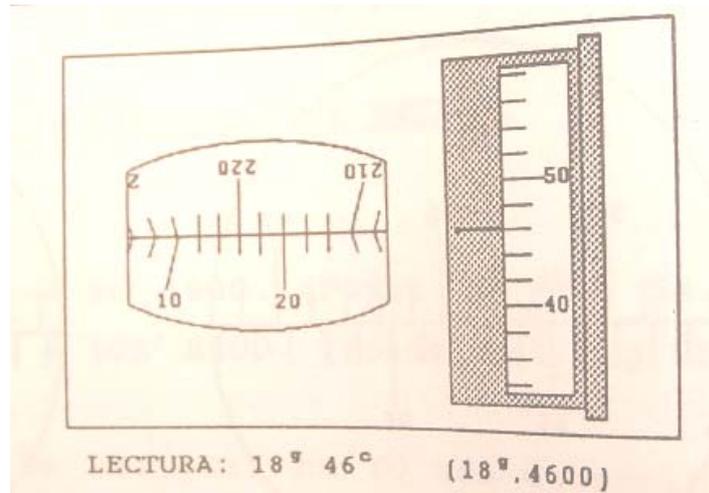


c) *Micrómetro óptico de coincidencia*. Fue un invento de la casa Wild. Consiste en superponer a la imagen del limbo que se ve por el microscopio, la imagen de la parte opuesta del limbo mediante unas lentes. La lectura a tomar es la del punto de tangencia, además en ese punto la diferencia de lecturas será 200 ó 180.

Realmente para que la imagen no sean 2 escalas curvas unos prismas separadores la cortan ligeramente y nosotros vemos 2 graduaciones rectas superpuestas, una arriba y otra abajo, que crecen en distinto sentido.

Este sistema tiene la ventaja de que duplica la apreciación y con una sola lectura da corregidos los errores de excentricidad y desviación de índices.





d) *Micrómetro óptico de escala* : Con este micrómetro se puede aumentar la apreciación en la medida de ángulos de forma notable. El microscopio sólo lleva un índice que superpone sobre el limbo, pero en lugar de medir a estima, lo que hacemos es desplazar la imagen del índice que nos llega hasta hacerla coincidir con la inmediatamente anterior y medir en una escala ese desplazamiento, o en un tambor asociado al tornillo que desplaza.

El desplazamiento máximo del micrómetro es una división del limbo.

Se basa en el principio de la placa de vidrio de caras opuestas y paralelas. Si el rayo entra perpendicular no se desvía, si giramos la placa se va desviando la imagen cada vez más.

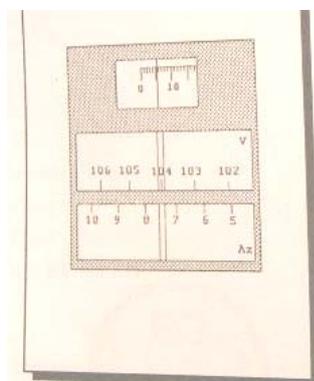


Fig. 8.- MIC. ÓPTICO ESCALA Wild T1-A.  
 Lectura:  $104^{\circ},054$

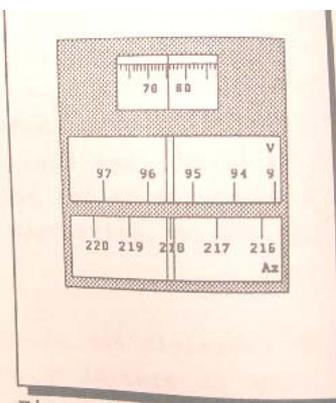
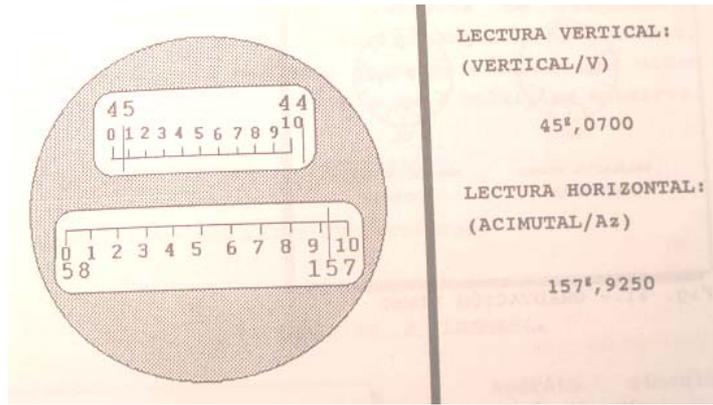


Fig. 9.- MIC. ÓPTICO ESCALA Wild T1-A.  
 Lectura:  $218^{\circ},752$



## 2. Medicion de ángulos

Se miden con goniómetros y pueden ser:

- ◆ **Goniómetro acimutal:** mide ángulos horizontales.
- ◆ **Eclímetro:** sólo determina ángulos verticales.
- ◆ **Teodolitos:** miden ángulos horizontales y verticales.

### 2.1. Horizontales

Normalmente la graduación del limbo horizontal, entre 0°-400<sup>g</sup> está hecha creciendo en sentido del movimiento de las agujas del reloj (Graduación normal o dextrorsum).

El **cero del limbo horizontal** puede, en general, orientarse arbitrariamente. Según esa orientación se miden tres tipos de lecturas de ángulos acimutales con respecto a ese cero:

1. **Direcciones:** Cuando el cero se orienta a una referencia arbitraria.
2. **Acimut topográfico:** Cuando se realizan las lecturas con respecto al cero orientado hacia el Norte Geográfico. En general interesa medir los ángulos a partir de una posición fija, frecuentemente la del meridiano astronómico del punto de estación. La lectura que se obtenga colocando el cero en la dirección Sur y medida hacia el Oeste, se llama **acimut**, y es la que se toma siempre en las operaciones geodésicas; en las topográficas también se toma el acimut, pero a veces, en lugar de encontrar los ángulos desde el Sur, se encuentran desde el Norte y en el mismo sentido, y se refieren siempre a un solo meridiano; a éste ángulo se le denomina, para distinguirlo del anterior, **acimut topográfico**. Dado que normalmente trabajaremos con acimutes topograficos, nos referiremos a ellos simplemente como **acimut**.
3. **Rumbo:** Cuando el cero se orienta al Norte magnético. Los aparatos que miden rumbos reciben el nombre de brújulas y su limbo acimutal se orienta automáticamente al Norte magnético.

Lh= Limbo horizontal	ANGULOS
Ng= Norte geográfico	∅ = Acimut
Nm= Norte magnético	R= Rumbo
Oa= Orientación arbitraria	L = Dirección

El **rumbo** se diferencia del **acimut topográfico** en el ángulo formado por la aguja imantada con meridiano de origen, llamado **declinacion magnetica**.

La **desorientación** de una medida es la diferencia entre el acimut y la lectura realizada.

## 2.2. Verticales

La lectura del limbo cenital se realiza, en la mayoría de los aparatos con respecto al cero vertical (cenit) y recibe el nombre de **distancia cenital**. Pero, algunos aparatos miden el ángulo vertical con respecto al horizonte; el ángulo así medido se llama **altura del horizonte**.

Si la lectura de la distancia cenital es mayor de  $90^\circ$  es que la visual del anteojo es descendente.

Si es menor, la visual es ascendente.

- C= Cenit.
- H= Horizonte.
- $\Lambda$ = Distancia cenital.
- $\alpha$  = Altura del horizonte.

## 2.3. Medicion de un ángulo horizontal

Si se trata de medir un ángulo AOB se estaciona el teodolito sobre el punto O. Se aprieta el tornillo de fijación superior, con uno de los nonios horizontales casi en cero, y por medio del tornillo superior de coincidencia se lleva exactamente al  $0^\circ$ . Se mira con el anteojo hacia el punto A, se apriete el tornillo inferior de fijación, y actuando sobre su tornillo de llamada, se hace que la visual pase exactamente por la banda roja o señal que indique la situación de dicho punto. Se afloja entonces el tornillo superior y se hace girar el anteojo hasta que se vise el punto B; se aprieta el tornillo superior y se centra sobre el punto B la visual por medio del tornillo superior de coincidencia. Con el nonio que al principio se puso a cero, se lee el ángulo descrito por el anteojo, igual al propuesto AOB. Conviene considerar el movimiento inferior del teodolito como un transportador, y el superior como una regla.

Teniendo en cuenta la posibilidad de algún movimiento del trípode (por hundimiento de alguna de sus patas) y la desigual expansión o dilatación de las distintas partes del instrumento conviene hacer las observaciones todo lo rápidamente que permita el cuidado y la atención con que hay que proceder. A ser posible debe resguardarse el teodolito del sol y del viento.

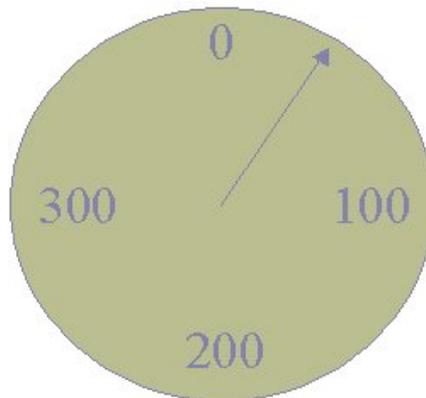
En general en la medida de ángulos horizontales se mide el ángulo, se da la vuelta al aparato y se vuelve a medir el nuevo ángulo, que debe tener 180 (o 200) grados de diferencia con respecto al ángulo anterior. Con esta operación se compensan ciertos errores del instrumento, se hace la media de la primera y la segunda menos 180 (o 200) grados.

## 2.4. Medicion de un ángulo vertical

Los limbos cenitales pueden estar graduados de modo que la lectura dé el ángulo que la visual forma con la horizontal, al que se llama **altura de horizonte**; ésta es positiva si la visual es ascendente o negativa si desciende.

Frecuentemente los ángulos se miden desde el cenit, lo que tiene la la ventaja de que no se comete equivocación con el signo; este ángulo se llama **distancia cenital**. La visual será ascendente siempre que la distancia cenital sea menor de  $90^\circ$  y descendente si es mayor. La altura de horizonte será siempre el complemento de la distancia cenital.

## 2.6. Medición de un ángulo vertical



La posición del cero del limbo vertical es invariable, y normalmente está en la dirección del cenit.

El ángulo vertical de un punto puede ser de elevación (+) o de depresión (-) respecto a la horizontal. Para medir ángulos verticales se estaciona el teodolito y se nivela como para la observación de acimutes.

En los teodolitos que poseen nonio vertical fijo se centran exactamente las burbujas de los niveles de plataforma; se enfila el anteojo hacia el punto de que se trate y se amordaza el eje horizontal. Se lleva el hilo horizontal del retículo sobre el punto observado por medio del tornillo de coincidencia del anteojo y se lee con el nonio vertical.

En los teodolitos que tienen un nonio vertical móvil con nivel propio se enfila el anteojo hacia el punto, se nivela el nonio y se lee el ángulo.

En las nivelaciones por pendiente (trigonométricas) se toman los ángulos verticales visando como de ordinario una mira de nivelación, pero de modo que la visual caiga sobre una lectura igual a la altura del eje horizontal del anteojo sobre el punto en que se ha estacionado el teodolito. Si la nivelación por pendientes ha de hacerse con una mayor precisión, como las distancias entre las estaciones suelen ser más bien grandes, se miden los ángulos verticales dirigiendo visuales con el teodolito a señales colocadas sobre tales estaciones.

## 2.7. Métodos para la medición de ángulos

Método *simple*, por *repetición*, por *reiteración*, por *vuelta de horizonte* y por *direcciones*

En topografía el uso de cualquier goniómetro o instrumento para la medida de ángulos tiene como fundamento lo siguiente:

Para medir un ángulo mediante el uso de un transportador, se pone el centro del círculo en coincidencia con el vértice definido por las dos rectas; el cero de la graduación del círculo en coincidencia con una de las líneas y la intersección de la otra línea con el círculo descrito por el transportador, que da el valor correspondiente al ángulo deseado.

Por lo que se refiere a los trabajos topográficos, las mediciones se realizan sobre el terreno pero tienen la misma concepción geométrica.

El eje de giro 1 debe ser perpendicular al plano del horizonte y pasar precisamente por el vértice del ángulo a medir; por lo tanto, el círculo graduado deberá estar contenido en un plano perpendicular a dicho eje, es decir, paralelo al plano del horizonte. El eje 2 es perpendicular al eje 1, así como a la línea de colimación o línea de la visual. Todo lo anterior tiene por objeto reunir las condiciones geométricas necesarias y suficientes para realizar la medición del ángulo *BAC*, tal y como se hace con el transportador.

Los instrumentos topográficos poseen dispositivos ópticos y mecánicos que permiten hacer las mediciones con la garantía de que reúnen estas condiciones geométricas.

Métodos que se utilizan en las mediciones angulares:

### 2.7.1 *Método simple*

Consiste en colocar como origen de medición cero grados sobre la línea que une al vértice con cualquier punto de referencia que se tome como origen. A partir de ahí se puede medir el ángulo interno, externo o de deflexión en sentido positivo (sentido de las agujas del reloj o sentido a la derecha) o negativo (contrario a las agujas del reloj o sentido a la izquierda), hasta el siguiente punto de referencia que defina el ángulo. Y se lee en el círculo graduado el valor correspondiente al arco descrito entre las dos líneas

### 2.7.2 *Método de repetición*

Se puede emplear en aquellos aparatos que, además del tornillo de presión, posean tornillo de coincidencia.

Se toma como origen en cero grados cualquier línea, como en el método simple. Se gira hasta el lado que define el ángulo por medir y se vuelve a la línea de origen. Pero no se coloca en cero grados, sino en la lectura que se haya obtenido al medir. Se repite dos, tres o más veces esta operación y, como los valores se han ido acumulando (en la segunda ocasión aproximadamente el doble, en la tercera cerca del triple, etc.), el valor angular de la última observación se divide entre el número de repeticiones y el resultado o cociente será el valor angular correspondiente (regularmente se hacen tres

repeticiones y como máximo en cuatro ya que el rozamiento del limbo puede arrastrar su graduación y con ello la lectura perdería precisión).

