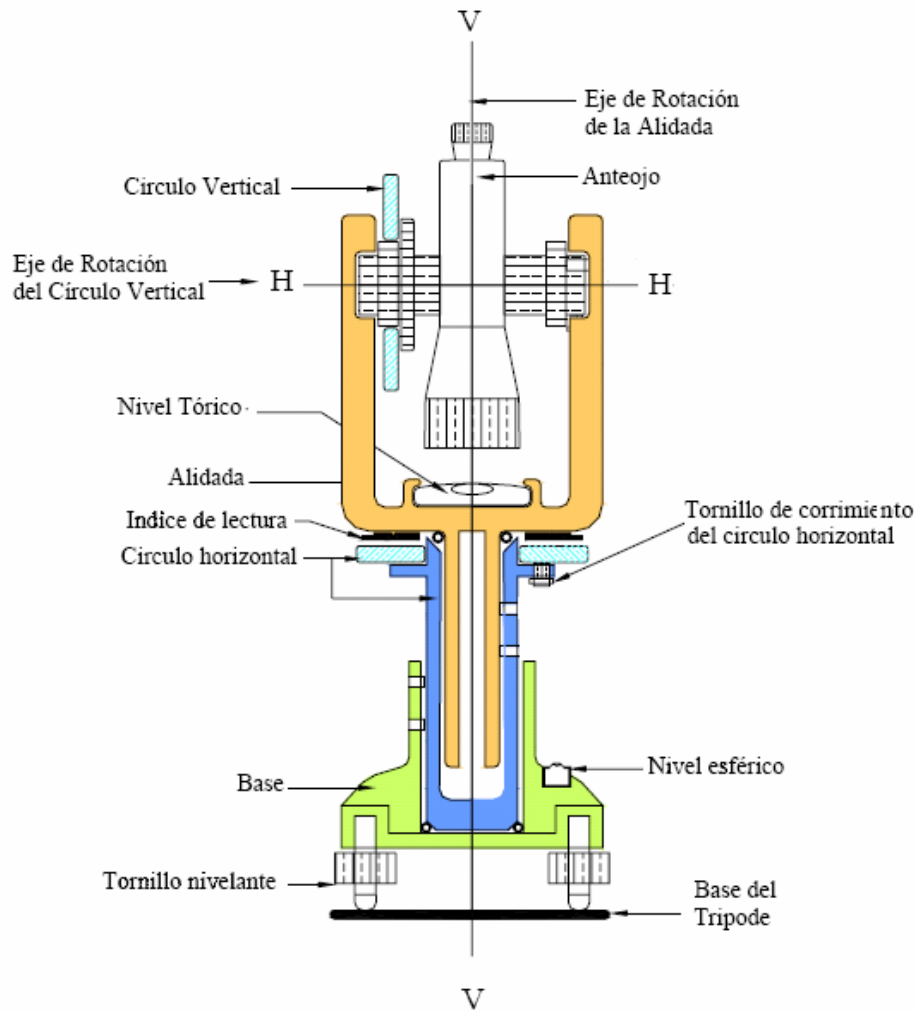


# TEODOLITO

3

En los trabajos de levantamientos, son esenciales las mediciones de distancias y/o ángulos y con este fin son empleados diferentes instrumentos, entre los que se encuentra el teodolito. Este instrumento fundamentalmente se emplea para la medición de ángulos, por esto toma el nombre genérico de (goniómetro) (gonia → ángulo y metrón → medida). Los goniómetros que se utilizan en topografía; son de plano horizontal o de plano vertical y los que pueden trabajar en ambos planos se denominan goniómetros universales, este instrumento lo conocemos como teodolito o tránsito.



*Figura 1. Tomada del libro Topografía plana.  
Leonardo Casanova Matera*

Los tránsitos en su forma mas simple están compuestos de una base nivelante (parte fija), la alidada (parte móvil) que gira sobre un eje vertical y un telescopio, que rota sobre un eje horizontal generando un plano vertical. Por ser este un goniómetro universal se encuentra provisto de un círculo vertical y un círculo horizontal.

El inventor del termino teodolito “fue Leonard Dignes” quien escribió de la descripción del instrumento en un texto con el nombre de *The Construction of an Instrument Topographical Surveing Most Commodioly for all Manner of Measurations*. Dicha descripción fue publicada en el siglo XVI por su hijo Thomas; a partir de este momento los topógrafos ingleses dedicaron sus esfuerzos al desarrollo de dicho instrumento, los teodolitos que resultaron de éste esfuerzo eran muy grandes con círculos horizontales de 3 ft de diámetro. El tamaño de estos limbos se debe a la relación que existe entre el tamaño del círculo y la precisión de medida angular ya que al ser más grandes permiten que se puedan marcar más divisiones en él. Como no se había desarrollado hasta el momento sistemas ópticos de lectura, era necesario utilizar círculos muy grandes para obtener una buena precisión, otra característica de los primeros teodolitos es que no poseían limbo vertical por lo tanto no se podían efectuar mediciones angulares verticales.

Los teodolitos continuaron evolucionando y se construyeron equipos mas pequeños que conservaban la precisión de medida angular y en algunos se mejoraba, adicionalmente se les logro colocar círculos verticales, estos equipos se les denomino tránsito. En la actualidad encontramos equipos con sistemas de lectura completamente electrónicos y con otros aditamentos que hacen mas fácil y aligeran el trabajo del topógrafo, claro que estos instrumentos siguen conservando sus finalidades iniciales.

- ✓ Medir y trazar ángulos verticales
- ✓ Medir y trazar ángulos horizontales
- ✓ Trazar alineamientos
- ✓ Medición óptica de distancias
- ✓ Medición electrónica de distancias.

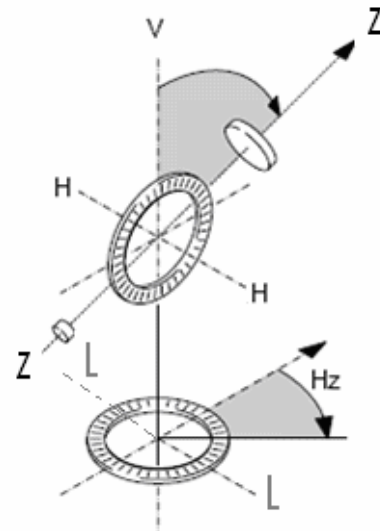
### 3.1 Disposición de los ejes del tránsito

En los tránsito para garantizar la medición exacta de los ángulos verticales tanto como horizontales y la medición óptica de distancias, éste debe cumplir unas condiciones en la disposición de los ejes, estas son:

1. el eje vertical (vv) debe ser perpendicular a el eje del nivel (LL)
2. el eje vertical (vv) debe ser perpendicular al eje horizontal o basculante (HH)
3. el eje horizontal (HH) debe ser perpendicular al eje de puntería (zz)

Debido al el trabajo continuo con los instrumentos, estas disposiciones pueden cambiar, por lo cual se debe estar realizando un control del estado del instrumento. Cuando en esta revisión se encuentren diferencias suficientemente grandes para que reduzcan la calidad de las observaciones se deben llevar acabo las correcciones pertinentes.

Las condiciones 1 y 3 pueden ser corregidas por los topógrafos de diferentes formas que veremos más adelante, la condición 2 solo puede ser corregida en fábrica por un especialista. Por esto cuando trabajamos con un equipo asumimos que esta condición se cumple siempre.



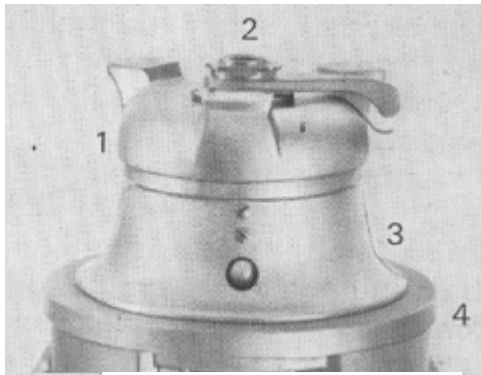
**Figura 2.** Tomada de Leica GeoSystems. Manual de Empleo T105/110

### 3.2 Base nivelante

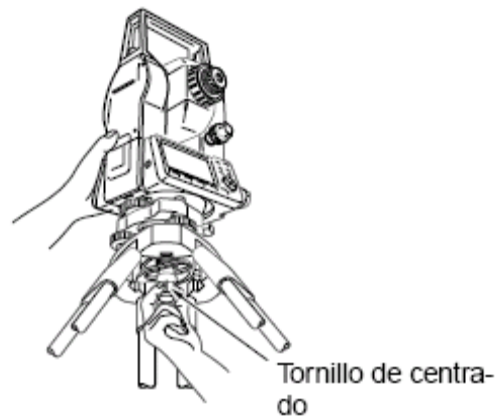
Es la parte del tránsito que descansa, sobre el plato del trípode, provista de una placa de acoplamiento, dicha placa puede tener dos sistemas de fijación al trípode, uno de estos es el sistema de tornillo ( *fig. 3(b)*) o el sistema de bayoneta ( *fig. 3(a)*). También tiene unos tornillos de nivelación montados sobre la placa y un nivel circular o de blanco. Todo este conjunto puede ser calado en posición horizontal con ayuda de los tornillos de nivelación y un nivel circular (calado aproximado) o con un nivel tubular que se encuentra en la alidada. Al mover los tornillos podemos cambiar la inclinación de la base hasta lograr colocar la burbuja del nivel quede dentro de sus reparos centrales y así asegurar que la base del tránsito se encuentra en posición horizontal.

