

197. **Usos de la plancheta.**—Se emplea este instrumento en la determinación gráfica de los ángulos (113), orientando la plancheta (195) con respecto al vértice O (fig. 50, lám. 2), y á uno de sus lados OM, y dirigiendo después la alidada al extremo N del otro lado. Del mismo modo que para M y N podrían determinarse las direcciones de O á otros puntos en una vuelta de horizonte (80). A veces basta obtener una orientación aproximada, con el objeto de evitar los tanteos que hemos indicado, originándose un error de excentricidad que no tiene influencia apreciable en el valor del ángulo, atendiendo al corto espacio en que puede tener lugar relativamente á la longitud de las rectas que en el terreno se consideran.

198. Disponiendo verticalmente el tablero de la plancheta y una recta trazada en él con el auxilio de la plomada, pueden obtenerse también los ángulos zenitales y deducirse los de elevación y depresión (81).

199. **Escuadra ó cartabón.**—Se llama *escuadra ó cartabón* á un instrumento que tiene por objeto determinar en el terreno alineaciones perpendiculares entre sí. De las varias disposiciones que se dan á este instrumento, las más usadas son la *escuadra prismática* (fig. 87, lám. 4) y la *cilíndrica* (fig. 88, lám. 4). Consta la primera de un prisma octogonal regular, con pínulas opuestas que determinan dos planos perfectamente perpendiculares entre sí, llamados *planos de colimación*. Las caras laterales del prisma, situadas entre las que van provistas de pínulas, lo están de unas hendiduras longitudinales, determinando así los planos bisectores de los ángulos diedros formados por los primeros, pudiendo obtenerse, por lo tanto, con la escuadra ángulos de 90, de 45 y de 135°.

Cuando la escuadra lleva en su parte superior una brújula, ésta se halla dispuesta de modo que la línea *Norte-Sur* de la caja está en el plano vertical de dos pínulas opuestas.

La escuadra cilíndrica está igualmente dividida por planos que pasan por el eje de figura del instrumento, así como lo está otra escuadra de forma *esférica*, que también se usa, por planos que son meridianos de la superficie, y que forman entre sí los mismos ángulos que en las otras escuadras.

Un mango hueco une el instrumento á la espiga de un bastón ó chuzo, que puede clavarse en el terreno.

Sería conveniente que la escuadra se moviese independiente-

mente del mango, lo que se consigue en las escuadras modernas haciendo que el cuerpo de la escuadra se una con el mango por medio del tornillo *t* (fig. 52, lám. 2), que está fijo á la parte superior *m* de este último; y unido como acabamos de indicar, puede girar con la pieza *m* alrededor de un eje *rs*, que forma cuerpo con la pieza inferior *n* del mango, la cual se puede afirmar á la espiga del chuzo ó á la de un trípode por el tornillo de presión *p*.

200. **Problemas que se resuelven con la escuadra.**—Con las escuadras se pueden resolver los dos problemas siguientes:

1.º *Formar un ángulo recto en un punto dado de una recta ó levantar una perpendicular á esta última.*

Se fija el instrumento verticalmente en el punto dado C (fig. 89, lám. 4), moviéndole alrededor de su eje hasta que el plano de colimación determinado por la hendidura *b* y la cerda *a* se halle en el plano vertical de AB, lo que tendrá lugar cuando la visual vaya á parar exactamente al punto A. Se mirará después por la hendidura *m* y se hará colocar un jalón D, que quede cubierto por la cerda *n*, haciendo señas á izquierda y derecha hasta conseguirlo, en cuyo caso, con una nueva seña se mandará clavar el jalón de modo que se halle vertical, con lo cual los puntos C y D pertenecerán á la perpendicular pedida, por ser AB y CD las trazas sobre el terreno de los planos de colimación de la escuadra, perpendiculares entre sí por construcción.

De un modo análogo se obtiene el ángulo de 45°.

2.º *Desde un punto dado fuera de una recta, tirar otra que forme con ella un ángulo recto, ó bajarle una perpendicular.*

Se busca por tanteos un punto C de la recta AB, desde el cual las visuales dirigidas sucesivamente desde *b* y *m* vayan á parar exactamente á los jalones situados en los puntos A y D.

201. Puede además determinarse el rumbo de la recta AB, en la que se halla el cero *a* del limbo de la brújula, observando el valor del arco *as* (164).

202. **Verificaciones y correcciones.**—Consisten las verificaciones en cerciorarse de que los planos verticales de las pínulas, así como los de las hendiduras, se cortan á ángulo recto; y si además los ocho ángulos que estos planos forman entre sí son de 45°.