Repetición	Valor acumulado
1	37,20 <sup>g</sup>
2	74,42 <sup>g</sup>
3	112,03 <sup>g</sup>
<i>valor promedio</i>	$\frac{112,03^g}{3} = 37,21^g$

Este método es muy fiable ya que ofrece la ventaja de poder detectar errores, equivocaciones, y los errores acumulados por la apreciación de los valores.(ver 4.6.8.1)

**2.7.3 Método de reiteración**

Se puede emplear en aquellos aparatos que solo posean el tornillo de presión.

A diferencia del método anterior, el origen se toma arbitrariamente en una lectura cualquiera definida de antemano, con el fin de ratificar los valores encontrados, compararlos, y de ser necesario, promediarlos para lograr mejores valores.

El procedimiento consiste en fijar primero el número de reiteraciones que se desean hacer; después se divide la circunferencia (400<sup>g</sup>) entre las reiteraciones y el cociente dará la diferencia de origen que deberá tener cada ángulo. (ver 4.6.8.2)

*Ejemplo*

Se requieren hacer 4 reiteraciones y, por tanto, se divide 400<sup>g</sup>/4 = 100<sup>g</sup>. En consecuencia, los orígenes serán: 0<sup>g</sup>, 100<sup>g</sup>, 200<sup>g</sup> y 300<sup>g</sup>.

Ángulo		
<i>Orígen</i>	<i>Lectura final</i>	<i>correspondiente</i>
0 <sup>g</sup>	26,02 <sup>g</sup>	26,02 <sup>g</sup>
100 <sup>g</sup>	126,03 <sup>g</sup>	26,03 <sup>g</sup>
200 <sup>g</sup>	226,04 <sup>g</sup>	26,04 <sup>g</sup>
300 <sup>g</sup>	326,04 <sup>g</sup>	26,04 <sup>g</sup>
		Promedio: 26,03 <sup>g</sup>

**2.7.4 Método de vuelta de horizonte**

Se utiliza especialmente en ciertos trabajos topográficos, en los que desde un vértice se tienen que tomar lecturas o hacer visuales a  $n$  puntos. Así, se toma un lado como origen cero grados y se va girando hasta cada punto deseado; se hacen las correspondientes lecturas, girando  $400^g$  y luego en sentido contrario para comprobar valores, la operación se repite cuantas veces sea necesario.

**2.7.5 Método de direcciones**

En este método el origen es arbitrario pero no definido de antemano (a diferencia del método de reiteración), y el valor angular se determina restando a la lectura final la lectura inicial. Es un método muy seguro, sobre todo cuando se hacen un buen número de series.

Ángulo		
<i>Lectura inicial</i>	<i>Lectura final</i>	<i>correspondiente</i>
130,4210 <sup>g</sup>	159,5813 <sup>g</sup>	29,1603 <sup>g</sup>
293,1615 <sup>g</sup>	322,3219 <sup>g</sup>	29,1604 <sup>g</sup>
389,3506 <sup>g</sup>	418,5111 <sup>g</sup>	29,1605 <sup>g</sup>
	Promedio	29,1604 <sup>g</sup>

También recibe el nombre de **ángulo de dirección** el formado por la línea N-S o meridiana y una línea cualquiera que la intersecte. Cuando la medición se realiza considerando un círculo de  $400^g$  ( $360^\circ$ ) girando en sentido positivo, se denomina **acimut** y cuando dicho círculo es dividido en cuatro cuadrantes de  $100^g$  cada uno, haciendo que los ángulos descritos no sean mayores que  $100^g$ , se les denomina **rumbos** y se miden del N hacia el E, del N hacia el O, del S hacia el E y del S hacia el O.

Debe procurarse que el origen de las lecturas en este método de direcciones comience en  $0^\circ$ ; pero esto no es estrictamente necesario, sobre todo cuando se usa un teodolito provisto de círculo de cristal y micrómetro óptico. Incluso lo normal es hacer las lecturas iniciales que tenga el instrumento al comienzo de las observaciones. Por comodidad de lecturas se puede buscar que la lectura inicial tenga un valor pequeño.

Cuando se dispone de un teodolito electrónico, basta con oprimir un botón, que por impulso magnético coloca automáticamente el círculo en cero grados. Una vez que se define la línea de origen para la medición angular y se realiza el giro correspondiente, se puede leer el valor del ángulo en la pantalla.

El método simple puede repetirse tantas veces como sea necesario, para tener mayor seguridad en la lectura o para lograr un promedio de todos los valores observados.

Recuérdese que el acimut y el rumbo pueden ser magnéticos o astronómicos según que la meridiana de referencia sea determinada por medios magnéticos (brújula) o por métodos astronómicos.

## 2.8. Taquimetría

Para la medida de distancias se utilizan métodos estadimétricos y se miden dos puntos de forma óptica.

**Distanciometría:** Se mide la distancia entre dos puntos mediante ondas. Cuando a un teodolito se le añaden métodos estadimétricos se le llama **taquímetro**.

Se utiliza una radiación electromagnética que está en función del tiempo que tarda en ir y volver la onda, así sabremos la distancia buscada. El distanciómetro emite una onda con longitud de onda fija y llega a un prisma que actúa de receptor, después vuelve de nuevo al distanciómetro y según el tiempo que tarde sabremos la distancia a la que está el receptor. Estos aparatos pueden tener precisiones hasta submilimétricas.

Existen varios tipos de distanciómetros, los de longitud de onda grande pueden medir 10, 15, 20 km; los de longitud de onda pequeñas (microondas) se utilizan para distancias menores. En topografía se usan más los infrarrojos, que tienen longitud de onda muy pequeñas y están limitados de 5 km hacia abajo.

**Estación total:** Básicamente es un teodolito con sistema de distanciometría.

La taquimetría es el sistema de levantamiento que resulta de determinar la posición de los puntos, principalmente por radiación, y en que las medidas elementales se hacen como sigue:

- a) *Los ángulos horizontales por un limbo horizontal.*
- b) *Los ángulos verticales por un limbo vertical.*
- c) *Las distancias horizontales y verticales, por medio de la estadía, con utilización de las medidas angulares.*

El instrumento que más se acomoda a este trabajo es el taquímetro que no es sino un teodolito provisto de una estadía en el anteojo.

### 3. Medida indirecta de distancias por métodos estadimétricos

**Estadimetría:** Calcula distancias en función de un elemento (hilos estadimétricos). El elemento es la distancia entre los hilos estadimétricos que están junto a la cruz filar.

**Estadías:** Las divisiones están calculadas y son únicas para cada aparato, no se pueden cambiar.

**Miras:** Es una estadía dividida en partes del sistema métrico (metros, centímetros, etc). Cada unidad de mira se multiplica por K y se obtiene la medida real.

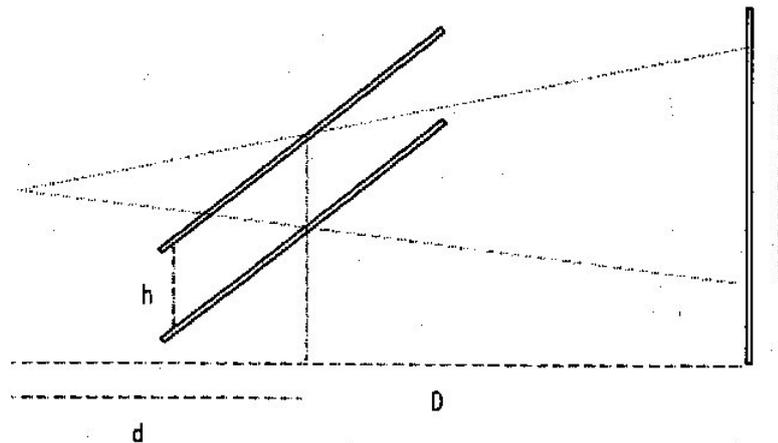
- *Miras mudas:* no tienen numeraciones, para medir hay que hacer que coincida un hilo estadimétrico con la medida y se cuentan las unidades.
- *Miras parlantes:* tienen numeración y se puede medir en cualquier parte.

**Medir con visuales inclinadas:** Hay que proceder al cálculo de la distancia sin inclinar la mira. Para que la mira dé la distancia habría que colocarla paralela al plano de la focal.

#### 3.1. Fundamento de la estadía

Gran parte de los anteojos utilizados en los instrumentos topográficos permiten medir distancias indirectamente con incomparable rapidez y ventaja sobre los métodos de medida directa.

Estos anteojos reciben el nombre de *diastimométricos* o *estadimétricos* y tienen por fundamento lo siguiente: Supóngase que miramos una mira vertical a través de la rendija que queda entre dos listones de una persiana, representados por dos hilos horizontales en los anteojos estadimétricos. Los bordes de la rendija limitarán la visibilidad y sólo se percibirá una cierta longitud de mira. Designando por ***D*** la distancia del ojo a la mira, por ***d*** la separación entre el ojo y la persiana, por ***l*** la longitud del segmento de mira que abarca la vista, y por ***h*** la separación de los listones o hilos, se podrá establecer la siguiente relación:



Fundamento de la estadía

$$\frac{D}{l} = \frac{d}{h}$$

de donde se podrá deducir el valor de D siempre que se conozcan las otras tres magnitudes.

- D: Distancia del ojo a la mira
- d: Distancia del ojo a los listones
- l: Segmento de mira que se ve
- h: Separación entre listones

$$D = f(l, h, d)$$

La distinta manera de operar con éstas da origen a tres categorías de estadímetros que responden a las fórmulas siguientes:

Estadía de 1ª categoría	$D = \frac{d}{h} * l$	d y h constantes	$D = K * l$ [1]
Estadía de 2ª categoría	$D = (d * l) * \frac{1}{h}$	d y l constantes	$D = \frac{K}{h}$ [2]
Estadía de 3ª categoría	$D = \frac{l}{h} * d$	l y h constantes	$D = K * d$ [3]

### 3.1.1 *Estadímetros de primera categoría*

Las estadías de la primera categoría son las empleadas con más frecuencia. En éstas se mantienen constantes  $d$  y  $h$ , siendo  $l$  variable en cada caso, apreciándose su magnitud por ir la regla graduada.

La expresión [1] indica que la distancia desde el ojo a la mira es igual a la longitud de mira interceptada por las visuales extremas, multiplicada por una constante  $K$  llamada **constante diastimométrica** o **relación diastimométrica** (normalmente  $K=100$ ).

A este tipo de estadímetros se les denomina de **mira variable e hilos fijos**.

Para graduar la regla supóngase que en un terreno llano y horizontal se miden 100 m a partir de la posición del ojo, y que el segmento limitado por las visuales extremas tangentes a los hilos o listones lo dividimos en 100 partes iguales; si llamamos  $p$  la medida de cada una de estas partes se verificará:

$$\frac{d}{h} = \frac{100}{100p} \quad \text{O sea} \quad p = \frac{1}{K}$$

En cualquier otra posición de la regla, suponiendo se cuenten  $n$  divisiones, deduciremos de la fórmula [1] teniendo en cuenta la relación anterior:

$$D = K * n * p = n$$

Es decir, que la distancia en metros viene determinada por el número  $n$  de divisiones comprendidas entre las visuales límites.

La regla así dividida recibe el nombre de **estadía** y sólo podrá utilizarse para los valores de  $d$  y  $h$  que se utilizaron para dividir la regla. Si ésta está dividida en metros y fracciones de metro se la denomina **mira**; generalmente se utilizan **miras**, y por emplearse casi siempre constantes diastimométricas expresadas por números sencillos, las **miras** suelen utilizarse a su vez como estadías.

### 3.1.2 *Estadímetros de segunda categoría*

En los estadímetros del segunda categoría ha de verse siempre la misma magnitud de mira, pudiendo en este caso separarse lo necesario los listones de la persiana hasta que las visuales enrasen. La ecuación (2):

$$D = \frac{K}{h} \quad [2]$$

indica que la separación de los listones o hilos es inversamente proporcional a la distancia en el terreno, y como siempre han de utilizarse estadías de la misma longitud, puede emplearse una escala en la cual la posición de los hilos permita leer directamente la distancia.

Los estadímetros de segunda categoría se llaman **de mira constante e hilos variables**.

### 3.1.3 Estadímetros de tercera categoría

En el tercer tipo (**mira constante e hilos fijos**) se conservan restando la segunda de la primera:

$$D = K * d \quad [3]$$

## 4. Aparatos topográficos

### 4.1. Goniómetro

Todo trabajo topográfico necesita para su resolución la medición de ángulos. Los instrumentos utilizados para esta medición reciben el nombre genérico de **goniómetros**.

Normalmente, los goniómetros van asociados con anteojos estadimétricos para poder medir también las distancias, constituyendo los taquímetros.

Los ángulos a medir pueden ser horizontales (**acimutales**) o verticales (**cenitales**).

Los goniómetros que miden ángulos acimutales se llaman **acimutales**, y los que miden ángulos cenitales **eclímetros**. Los aparatos de topografía son de los dos tipos a la vez.

En todo caso todos los goniómetros están constituidos por las siguientes partes:

- A=Anteojos colimador.
- Lv= Limbo vertical.
- Lh=Limbo horizontal.
- I =Índices vertical y horizontal.
- Es=Eje secundario.
- Ep=Eje principal.
- Tn=Base nivelante.

La mayor parte de los aparatos utilizados se incluyen en esta denominación: teodolito, taquímetro, brújula, estación total.. Además de la medida de ángulos acimutales y cenitales los goniómetros dan casi siempre las distancias calculadas por métodos indirectos.