Existen dos sistemas de tornillos para la base nivelante:

- ✓ Sistema de tornillos verticales
- ✓ Sistema de tornillos horizontales



**Figura 3.(a).** Tomada de Cartillas Kern

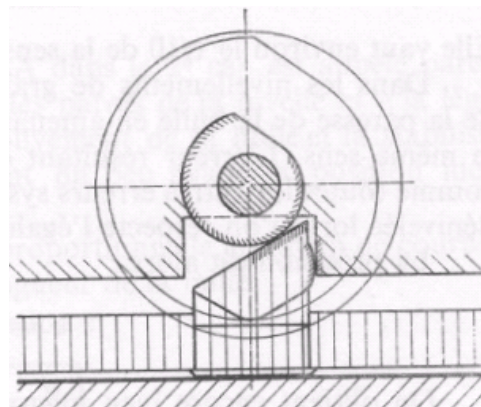


**Figura 3.(b).** Tomada de Leica GeoSystems. Manual de Empleo TE (R) 403/405/407

En el sistema de tornillos verticales; estos están dispuestos en un numero de tres tornillos para equipos europeos y cuatro tornillos en equipos de construcción americana que se encuentra colocados o montados en una cruceta, donde los extremos redondeados del tronillo operan en unos bujes fijos a la placa de acoplamiento, en este sistema el tornillo es fijo y lo que se mueve es la parte superior de la base modificando la altura instrumental.

El sistema de tornillos horizontales es completamente distinto, en este los tornillo utilizan unas piezas giratorias cuyo centro de rotación es distinto al centro de la figura esto hace que se genere un pequeño movimiento vertical de la base, teniendo así la propiedad de que este sistema no modifica la altura instrumental y se elimina cualquier posibilidad de juego entre las piezas del sistema que si se presenta en el sistema de tornillos verticales. (*Fig. 4*).

En la base nivelante se hacen presentes unos dispositivos para el centrado como el gancho en el tornillo de fijación al trípode, para la poner la plomada, plomada óptica, que esta compuesto de un ocular y un prisma que nos permiten apuntar verticalmente cuando la base se encuentra nivelada y el sistema de centrado láser en algunos equipos actualmente.



**Figura 4.** Tomada de Cours de Topométrie Generale

### 3.3 Nivel tubular

Como ya vimos el nivel tubular estos nos ayuda a nivelar el tránsito, consiste en un tubo de cristal con unas divisiones en su parte superior que se encuentran uniformemente espaciadas llamadas reparos; este cilindro contiene su parte interior una fracción de arco de toro, así pues que si hiciéramos un corte longitudinal a un nivel en su parte interior se vería un arco de círculo.

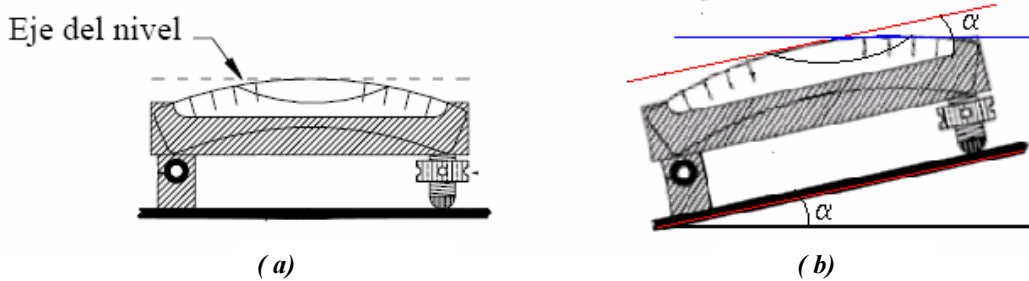


Figura 5.

El arco de toro se encuentra casi lleno de éter sulfúrico o alcohol y el espacio restante se encuentra lleno de aire formándose así una burbuja que siempre ocupa la parte más alta de dicho arco. Utilizando esta propiedad es que podemos asegurar la nivelación del instrumento, (fig. 5), en la parte (b) de dicha grafica se, encuentra un nivel montado en una base que está inclinada un ángulo alfa a la izquierda, por su propiedad la burbuja del nivel se desplaza a la derecha buscando la parte mas alta del mismo, en la parte (a) de la grafica vemos la misma base pero con un ángulo de inclinación alfa igual a cero, por lo tanto la burbuja se encuentra en el centro del arco que en este caso es la parte mas alta de él, por tal motivo si se pasase un recta tangente por el punto medio de la curva interior del nivel, esta línea será horizontal con respecto a la vertical (eje del nivel).

Para esta clase de niveles existen dos sistemas de apreciación, el nivel tubular de división aparente (fig 5.(a)), y el nivel de coincidencia (fig 6), este es un sistema muy ingenioso de disposición de prismas que nos permite yuxtaponer la imagen de la mitad izquierda y la derecha del nivel; cuando estas dos imágenes coinciden la base queda completamente nivelada (calada en la horizontal).



Figura 6. Tomada del libro *Topografía plana*.  
Leonardo Casanova Matera

### 3.4 Sensibilidad del nivel tubular

Esta dada por el radio de curvatura del arco de toro, miremos la (fig 7), en este encontramos dos niveles con radios de curvatura diferente que se encuentra inclinados en un mismo ángulo alfa, nivel de la parte (b). se ve mas desplazado que (a), ya que su radio de curvatura es mayor de allí podemos inferir que la sensibilidad del nivel es directamente proporcional al radio de curvatura.

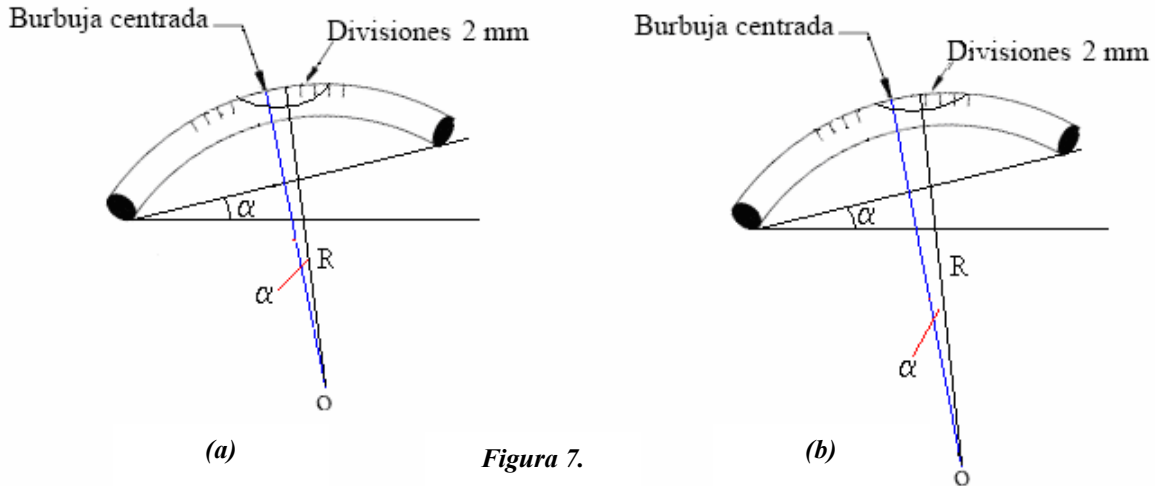


Figura 7.

La precisión del centrado en un nivel de división aparente esta dada por  $1/5$  del intervalo de la separación entre los reparos (2mm) por tanto la precisión de este es de 0.4 mm en el caso de nivel de coincidencia el centrado es de  $1/40$  del intervalo de separación, esto quiere decir que tiene una precisión de 0.05mm aproximadamente.

### 3.5 Alidada

Esta parte del instrumento esta formada por la base superior y el montante; en la base se encuentran el círculo horizontal graduado (limbo), los sistemas de fijación y movimiento lento de dicho limbo. El montante es el encargado de sustentar el eje horizontal o de alturas, por medio de dos soportes verticales, dentro de estos soporte verticales encontramos también el círculo graduado vertical, los sistemas de fijación y de moviendo vertical de éste, las disposiciones de prismas para la lecturas de los limbos, el microscopio de lectura y los dispositivos de compensación de colimación vertical.

La alidada gira alrededor de su eje vertical, por tal razón cuando el instrumento se encuentra en posición horizontal (nivelado), el telescopio montado sobre éste generan un plano perpendicular al eje vertical del aparato.

Ya se hablo que dentro de todo este conjunto existen unos círculos graduados a los que llamamos limbos, veamos ahora que son estos dispositivos y en que consiste cada una de las partes nombradas.

### 3.6 Limbos

Son unas escalas circulares que permiten la medición directa de grados y de múltiplos de 5, 10, 15, 20, 30 minutos; en sus comienzos dicho dispositivos eran hecho de metal (*fig. 8*), en la actualidad son de cristal y se puede leer por medio de unos sistemas ópticos de los cuales hablaremos mas adelante.

