

cónica, que es prolongación de la lateral del limbo que tiene la misma forma; esta disposición hace más cómoda la observación de las divisiones, que se facilita con la ayuda de una lente.

La plancha inferior forma cuerpo con una columna cilíndrica  $d$ , perpendicular á ella; esta columna es hueca y recibe en su interior otra también cilíndrica dispuesta perpendicularmente á la plancha superior, y en el centro de la misma; pudiendo así girar ambas planchas alrededor de un eje común, ya unidas, ya independientemente la una de la otra, y en ambos casos con movimiento rápido ó lento á voluntad. Para que giren unidas se aprieta el tornillo de presión  $a'$ ; y se hace uso del sistema de tornillos  $a$  y  $c$  (107): este movimiento puede también servir para hacer girar á la placa inferior independientemente de la otra, aflojando previamente el tornillo  $a'$ ; pero esto se ejecuta raras veces, y no es indispensable para los usos á que se destina el teodolito.

Fijo el tornillo  $a$ , se puede hacer girar á la plancha superior por el sistema de los  $a'$  y  $c'$ .

Sobre la plancha superior, y participando de todos sus movimientos, se halla una brújula cuyo centro está en el eje de rotación de las planchas, dos niveles de aire cuyos ejes son perpendiculares entre sí, y los cuales se hallan provistos de tornillos de corrección particular, así como también dos caballetes sobre los que se apoyan los extremos de un eje paralelo al plano de la plancha. Alrededor de este eje gira un limbo semicircular graduado, perpendicular á él en su punto medio. El canto exterior de este limbo, que sirve para la determinación de los ángulos de elevación y depresión, es dentado y engrana con un piñón que da movimiento al limbo. Este piñón, que está oculto en la proyección vertical y se proyecta horizontalmente en  $v$ , se apoya en una pieza  $h$ , en la cual está también el nonius del limbo zenital. La plancha del nonius puede correr lateralmente cierto espacio, aflojando los tornillos que la sujetan; con este objeto las ranuras por las cuales pasan estos tornillos son bastante prolongadas lateralmente.

Paralelamente al diámetro ( $0 - 180^\circ$ ) del limbo zenital é invariablemente unida á él, se halla una regla  $f$  sobre la cual se elevan dos soportes que terminan en los collares de un anteojo astronómico, el que puede girar dentro de ellos alrededor de su eje de figura; los collares se cierran por unas clavijas  $g$ .

El retículo del anteojo en el teodolito tiene por lo regular tres cerdas; una está destinada á ocupar la posición horizontal, y las

otras dos forman un ángulo agudo, cuya bisectriz es perpendicular á la primera cerda.

Un nivel  $m$  unido al anteojo por su parte superior, y más generalmente por la inferior como representa la figura, puede variar de inclinación con respecto á él por el movimiento de los tornillos  $r$ : otros tornillos  $z$ , dobles para cada extremo del tubo del nivel, sirven para hacer variar lateralmente la dirección de su eje.

La columna  $d$  termina por su parte inferior en una placa paralela á la plancha del limbo azimutal. Esta placa es á la vez la superior de una plataforma de cuatro tornillos  $t$  (126): la placa inferior de la misma se atornilla á la rosca en que termina el tripode (132).

La caja en que se transporta el instrumento encierra además un segundo ocular con lentes azules para las observaciones solares, la plomada, un destornillador, y una palanca para mover los tornillos de corrección.

215. Los teodolitos de mayores dimensiones que el modelo descrito, tienen un tercer sistema de tornillos de presión y de coincidencia destinado á los movimientos del limbo zenital, en vez del engranaje que lleva el citado modelo; y en los más modernos la plataforma es de tres tornillos (129). Un segundo anteojo, llamado *de prueba*, puede fijarse á la columna  $d$  ó girar alrededor de ella, por un sistema de tornillos de presión y de coincidencia. Tiene además cada anteojo un segundo ocular que le convierte en anteojo terrestre. Un segundo microscopio está dispuesto para la lectura de las divisiones del limbo y nonius zenitales.

216. *Graduación del instrumento.*—Los limbos azimutal y zenital están divididos en grados y medios grados, y los nonius correspondientes aprecian minutos (114), ó en tercios de grado con una apreciación de  $20''$  (119).

El sentido de la graduación es el de izquierda á derecha; y el limbo zenital presenta dos graduaciones que parten del cero situado en la parte inferior, y crecen á derecha é izquierda hasta  $90^\circ$ .