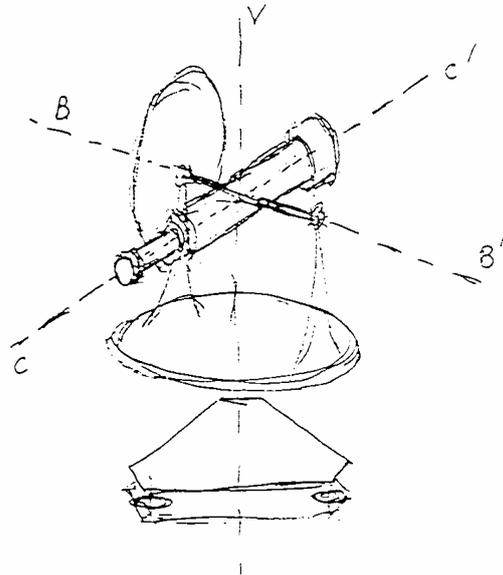
### 4.2. Esquema general de un goniómetro

Prescindiendo del trípode y centrándose en el aparato propiamente dicho se puede distinguir una plataforma de nivelación y unión con el trípode por un lado y el cuerpo del aparato por otra, con una parte fija y otra móvil. A la parte móvil que gira sobre un eje vertical V V' se le llama alidada acimutal.

En el cuerpo del aparato están los limbos y un anteojo que báscula sobre un eje EE'. La plataforma de nivelación realmente es una doble plataforma con 3 o 4 tornillos para nivelar, 3 en los aparatos europeos y 4 en los americanos.

En un goniómetro se distinguen 3 ejes:

- Eje vertical o eje de giro V V'.
- Eje de basculación del anteojo E E', también fumado a veces eje de muñones o eje secundario.
- Eje de colimación C C' -línea que sigue la visual del anteojo.



Para que un aparato esté bien, estos tres ejes deben ser perpendiculares entre sí.

### 4.3. Anteojo colimador

Dotado de movimiento basculante alrededor de un eje horizontal solidario de un índice que marca los ángulos **cenitales** en un disco fijo, o al revés, un disco (**limbo del eclímetro**) que se mueve solidario con el eje horizontal del anteojo, permaneciendo fijo al índice.

### 4.4. Goniómetro cenital o eclímetro

Disco graduado e índice que miden los ángulos verticales. El disco se llama **limbo** y en la mayor parte de los casos se mueve solidario con el eje horizontal del anteojo (**eje secundario**).

El conjunto de anteojo y eclímetro puede moverse alrededor de un eje vertical para poder medir los ángulos acimutales.

### 4.5. Goniómetro acimutal

Disco graduado e índice que miden los ángulos acimutales u horizontales. El disco puede moverse sobre su eje vertical mientras que el índice es solidario a la alidada horizontal.

El movimiento del limbo horizontal puede anularse con un tornillo de presión del movimiento general.

Las partes móviles de los goniómetros reciben el nombre de alidadas.

## 4.6. El teodolito

Un **teodolito** es un goniómetro completo perfeccionado, con el que es posible realizar desde las operaciones más simples hasta levantamientos y replanteos muy precisos, pues permite medir ángulos con gran precisión, mediante la utilización de una alidada de anteojo y de limbos complementados con nonios o con micrómetros para poder alcanzar precisiones de hasta 0,5".

Una variante del Teodolito es el Taquímetro autorreductor creado por el Italiano Ignacio Porro (1801–1875). El taquímetro posee además los elementos del teodolito común.

Un aspecto muy importante que se debe cuidar es que el aparato esté bien centrado, pues cualquier desplazamiento se reflejará en errores angulares.

Recibe también el nombre de instrumento universal por la gran variedad de aplicaciones que pueden obtenerse con su empleo; puede considerarse como un goniómetro completo capaz de medir ángulos verticales y horizontales, desniveles y distancias, así como para prolongar alineaciones con gran precisión.

Aunque los teodolitos difieren mucho entre sí en detalles de construcción, sus partes esenciales son análogas en todos. Los de modelo anticuado, pero muy en uso por no estar blindados como los modernos, se prestan muy bien a la descripción y localización de sus piezas principales. En la figura se representa el despiece de un teodolito clásico, que consta de tres bloques fundamentales.

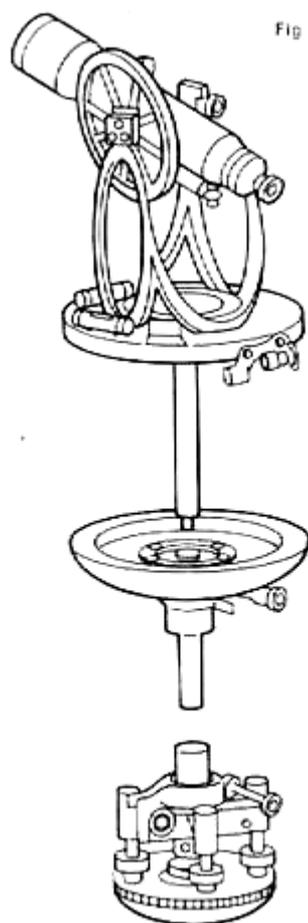


Fig. 81. — Partes de un teodolito.

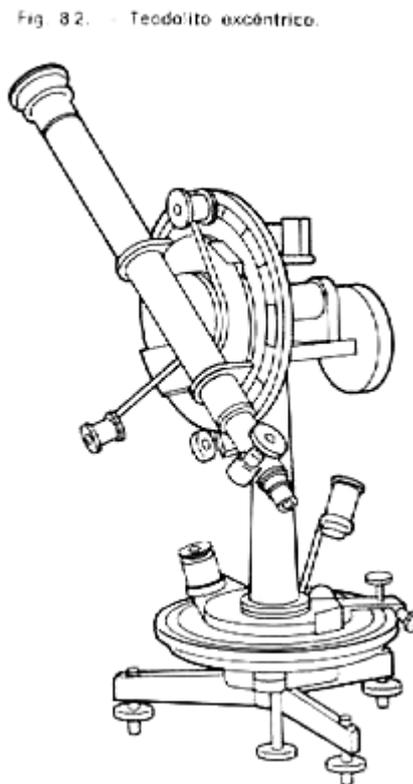


Fig. 82. — Teodolito excéntrico.

El bloque inferior C está constituido por una plataforma nivelante con un cilindro central hueco en el que se introduce un eje hueco solidario del bloque B, en el que va fijo el limbo acimutal; de ésta forma, una vez encajado el bloque B en el C, podrán hacerse solidarios ambos por medio de tornillos de presión, o si éstos están aflojados podrá girar un bloque respecto al otro, constituyendo lo que se denomina **movimiento general del instrumento**.

A su vez en el eje hueco del bloque B, penetra otro eje solidario al bloque A, en el que se encuentra el anteojo y los nonios, consiguiéndose igualmente el movimiento relativo de estos dos bloques por medio de un tornillo de presión, denominándose a este movimiento relativo entre los dos cuerpos como **movimiento particular del instrumento**.

En el bloque A, o **alidada**, se encuentra el soporte para el anteojo, que permite el movimiento del mismo alrededor de un eje horizontal constituyendo este giro el movimiento cenital del aparato, pudiéndose dejar fijo el anteojo en una posición determinada por medio del correspondiente tornillo de presión.

Un teodolito como el descrito, se llama de anteojo central o concéntrico, porque el plano de colimación contiene al eje principal del instrumento.

Si el anteojo se monta en uno de los extremos del eje horizontal, el aparato se llama excéntrico, siendo el plano de colimación y el eje principal paralelos. Con el fin de equilibrar el aparato con el extremo opuesto del eje secundario al que va montado el

anteojo, unas veces se coloca un contrapeso, otras se equilibra el peso del anteojo, colocando en el lado opuesto a éste el limbo cenital y los nonios correspondientes.

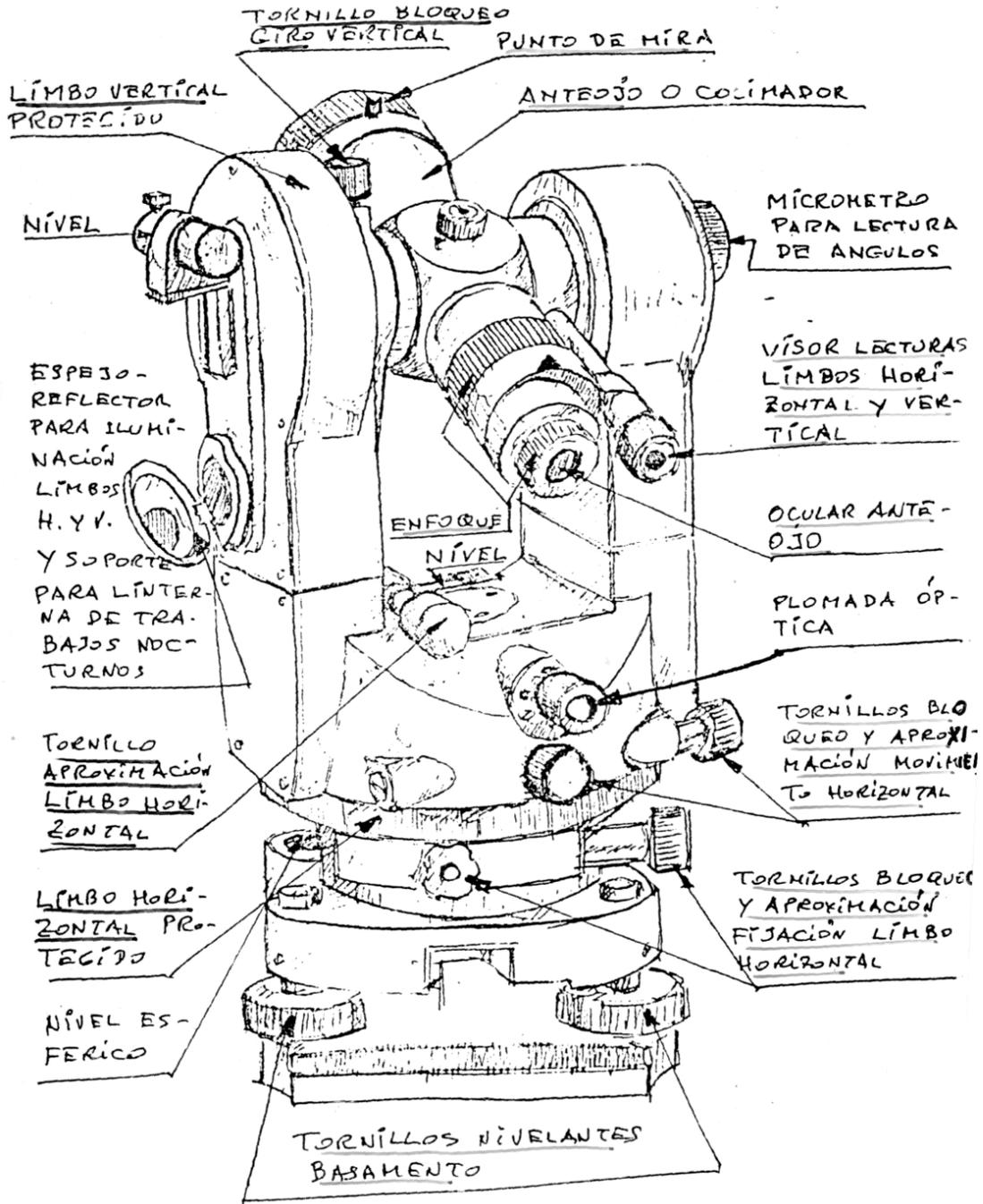
Por esta constitución del teodolito puede tener tres movimientos independientes:

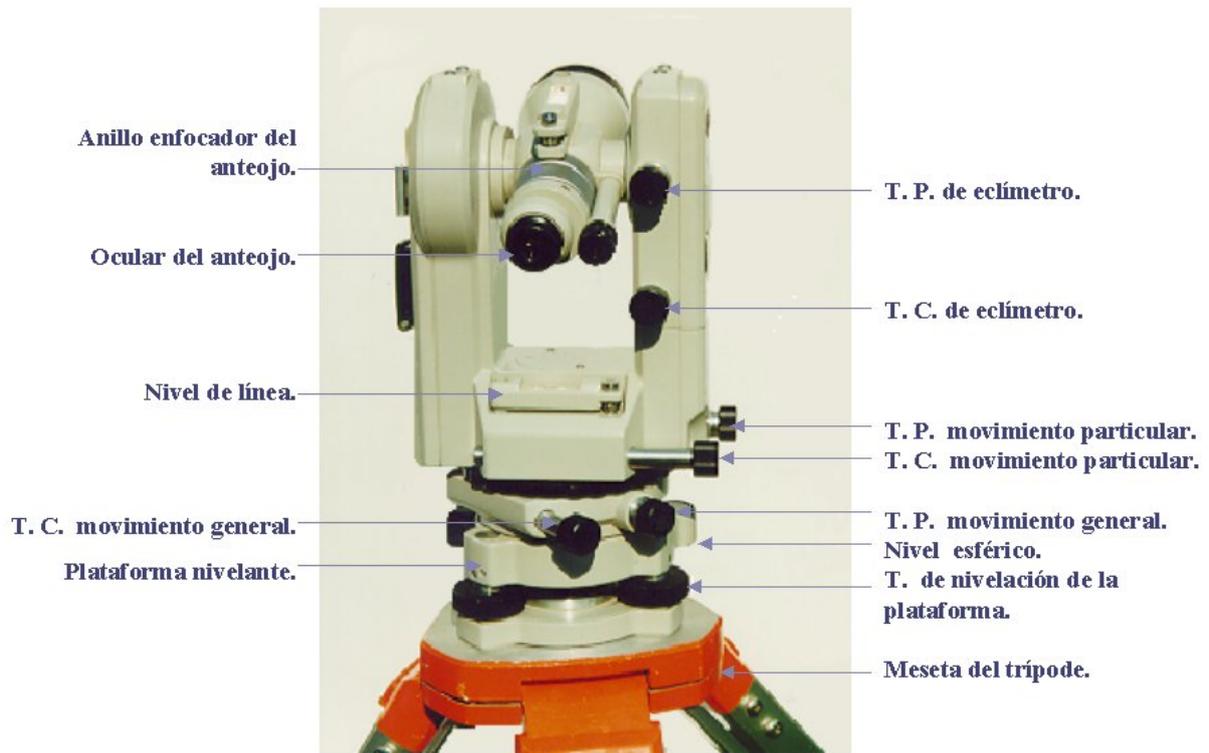
- **movimiento general del instrumento:** Realizado por el conjunto alidada-limbo sobre el eje vertical del limbo. En este caso son solidarios los bloques A y B y éste gira independientemente de C.
- **movimiento particular del instrumento:** Giro efectuado sobre el eje vertical de la alidada, coaxial e interior al general del limbo, cuando son solidarios los cuerpos B y C y el A gira independiente del B.
- **movimiento del anteojo alrededor del eje horizontal.** Movimiento vertical del anteojo y del eclímetro alrededor del eje secundario u horizontal.