Los limbos en el tránsito, comprenden dos placas que se encuentran concéntricas y superpuestas, una de ellas esta fija y las otra móvil junto con todo el conjunto (base –montante). En los tránsitos de tipo repetidor existe un sistema de pinzas que permite fijar el limbo horizontal, en una posición determinada, a la placa móvil y que éste gire también. Esto se emplea cuando se hace necesario visar a un punto con un ángulo determinado; la otra posibilidad de llevar a cabo dicha operación es visar a el punto dejar fijo el instrumento y mover el limbo haciendo uso de un tornillo que nos permite este movimiento, a estos equipos los llamamos reiteradores; en este sistema lo que hace el tornillo es servir de piñón y hacer que la placa donde se encuentra montado el limbo horizontal se mueva como lo vemos en la (fig.9)

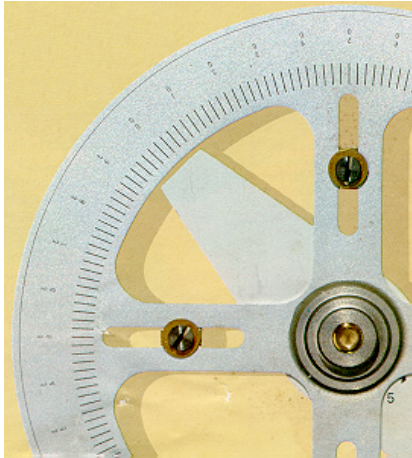


Figura 8. Tomada de exposiciones de equipos en Internet

Como ya lo dijimos los limbos no permite leer los grados y unos múltiplos de minutos, existen algunos trabajos donde se requiere mas precisión angular, para esto se emplea un elemento que es denominado nonio o vernier.

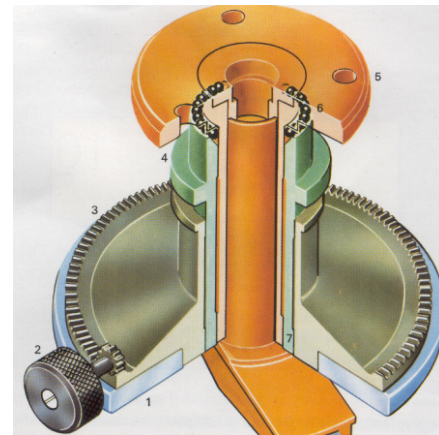


Figura 9. Sistema del eje vertical del T2. Tomada de Folletos Wild.

### 3.6.1 Vernier o nonio

La agudeza visual del ojo del humano no le permite la apreciación directa de divisiones menores a la menor división de la regla o limbo que este utilizando. Por esto el matemático y astrónomo portugués Pedro Nunes, se ingenio un dispositivo para precisar los valores de dichas apreciaciones; éste dispositivo fue perfeccionado por el geógrafo francés Pierre vernier de allí el nombre que este toma.

Para las mediciones de tipo angular se emplean unos arcos secundarios que se encuentran en posición concéntrica con respecto a las escalas principales o limbos.

#### Fundamento del vernier

En los teodolitos antiguos el sistema de lectura esta dividido en grados enteros, y estos a su vez se encuentran sub-divididos en 2, 3, 4 y 6 partes; los cuales son 30, 20, 15 y 10 minutos respectivamente.

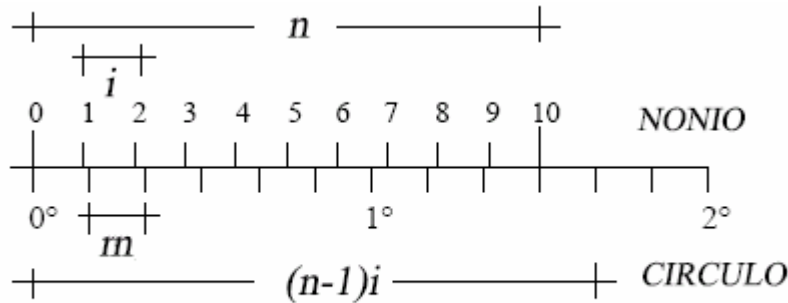
Para mejorar la precisión de las lecturas se utiliza una escala secundaria que permite determinar la diferencia entre las divisiones de la escala principal y la división que ésta posee. Dichas escalas secundarias se encuentran divididas en (**n**) partes que corresponden a (**n-1**) partes de la escala principal, o sea que cada una de la divisiones del nonio tiene una magnitud (**i**) menor a la del limbo en la fracción de apreciación buscada.



La apreciación del nonio viene dada por:

$$P = \frac{m}{n}$$

Donde  $m$  es la división mas pequeña de él limbo y  $n$  es el numero de Divisiones del nonio



*Sistema de lectura de ángulo con nonio*

Si queremos leer un vernier debemos tener en cuenta:

- El cero del nonio indica las cantidades enteras del limbo
- La graduación del nonio que coincide con una de la escala principal indica la fracción adicional

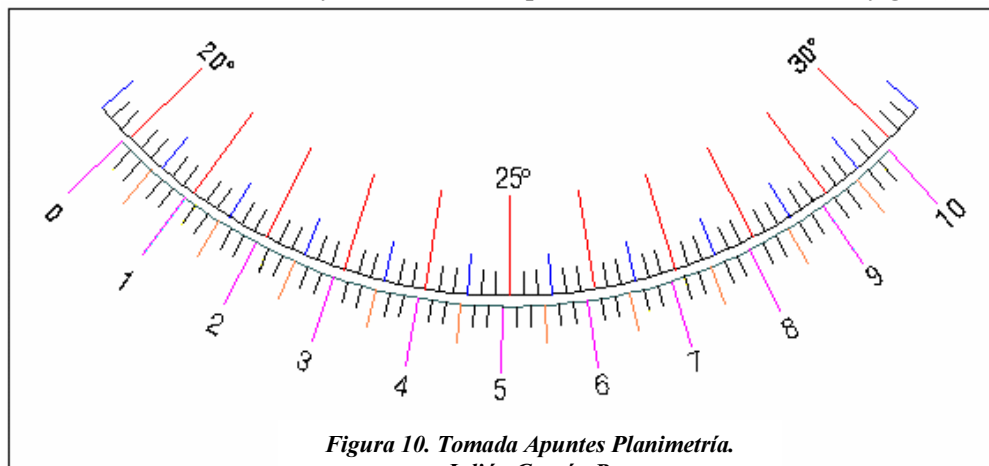
*Ejemplo1:*

Vamos a construir un sistema de lectura que nos permita, con el nonio, leer a 10'' en un limbo de 10'.

Procedimiento: Construimos un segmento de limbo con la graduación indicada de 10' utilizando la formula  $P = \frac{m}{n}$ , determinamos el número de divisiones del nonio, entonces:

$$P = \frac{10 \text{ min} \times \left( \frac{60 \text{ seg.}}{1 \text{ min}} \right)}{10 \text{ seg}} \Rightarrow \frac{10 \times 60}{10} = 60 \text{ Divisiones}$$

Puesto que estamos trabajando con un nonio directo se cuentan 59 divisiones de la regla principal (el limbo), es decir  $n-1$  divisiones y se divide en 60 partes es decir  $n$  divisiones. (fig. 10).

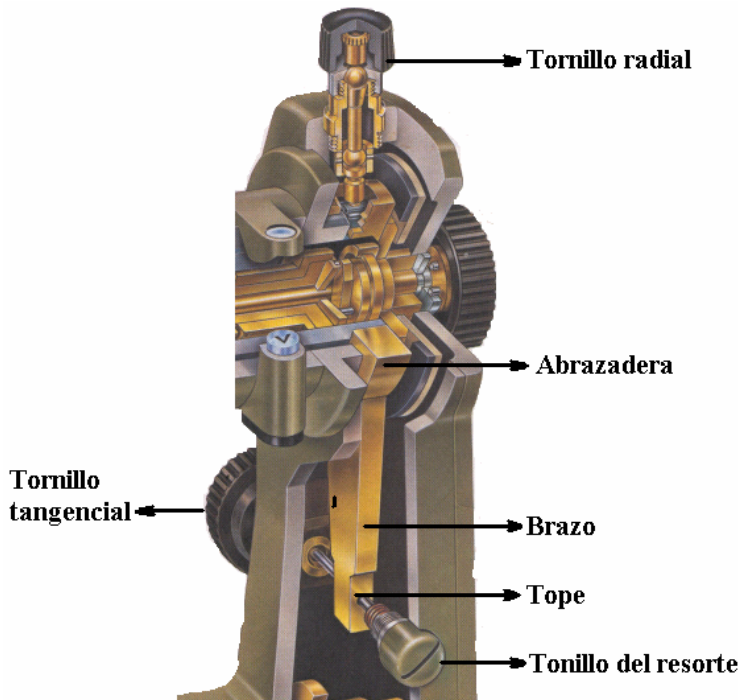


### ***Nonio invertido***

Es aquel en el que el número de divisiones es una menos que el de divisiones del segmento correspondiente de la escala principal, por ejemplo:

$n$  divisiones del vernier tendrán la longitud ( $i$ ) igual a  $(n+1)$  divisiones de la escala; en consecuencia cada división del vernier será mas larga que una de la escala principal ( $m$ ).

### ***3.7 Sistemas de fijación y movimiento lento***



*Figura 11. Corte K1S. Tomado de Documentos Kern*

En los trabajos de topografía se hace necesario fijar el tránsito en una posición cualquiera, para esto el equipo se encuentra dispuesto de unos sistemas de abrazadera, la cual ejerce una presión en la sección de cono donde gira el montante o el telescopio, impidiendo así estos movimientos. El sistema se opera por medio de unos tornillos a los que denominamos radiales; ya que se encuentran dispuestos en el tránsito en posición radial con respecto a los limbos (*fig. 11*), sin embargo luego de fijar, ya sea la alidada o el telescopio, se le puede imprimir un movimiento pequeño a él conjunto (abrazadera y cono interior), moviendo un tornillo que denominamos tangencial, por su posición tangente con respecto al limbo del sistema que se está

moviendo, por ejemplo si el sistema que este fijo es el del movimiento del telescopio, el tornillo de movimiento fino estará tangente al limbo vertical. En este sistema lo que hace el tornillo es que al moverlo como si lo estuviéramos apretando este empuja un tope, que se encuentra situado en la punta de un brazo que viene desde la abrazadera, con un movimiento muy suave debido a que al frente del tornillo, al otro lado del tope, se encuentra un resorte que resiste el movimiento del tornillo, por eso cuando él movimiento del tornillo es en sentido contrario el resorte hace que el sistema se devuelva empujando el tope. (*fig. 11*).