En la parte posterior del limbo zenital hay otra graduación que da la *diferencia entre la hipotenusa*  $AB$  (fig. 30; lám. 1) y la *base*  $AC$  del triángulo rectángulo que forman estas líneas con la vertical  $BC$ , cuando la primera tiene una longitud de 100 metros.

217. **Verificaciones y correcciones.**—1.<sup>a</sup> *Que el eje óptico del anteojo coincida con su eje de figura ó de rotación dentro de los*

*collares*.—Se sujetan todos los tornillos para que el anteojo no pueda tener otro movimiento que el de rotación dentro de los collares, y se corrige la posición de la cerda horizontal y de la bisectriz de las inclinadas, como hemos explicado (94).

218. 2.<sup>a</sup> *Que el eje de rotación del instrumento sea vertical*.—Se sigue un procedimiento análogo al que hemos dado á conocer (181), disponiendo uno de los niveles de la plancha superior en direcciones paralelas á la recta que determinan dos tornillos opuestos de la plataforma y corrigiendo las desviaciones de la burbuja, mitad por los tornillos de corrección particular del nivel y mitad por los que antes hemos considerado en la plataforma. Colocando después el mismo nivel en la dirección de los otros dos, se le horizontala por ellos, con lo que el eje de rotación será vertical (181). Hecho esto, se hace desaparecer la desviación que puede existir en el segundo nivel de la plancha superior, empleando para ello el solo movimiento de sus tornillos de corrección particular.

Si el instrumento está provisto (215) de un tornillo de aproximación para el movimiento del limbo zenital, puede empleársele ventajosamente para la aplicación del procedimiento anterior observando el nivel unido al anteojo, y corrigiendo después particularmente los de la plancha superior.

219. 3.<sup>a</sup> *Paralelismo del eje del nivel superior y el eje óptico del anteojo*.—Se da á este último la posición horizontal (186), dirigiendo la visual á un punto, sacando el anteojo de los collares para colocarle de nuevo en ellos invertido, dándole una semi-revolución alrededor del eje vertical, y observando el punto en que va á parar la visual en la vertical del primero; después se mueve el anteojo por el tornillo *v* (214) ó por el de coincidencia del limbo zenital (215), hasta que vaya á cubrir al punto equidistante de los dos primeros, en cuyo caso será horizontal: entonces se lleva la ampolla del nivel á su mitad por los tornillos *r* de corrección particular.

Por la corrección hecha sólo se consigue situar el nivel en un plano paralelo al eje del anteojo; pero entonces puede ó no serlo perfectamente paralelo, considerados los ejes en el espacio: nos cercioraremos de que lo es, dando al anteojo dentro de los collares todo el giro que permita observar la burbuja del nivel, y viendo si equidista constantemente de las marcas del tubo; corrigiendo en caso contrario la posición del eje del nivel por los tornillos *z* que le mueven lateralmente.

En efecto, cuando el nivel *mn* (fig. 95, lám. 4) está sujeto á girar alrededor de un eje de rotación *ab*, el eje del nivel que le es exactamente paralelo, ocupa en el giro las distintas posiciones de la generatriz de una superficie cilíndrica, cuyo eje es *ab*, siendo por lo tanto paralelas y horizontales: la ampolla ocupará por esta razón en todas ellas el punto medio del tubo, siendo en nuestro caso, el eje de rotación el eje óptico del anteojo. Pero si el eje del nivel es oblicuo al de rotación, la superficie engendrada es un *hiperboloide de revolución* de una hoja, y la ampolla variará continuamente de posición durante el giro, variando también la inclinación de la generatriz.

El método expuesto, es por lo tanto, el que se emplea para cerciorarse del *paralelismo del eje del nivel con su eje de rotación*.

220. El paralelismo de los ejes á que nos referimos puede obtenerse antes de la verticalidad del eje colocando el plano del limbo zenital en la dirección de dos tornillos de la plataforma, horizontalando por ellos el nivel y viendo si la ampolla marca la horizontal, después de haber sacado el anteojo de los collares y haberle colocado de nuevo en ellos invertido con relación al collar que ocupaba cada uno de sus extremos en la posición primera; la corrección necesaria si el nivel no queda horizontal, se efectúa con sus tornillos de corrección particular y los que hemos considerado en la plataforma. Se funda este procedimiento en lo que hemos expuesto (51).