Para lo primero, se observará con la escuadra, que supondremos descorregida, un punto *r'* (fig. 14, lám. 2), y haciendo que la alidada *ab* tome la posición de la *cd*, para lo cual tiene que reco-

rrer el arco m , esta última pasará á ocupar la $a'b'$, recorriendo el arco $m' = m$, y la visual irá á parar á otro punto distinto r'' . Podrá entonces corregirse la alidada, si la disposición del instrumento lo permite, haciendo (98) que $a'b'$ pase á la posición ax , ó de no ser así, será preciso hallar el punto r equidistante de r' y r'' , que determinará con el de estación t la perpendicular á cd .

Cuando la visual termina en el mismo punto en ambas posiciones de la escuadra, los planos de colimación son exactamente perpendiculares entre sí.

203. El procedimiento que acabamos de emplear para la corrección, sirve además para resolver el problema 1.º (200) con una escuadra descorregida.

204. Puede también bajarse análogamente una perpendicular á una recta desde un punto dado exterior á ella, aplicando el procedimiento explicado (200 — 2.º), haciendo coincidir sucesivamente con la recta los dos planos de colimación, y hallando el punto medio de la porción de recta comprendida entre los dos puntos así determinados, el cual será el pie de la perpendicular pedida.

205. Con respecto á las hendiduras que determinan los ángulos de 45º, puede trazarse un ángulo recto con las pínulas ya rectificadas, tomar longitudes iguales en sus lados, y colocando en uno de sus extremos el cartabón, orientarle con un jalón situado en el vértice del ángulo recto, y ver si la visual tirada por las hendiduras próximas va á parar á un segundo jalón dispuesto en el extremo de la otra distancia medida.

206. **Grafómetro.**—Es un goniómetro por medio del cual se obtiene la *amplitud* ó el valor en grados de los ángulos formados por las líneas que se consideran en el terreno. Consta de un limbo semicircular (l, l') (fig. 90, lám. 4) de doble graduación en grados y medios grados. Dos pínulas (a, a') (b, b') fijas á las extremidades de la regla m , constituyen con ella una alidada fija. Otra alidada (n, n') giratoria alrededor del centro del limbo, lleva en las extremidades de su regla los nonius que aprecian minutos (114). Cada uno de los nonius sirve sólo para una de las graduaciones del limbo.

A este último acompaña una brújula cuyo limbo está ordinariamente dividido de 2 en 2º, y algunos grafómetros llevan además uno ó dos niveles situados en prolongación del plano del limbo.

La parte inferior del instrumento es una rodilla de juego de nuez.

207. **Usos del grafómetro.**—El grafómetro se emplea para la medición de los ángulos en el plano de los objetos (82), y también para la de los ángulos azimutales (79), y los de elevación y depresión; pudiéndose deducir de estos últimos los ángulos zenitales (81).

Los ángulos se miden en el plano de los objetos colocando el grafómetro en estación en el vértice, y moviendo á la vez el limbo por medio del juego de la rodilla, y la alidada móvil alrededor de su punto medio, hasta que la visual tirada por cada una de las pínulas vaya á parar á uno de los puntos en que terminan los lados del ángulo que se mide: leyendo después su valor en la primera ó en la segunda graduación (85), según que la alidada fija esté dirigida al objeto de la izquierda ó al de la derecha del observador.

Para la medida de los ángulos azimutales se dispone el limbo horizontalmente por medio de los niveles que le acompañan, ó por un nivel de mano (29) en caso contrario. En la práctica es suficiente la horizontalidad que proporciona la aguja de la brújula (164); procediendo en lo demás como hemos dicho (112).

Los ángulos de elevación y depresión se obtienen dando al plano del limbo una posición vertical por el movimiento de la rodilla, y haciendo al mismo tiempo que la línea (0º—180º) del mismo sea horizontal; todo lo cual se habrá conseguido cuando el centro C del limbo (fig. 91, lám. 4) y la división 90º queden cubiertos á la vez por el cordón de una plomada p , que se coloca delante del primero.

Con la plomada se juzga al mismo tiempo de la verticalidad dada al limbo, mirando á éste de canto, y observando si el cordón de la plomada queda paralelo á su plano.

Haciendo girar á la alidada móvil ab hasta dirigirla al punto M, extremo de la recta CM cuya pendiente se quiere determinar, el arco ma dará esta pendiente, que no es otra cosa que el ángulo de elevación MCn. El ángulo de depresión nCN, estaria medido por el arco nr .

208. También puede emplearse el grafómetro para hallar una línea que forme un ángulo dado con otra línea también dada. Bastará para ello colocarle en el punto de ésta que ha de ser vértice del ángulo, dirigir la alidada fija al extremo de la misma línea, y tomar en el limbo (116) el ángulo dado. Un jalón colocado en la

dirección que tiene entonces la alidada móvil determina con el punto de estación la línea pedida.