Además de los tornillos de presión citados, los teodolitos pueden llevar otros de coincidencia, que permiten los mismos movimientos pero de un modo mas lento y limitado.

**4.6.1 Partes del teodolito**

Goniómetro	Taquímetros:	Puede leer distancias mediante métodos estadimétricos
	Teodolitos:	Sólo ángulos





Partes del teodolito:

- a) Base de sustentación provista de tres tomillos nivelantes, para lograr su horizontalización.
- b) Circulo graduado fijo azimutal para medición de ángulos horizontales, provisto de un nivel tórico de burbuja.
- c) Parte móvil o alidada que, girando sobre el círculo azimutal, contiene a su vez el círculo cenital o de alturas, llamado también eclímetro.
- d) Anteojo situado en la alidada, móvil dentro de ella en un plano vertical, con lo que, por conjunción de dicho movimiento y el propio de la alidada, puede apuntar (colimar en lenguaje topográfico) a cualquier punto del espacio.

Todo el conjunto se sitúa sobre un trípode en el punto de estación o lugar del terreno desde el que se practican las visuales y mediciones.

#### 4.6.2 Ejes principales

El aparato tiene tres ejes principales:

- a) Eje principal o vertical, alrededor del cual gira la alidada, es el eje donde se miden ángulos horizontales.
- b) Eje secundario u horizontal, alrededor del cual gira el antejo.

c) *Eje de colimación, o de puntería, coincidente con el eje geométrico del anteojo, es el eje donde se enfoca a los puntos.*

El eje que sigue la trayectoria de la línea visual debe ser perpendicular al eje secundario y éste debe ser perpendicular al eje vertical. Los discos son fijos y la alidada es la parte móvil. El declímetro también es el disco vertical.

El eje de muñones es el eje secundario del teodolito, en el se mueve el visor. En el eje de muñones hay que medir cuando se utilizan métodos directos, como una cinta de medir y así se obtiene la distancia geométrica. Si se mide la altura del jalón se obtiene la distancia geométrica elevada y si se mide directamente al suelo se obtiene la distancia geométrica semielevada; las dos se miden a partir del eje de muñones del teodolito.

El plano de colimación es un plano vertical que pasa por el eje de colimación que está en el centro del visor del aparato; se genera al girar el objetivo.

Los limbos son discos graduados, tanto verticales como horizontales. Los teodolitos miden en graduación normal (sentido dextrógiro) o graduación anormal (sentido levógiro o contrario a las agujas del reloj). Se miden ángulos cenitales (distancia cenital), ángulos de pendiente (altura de horizonte) y ángulos nadirales.

En resumen: Cuando el eje principal es vertical, el eje secundario está horizontal, y ambos ejes se cortan en un punto, por el cual pasa el eje de colimación; por tanto, los tres ejes se cortan en un punto. Se dice que el aparato está en estación cuando se realizan las operaciones conducentes a lograr que físicamente se materialice el condicionado anterior, con la circunstancia adicional de que el eje principal pase por el punto del terreno previamente marcado, o punto de estación.

#### **4.6.3 Descripción**

Consiste fundamentalmente en una plataforma superior o alidada, que lleva unidos dos soportes para el anteojo, y en otra plataforma inferior o círculo acimutal, a la que va fijado un círculo graduado. La plataforma superior y la inferior son solidarias, respectivamente, de un gorrón interior y de un eje exterior, ambos verticales, cuyos ejes geométricos coinciden y pasan por el centro del círculo graduado.

El eje exterior va alojado dentro del pie nivelante del teodolito. Cerca del fondo de este pie va una articulación de rótula que une el instrumento con su base pero permitiendo que este se pueda mover a su alrededor.

Al hacer girar la plataforma inferior gira también el eje exterior en su alojamiento del pie nivelante; este eje con la plataforma inferior unida al mismo, se puede fijar en una posición cualquiera por medio del tornillo inferior de sujeción. Del mismo modo el eje interior, o gorrón, unido a la plataforma superior, se puede hacer solidario con el eje exterior apretando el tornillo superior de sujeción. Después de apretados ambas tornillos de sujeción, se pueden dar pequeños movimientos al eje interior mediante el tornillo de llamada o coincidencia correspondiente. El eje alrededor del cual gira el gorrón o espiga interior se llama eje vertical del instrumento.

Los niveles tubulares, llamados "*niveles de plataforma*", van montados en ángulo recto, sobre la plataforma superior, y sirven para nivelar el teodolito, de modo que el eje vertical tome realmente esta posición al hacer las observaciones. El pie del aparato

lleva tres o cuatro tornillos nivelantes, que tienen sus puntas apoyadas sobre la placa base del instrumento; cuando giran estos tornillos, el teodolito se inclina, moviéndose alrededor de la articulación de rótula. Cuando se aflojan todos los tornillos nivelantes, cesa la presión entre la base y la placa de sujeción, y el teodolito puede moverse lateralmente sobre su base. Del extremo de la espiga o eje interior, y en el centro de curvatura de la rótula, va suspendida una cadenilla con un gancho para la plomada. El teodolito se monta sobre un trípode, al que se sujeta atornillando la base sobre la cabeza de este último.

El “anteojo” va fijado a un “eje horizontal” que se aloja en cojinetes dispuestos sobre los soportes en A. El anteojo puede girar alrededor de este eje horizontal y puede fijarse en la posición que se quiera, dentro de un plano vertical. Apretando el tornillo de fijación correspondiente se le pueden dar movimientos reducidos alrededor de su eje horizontal por medio de su tornillo de llamada. El eje horizontal lleva unido el “círculo vertical”, mientras que en uno de los soportes está dispuesto el nonio vertical. Debajo del anteojo y unido al mismo va el “nivel de anteojo”.

Sobre la plataforma superior se encuentra la “declinatoria”, cuyos detalles son los mismos que los de la brújula de agrimensor; una vez fijado el círculo graduado de las brújulas su línea NS está en el mismo plano vertical que el eje visual del anteojo. La brújula de algunos teodolitos está dispuesta de tal modo que su círculo graduado puede girar sobre la plataforma superior, de modo que puede tomarse la declinación para leer directamente rumbos verdaderos. Junto a la declinatoria hay un tornillo que sirve para soltar o sujetar la aguja en su pivote.

#### **4.6.4 Características principales de los teodolitos**

- a) *El centro del instrumento puede colocarse exactamente sobre un punto del terreno aflojando los tornillos nivelantes y corrientes lateralmente el teodolito en la dirección necesaria.*
- b) *El aparato puede nivelarse por medio de los tornillos nivelantes.*
- c) *El anteojo puede girar alrededor de un eje horizontal y uno vertical.*
- d) *Cuando se afloja el tornillo de sujeción superior y se gira el anteojo alrededor del eje vertical no se produce movimiento relativo alguno entre los nonios y el círculo acimutal.*
- e) *Cuando se aprieta el tornillo de sujeción inferior, y se afloja el superior, todo giro del anteojo alrededor del eje vertical hace que gire también el círculo portanonios, pero el círculo acimutal no cambia de posición.*
- f) *Cuando se aprieten ambos tornillos de sujeción, el anteojo no puede girar alrededor del eje vertical.*
- g) *El anteojo puede girar alrededor del eje horizontal, y puede fijarse en cualquier dirección dentro de un plano vertical, por medio de sus tornillos de sujeción y de coincidencia.*
- h) *Se puede nivelar el anteojo mediante el nivel tubular unido al mismo, por lo cual puede emplearse como equaltimetro (nivelación geométrica).*

- i) *Por medio del círculo vertical y del nonio se pueden medir, ángulos verticales, y de aquí que el teodolito pueda emplearse para hacer nivelaciones trigonométricas.*
- j) *Valiéndose de la declinatoria, pueden determinarse rumbos magnéticos.*
- k) *Por medio del círculo acimutal y su nonio se pueden medir ángulos horizontales.*

#### **4.6.5 Manejo y aplicaciones del teodolito**

El teodolito permite realizar levantamientos de itinerarios y medición de ángulos, tanto horizontales como verticales. También puede servir para hacer nivelaciones geométricas (por alturas), de igual manera que con un equialtímetro, calando la burbuja del nivel del anteojo cada vez que se hace una lectura de mira.

El modo de tomar rumbos magnéticos con el teodolito es el mismo que con la brújula de agrimensor.

El anteojo puede dar la vuelta completa alrededor de su eje horizontal; este giro se denomina "**vuelta de campana**". Cuando el nivel del anteojo está abajo, se dice que este último está en "**posición normal o directa**", y cuando el nivel está arriba, se dice que el anteojo está invertido.

#### **4.6.6 Instalación del teodolito o taquímetro**

Para centrar el aparato se emplea una plomada de gravedad o una plomada óptica con la que la operación de centrado es más sencilla, en lugar de dirigir la mirada a una plomada pendiente de un hilo. Mirando a través del anteojo que con la cruz filar y lente de enfoque permite localizar el punto de estación sobre el que se quiere centrar el aparato

- a) *Primer paso: Se coloca el trípode sobre el punto de estación con la mayor aproximación posible, se monta el taquímetro sobre el trípode y se clava una de las patas del trípode fuertemente en el terreno.*
- b) *Segundo paso: Girando sobre la pata fija con las otras dos visando que la cruz filar de la plomada óptica, o la plomada de gravedad según proceda, quede lo más cercana al punto sobre la estaca, se fijan al terreno las otras dos patas, cuidando que la base nivelante del aparato esté en una posición cercana a la horizontal.*
- c) *Tercer paso: Aflojando el tornillo de sujeción del taquímetro, desplazando sobre la cabeza del trípode el aparato hasta que quede perfectamente centrado, apretando de nuevo el tornillo de sujeción.*
- d) *Cuarto paso: Utilizando las correderas de las patas en el sentido que sea necesario, se lleva al centro la burbuja del nivel circular de la base del aparato. Se revisa en este momento si no se descentró el aparato. Si así fuese, la cantidad será casi nula en la medida que se haya dejado horizontal el aparato en el segundo paso. Se repite entonces el tercer paso y una vez centrado el aparato se continúa con el siguiente paso.*
- e) *Quinto paso: Por medio de los tornillos niveladores se lleva al centro la burbuja del nivel tubular del limbo horizontal y se revisa de nuevo el centrado, repitiendo si fuera necesario los pasos tercero y quinto hasta lograr tener centrado y nivelado el aparato.*

En otras palabras el teodolito se estaciona sobre un punto dado (un clavo o una estaca). Para centrar el instrumento se suspende una plomada de la horquilla que pasa a través de la plataforma del trípode (en los taquímetros con plomada óptica solo se debe mirar hasta el centro del clavo o estaca y los siguientes pasos son los mismos). Se empieza por colocar el teodolito aproximadamente sobre el punto; se mueven las patas del trípode hasta que la plomada quede a 1 cm sobre el clavo o la estaca, con la base casi nivelada y con las patas bien afirmadas en el suelo. Se nivela por aproximación el teodolito con los tornillos nivelantes; se aflojan a continuación dos de estos tornillos (dos cualesquiera en los de tres tornillos, y dos consecutivos en los de cuatro), y se corre el teodolito a uno u otro lado hasta que la plomada quede exactamente sobre el clavo. Si es preciso se varía la longitud de la plomada para que quede casi rozando la estaca. Se aprietan los tornillos nivelantes pero no demasiado, y se nivela el instrumento por medio de estos tornillos y de los niveles de la plataforma, colocando primero cada nivel paralelo a dos tornillos nivelantes. Se llevan las dos burbujas al centro, de modo aproximado, y después se calan exactamente.

Las operaciones de estacionar y nivelar el teodolito solo se realizan con rapidez y seguridad cuando se ha adquirido mucha práctica.

En general, el taquímetro es un teodolito repetidor, es decir, tiene dos ejes verticales. Está destinado a trabajos más rápidos y de solo relativa precisión; y su construcción es más ligera que la del teodolito, especialmente destinado a la medida de ángulos.

Los requisitos que debe verificar un taquímetro son los mismos que para el teodolito, y además ha de verificarse la correcta calibración de la estadía. Para esto se debe verificar la constante de la estadía y determinar el centro de **“analtismo”**.

Para esto se procede como sigue: Instalado el instrumento se dirige una visual horizontal a una mira vertical colocada en un punto alejado A y se hacen las lecturas M'' y M' correspondientes a ambos hilos extremos:

$$M'' - M' = G$$

Cambiando la mira a un punto B cercano, se hace también la lectura de ambos hilos m'' y m':

$$m'' - m' = g$$

Con cinta se mide cuidadosamente la distancia X al punto B, de modo que se tiene:

$$X = K * g$$

$$X + \Delta = K * G$$

se deduce

$$K = \frac{\Delta}{G - g}$$

Se tiene así el valor de la constante estadimétrica. Conocida K se determina X con lo que se conoce la posición del centro de analtismo.