Nota:

En estos sistemas presentan algo a lo que denominamos juego; siendo este la separación que existe entre la rosca de la tuerca y la rosca del tornillo, que es la que permite que una se mueva con respecto al otro. Esta característica de los sistemas mecánicos causa que se presenten errores que pueden afectar la precisión de la medición de los ángulos



### 3.8 Sistemas compensación de colimación vertical

Los equipos antiguos tenían un nivel tubular, que se utilizaba para asegurar que la línea de índice del círculo vertical quedara paralela al eje óptico cuando éste estuviera en horizontal, antes de cada medida. En la actualidad para no tener que realizar esta operación tan molesta y que demoraba los trabajos, se emplean unos dispositivos que reflejan la inclinación del eje vertical para compensarlo. Esto fue desarrollado por la empresa Askania de Berlín, después de la segunda guerra mundial. El primer sistema consistía en un **péndulo compensador**, en el que la lectura se efectúa a través de un arreglo óptico, con un prisma unido a un péndulo, que cuando el teodolito se encuentra inclinado con respecto a la vertical, el péndulo actúa en dirección opuesta a la de la inclinación; esta influencia nos ayuda a que la lectura que se obtiene en el índice no cambie debido a la inclinación del eje vertical y se correcta.

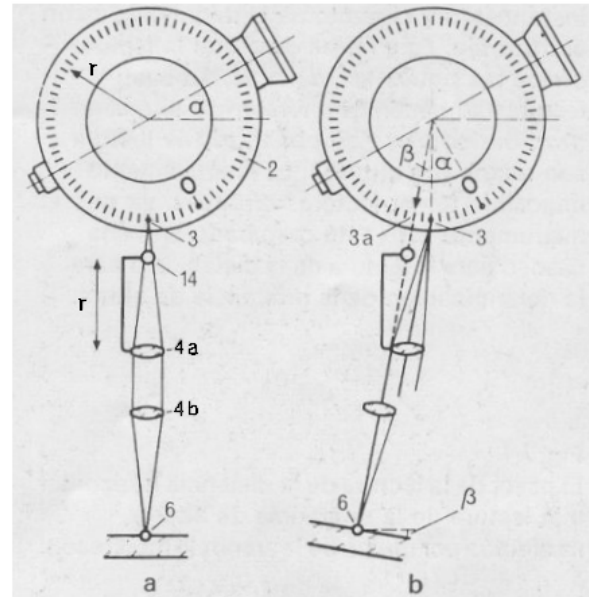


Figura 12. Tomada de Documentos Kern

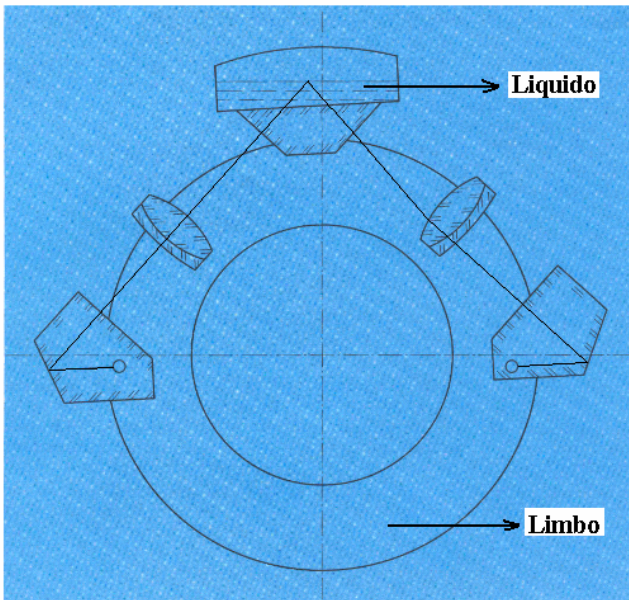


Figura 13. Tomada de Folletos Kern

emplea un líquido que tiene la propiedad de siempre ocupar la posición horizontal, por esto cuando el eje vertical se encuentra realmente en posición vertical, la superficie del líquido (aceite de silicio) es paralela a la base del recipiente que lo contienen y los rayos de luz pasan sin sufrir desviación. Si en caso contrario el eje vertical se encontrara inclinado, el líquido formara el mismo ángulo de inclinación con la base del recipiente (fig. 14) hace que la visual que el topógrafo hace para la lectura, se desvíe en un ángulo  $\beta$  hacia la visual correcta el ángulo  $\beta$  es igual a  $(\mu - 1)\delta$  donde  $\mu$  es el índice de refracción del líquido.

En general estos sistema de compensación tiene unos intervalos de acción grandes pero lo mejor es realizar una correcta nivelación de tránsito para así ayudar a todo el conjunto en su operación y evitar que en casos donde el compensador esté fallando se presenten errores por ésta causa, aunque no sean de una gran magnitud. Por ejemplo Cuando el sistema de nivelación solo se encuentra apoyado de un nivel de blanco, el cual tiene una precisión del centrado de  $\pm 3$  minutos el rango de acción del compensador va a ser ésta.

Luego del sistema de péndulo se desarrollaron otros sistemas compensadores de tipo líquido, en esto se

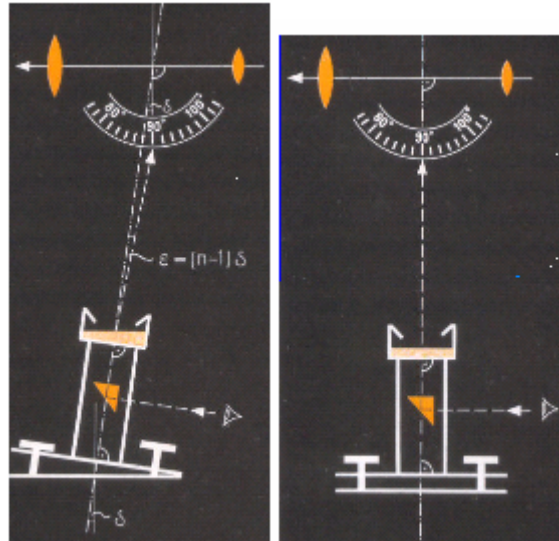


Figura 14. Compensador líquido Wild T1A.  
Tomado Documentos Wild

### 3.9 Sistemas de lectura de limbos

Para poder efectuar la lectura de los limbos que se encuentran dentro del tránsito, existen una serie de prismas y lentes que tiene el propósito de iluminar y llevar la imágenes de los limbos y los verniers a unos dispositivos que denominamos **microscopios de lectura**; que son en los que se ven las imágenes de los limbos y los vernier en escalas mas grandes; de estos se encuentra de dos tipos: microscopio a escala y microscopio con nonio óptico (micrómetro).

En los tránsitos los microscopios puede venir en el montante o a un lado del telescopio y de acuerdo con el sistema de medida del instrumento mostrar diferente cosas. En los tránsito se presentas dos sistemas de lectura, uno es el de lectura simple y el otro es el de lectura por coincidencia.