Cuando el ángulo así determinado es de 90°, la segunda recta es perpendicular á la primera, y cuando es de 180°, se hallan en prolongación una de otra.

209. **Verificaciones y correcciones.**—Las verificaciones y correcciones son las explicadas para los limbos (143), las cuales tienen en el grafómetro una aplicación completa.

210. **Límite del empleo del grafómetro.**—Supongamos que el arco rs (fig. 92, lám. 4) es el límite l' de la apreciación de los ángulos. Es evidente que en el espacio angular que comprenden las líneas ar , as indefinidamente prolongadas existen infinitos puntos, tales como el c , que determinan con a una recta ac , cuyo ángulo con ab no puede obtenerse con exactitud.

En efecto, el valor de este ángulo estará dado por el arco mr ó el ms , cometiéndose un error rl ó ts , que tiene por límite máximo l' . Este error produce una desviación en la dirección de la recta ac , que crece con la distancia, y vamos á determinar el límite máximo de la que puede mediar entre los puntos a y c en el terreno, para que al transportar el ángulo en una escala dada, la desviación dc en el plano sea menor que el límite $0^m,0002$ de las longitudes apreciables á la vista.

Para conseguirlo, supongamos que el triángulo adc es rectángulo, y tendremos:

$$ac = \frac{dc}{\tan. l'} = \frac{0^m,0002}{0,00029} = 0^m,68965; \quad [22].$$

magnitud que corresponde á 3450 ó á 7000^m próximamente en las escalas respectivas de $\frac{1}{5000}$ ó $\frac{1}{10000}$.

211. **Pantómetro.**—Este instrumento, conocido también con el nombre de *goniasómetro*, y debido á Fouquier, se compone de un cilindro (fig. 93, lám. 4) semejante al de la escuadra, y dividido en dos partes: la inferior está unida al trípode por medio de una rodilla de juego de nuez, y presenta en su superficie el limbo, que está dividido generalmente en grados, de derecha á izquierda; una hendidura corresponde al cero del mismo, y una ventanilla con su cerda á la 180, constituyendo ambas la alidada fija como en el grafómetro. Esta parte del instrumento se mueve alrededor de su eje

de figura dentro de las conchas de la rodilla, y se fija por el tornillo de presión de ésta. La parte superior del cilindro gira alrededor del mismo eje, é independientemente de la que lleva el limbo, por medio del tornillo t , fijo á esta parte, y provisto de un piñón cuyos dientes engranan con los de una rueda fija interiormente al cilindro superior. Este lleva el nonius n , y está provisto también de dos niveles tangentes en la base superior, y de una brújula dispuesta como la de la escuadra. Otra alidada cuya hendidura corresponde al cero del nonius, sirve de alidada móvil, y dos hendiduras determinan un plano perpendicular al de colimación de esta última alidada. El nonius está dividido en 30 partes, por lo que aprecia de 2 en 2' (119).

La pantómetro presenta otras disposiciones más sencillas que la que acabamos de describir, las cuales consisten en la supresión de los niveles ó de la brújula; y la más elemental se compone tan sólo de los cilindros y la rodilla.

212. **Usos, verificaciones y correcciones.**—Este instrumento se emplea para la medida de los ángulos azimutales, disponiendo verticalmente el eje del cilindro por medio de los niveles, y el juego de la rodilla: después se dirige la alidada fija al objeto de la derecha y la móvil al de la izquierda, observando el arco comprendido entre el cero del limbo y el del nonius, y que expresará el valor del ángulo (133).

Las verificaciones y correcciones son análogas á las del grafómetro (209).

213. **Límites del empleo de la pantómetro.**—Introduciendo en la fórmula (210) [22] el valor de la tangente del arco de 2', se obtienen análogamente los límites de 1700^m y 3500^m.

214. **Teodolito de Troughton.**—Este instrumento difiere en general del grafómetro y la pantómetro en la mayor apreciación angular y en los detalles de su construcción, que hacen del teodolito un goniómetro más á propósito que aquéllos, para los usos á que se les destina. Sirve para la medida de los ángulos azimutales y los de elevación y depresión; pudiendo deducirse de estos últimos los ángulos zenitales, aun cuando algunos permiten su determinación inmediata.

El teodolito más sencillo de este constructor se compone de dos placas superpuestas b (fig. 94, lám. 4); en la inferior está el limbo azimutal, y en la superior dos nonius n en unos rebajos practicados en el borde de la plancha, los cuales forman una superficie

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° .

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.^a *Que el eje óptico del anteojo coincida con su eje de figura ó de rotación dentro de los*