221. 4.<sup>a</sup> *Que el plano descrito por el eje óptico del anteojo sea perpendicular al eje de rotación del limbo zenital*.—Esta circunstancia exige que el eje de rotación sea horizontal, lo que tendrá lugar cuando sea paralelo á las planchas de los nonius. Nos aseguraremos de que así se verifica, dirigiendo la visual á una plomada, haciendo que el cruzamiento de las cerdas del retículo cubra uno de sus puntos, y viendo si cubre á los demás girando en el plano que describe alrededor del eje de rotación á que nos referimos (104). La corrección, que es innecesaria generalmente por la esmerada construcción del instrumento, sólo puede tener lugar en algunos teodolitos en que los soportes del eje del limbo zenital están dispuestos sobre una placa, que puede variar de posición relativamente á la plancha superior, con el auxilio de unas roldanas de tuerca que se ponen en movimiento por medio de una palanqueta.

222. 5.<sup>a</sup> *Que el cero del nonius coincida con el del limbo zenital cuando el nivel, y por consiguiente el eje óptico del anteojo, sea hori-*

*zontal*.—Si hechas las correcciones anteriores no existe la coincidencia de los ceros, se aflojan los tornillos que sujetan la plancha del nonius, y se la corre hasta lograr la coincidencia exacta, apretándolos de nuevo. Si no puede hacerse esta corrección, se tiene en cuenta el error de desviación al apreciar los ángulos verticales; sumándole ó restándole de todos ellos, según el sentido de la misma y el del ángulo que se lee.

Si el nonius marca, por ejemplo, 12' subiendo cuando el nivel está horizontal, será preciso restar esta cantidad de todos los ángulos de elevación y aumentarla á todos los de depresión. Lo contrario habría que hacer si el ángulo de error fuese bajando.

223. **Usos del teodolito.**—El teodolito se emplea para la medida de los ángulos azimutales, horizontándole por los tornillos *t* (fig. 94, lám. 4); para lo cual se dispone cada uno de los niveles de la plancha superior paralelamente á la dirección de dos tornillos opuestos, y se horizontala alternativamente cada nivel por los tornillos que determinan la indicada dirección paralela: con lo que las planchas quedan horizontales (127). La plataforma de tres tornillos se horizontala como hemos dicho (180), moviendo alternativamente los dos que son paralelos á uno de los niveles de la plataforma y el tercero que sirve para la horizontalidad del otro nivel, sin tener que dar giro alguno á las planchas del teodolito. Para medir un ángulo (112) se hace la coincidencia del cero de uno de los nonius con el del limbo azimutal, y en esta disposición se dirige primeramente la visual al objeto de la izquierda, empleando para ello el sistema de tornillos *a*, *c* y el piñón que mueve el limbo zenital, ó bien el sistema análogo dispuesto para el movimiento de la alidada: fijo el limbo entonces por el tornillo de presión *a*, se afloja el *a'* para dirigir la alidada con la plancha de los nonius al objeto de la derecha, empleando ahora el sistema de los tornillos *a'* y *c'* juntamente con los de movimiento del limbo zenital.

Puede también obtenerse la medida del ángulo sin la previa coincidencia de los ceros (133), y con más exactitud en caso necesario, tomando el término medio de las lecturas obtenidas en los nonius (135).

Se comprueban aproximadamente los ángulos por medio de los rumbos, y se orientan las líneas, valiéndose de la brújula; para todo lo cual se debe disponer el anteojo entre los collares de modo que el objetivo esté á la parte que corresponde al Norfe en el limbo de la brújula.

224. Medido el ángulo y aflojando el tornillo de presión *a*, puede dirigirse de nuevo la alidada al objeto de la izquierda, exactamente lo mismo que cuando los ceros coincidían, y obtenerse (137) el duplo y los demás múltiplos del ángulo. Y cuando el instrumento tiene anteojo de prueba, se puede aplicar el procedimiento que se llama de los múltiplos pares.

Con el teodolito se obtienen también las vueltas de horizonte (80), sirviendo el anteojo de prueba para dirigirle á un punto fijo lejano en cada posición del limbo, y asegurarse de que no ha tenido éste movimiento alguno durante los que se dan á la alidada para dirigirla á los diferentes puntos de observación.

225. Los ángulos verticales se obtienen como con la brújula de limbo zenital (180), leyendo los ángulos de elevación en la graduación que está á la parte del ocular, y los de depresión en la que se halla á la del objetivo del anteojo, apreciando siempre los minutos en la graduación que se halla en el sentido de la correspondiente del limbo (117).