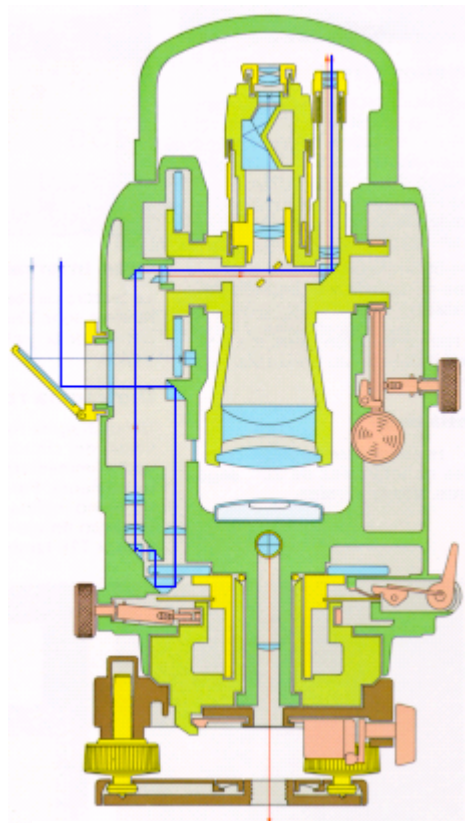


Figura 15. Tomada de exposiciones de equipos en Internet

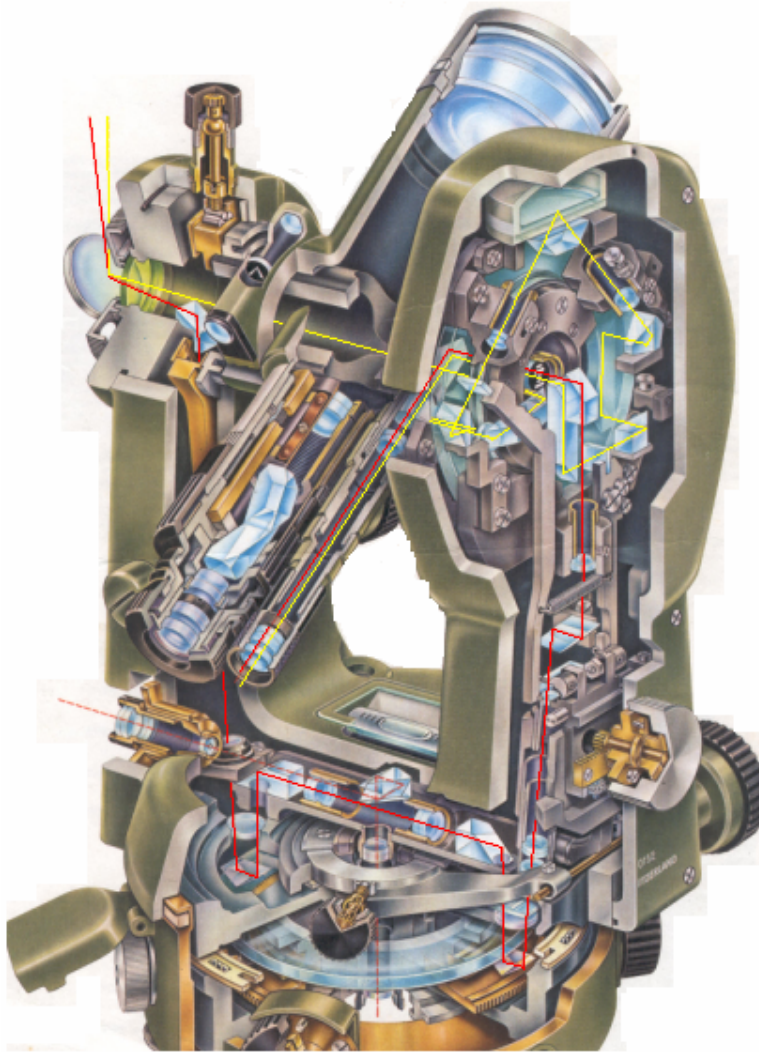
#### 3.9.1 Sistema de lectura simple

En este solo se lleva acabo la lectura en un lado del limbo, ya que los sistemas de lentes y prismas esta dispuesto solo para llevar la imagen de un lado (fig. 15. Línea de color azul). Los equipos que

presenten este sistema son utilizados en trabajo que requieran poca precisión debido a que en ellos una eventual excentricidad del limbo generaría errores en las lecturas.

### 3.9.2 Sistema de lectura por coincidencia

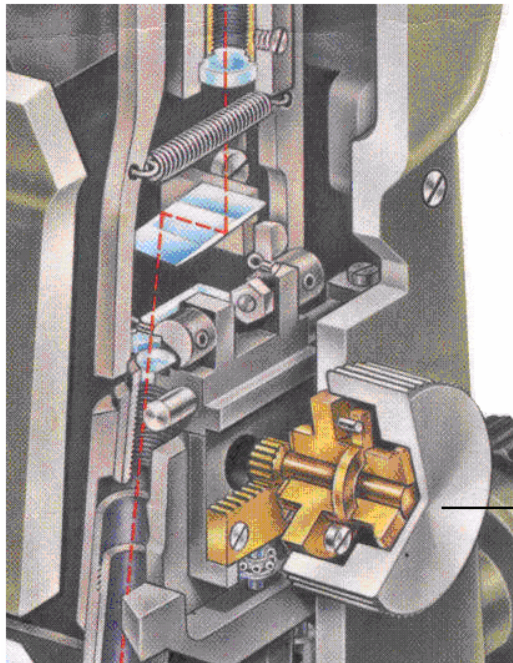
En éste el sistema óptico de lectura permite ver simultáneamente en el microscopio dos lugares diametralmente opuestos del limbo (uno  $180^\circ$  más que el otro), lo que equivaldría a realizar una lectura con el microscopio a derecha del tránsito y una a izquierda (fig.16), se eliminan así los errores de excentricidad.



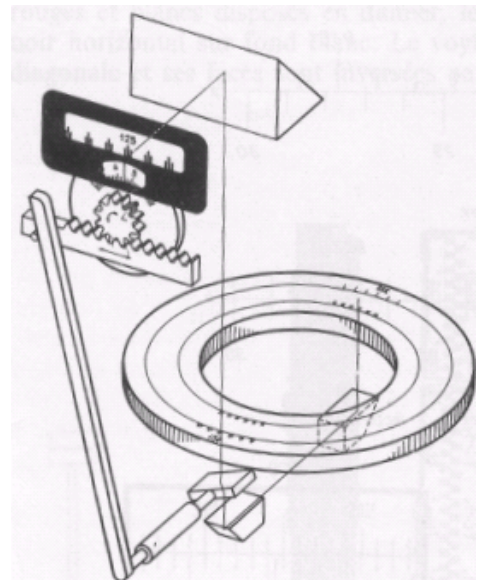
Para efectuar una lectura en este sistema se opera de la siguiente forma: como ya se dijo en el microscopio se ven simultáneamente las dos partes del círculo (fig. 16), (donde con color rojo se pueden apreciar el viaje de los rayos que iluminan el limbo horizontal y de color amarillo los del círculo vertical), una con numeración de derecha a izquierda y la otra con numeración de izquierda a derecha, por eso cuando giramos el tránsito se ve un desplazamiento en sentido contrario de las imágenes en el microscopio, entonces las divisiones que se observan deben hacerse coincidir, para esto se mueve el tambor del micrómetro, al efectuar esta operación una se mueve en un sentido y la otra en sentido contrario por ende solo se necesita que cada una se desplace la mitad de la separación inicial para encontrarse, esto es a lo que denominamos un desplazamiento a medio camino, que es registrado por el micrómetro.

Figura 16. Tomada de Documentos Kern DKM2-A





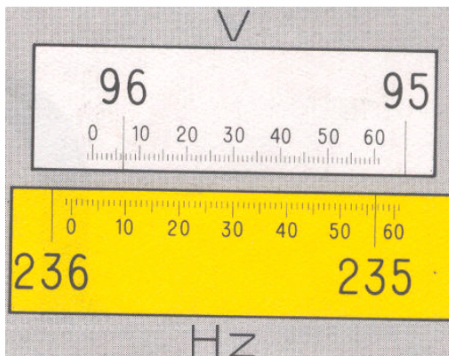
*Tomado de Documentos Kern*



*Tomado del Cours Topométrie Generale*

**Figura 17.**

### 3.9.3 Microscopio a escala



**Figura 18. Pantalla de lectura del Wild T16. Documentos Wild.**

En este microscopio se pueden ver las imágenes de los limbos vertical y horizontal al mismo tiempo y fuertemente aumentadas, proyectadas sobre una escala dividida en 60', en la que cada trazo del limbo sirve de señal de lectura, (fig.18).

### 3.9.4 Microscopio con micrómetro

Este sistema de microscopio es el que manejan los sistemas de lectura por coincidencia. Al igual que en el anterior se pueden ver las imágenes de los dos limbos. Pero imprimiendo movimiento al botón del micrómetro que se encuentra en uno de los montantes se pueden llevar las divisiones del limbo principal dentro de uno trazos de índice o hacer coincidencia, donde dicho desplazamiento es registrado por el micrómetro, y lo leemos en minutos y segundos en una de la ventanas del microscopio.

En los equipos de lectura por coincidencia existe un botón que se llama conmutador (fig. 19), con el que podemos cambiar la imagen en él microscopio de las dos partes del círculo horizontal por la imagen del círculo vertical y viceversa.

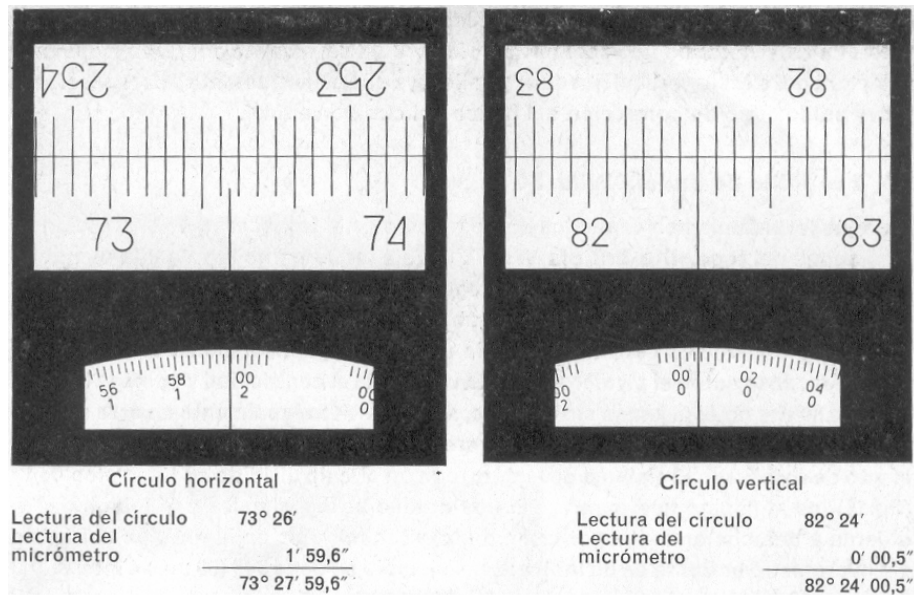


Figura 19. Lectura de círculos Wild T3. Tomada Del Teodolito y Su Empleo

### 3.10 Telescopio

Es la parte del tránsito que nos permite hacer las visuales a puntos lejanos, desde el punto de estación, éste se encuentra dispuesto de un ocular o retícula, un dispositivo de enfoque y un objetivo.