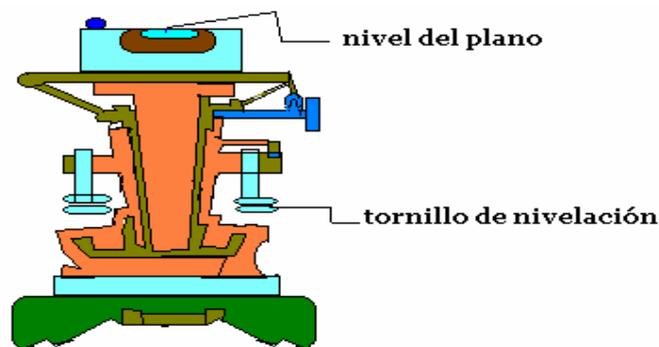
Si el valor obtenido de K no es el que debiera obtenerse para el instrumento (generalmente  $K=100$ ), se puede modificar su valor variando la longitud focal del sistema, lo que se consigue dando un pequeño desplazamiento longitudinal a una lente que se encuentra por delante del retículo.

Actualmente casi todos los taquímetros vienen provistos de anteojos analíticos, en los que el centro de analatismo coincide con el centro del instrumento.

**4.6.7 Mecanismo para nivelar un aparato**

Esta operación se hace por medio de los tornillos de nivelar y de acuerdo con los niveles del plato. El mecanismo que hace posible esta nivelación se puede ver esquemáticamente.

La cabeza nivelante se puede inclinar gracias a la articulación de rótula que tiene en su conexión con la base, y la inclinación se regula por los tornillos de nivelar.



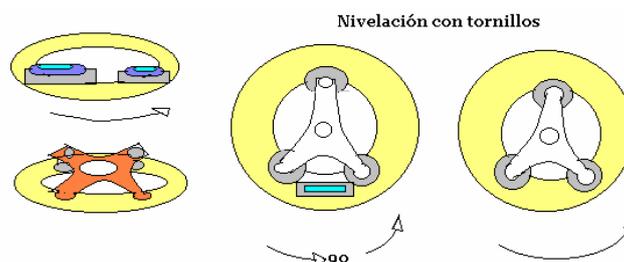
Los aparatos americanos tienen 4 los tornillos de nivelar los europeos tres.

Para nivelar un aparato de cuatro tornillos se gira el plato hasta que el nivel quede paralelo a dos tornillos opuestos; se nivela la burbuja de nivel moviendo los dos tornillos, en sentido contrario, la misma cantidad. La burbuja se desplaza de acuerdo con la dirección del movimiento del pulgar de la mano izquierda.

Se gira el plato  $90^\circ$  y se hace lo mismo con los otros dos tornillos opuestos. El proceso se repite alternativamente sobre dos pares de tornillos opuestos hasta que la burbuja permanezca centrada en cualquier posición del plato.

Si el aparato tiene tres tornillos de nivel se pone el nivel primeramente paralelo a dos de ellos.

Se debe cuidar que todos los tornillos de nivelar estén siempre en contacto con la base.



#### 4.6.8 Clasificación de los teodolitos

Son muchas las variaciones que estos aparatos presentan tanto en su construcción como en sus aplicaciones, pero todas ellas son de poca importancia para el estudio general del instrumento, no variando unos modelos de otros más que en su tamaño, alcance de los anteojos, precisión de lectura y algún otro pequeño detalle. Existe un teodolito que podemos llamar especial, es el fototeodolito, especialmente construido para la fotogrametría terrestre.

Podemos dividir los teodolitos en dos grandes grupos:

a) *Concéntricos*: Llevan el anteojo en el centro del eje horizontal.

b) *Excéntricos*: Llevan el anteojo en un extremo del eje secundario.

En cada uno de los dos grupos hay dos clases:

##### 4.6.8.1 Repetidores

Si el movimiento general tiene tornillo de presión y tornillo de coincidencia del movimiento general para el giro lento se denomina **repetidor** y permite encontrar una orientación de forma exacta.

Un teodolito repetidor posee movimiento general lento, es decir, que una vez solidarios el limbo acimutal y sus índices o microscopios correspondientes, se le puede dar al conjunto un movimiento lento, mediante un tornillo de coincidencia, para apuntar a un punto determinado. De esta forma el aparato es capaz de acumular lecturas sucesivas del círculo horizontal, que después se dividen por el número de repeticiones, dando lugar al llamado **método de repetición** (ver 2.7.2 y 4.8.2) en la medida de ángulos (de ahí su denominación de repetidor).

En la actualidad la mayoría de los teodolitos del mercado son concéntricos y repetidores. También reciben el nombre de **centrados y de tránsito** porque pueden bascular completamente el anteojo e invertirlo.

##### 4.6.8.2 Reiteradores

Si el movimiento general no tiene tornillo de coincidencia de movimiento general el aparato se denomina reiterador. Al no tener movimiento lento o tornillo de coincidencia no se puede conocer con exactitud la orientación.

Cuando el aparato no dispone del citado tornillo de coincidencia, se llama reiterador, debido a que el método que puede emplearse en la medición de ángulos es el de reiteración. (ver 2.7.3 y 4.8.3).

El teodolito se llama de tránsito cuando la altura del eje secundario sobre su plataforma es tal, que permite invertir el anteojo dándole la vuelta de campana sobre dicho eje. Prácticamente todos los aparatos modernos son de tránsito.

Hay dos tipos de trabajos según sea el método reiterador o sea el método repetidor.

## 4.7. Taquímetro

Un **taquímetro** es un teodolito que incorpora un retículo con **hilos estadimétricos** al anteojo de colimación, para poder determinar distancias por medición indirecta.

Tienen un anteojo con mayor aumento para la determinación de distancias con la mayor precisión posible. Los anteojos son de enfoque interno (prácticamente de analitismo central).

En general, los taquímetros son repetidores para poder realizar itinerarios orientados y, para poder medir rumbos se les puede acoplar una brújula especial de orientación, llamada **declinatoria**.

Los limbos acimutales son de vidrio para poder adaptar micrómetros de lectura angular y su graduación es normal, hacia la derecha o **dextrógira**. Generalmente en el sistema centesimal.

La apreciación de los goniómetros es variable, desde 1° hasta 1".

Los taquímetros tienen los siguientes tornillos:

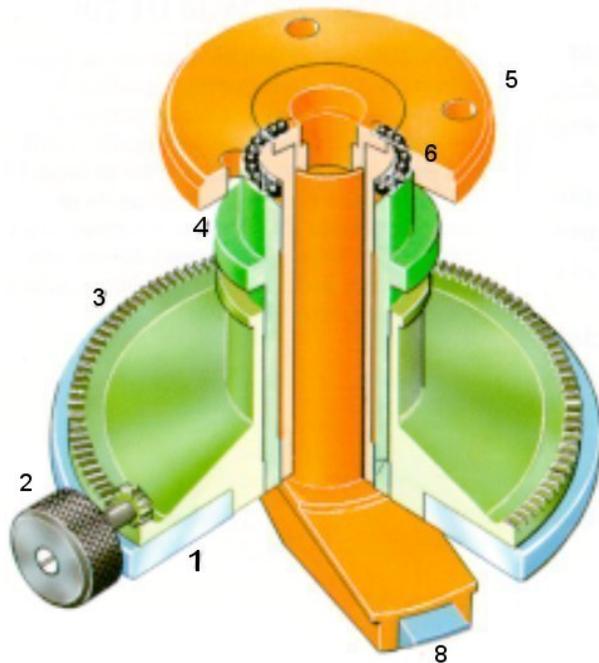
- | **Tres tornillos nivelantes** para la nivelación de la plataforma.
- | **Un tornillo de presión** para el movimiento **general**.
- | **Un tornillo de coincidencia** (de movimiento lento) para el movimiento general.
- | **Un tornillo de presión** para el movimiento particular.
- | **Un tornillo de coincidencia** para el movimiento vertical.

Los aparatos modernos montan las parejas de tornillos (de presión y de coincidencia) juntos, en disposición concéntrica o coaxial.

Los tornillos de coincidencia actúan así cuando el correspondiente de presión está apretado.

**Tornillo de presión (movimiento general):** Tornillo marcado en amarillo, se fija el movimiento particular, que es el de los índices, y se desplaza el disco negro solidario con el aparato. Se busca el punto y se fija el tornillo de presión.

**Tornillo de coincidencia (movimiento particular o lento):** Si hay que visar un punto lejano, con el pulso no se puede, para centrar el punto se utiliza el tornillo de coincidencia. Con este movimiento se hace coincidir la línea vertical de la cruz filar con la vertical deseada. Los otros dos tornillos mueven el índice y así se pueden medir ángulos o lecturas acimutales con esa orientación.



Sistema de eje vertical:

1. Círculo horizontal
2. Tornillo para desplazamiento del círculo horizontal
3. Portacírculo
4. Caja de eje
5. Eje vertical
6. Cojinete de bolas
7. Cojinete de rodamientos
8. Prisma para lectura del círculo

#### 4.7.1 Usos del taquímetro.

Los **taquímetros** se usan para la realización de **levantamientos topográficos** y, muy especialmente, para levantamientos taquimétricos.

Se entiende por **itinerario taquimétrico** al que consta de tres operaciones básicas:

- a) *Medida de los ángulos entre cada dos ejes del itinerario.*
- b) *Medición de las longitudes de los ejes.*
- c) *Calculo de los desniveles entre cada dos vértices del itinerario.*

Es por lo tanto un levantamiento simultáneo de **planimetría y de altimetría**.

#### 4.7.2 Medida de los ángulos

##### 4.7.2.1 Itinerario orientado

La diferencia entre los acimutes de la estación siguiente y de la anterior, con respecto a la estación desde la que medimos, es el ángulo formado por los dos ejes.

$$\lambda = \theta_2^3 - \theta_2^1$$

#### 4.7.2.2 Itinerario desorientado

La diferencia de lecturas angulares horizontales entre la estación siguiente y la anterior da el ángulo formado por los dos ejes.

$$\lambda = L_2^3 - L_2^1$$

En estos casos, se llama **lectura de frente** a la realizada desde la estación donde está el aparato a la siguiente, y **lectura de espalda** a la que se efectúa apuntando a la estación anterior.

En todo caso, para calcular el ángulo por diferencia de lecturas acimutales hay que tener en cuenta que si la lectura de frente es menor que la de espaldas hay que sumarle  $400^g$  (o  $360^\circ$ ).

#### 4.7.3 Longitudes de los ejes.

Se miden a partir de las lecturas de mira o estadía.

Para obtener resultados precisos es necesario leer los tres hilos de la mira y hacerlo cuando se realiza la lectura angular de frente y cuando se realiza la de espalda.

Para el cálculo de la distancia reducida (valor real de los ejes) es necesario leer los ángulos verticales. La mayor parte de los taquímetros miden la distancia cenital como ángulo vertical.

#### 4.7.4 Cálculo de los desniveles.

Los desniveles entre el punto de estación y de los restantes puntos medidos desde la estación se calculan a partir de la distancia reducida y del ángulo vertical, teniendo en cuenta la altura del instrumento de medida y la lectura axial realizada en la mira.

El ángulo vertical puede ser la altura del horizonte ( $\alpha$ ) o la distancia cenital ( $\Lambda$ ).

#### 4.7.5 Condiciones que deben cumplir los teodolitos

- a) *Los ejes verticales del movimiento general y del particular deben de coincidir (son coaxiales). La falta de coincidencia se conoce como **Torcedura del eje**.*
- b) *El eje de colimación tiene que ser perpendicular al eje horizontal o secundario.*
- c) *El eje horizontal (secundario o de rotación) tiene que ser perpendicular al eje vertical del instrumento.*
- d) *Con el anteojo en posición horizontal, perfectamente nivelado, el goniómetro vertical (eclímetro) deberá marcar  $90^\circ$  si mide distancias cenitales o  $0^\circ$  si mide alturas del horizonte.*

e) *Los niveles deberán estar corregidos y las burbujas caladas.*

f) *El eje de colimación no debe variar cuando se hacen punterías a distintas distancias.*

Para comprobar que un teodolito cumple con esta condición se le somete a una especie de test haciendo las pruebas correspondientes y corrigiendo los posibles desfases. Las condiciones 1º) y 6º) solo podrán ser rectificadas en un taller.

#### **4.7.6 Clases de errores de los teodolitos**

Existen dos clases de errores: **sistemáticos y accidentales.**

##### **4.7.6.1 Errores sistemáticos**

Son producidos por los instrumentos como consecuencia de fallos de construcción y de ajuste. Pueden conocerse porque son siempre del mismo sentido y magnitud, por lo que es posible corregirlos en los procesos de cálculo.

Los más importantes son:

##### **4.7.6.2 De construcción:**

- Graduación imperfecta de limbos, nonios y micrómetros.
- Desviación de los nonios.
- Excentricidad de la alidada.
- Excentricidad fluctuante.

##### **4.7.6.3 De ajuste**

Corrección imperfecta provocada por la limitación e imperfección de los sentidos.

##### **4.7.6.4 Errores accidentales**

Proceden de las limitaciones provocadas por la imperfección sensorial del propio operador, afectadas a su vez por las características del aparato. Varían en magnitud y signo y no se pueden calcular a priori.

Para minimizar dichos errores hay que aplicar diferentes métodos de trabajo.

Los más importantes son los siguientes:

- a) ***De verticalidad del eje principal:** motivado por la deficiente nivelación. Depende del operador y de la sensibilidad del nivel.*
- b) ***De dirección.** Causado por el mal centrado del aparato en el punto de estación y por la deficiente colocación de la mira en el punto colimado. Es el más importante de los accidentales.*

c) *De lectura.* Por deficiente apreciación de las lecturas angulares, en función de la apreciación de los nonios o micrómetros.

### 4.8. Métodos para aumentar la precisión

Hay tres métodos para aumentar la precisión de un teodolito, minimizando los errores sistemáticos y los accidentales.

#### 4.8.1 Regla de BESSEL

Consiste en leer cada ángulo horizontal correspondiente a un punto en dos zonas diametralmente opuestas al limbo.