226. *Reducción de las distancias al horizonte.*—Puede obtenerse esta reducción observando la graduación posterior del limbo zenital. Supongamos que la recta dada tiene 120<sup>m</sup>,4 de longitud, y que su pendiente es 10° 26' (71): observando la graduación indicada, veremos que marca 1,52 próximamente; hallaremos entonces la diferencia correspondiente á la distancia dada, por la proporción

$$100 : 1,52 :: 120,4 : x = 1,830;$$

y restando este resultado de la distancia medida, se obtiene también 118<sup>m</sup>,57 para la reducida al horizonte.

227. **Límites del empleo del teodolito.**—Hallando la tangente de 20'', que es 0,00009696, y sustituyéndola en la fórmula [22] (210), resulta para la escala de  $\frac{1}{5000}$  la distancia de

$$10313^m,5, \text{ y la de } 20627^m \text{ para la de } \frac{1}{10000},$$

cuando el nonius aprecia de 20 en 20''. Respecto á la apreciación de minutos, los límites son los mismos del grafómetro.

228. **Empleo de los instrumentos angulares en el trazado de las alineaciones.**—La determinación de los puntos intermedios en el trazado de una recta cuyos extremos son dados, se facilita extraordinariamente y se hace con más exactitud, emplean-

do cualquiera de los instrumentos angulares que tienen un anteojo susceptible de moverse en un plano vertical, como la brújula de limbo zenital, el teodolito y la alidada de anteojo cuando se hace uso de la plancheta. Para ello se coloca el instrumento en estación en uno de los puntos extremos de la alineación, se dirige la visual al otro, é impidiendo todo movimiento que no sea el del anteojo en sentido vertical, se colocan en la alineación á partir de este segundo extremo y haciendo señales convenidas de antemano al auxiliar de la operación, los jalones intermedios que sean necesarios, haciendo que sus pies coincidan sucesivamente con la dirección de la visual.

También puede resolverse este problema con las alidades de pinulas, cuando la alineación es de corta extensión.

229. **Determinación de la meridiana astronómica por medio del teodolito.**—Sea M (fig. 96, lám. 4) el punto en que se quiere trazar la meridiana, y ABCD el limbo horizontal del teodolito, dispuesto de manera que su centro se halle en la vertical del punto M, y supongamos que la operación se practica á las nueve de la mañana. Presentando el observador su hombro derecho al sol, tendrá á su derecha el Oriente ó Este, á su izquierda el Poniente ú Oeste, á su frente el Norte y á su espalda el Sur, estando representada por la curva *EabcO* la marcha del sol en su movimiento aparente. Disponiendo también el observador el cero del limbo horizontal á su izquierda en una posición cualquiera, tal como la AC, se dirigirá la visual al astro y se tomará el ángulo horizontal *AMa*, que supondremos sea de  $125^{\circ} 20'$ , y el vertical correspondiente al mismo punto, que supongamos sea de  $25^{\circ} 30'$ . Anotados estos ángulos, como desde las nueve hasta las doce van tres horas, se dejará pasar otro tanto tiempo, es decir, hasta las tres de la tarde, y volviendo á dirigir la visual al sol, conservando en el instrumento el mismo ángulo vertical de  $25^{\circ} 30'$ , se esperará á que el sol descienda hasta descubrirle por el anteojo, y se tomará el nuevo ángulo horizontal *AMc*; que supongamos sea de  $85^{\circ} 16'$ . Restando este ángulo del *AMa* =  $125^{\circ} 20'$ , se tendrá el ángulo *cMa* de  $40^{\circ} 4'$ , y tomando su mitad resultará el *cMb* de  $20^{\circ} 2'$ . Se añadirá este valor al del ángulo *AMc*, que tenía  $85^{\circ} 16'$ , y resultará el *AMb* de  $105^{\circ} 18'$ , que tomándole en el teodolito y plantando jalones en la dirección de la visual *Mb* (228) dirigida por el anteojo, se tendrá trazada en el terreno aproximadamente la meridiana NS del punto M.

En la práctica, para hallar por este método la meridiana, que se llama por *las alturas de sol correspondientes*, se tomarán varias alturas de sol por la mañana y sus correspondientes por la tarde, con el fin de hallar el término medio de los resultados obtenidos, lo que dará la meridiana con más exactitud, y también pudiera suceder, si se tomase una sola altura por la mañana, que un obstáculo cualquiera, como una nube, un pico elevado de una montaña ó algún árbol frondoso, impidiesen tomar la altura correspondiente de la tarde.

Para dirigir las visuales al sol se hará uso del cristal oscuro que lleva el teodolito (214), y en las observaciones se colocará el disco tangente á los lados de los ángulos que forman los hilos del retículo.