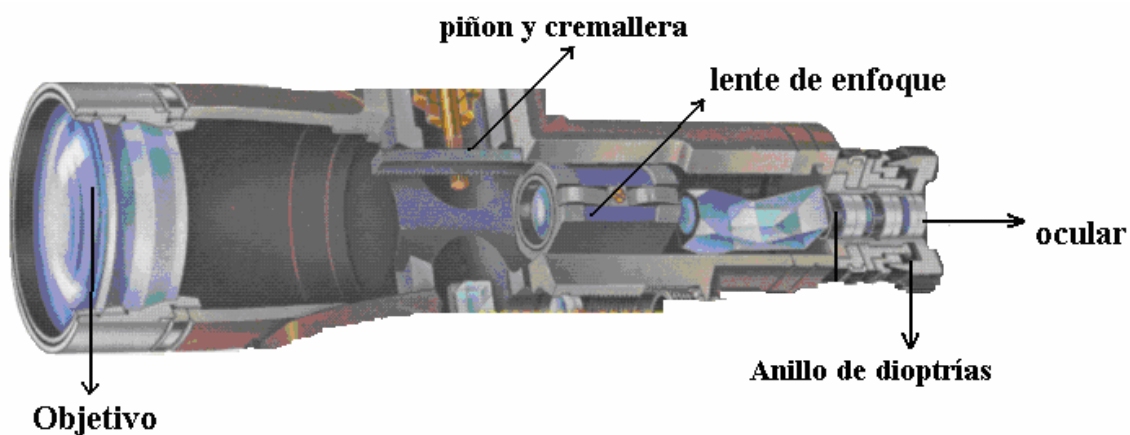


Figura 20.

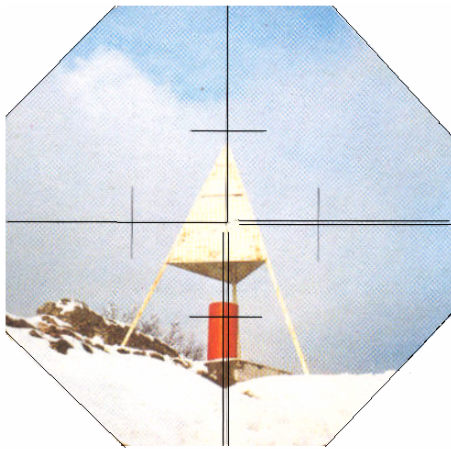
### 3.10.1 Ocular

Es la parte del telescopio que se antepone al ojo del observador, que presenta una disposición de lentes la imagen del objeto que se encuentra a la distancia. Un ejemplo de un ocular la podemos apreciar en la *figura 20*.

Los oculares poseen las siguientes características:

- Aumento visual
- Campo visual

### 3.10.2 Retícula



**Figura 21. Tomado de Folletos Kern  
DKM 2-A**

Es una placa de cristal sobre la cual se encuentran grabados un trazo vertical y otro horizontal (*fig. 21*), que nos permiten realizar la puntería a los puntos que se visen, en esta placa es donde se forma la imagen generada por los rayos que atraviesan el objetivo.

En algunos equipos la mitad inferior de la retícula presenta un doble trazo para facilitar y encuadrar con mayor exactitud el hilo de la plomada o las señales muy lejanas. En otros equipos se pueden encontrar unos trazos horizontales más pequeños (hilo superior, hilo inferior) que son empleados para medida estadimétricas de distancias.

Nota: en algunas ocasiones los hilos no se ven de manera nítida cuando se están efectuando visuales, para solucionar esto se mueve el anillo dividido en dioptrías, (*fig. 20*), hasta procurar que el retículo se vea de forma clara.

### 3.10.3 Sistema de enfoque

En la actualidad este conjunto se encuentra en el interior del telescopio en los primeros teodolitos era diferente, ya que ellos presentaban enfoque externo. El conjunto se encuentra constituido por una lente que toma el nombre de lente de enfoque y un cilindro desplazable dentro del telescopio que contiene dicha lente; el dispositivo que nos da la posibilidad de mover dicho cilindro lo denominamos botón de enfoque.

La finalidad de él desplazamiento de la lente es procurar que la imagen se forme de forma nítida sobre el plano focal del retículo; debiéndose cumplir que al mover ligeramente la cabeza, el retículo y la imagen no debe desplazarse uno con respecto a la otra.

Los dispositivos para generar el movimiento del cilindro pueden ser de dos diferentes tipos: el primero consta de un conjunto de piñón y cremallera (*fig. 20*). En este el botón se encuentra en uno de los montantes, al imprimirle movimiento a éste el piñón actúa sobre la cremallera que se encuentra unida al cilindro haciéndolo mover. El segundo sistema consiste en dos cilindros uno



con rosca interna y otro adentro del telescopio con rosca externa, por esto es que al imprimirle movimiento al cilindro expuesto el segundo se mueve con respecto a éste.

### 3.10.4 Objetivo

Es un conjunto de lentes (fig. 20) que se encuentra frente al objeto visado (espacio objeto) con la función de captar la luz procedente de éste y dirigirla al resto del sistema.

Las características del objetivo son:

- Luminosidad
- Campo visual

### 3.11 Control y errores del tránsito

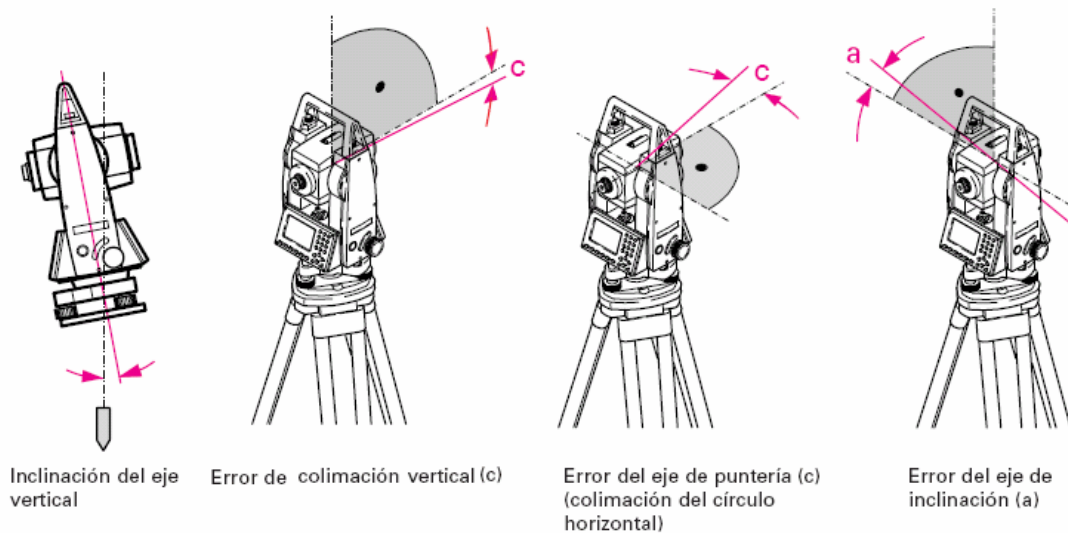


Figura 22. Tomado del folleto principios de topografía leica geosystem

#### 3.11.1 Error de inclinación del eje vertical

Este se presenta cuando no se cumple la condición 1 del apartado de disposición de los ejes del tránsito, dicha inclinación se da, ya que aunque por construcción el eje vertical es perpendicular al plato, el nivel que se encuentra montado en dicho plato no está en posición adecuada o sea está inclinado y al calar la burbuja se presenta la inclinación del eje vertical. Para disminuir la influencia de este error se debe realizar un proceso de nivelación del instrumento que consiste:

Ya con el instrumento fijo en el trípode y correctamente centrado se comienza a efectuar el proceso de nivelación; si el equipo se encontrara en perfectas condiciones cuando se efectúa el primer paso del proceso y se gira el instrumento 180°, la burbuja debería permanecer calada. Si esto no sucede de esta forma es por que se presenta dicho error y es igual a la mitad del desvío observado en el nivel.

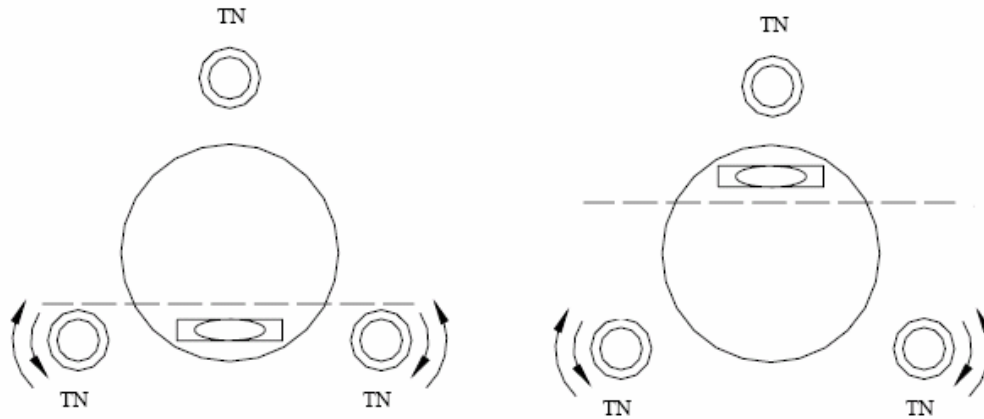


Figura 23. Tomada del libro *Topografía plana.*  
Leonardo Casanova Matera

### 3.11.2 Error de falta de perpendicularidad entre el eje vertical y el eje basculante

Cuando falla la condición dos de la fig. 2 que antes nombramos, se presenta este error que causa una desviación de las visuales con respecto a la vertical. Para determinar si un equipo se ve afectado por tal error, se debe estacionar el tránsito correctamente frente a una edificación *ver figura 24*, para visar a un punto A en una parte alta de la pared, luego barrer sobre la vertical para marcar un punto B, después se lleva el tránsito a posición II se visa al punto A y barre para buscar al B, si cuando hacemos esta visual no coincide con B es por que se presenta el error y la visual se desplaza a un punto C; el plano vertical que pasa por el punto medio entre B y C, del cual A hace parte es la visual correcta.