Para ello, una vez realizada y anotada la primera lectura, con el anteojo en posición normal (**circulo directo**), invertimos el anteojo, y apuntamos de nuevo al mismo punto, girando el instrumento sobre su eje vertical (**posición invertida o de circulo inverso**).

Suponiendo la lectura en grados sexagesimales, la segunda lectura sera diferente a la primera en  $200^g \pm$  el error cometido. El verdadero valor del ángulo acimutal medido sera:

$$\phi = \frac{L_p + (L_i \pm 200^g)}{2}$$

Siendo:

$L_p$	Lectura acimutal con el anteojo en posición normal. (Lectura directa)
$L_i$	Lectura acimutal con el anteojo invertido
$L_i > 200^g$	Aplíquese el signo (-).
$L_i < 200^g$	Aplíquese el signo (+).

#### 4.8.2 Método de repetición

Consiste en leer un ángulo acimutal varias veces repetidas que se van acumulando hasta alcanzar un valor de lectura en el limbo horizontal de **n veces** el valor del ángulo. Solamente se puede realizar con teodolitos provistos de tornillo de coincidencia de movimiento general para el giro lento, y permiten encontrar una orientación de forma exacta.

El proceso a seguir sera:

- a) *Introducir el cero horizontal y, con el tornillo de presión del particular apretado (lectura fija), colimar al primer punto. Apretar el tornillo de presión del general y con el de coincidencia realizar la puntería fina.*
- b) *Aflojar el movimiento particular y colimar al segundo punto, B, realizando la puntería con ayuda del tornillo de coincidencia. La lectura horizontal L1 sera la primera, correspondiente al ángulo horizontal ( $\alpha$ ) entre los puntos A y B.*
- c) *Desde la posición B, manteniendo apretado el tornillo de presión del movimiento particular, llevamos el anteojo hasta el punto A, arrastrando el limbo con la lectura  $L_j$ , y realizando la colimación del punto A con la ayuda del tornillo de coincidencia del movimiento general (después de apretar el de presión).*
- d) *Repetir la colimación del punto B después de aflojar el tornillo de presión del particular. Leeremos el ángulo L2, que sera aproximadamente igual al doble del ángulo entre A y B ( $2\alpha$ )*
- e) *Repetiremos los puntos 3º y 4º tantas veces como se establezca. La lectura final  $L_n$ , servirá para conocer el valor mas aproximado del ángulo medido:*

$$\alpha = \frac{L_n}{n}$$

### 4.8.3 Método de reiteración

Puede realizarse con todos los teodolitos sean o no reiteradores, ya que la reiteración es una propiedad restrictiva, consiste en la ausencia de tornillo de coincidencia de movimiento general.

Consiste en medir un ángulo varias veces, independientes unas de otras, en diversas zonas del limbo horizontal, con aplicación de la Regla de Bessel para cada reiteración.

El promedio de todas las medidas sera el valor angular mas probable.

Para conseguir medir el ángulo en distintas zonas del limbo horizontal se empieza dividiendo el limbo ( $400^g$  o  $360^\circ$ ) entre el numero de reiteraciones a realizar, para establecer la posición aproximada de la primera lectura en cada reiteración.

El proceso a seguir para 4 reiteraciones es el siguiente:

- a) *Dirigir la visual al primer punto, con cualquier lectura horizontal próxima a cero (no tiene que ser exacta). Apretar el tornillo de presión del movimiento general y anotar la lectura.*
- b) *Manteniendo apretado el tornillo de presión del general, colimar al segundo punto y anotar la lectura.*
- c) *Aplicar Bessel, basculando el anteojo (posición invertida) y girando el aparato  $200^s$  (o  $180^\circ$ ) para colimar de nuevo el segundo punto, sin aflojar el tornillo de presión general. Anotar la lectura.*

d) Dirigir la visual al primer punto, apuntar y anotar la lectura.

e) Volver el anteojo a su posición normal y girar el limbo (con los dos tornillos de presión fijos), aproximadamente  $400^\circ/4$  (o  $360^\circ/4$ ), para volver a realizar las cuatro medidas siguiendo el proceso anterior (puntos 1º a 4º).

Cada valor angular sera:

$$\alpha_i = L_{2i} - L_{1i}$$

y el valor medio pedido sera:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

El ángulo así medido queda medido cuatro veces, una en cada cuadrante del limbo.

## 4.9. Taquímetros digitales y de estacion total

### 4.9.1 Teodolitos digitales

Son aparatos que miden electrónicamente los ángulos verticales y horizontales, pero las distancias las miden por métodos estadimetricos.

Las lecturas angulares se realizan en una pantalla de cuarzo liquido dispuesta en un lado o en los dos lados de la alidada.

Según los modelos y su nivel de calidad, se pueden realizar diversas operaciones:

a) Medir ángulos verticales desde el cenit o desde el horizonte.

b) Puesta a cero del ángulo horizontal.

c) Lecturas horizontales en graduación directa (destrogira) o en sentido contrario (levogira).

d) Visualización simultanea de ángulos horizontales y verticales.

e) Variación de la apreciación en segundos.

f) Posibilidad de introducción de cualquier ángulo horizontal, para orientación acimutal, si disponen de teclado para ello.

g) Iluminación de la pantalla y del retículo.

### 4.9.2 *Estacion Total*

La estacion total es un aparato electrónico que reúne las características de un teodolito electrónico y de un distanciómetro comunicado con un microprocesador que realiza automáticamente mediciones y cálculos.

## 4.10. Puesta en Estación de un Teodolito

Al poner en estación un instrumento se deben cumplir dos condiciones:

- a) que el eje del aparato pase por el punto de estación*
- b) que sea vertical*

Para hacer cumplir la primera condición se emplea, generalmente, una plomada, colgada del gancho que lleva el trípode o el elemento de unión de este al aparato, haciendo que la vertical señalada por la misma pase por la señal del terreno que materializa el punto de estación. Esta coincidencia se realiza moviendo los pies del trípode hasta lograrla, hincándolos después fuertemente en el suelo, procurando al efectuar esta operación que la plataforma nivelante quede aproximadamente horizontal.

Es importante que las patas del trípode queden bien abiertas y clavadas en el terreno, para evitar que el instrumento pueda desnivelarse fácilmente por tener poca base de sustentación, o pueda caerse al menor tropiezo.

Una vez conseguida la coincidencia de la plomada con la señal del terreno, se coloca el eje principal del aparato en posición vertical, siguiendo el procedimiento de comprobación y corrección del nivel fijo, aunque si no se desea corregir el nivel, caso mas frecuente, sino solo poner vertical dicho eje, una vez calada la burbuja en la primera posición dando el giro de  $200^{\circ}$  y eliminando con los tornillos nivelantes la mitad del desplazamiento de la misma, se vuelve a la posición primitiva, y si la burbuja no se mueve, es señal de que la línea que ha calado el nivel es horizontal. Se toma nota de la posición en que ha quedado la burbuja y se lleva el nivel en dirección del tercer tornillo nivelante, y valiéndose de éste, se hace que la burbuja quede de nuevo en la graduación anotada.

De esta forma se ha colocado vertical el eje sin necesidad de tocar los tornillos de corrección del nivel, cosa que por otra parte no es conveniente realizar con demasiada frecuencia para evitar el desgaste de los mismos.

## 5. Condiciones que debe reunir el teodolito

Las condiciones que debe reunir un teodolito son las mismas que para un goniómetro, y se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Condiciones Previas o de Construcción:** que dependen del constructor del aparato
- **Condiciones de Ajuste o Corrección**

Si el aparato está bien construido y cumple las condiciones previas, depende única y exclusivamente de la habilidad del que lo maneje, quién puede hacer que se verifiquen lo más exactamente posible.

El incumplimiento de unas y otras condiciones da lugar a errores sistemáticos, que son muy peligrosos, por lo que es posible verificar y corregir siempre que sea posible el aparato.

### 5.1. Verificación y corrección del teodolito

Se entiende por verificar un instrumento la comprobación de que su funcionamiento es bueno; y por corrección las operaciones necesarias para que todas las partes del mismo ocupen la posición debida.

Un buen topógrafo debe saber verificar y corregir los instrumentos topográficos más usuales, pero sin abusar de las correcciones, teniendo en cuenta que al actuar excesivamente en los tornillos, éstos adquieren holgura y el instrumento se descorrije después con facilidad.

No obstante, aunque sabemos que los errores instrumentales se eliminan mediante el empleo de métodos apropiados, también es cierto que los instrumentos bien corregidos facilitan mucho el trabajo de campo y gabinete por lo que cuando la descorrección es grande no debe dudarse en corregirlos.

Estudiaremos separadamente la verificación y corrección de las condiciones de construcción y ajuste.

### 5.2. Verificación y corrección de las condiciones previas

Las condiciones previas que ha de cumplir cualquier teodolito son:

- Coincidencia entre los ejes general y particular del aparato.
- Perpendicularidad de los ejes principal y secundario respecto a los limbos acimutal y cenital.
- Invariabilidad del eje de colimación al enfocar a diferentes distancias.
- Que los limbos estén perfectamente divididos.

- Que no haya error en la colocación de los índices, es decir, que no exista excentricidad ni desviación en los mismos.

### **5.2.1      *Coincidencia entre los ejes general y particular del aparato***

A la no coincidencia entre el eje general del aparato y el particular de la alidada, se llama también ***torcedura del eje***.

Según que los movimientos de giro horizontales que se le den al aparato se hagan imprimiéndolos a la plataforma del limbo, bloque B, arrastrando todo lo que hay sobre ella, o a la placa de nonios (bloque A) permaneciendo fija la del limbo, se trabaja sobre uno u otro eje.

Ambos ejes deben coincidir, y para comprobarlo una vez puesto el aparato en estación, se fija el movimiento general del mismo y se afloja el de la aliada, utilizando éste para la nivelación del aparato, siguiendo el método general de nivelación.

Una vez vertical dicho eje, lo que sucederá cuando al girar horizontalmente el instrumento la burbuja del nivel permanezca calada durante todo el giro, se aprieta con cuidado el tornillo de presión de la aliada y se afloja el del movimiento general, si en estas condiciones la burbuja continúa sin moverse al girar despacio el teodolito, es señal de que la condición se cumple; en caso contrario, es que el segundo eje no es vertical y por lo tanto no hay coincidencia entre ambos.

Este defecto no se puede corregir y si es muy acusado habrá que llevar el aparato a un taller adecuado para su reparación.

### **5.2.2      *Perpendicularidad de los ejes principal y secundario respecto a los limbos acimutal y cenital.***

El error que produce el incumplimiento de estas condiciones es más teórico que práctico, ya que para llegar a un error de 10" es preciso que el ángulo de inclinación del limbo respecto al eje correspondiente sea próximo a medio grado, lo que es muy improbable dada la esmerada construcción de los aparatos.

### **5.2.3      *Invariabilidad del eje de colimación al enfocar a diferentes distancias***

En los teodolitos modernos de enfoque por lente interior esta condición se cumple siempre con suficiente exactitud; siendo más frecuente este error en los instrumentos antiguos, en que el objetivo y el retículo van montados en tubos diferentes.

Determinado el eje de colimación por el centro del objetivo y la cruz filar del retículo, en el movimiento de enfoque variará dicho eje si el tubo móvil no ajusta bien en el fijo.

Así, suponiendo el anteojo enfocado a una distancia dada, el centro del retículo ocupará una posición tal como la a (Fig. 8.3); al enfocar a un objeto situado a diferente distancia de la anterior, se imprime al retículo una traslación y si el tubo portaretículo no está perfectamente centrado en el tubo porta objetivo, la cruz filar del retículo no permanecerá sobre el eje de colimación primitivo, sino que ocupará una posición b, que definirá con el centro del objetivo, un nuevo eje de colimación.

Este defecto es grave y el aparato solo puede corregirse en un buen taller especializado.

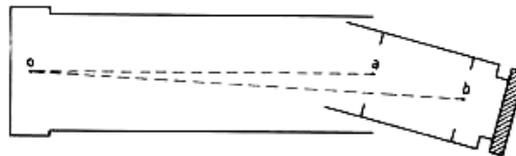


Fig. 8.3. — Irregularidad en el movimiento del tubo ocular.

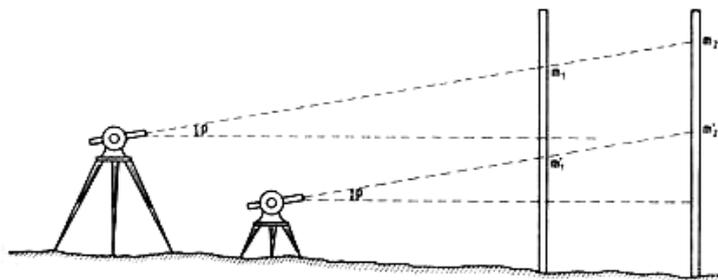


Fig. 8.4. — Verificación de la invariabilidad del eje de colimación.

Para verificar este error se procede de la siguiente manera: se colocan dos miras perfectamente verticales y el aparato lo más alejado posible de ellas (Fig. 8.4), enfocándose el anteojo de manera que ambas se vean aproximadamente con igual claridad y se anotan las lecturas  $m_1$  y  $m_2$  y el ángulo de pendiente  $p$ . A continuación se coloca el aparato lo más cercano a ellas, y con igual ángulo de pendiente  $p$  se hace la lectura  $m'_1$  a la más próxima, se enfoca seguidamente a la más alejada y se realiza la lectura  $m'_2$ .

Se comparan las diferencias  $(m_1 - m'_1)$  y  $(m_2 - m'_2)$  que si el aparato está bien deben ser iguales, y en caso contrario, es que está afectado a este error.

**5.2.4 Los limbos han de estar uniformemente divididos**

Evidentemente de no cumplirse esta condición el teodolito es inservible. En general el usuario no dispone de medios para comprobar que se cumple esta condición, por lo que hay que confiar en la garantía que merezca la casa constructora.