230. **Instrumentos empleados en la medida indirecta de las alineaciones.—Estadia.**—Un anteojo astronómico, con un retículo de dos cerdas paralelas fijas ó de distancia variable, constituye este *telemetro* (48), para cuya explicación supongamos que sea AB (fig. 97, lám. 4) un objeto, cuya imagen *ab* se forma en el foco de la lente objetivo L, que suponemos sea el *h*, y que en los puntos *a* y *b* se proyectan los hilos del retículo, situados en un diafragma. Sean además *d* y *d'* las distancias del objeto y de su imagen al centro óptico *o* de la lente, y *m* el ángulo micrométrico formado por las rectas tiradas por los extremos del objeto y el centro óptico *o* de la lente. La semejanza de los triángulos *oAB*, *oab* nos dará  $AB : ab :: d : d'$ ; de la que se deduce

$$d = \frac{d'}{ab} \times AB.$$

Si suponemos constante á la relación  $\frac{d'}{ab}$ , lo que tiene lugar sensiblemente para los objetos muy lejanos, no habrá más que multiplicar esta razón por la magnitud AB interceptada en la mira, para tener la distancia que se busca.

Sea, por ejemplo,  $0^m,004$  la separación de los hilos del micrómetro, y  $0^m,4$  la distancia *d*; se tendrá

$$d = 100 \times AB; \quad [23]$$

y para una longitud de  $2^m,37$ , por ejemplo, interceptada en la mira, la distancia que se trata de medir será de  $237^m$ .

231. La aplicación de esta fórmula está muy lejos de ser exac-

ta, dependiendo del valor de  $d'$ , cantidad variable con la distancia al objeto AB.

Para atenuar el error en lo posible se gradúa la mira, colocándola á una distancia media de las que su longitud permite apreciar con el micrómetro.

232. Además de esta causa de error, hay otra que proviene de que el ángulo visual ó micrométrico varía con el tiro del ocular (92); y como éste es diferente por lo general para dos observadores que traten de hallar la longitud de una misma distancia, claro es que no deberá nunca emplearse la estadia sin haber dispuesto convenientemente las cerdas del retículo, si son variables de posición, ó de haber dividido la regla en caso contrario.

Para lo primero, después de haber medido exactamente en un terreno horizontal una alineación de 100 metros, por ejemplo, se observa con la estadia desde uno de sus extremos una regla dispuesta verticalmente en el otro, y se marca la parte interceptada en ella por las cerdas, la cual se divide en 100 partes iguales, cada una de las cuales corresponderá á un metro de distancia horizontal.

Para lo segundo se hará la misma observación, haciendo uso de una regla dividida y moviendo el tornillo que separa ó acerca una de las cerdas del retículo á la otra, hasta que el ángulo visual intercepte en la regla la distancia que en ella marca los 100 metros. Esta distancia puede ser la magnitud real del metro, en cuyo caso cada centímetro de la regla corresponde á un metro de la distancia horizontal, y apreciando en la regla los milímetros, se llevará hasta decímetros la apreciación de las distancias.

233. **Uso de la estadia.**—Se disponen en los extremos de la alineación la estadia y la regla, como hemos indicado para la corrección (232), y la simple lectura de la parte interceptada en el reglón dará (230) la medida de la distancia entre ambos extremos. Se hace uso de este instrumento con preferencia, cuando dichos extremos son accesibles, pero existe entre ellos un obstáculo como una laguna ó un río que no se puede atravesar.

234. **Reducción de las distancias al horizonte por medio de la estadia.**—Cuando la recta que se trata de medir es inclinada como la AB (fig. 98, lám. 4), sería preciso colocar la mira en una posición Bc, perpendicular á ella; pero como sería difícil conseguirlo con la prontitud y la exactitud necesarias, se la coloca verticalmente, obteniendo una lectura Bb que designaremos

por M. Esta lectura no es la verdadera Bc ó  $m$ , la cual se obtiene observando que en razón á que el ángulo  $dcB$  es poco diferente de  $90^\circ$  por la pequeñez del ángulo micrométrico  $d$  en el triángulo  $dcB$ , resulta en el Bbc

$$m = M \cos. a; \quad [24]$$

siendo  $a$  el ángulo formado por las dos posiciones de la regla, igual al ABC que indica la pendiente de la recta dada, por tener el mismo complemento.

Si representamos ahora respectivamente por L y  $l$  la recta AB y su proyección CB, se tiene también

$$l = L \cos. a;$$

y poniendo en vez de L su valor representado por  $m$  en la ecuación [24], se tendrá

$$l = M \cos.^2 a; \quad [25].$$