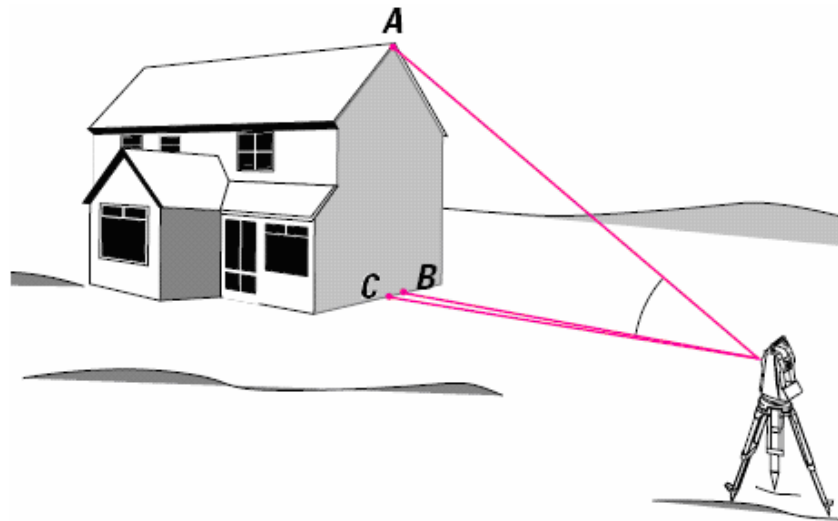


Figura 24. Tomado del folleto *principios de topografía leica geosystem*

Es importante comprender que la desviación introducida por dicho error no es constante y aumenta con amplitudes de ángulos muy pequeñas o muy grandes con respecto a la línea de cenit – nadir. Este error puede ser reducido por visuales dobles pero a un mismo ángulo de altura o corregido en el taller por un especialista con instrumental necesario.

### 3.11.3 Error de colimación

Este se presenta cuando la condición tres de la fig. 2 no es cumplida. El error de colimación horizontal es el error en dicho ángulo dividido a la falta de perpendicularidad del eje ZZ y el eje HH. Este puede ser corregido por procedimientos de campo y unos cálculos. Para determinar si se presenta el error de colimación se debe visar a un punto A que se encuentra por conveniencia a una distancia mayor a 150m, con el telescopio en posición I registrando el ángulo. Luego se lleva el equipo a posición II y se visa de nuevo al punto A. esta nueva lectura menos 180° debe ser igual a la lectura inicial, teniendo en cuenta la precisión que puede ser exigida al instrumento. Si no se presenta de esta forma es porque el tránsito sufre de colimación horizontal. La diferencia entre el ángulo inicial y el segundo ángulo dividido en dos da la magnitud del error de colimación.

Un procedimiento de campo para corregir la influencia del error de colimación es trabajar con visuales dobles (posición I y II) en las cuales se anotan los resultados obtenidos y la media de estos es igual al ángulo correcto.

El error de colimación horizontal se debe a un desplazamiento en el trazo vertical del retículo en horizontal y el error de colimación vertical es causado por el desplazamiento del trazo horizontal en la vertical. En este caso se puede emplear el mismo método para minimizar la influencia del error o ser corregido dicho desplazamiento por un especialista en el laboratorio.

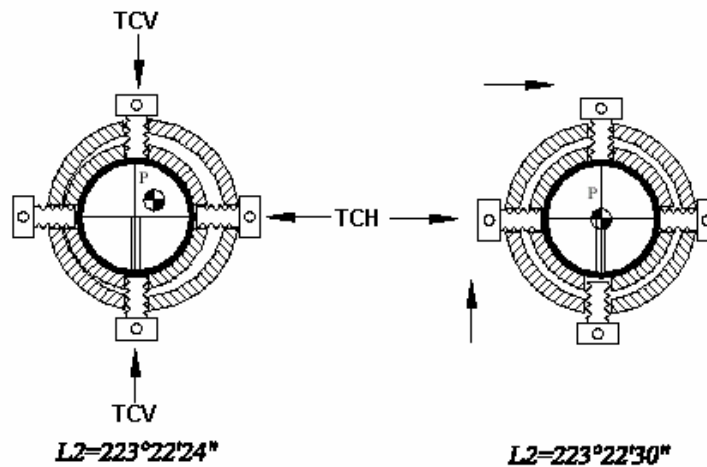


Figura 25. Tomada del libro *Topografía plana*.  
Leonardo Casanova Matera

Existen otros errores que se deben conocer, estos son:

### 3.11.4 Error de puntería

Debido a las condiciones atmosféricas, en algunas ocasiones cuando se observa por un telescopio parece como si el objeto visado estuviera vibrando o se deformase, esto causa que se presente errores en el proceso de puntería, que pueden ser minimizados visando varias veces al mismo punto. Un aspecto importante es asegurarse que las visuales se encuentren exentas de paralaje<sup>1</sup>. La forma de lograr asegurar que no exista paralaje es aclarar los trazos del retículo sobre la imagen del objeto

<sup>1</sup> Paralaje: es el cambio aparente en la posición de un objeto visto sobre un fondo más distante, cuando se cambia el punto de observación (diccionario técnico de ingeniería civil universidad de Medellín)

y enfocar hasta lograr que al desplazar la cabeza no se note ningún tipo de movimiento entre la entre los trazos del retículo y la imagen.

### 3.11.5 Error de graduación

Esto es causado por imperfecciones en la graduación de los limbos en fábrica. El efecto de dicho errores puede ser reducido empleando métodos de medición de ángulos como el de repeticiones y reiteraciones<sup>2</sup>. Es de gran importancia realizar la aclaración de que la precisión de medida angular no se aumenta solo con aumentar el numero de n repeticiones de una puntería, debido a que la condiciones atmosféricas, las del observador y el instrumento también imponen limites, de allí que para un numero n de observaciones que se ven afectadas por un  $E_{mc}$  el error de la media es igual:

$$E_m = \frac{E_{mc}}{\sqrt{n}}$$

Para comprender mejor esto es recomendable acercarse a la lectura del capitulo de errores. Si pensamos que el error de la media es función del número de observaciones para un error medio cuadrático determinado. Podemos inferir para un equipo establecido hasta que punto se puede llegar a obtener un aumento en la precisión con un aumento en el número de repeticiones. Si se grafica dicha función (fig. 26), se puede apreciar que por más que se aumente el numero de repeticiones, o sea, así  $n \rightarrow \infty$  nunca se va a lograr que el  $E_m$  sea igual a cero.

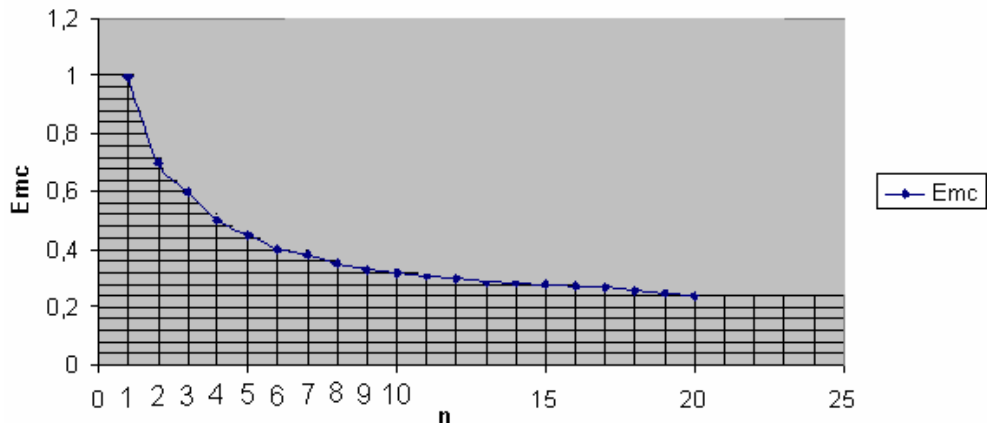


Figura 26.

### 3.12 Teodolitos electrónicos

En la actualidad los teodolitos óptico mecánicos que anteriormente fueron descritos, han sido remplazados por la generación de teodolito electrónicos, en los que la medida angular ya no requiere que el topógrafo lleve a cabo procesos como los de lectura en los micrómetros, ya que en este tipo de equipos solo se necesita leer la magnitud del ángulo en un tablero electrónico donde se encuentran al mismo tiempo los valores de los ángulos vertical y horizontal. Dicho equipos incluyen también funciones novedosas como estar dispuestos de sistemas que permiten cambiar el sentido en que son medidos los ángulos, poner el cero en cualquier posición con solo hundir un botón y grabar todos los datos obtenidos en el campo en una memoria que posee el instrumento y ser descargados en un PC para ser procesados.

En realidad estos instrumentos cumplen las mismas funciones de los equipos óptico mecánicos solo cambia el sistema de medición angular antiguo por uno automático.