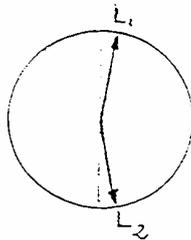
Pero por esmerada que sea la construcción y grabado de los limbos, son inevitables ciertos errores, que por pequeños que sean alteran el resultado de las observaciones.

Para atenuar en lo posible estos errores se emplean métodos de reiteración y repetición, ya vistos, y se dota a los teodolitos de un par de índices en lugar de uno solo por cada limbo.

**5.2.5 Error de desviación de índices**

Conviene recordar que los teodolitos con micrómetros de lectura y dos índices virtuales para leer los limbos, proporcionan de modo automático los promedios de lecturas de ambos índices, que por tanto están exentos de errores.

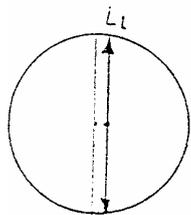
**El error de desviación de índices** consiste en que los dos Índices opuestos que tiene el limbo no dan una diferencia exacta de lecturas de 200 (ó 180°). Se nota porque (en los antiguos) al leer los 2 índices hay diferencia en las medidas, esta diferencia es constante si se hacen otras lecturas. Se corrige este error tomando como lectura la semisuma de las lecturas de los 2 índices, corregida una de ellas en 200.



### 5.2.6 Excentricidad del limbo

Se produce cuando el centro del círculo del limbo no coincide con el punto por donde pasa el eje de giro del instrumento.

Se nota porque la diferencia de lectura de los Índices no es 200 y además el error es variable según la dirección de la visual. Se corrige también tomando como lectura la media de la lectura de los 2 índices.



## 5.3. Verificación y corrección de las condiciones de ajuste

El teodolito puede desajustarse por diversos motivos como pueden ser:

- por falta de cuidado al manejarlo
- durante su transporte
- por cambios de temperatura

En el campo se le deben realizar al instrumento determinadas pruebas de ajuste, y si se observa que está descorregido se debe ajustar por medio de los correspondientes órganos de corrección.

Cuando un instrumento está bien ajustado se verifica:

- a) el eje vertical del aparato es vertical
- b) el eje de colimación y el secundario son perpendiculares

- c) también lo son los ejes secundarios y principal
- d) el eclímetro está corregido

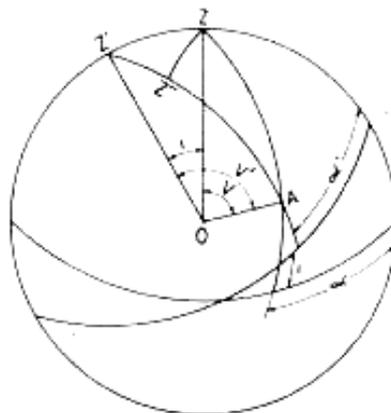
Para realizar estas comprobaciones el teodolito debe colocarse sobre un terreno duro.

**5.3.1 Verticalidad del eje principal**

Los ángulos horizontales se miden sobre el limbo acimutal, debiendo ser el plano de éste, por tanto, horizontal, lo que se consigue colocando vertical el eje principal.

Cuando el eje principal no está vertical se producen errores en la medición de los ángulos horizontales que no pueden ser eliminados automáticamente por el método operativo, sino que lo han de ser por el cálculo, y de aquí la importancia de conseguir una verticalidad del eje principal lo mas exacta posible.

Suponiendo que el teodolito cumpla con todas las condiciones requeridas, excepto la de estar perfectamente nivelado, el eje principal  $OZ'$  formará un ángulo de inclinación  $i$  con la vertical  $OZ$ . Esta desviación del eje produce errores, tanto en las observaciones cenitales como en las acimutales, que se verán a continuación.



Error de inclinación del eje principal

Si se tiene una esfera de radio unidad cuyo centro O coincide con el del instrumento, y sea OZ la dirección de la vertical del punto O y  $OZ'$  la del eje principal del instrumento, que forman entre sí un ángulo  $i$ . La visual dirigida a un punto cualquiera cortará a la esfera, por ejemplo en A; ahora bien, el ángulo acimutal de esa visual deberá ser  $\alpha$ , pero a causa de la inclinación  $i$  del eje principal se leerá  $\alpha'$ .

La distancia cenital verdadera ( $V$ ) viene dada por el ángulo  $ZOA$ , y la que da el instrumento ( $V'$ ) viene dada por el ángulo  $Z'OA$ . El error cometido es:

$$e_1 = V - V' \quad (1)$$

Para calcular este error se toma sobre el arco  $AZ'$  una longitud  $AZ''=AZ$ , con lo que el error será el arco  $Z'Z''$ ; el triángulo  $ZZ'Z''$  se puede considerar como rectángulo en  $Z''$  y dada su pequeñez, como rectilíneo, pudiendo escribir como fórmula del error cenital:

$$Z'Z'' = ZZ' * \cos ZZ'Z''$$

Y sustituyendo valores (2)

$$e_1 = i * \cos \alpha$$

Como  $\cos \alpha$  puede tomar valores comprendidos entre +1 -1, pasando por cero, el error cenital puede tomar infinitos valores comprendidos entre +i -i. El error máximo se comete cuando  $\alpha$  es cero, es decir, cuando las visuales están situadas en el plano ZOZ'.

El error que se comete en la lectura del ángulo acimutal es (3)

$$e_2 = \alpha - \alpha'$$

sustituyendo  $e_1$  por su valor obtenido en (2) se tiene finalmente para el error acimutal :

$$e_2 = -i * \sen \alpha * \ctg V$$

por lo tanto, el error máximo en la lectura acimutal debido a la falta de verticalidad del eje principal se comete para  $\alpha=90^\circ$  y visuales muy inclinadas; anulándose para  $i=0$ , es decir, cuando el eje es vertical.

Debe observarse que el error  $e_2$  no cambia de signo si se gira  $200^\circ$  la aliada y se invierte el anteojo volviendo a visar el punto A, ya que los ejes del instrumento adquieren nuevamente la posición primitiva; por tanto el error  $e_2$  no se elimina promediando las lecturas de dos posiciones simétricas del anteojo.

### 5.3.2 **Perpendicularidad entre el eje de colimación y el eje secundario**

Supóngase un teodolito en estación y enfocado a un punto lejano P (unos 100 m) Fig. 8.6 (a) situado en el mismo plano horizontal que el eje secundario; si se cumple la condición de perpendicularidad entre ambos ejes, al dar a la aliada un giro de  $200^\circ$  quedará el anteojo en dirección opuesta Fig. 8.6 (b); si ahora se le hace dar al anteojo la vuelta de campana quedará ocupando de nuevo la posición primitiva Fig. 8.6 (c), y podremos enfilar nuevamente el punto P sin mas que cabecear el anteojo, pero sin tener que actuar sobre el movimiento acimutal.

Pero si al realizar las operaciones anteriores los ejes no fueran perpendiculares Fig.8.7(a), sino que hubiera una descorrección e, si bien al girar los  $200^\circ$  horizontalmente la aliada, el anteojo quedará en dirección opuesta Fig.8.7(b), al darle a este último la vuelta de campana, el eje de colimación describirá un cono y tomará la posición de la figura 8.7(c).

Para llevar la visual desde su posición inicial habrá que darle al teodolito un giro acimutal de  $2e$ , es decir el doble de la descorrección; se anota la lectura que así se haga, que diferirá de la primitiva en  $200^\circ \pm 2e$ .

Para corregir el aparato se hace girar de nuevo la aliada en sentido contrario un ángulo igual a e; con esto se perderá el punto P de la cruz filar, y en esta posición se hace la corrección del eje de colimación desplazando horizontalmente el retículo, sin mover para nada el anteojo; para ello se actúa en los tornillos de corrección del retículo hasta hacer pasar la visual por la referencia primitiva P.

Otra forma sencilla de poner de manifiesto este error es la siguiente: con el anteojo sensiblemente horizontal se enfila una línea vertical (la arista de un edificio o el hilo de una plomada) y se observa si la cruz filar del retículo (Fig. 8.8) se separa cada vez más de la línea vertical al darle distintas inclinaciones al anteojo, lo que sería señal de que la visual es oblicua respecto al eje secundario.

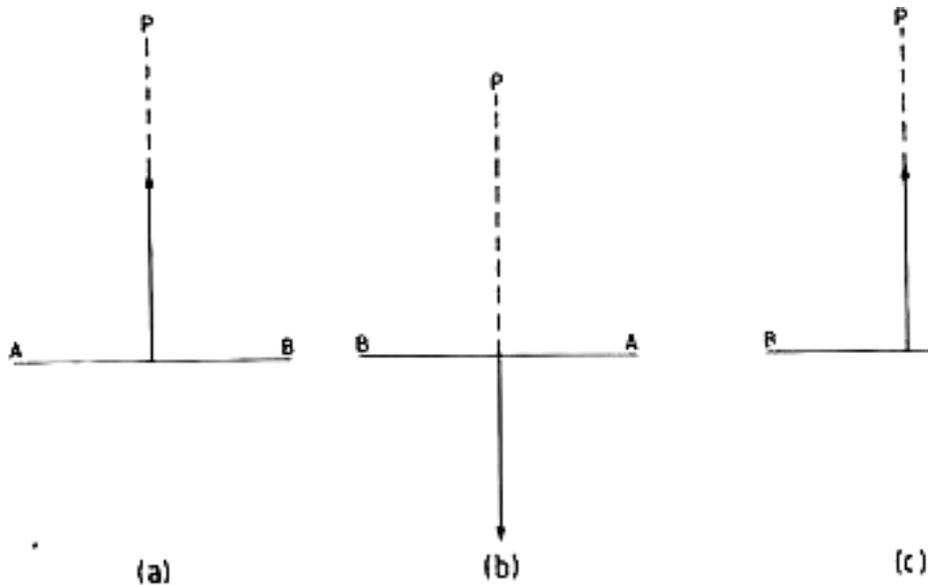


Fig. 86 — Ejes de colimación y secundario perpendiculares.

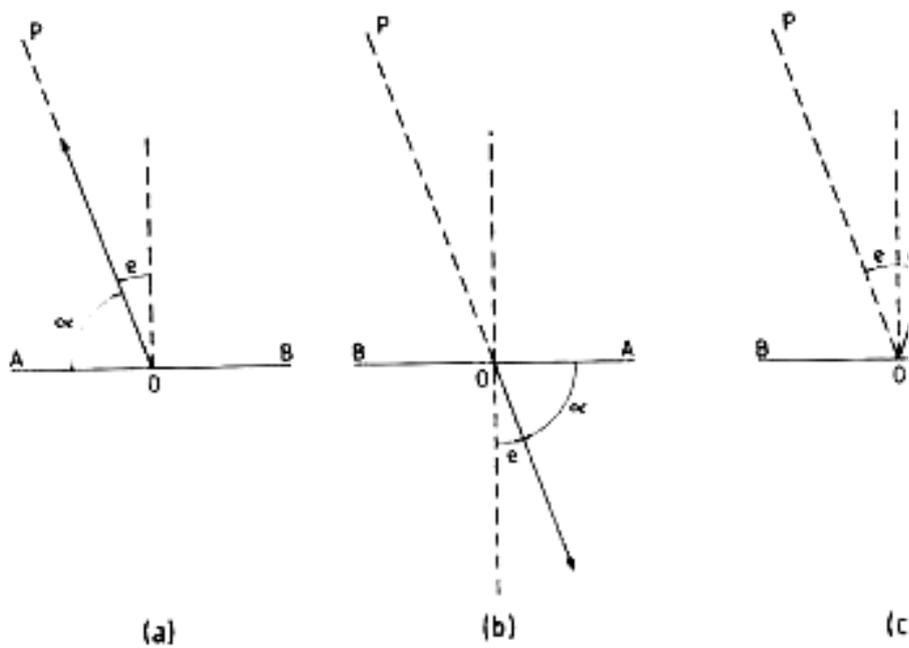
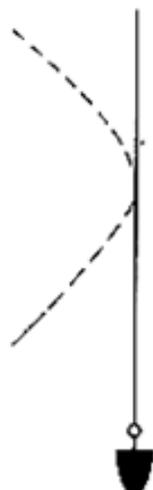


Fig. 87 — Ejes de colimación y secundario no perpendiculares.



**Verificación de la perpendicularidad entre los ejes de colimación y secundario empleando una plomada**

### **5.3.3 Perpendicularidad entre los ejes secundarios y principal**

Cuando existe este error, al poner vertical el eje principal del teodolito el secundario no queda horizontal, y por lo tanto el eje de colimación al girar alrededor de él no describe un plano vertical sino uno inclinado.

Para comprobar esta condición es preciso haber realizado previamente la corrección de perpendicularidad entre el eje de colimación y el eje secundario, para tener la seguridad de que aquel, al girar el anteojo, describe un plano y no un cono; a continuación se nivela con mucho esmero el aparato con objeto de que el eje principal quede perfectamente vertical.

Después con el anteojo sensiblemente horizontal se dirige la visual a la arista vertical de un edificio, o a un hilo muy largo que sostenga la plomada, quedando la cruz filar del retículo proyectada en el punto C.

Si la condición se cumple, el eje secundario será horizontal y el plano descrito por el eje de colimación será vertical, por lo que al girar el anteojo la cruz filar permanecerá constantemente proyectada sobre el hilo de la plomada.

Si la condición no se cumple, la cruz filar no recorre el hilo de la plomada, separándose de él, describiendo una línea recta, AB, que no es vertical.

Para corregir el aparato se detiene el anteojo en la posición más alta posible, la cruz filar se proyectará en una posición como la A, a continuación se alarga o se acorta convenientemente una de las muñoneras, o soportes del eje horizontal. Con los tornillos de corrección correspondiente hasta que la cruz filar pase a proyectarse en A', sobre el hilo de la plomada, con lo que queda corregido el error; es conveniente producir el desplazamiento actuando simultáneamente sobre los dos muñones por partes iguales.