<sup>2</sup> Métodos explicados en el capítulo de ángulos



Figura 27. Tomada de exposiciones de Topometría en Internet

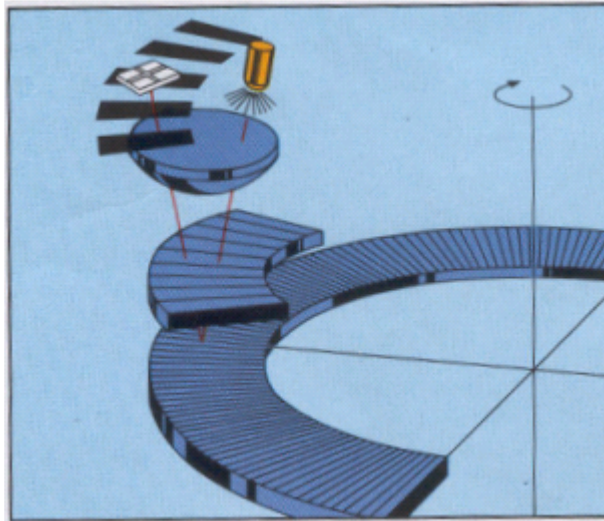
### 3.12.1 Medición automática en los limbos

Los instrumentos de este tipo que se encuentran en el mercado pueden poseer dos clases de codificadores que son los encargados de procesar la información obtenida de los círculos absolutos o incrementales.

Los codificadores absolutos presentan un patrón de código que garantiza una respuesta digital única para el incremento del desplazamiento. La serie de graduaciones diametralmente opuestas del círculo se proyectan juntas y por medio de un plato plano paralelo y se hacen coincidir con un micrómetro fotoeléctrico, que registra el apagado y encendido de la iluminación del círculo. La acción del micrómetro, la lectura y el almacenamiento del código del círculo, se llevan en un proceso y por último es evaluado el círculo de lectura burda para obtener el resultado final.

Los codificadores incrementales trabajan bajo un principio de conteo entre el inicio y el final del desplazamiento total del limbo, es por esta razón que en esta clase de sistemas es necesario conocer el valor del inicio de medición. Todo el conjunto se encuentra compuesto de una fuente de luz infrarroja, una lente, dos pares de fotodiodos<sup>3</sup> diametralmente opuestos, uno de ellos fijo que es el que representa el punto de ceros en la escala, el otro gira solidario con el telescopio. Durante el proceso de medición el círculo se encuentra iluminado por dicha luz que luego de atravesar la lente y la trama analizadora llega a la trama del círculo, donde es reflectada y proyectada sobre los fotodiodos que registran las continuas interrupciones causadas por las tramas graduaciones, generándose así una onda cuadrada en el fotodiodo. El ángulo final es derivado de dos mediciones; la medición burda y la medición fina, la primera se obtiene del conteo del número de graduaciones desde que la marca de referencia pasa por el primer fotodiodo hasta antes de que la misma marca pase por el segundo fotodiodo, la segunda se extrae de la diferencia de fase entre las ondas en los dos fotodiodos; este proceso se lleva a cabo en forma simultánea en los dos pares de fotodiodos para eliminar los errores de excentricidad del círculo.

<sup>3</sup> Fotodiodos: son sensores fotosensibles que exploran el círculo



*Figura 28. Tomada de Folletos Wild*

Dado que el sistema de medición de ángulos es incremental, los círculos no llevan ni códigos ni números. Antes de comenzar la medición se pone el círculo horizontal en ceros o a un valor de libre elección haciendo uso del teclado, que también permite indicar ángulos tanto en sentido horario como viceversa.

Un ejemplo de este sistema se puede encontrar en el teodolito wild T2002 el cual permite medir ángulos a la décima de segundo ( $0.1''$ ), con un error medio cuadrático de  $0.5''$ .

### ***3.13 Fuentes de error en trabajos con tránsito y estación total***

Los errores que se cometen cuando se está trabajando con tránsito, teodolito o estaciones totales se deben a imperfecciones instrumentales, fenómenos naturales o limitaciones personales, véamolos con detenimiento.

#### **3.13.1 Errores Instrumentales**

**Los niveles de alidada están desajustados:** Si las directrices de los niveles de la alidada no son perpendiculares al eje vertical, este último no estará en posición correcta cuando se hallen centradas las burbujas de dichos niveles. Esta condición ocasiona una inclinación del eje vertical, introduciendo un error en los ángulos medidos, tanto horizontales como verticales, que no pueden eliminarse promediando lecturas con el anteojo en posición directa o inversa cuando se miden ángulos horizontales. En el caso de los ángulos verticales estos errores varían con la dirección en que se apunte el instrumento, para eliminar el error es necesario observar el error de índice vertical para cada visual.

**La línea de colimación no es perpendicular al eje horizontal:** Si se presenta esta condición, al invertir el anteojo para realizar una visual atrás o hacia delante, esta línea genera un cono cuyo eje coincide con el eje horizontal o de alturas del instrumento, como por ejemplo cuando se van a prolongar líneas o para medir ángulos de deflexión. Así mismo, cuando el ángulo de inclinación de la visual hacia atrás no es igual al de la visual hacia delante, los ángulos horizontales medidos serán incorrectos. Estos errores se eliminan con un doble centrado (en el caso de la prolongación de una recta), o promediando números iguales de lecturas en posición directa o inversa.



**El eje horizontal no es perpendicular al eje vertical:** Esta situación hace que la línea de colimación describa un plano inclinado al invertir el anteojo y, por tanto, si las visuales hacia atrás y hacia delante tienen ángulos diferentes de inclinación, originan ángulos horizontales con error. Los errores por esta causa pueden eliminarse promediando un número igual de lecturas directas e inversas.

**Error de índice en el círculo vertical:** Cuando el eje de la visual es horizontal, debe leerse un ángulo vertical de cero grados o un ángulo cenital de  $90^\circ$  o de  $270^\circ$ ; de otra manera se tiene un error de índice, igual se presenta cuando se está midiendo un ángulo horizontal. Este error puede eliminarse calculando la medida de un número igual de ángulos verticales (o cenitales) leídos en los modos directo e inverso.

**Excentricidad de los centros:** esta condición se presenta cuando el centro geométrico del círculo graduado horizontal (o vertical) no coincide con su centro de rotación. Los errores debido a estos por lo general son pequeños. En los tránsito, las lecturas en el círculo vertical no pueden corregirse cuando se tienen este tipo de error.

**Errores por graduación imperfectas de los de los círculos:** Si las graduaciones alrededor de la circunferencia de un círculo horizontal o vertical no son uniformes, se obtendrán medidas angulares erróneas. Por el común estos errores son muy pequeños, pero en trabajos de alta precisión pueden reducirse a una magnitud despreciable distribuyendo las lecturas en el círculo graduado (método de repeticiones o reiteraciones).

**Excentricidad de los círculos o verniers:** Si las lecturas en los verniers A y B difieren exactamente  $180^\circ$  en todas las posiciones, los círculos son concéntricos y los verniers están en su posición correcta. Si las lecturas difieren una cantidad constante diferente de  $180^\circ$ , los verniers están desalojados y es mejor usar solamente el vernier A. Si la diferencia no es constante existe excentricidad de los platos. Las lecturas deben tomarse en varias posiciones del círculo y promediarse los resultados de los verniers A y B.

### 3.13.2 Errores Naturales

**Viento:** El viento hará vibrar el tránsito y moverá su plomada. Es necesario proteger el instrumento con un resguardo y hasta suspender las observaciones en trabajos de precisión cuando hay días de viento. En estos casos ayuda mucho la plomada óptica.

**Cambios de temperatura:** Las diferencias de temperatura ocasionan dilatación desigual de diversas partes del instrumento. Esto ocasiona que las burbujas se desplacen o se presente una expansión desigual del telescopio, lo que puede conducir a observaciones erróneas.

**Refracción:** La refracción desigual desvía la visual y puede ocasionar una ondulación aparente en el objeto observado. Es conveniente mantener la línea visual bastante arriba del terreno y evitar dirigir visuales muy próximas a edificios, chimeneas y hasta arbustos grandes aislados en espacios generalmente abiertos.

**Asentamientos del trípode:** El peso de un teodolito o un nivel fijo puede ocasionar que se claven o penetren demasiado las patas de un trípode en terreno blando. Cuando en un trabajo hay que cruzar por terrenos pantanosos deben hincarse estacas para sostener las patas del trípode, y el trabajo en cada estación debe realizarse en el tiempo más corto posible.

### 3.13.3 Errores Personales

**El instrumento no esta centrado exactamente sobre el punto:** Esta situación produce un error en todos los ángulos medidos desde un mismo punto cuya magnitud varía con la dirección y inversamente a la longitud de la misma. Debe verificarse a intervalos la posición de la plomada común o de la plomada óptica, para asegurarse que permanecerá centrada y que el instrumento esta precisamente sobre el punto.

**Las burbujas de los niveles no están perfectamente centradas:** Deben revisarse las burbujas con frecuencia, pero NUNCA se debe renivelar entre una visual hacia un punto inicial y hacia un punto final.

**Uso incorrecto de los tornillos de fijación y los tornillos tangenciales:** El observador debe formarse buenos hábitos de manipulación y ser capaz de identificar los diversos tornillos fijadores y los tangenciales, al tacto y sin tener que mirarlos. El ajuste final de los tornillos tangenciales se hace siempre con un giro positivo para evitar el resorteo. Los tornillos de fijación deben apretarse solo una vez y no tocarlos de nuevo para asegurarse que están bien apretados.

**Enfoque deficiente:** Para que no haya error por paralaje es necesario enfocar correctamente el ocular sobre los hilos reticulares y el objetivo sobre un punto visado. Los objetos a visar deben situarse lo más cerca posible del centro del campo visual.

**Visuales dirigidas con demasiado cuidado:** El verificar y volver a revisar la posición del ajuste de la retícula sobre una mira es una pérdida de tiempo y produce resultados menos eficaces que los de una observación rápida.