Fig. 8.9. — Verificación de la horizontalidad del eje secundario empleando una plomada.

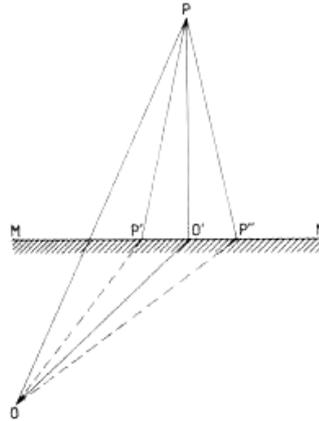


Fig. 8.10. — Verificación de la horizontalidad del eje secundario empleando un punto elevado.

También puede hacerse de otro modo la verificación y corrección del eje secundario; para ello se estaciona el teodolito cerca de un edificio en que haya un punto P bien determinado a bastante altura del suelo (Fig. 8.10); una vez bien nivelado el instrumento se visa al punto P, y estando apretados los tornillos del movimiento acimutal se gira el anteojo hasta tomar un punto P' en el suelo. Se da la vuelta de campana al anteojo, se gira 200° alrededor del eje vertical y se visa de nuevo el punto P, proyectándolo otra vez al suelo y si el nuevo punto coincide con el P' es señal de que el eje secundario es perpendicular al horizontal; en caso contrario obtendremos otro punto P'', que será simétrico de P' respecto al plano vertical OPO' que pasa por el instrumento y por el punto P, lo que indica que será necesario modificar la inclinación del eje secundario hasta que P se proyecte en el punto O', medio de la distancia P'P''.

### 5.3.4 Corrección del eclímetro

Para que los ángulos verticales medidos con el eclímetro del teodolito sean efectivamente ángulos de pendiente o ángulos cenitales, es necesario que el diámetro 0°-200° sea horizontal o vertical respectivamente.

Para lograrlo todos los teodolitos modernos llevan un nivel de eclímetro, solidario del limbo vertical, cuya burbuja debe calarse siempre mediante un tornillo de coincidencia, antes de realizar la lectura con los índices o con el micrómetro. Cuando el nivel está corregido, su directriz es paralela al diámetro 0°-200° si el limbo mide ángulos cenitales.

Si el aparato mide ángulos cenitales y el nivel está corregido, al calar la burbuja del mismo, el diámetro 0°-200° del limbo cenital quedará vertical, y al visar a un punto P se obtendrá una lectura L1 que mide el ángulo V o distancia cenital del punto. Se invierte el anteojo y se vuelve a visar a P, calando de nuevo el nivel si fuera necesario, obteniéndose la lectura L2=400°-L1; es decir que la suma de ambas lecturas será:

$$L_1 + L_2 = L_1 + 400^\circ - L_1 = 400^\circ$$

Cuando el nivel no está corregido, su directriz no es perpendicular al diámetro 0° 200° del limbo, y cuando se cala el nivel dicho diámetro forma un ángulo e con la vertical, diciéndose que el punto cenital está descorregido, estando la lectura incrementada en el error del punto cenital, siendo:

$$L_1 = V + e$$

al darle la vuelta de campana al anteojo y visar de nuevo a P, la lectura que se obtiene es:

$$L_2 = 400^\circ - (V - e) = 400^\circ - V + e$$

sumando ambas lecturas se deduce:

$$L_1 + L_2 = 400^\circ + 2e$$

obteniéndose para e:

$$e = \frac{(L_1 + L_2) - 400^\circ}{2}$$

siendo esta fórmula general y siempre da el valor del error en magnitud y signo.

Conocido el error se puede calcular la verdadera lectura que le corresponde a la distancia cenital del punto P, despejando el valor de V:

$$V = L_e - e$$

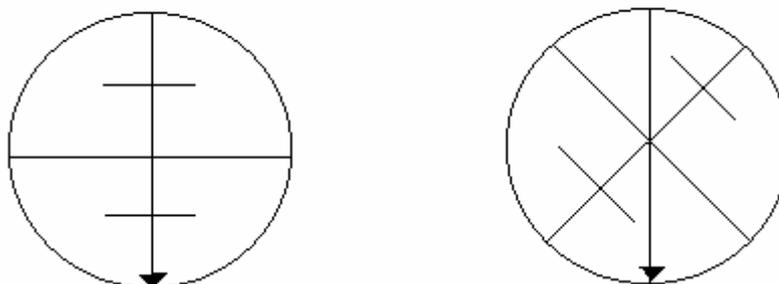
Para corregir el nivel se visa el punto P, actuando luego en el tornillo de calado del mismo hasta obtener una lectura en el limbo ( $L=V$ ) en cuyo momento el diámetro  $0^\circ-200^\circ$  será vertical, pero el nivel no estará calado, centrando a continuación la burbuja con los tornillos de corrección del nivel quedará la directriz horizontal, y por lo tanto perpendicular a dicho diámetro.

En los aparatos que miden ángulos de pendiente el método para corregir el nivel del eclímetro es el mismo pero con diferencias pequeñas que dependen del modo como esté graduado el limbo, y que se deducen fácilmente del examen del mismo.

**5.3.5 Error de verticalidad del hilo del retículo**

Para poner de manifiesto este error se nivela bien el teodolito y se visa con el anteojo el hilo de una plomada a una distancia aproximada de 50m del aparato, o una arista vertical. Estando la plomada en reposo se hace coincidir el hilo vertical del retículo con el hilo de la plomada ; si esto se cumple exactamente el hilo del retículo es vertical.

**Posicion correcta e incorrecta del hilo vertical**



Para corregirlo se aflojan los tornillos de corrección del retículo y se le gira hasta que el hilo AB coincida exactamente con el de la plomada, apretando nuevamente los tornillos.

Este error no tiene importancia en la medida de los ángulos horizontales, ya que las punterías se realizan con el punto C; pero sí la tiene cuando se trata de medir distancias, ya que la longitud de la mira a'b' abarcada por los hilos en posición incorrecta es evidentemente distinta de la ab que debieran abarcar.

Al girar el retículo puede estropearse la posición del eje de colimación lograda anteriormente, por lo tanto habrá que repetir la verificación correspondiente y, en caso necesario, la corrección. Esto puede evitarse haciendo la corrección de verticalidad del hilo inmediatamente después de poner en estación el aparato.

Este error no tiene compensación automática por el método operatorio, por lo que debe efectuarse siempre la corrección.

### **5.3.6      *Cuando la visual está horizontal, el nonio del círculo vertical debe leer $0^{\circ} 0' 0''$ .***

Para poner de manifiesto este error se nivela el aparato, se pone la visual horizontal haciendo que la burbuja del anteojo esté centrada. Si la lectura en el nonio vertical es  $0^{\circ} 0' 0''$ .se cumple la condición.

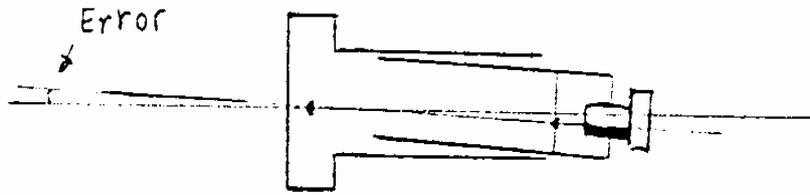
### **5.3.7      *NOTAS finales***

- Las correcciones deben efectuarse en el mismo orden en que se han enunciado.
- Al finalizar cada corrección se debe comprobar nuevamente si el aparato cumple con la condición impuesta.
- Debido a que las condiciones impuestas están ligadas entre si, después de haber efectuando todas las correcciones se deben hacer de nuevo todas las comprobaciones.

## **5.4. Irregularidades y descorrecciones de un anteojo**

El eje de colimación es el más importante y no debe variar su posición en el anteojo. Hay 2 causas principales de variación de este eje y por tanto de irregularidades.

- a) -Descentrado del retículo: *se puede corregir, pero puede llegar a ser un error grande, un descentrado de 0'2 mm puede originar errores angulares de 206''.*



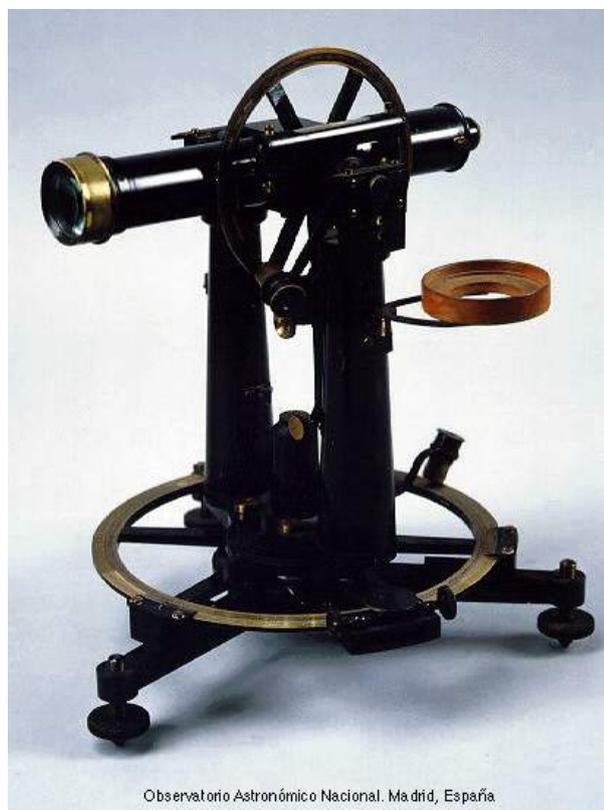
- b) Irregularidades en el movimiento del tubo ocular, por holguras o por poca presión de la cremallera (inutiliza el anteojo).
- c) Error de paralaje Un tercer tipo de error, debido sólo al operador, es el error de paralaje, es propio de los principiantes y consiste en que la imagen que llega del objetivo y el retículo no están superpuestas en el mismo plano. Se nota porque al moverse el observador, pequeños desplazamientos a izquierda y derecha se desplazan los hilos sobre la imagen ("enfoco defectuoso").



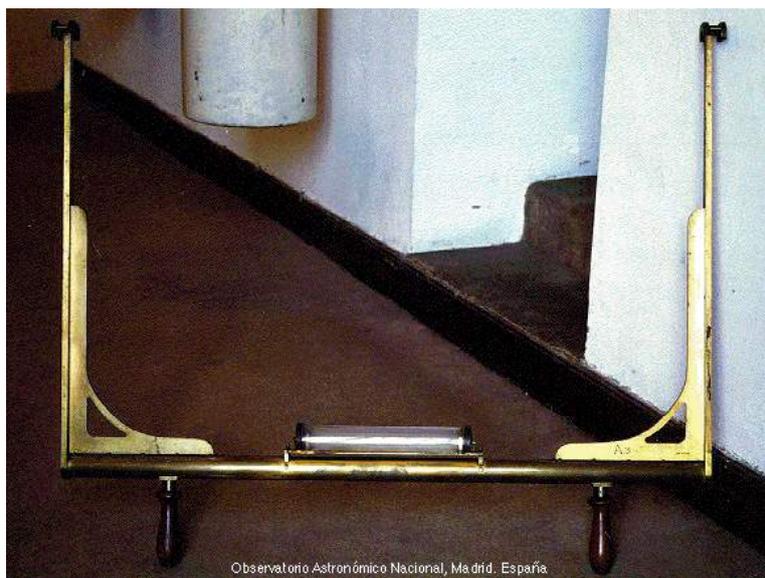
Observatorio Astronómico Nacional. Madrid, España



Observatorio Astronómico Nacional. Madrid, España



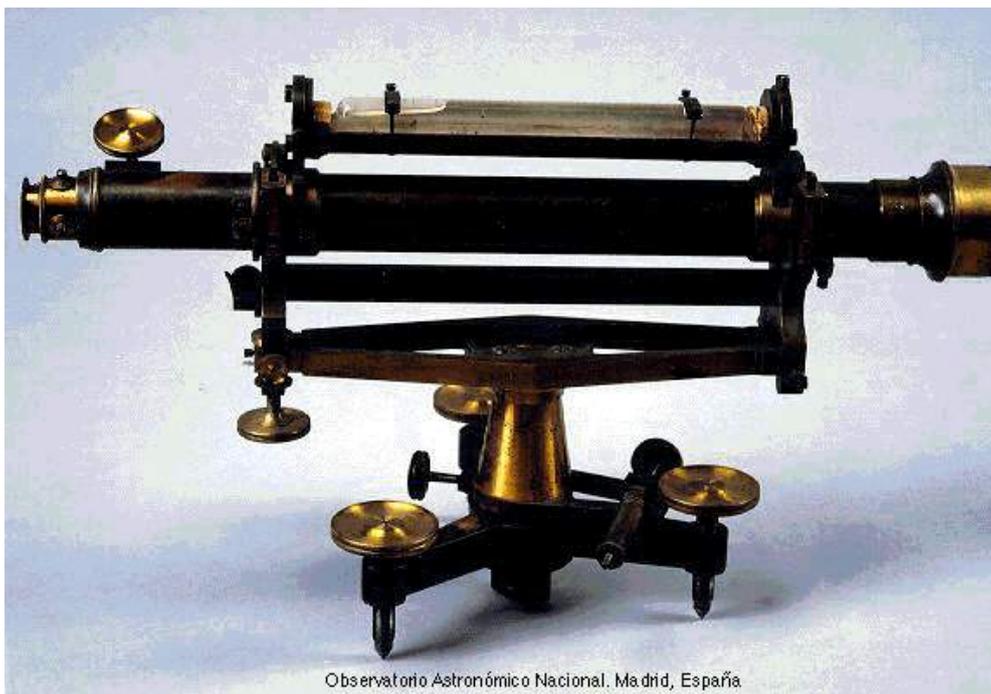
- Niveles



Observatorio Astronómico Nacional, Madrid, España



Observatorio Astronómico Nacional, Madrid, España



Observatorio Astronómico Nacional. Madrid, España