

relación al meridiano astronómico, haciendo girar al limbo (163) hasta que el estilo señale la graduación $19^{\circ} 20'$ que marca la declinación.

174. Cuando sólo se quiere conocer la diferencia de orientación de dos ó más brújulas, basta tomar con todas ellas el rumbo de una misma recta del terreno. Toda brújula que dé un rumbo mayor que la elegida para término de comparación, la cual es conveniente que sea una brújula orientada, indicará un error al Oeste, y será preciso restar este error de orientación de todos los rumbos que con ella se observen. Si, por el contrario, el rumbo de una brújula es menor, el error será al Este, y será preciso añadirle á los rumbos observados.

175. **Aplicaciones de la brújula.**—La brújula se emplea en la orientación de los planos, como veremos más adelante, determinando (164) el rumbo de una de las rectas que en él se consideran.

Haciéndola girar de Este á Oeste á partir de la posición *cero* de la aguja, en que determina la dirección de la meridiana, las divisiones del limbo que van enrasando con su extremo azul en el sentido de la graduación, dan los rumbos de cuantas rectas quieran considerarse en una vuelta de horizonte (80).

La diferencia de los rumbos de dos rectas da el ángulo que forman entre sí, afectado de un error de excentricidad (134), que es inferior al límite de apreciación del instrumento (164).

176. **Límites del empleo de la brújula.**—*Límite mínimo.*—El conocimiento de que el error de excentricidad disminuye á medida que aumenta la longitud de la recta cuyo rumbo queremos hallar, nos permite fijar la distancia á que corresponde un error de $5'$, que es el mayor que resulta de la lectura de los rumbos (164). Para distancias mayores, el error de excentricidad será inapreciable; y para ellas no hay necesidad de la corrección indicada (166). Despejando AB en la fórmula [71] (165), y haciendo en ella $B = 0^{\circ} 5'$, y $AC = 0^m, 11$, que es la excentricidad de las brújulas ordinarias, resultará

$$AB = \frac{0,11}{\text{sen. } 0^{\circ} 5'} = \frac{0,11}{0,0014544} = 75,63;$$

La longitud $75^m, 63$ es, pues, el *límite mínimo* que corresponde á la *longitud* que debe tener la recta cuyo rumbo queremos hallar.

177. *Límite máximo.*—El límite de apreciación (164) da lugar

también á un error de desviación en la construcción de los planos, que depende de la escala en que cada uno de estos se construye, y no debe exceder en la práctica de la distancia $0^{\text{mm}}, 2$, la cual se considera como el límite inferior de las que la vista puede apreciar. La desviación indicada es un cateto de un triángulo rectángulo que tiene por ángulo opuesto el valor $5'$, como límite máximo, y cuya hipotenusa x , que es la longitud máxima de las rectas en el plano, se halla por la expresión

$$x = \frac{0,0002}{\text{sen. } 0^{\circ} 5'} = \frac{0,0002}{0,0014544} = 0,1375;$$

Este valor de x representa en la escala de $\frac{1}{1000}$ la longitud de $137^m, 5$, que es la mayor que debe tomarse para una recta cualquiera del plano referida á la meridiana por medio de la brújula.

En las escalas de $\frac{1}{5000}$ y $\frac{1}{20000}$, los límites correspondientes son $687^m, 5$ y $2750^m, 0$.

La magnitud real de $0^m, 1375$, límite de las rectas en el plano, es poco diferente de la que tiene la aguja magnética en las brújulas ordinarias.

178. **Brújula de limbo zenital.**—Esta brújula difiere de la explicada (162) en la pieza de unión con el trípode, que es una plataforma de tres tornillos (129): lleva además fijo á la caja un nivel n (fig. 77, lám. 3) con sus tornillos de corrección b , un limbo dividido (l, l') susceptible de un pequeño movimiento por el tornillo de corrección r , que está á la parte posterior del instrumento representada en L, alrededor de un eje perpendicular á él, y fijo á la caja perpendicularmente á uno de sus costados. El tornillo r , semejante á los de ajuste ó coincidencia (107), gira sin avanzar en la pieza k unida al limbo, y su rosca se introduce en una tuerca fija invariablemente á la caja. Un segundo nivel (m, m') unido á la parte posterior del limbo, tiene su tornillo de corrección s , igualmente dispuesto que el r , estando una de sus esferas fija al limbo y la otra al tubo del nivel. Ambos tornillos se ponen en movimiento por medio de una llave.

La alidada de esta brújula es un anteojo astronómico (90) sujeto por las abrazaderas (h, h') á una pieza de metal que gira alrededor del eje del limbo (l, l') y la cual lleva también los nonius v . El movimiento de la alidada puede ser á voluntad rápido ó lento

por el sistema de los tornillos de presión a y de coincidencia c (107).

Todo el instrumento puede girar alrededor de una espiga fija á la plataforma, con movimiento rápido que puede impedirse por un tornillo de presión, ó bien puede hacerse el movimiento rápido ó lento á voluntad por el sistema de los a' y c' .

Los tornillos t de la plataforma descansan en la meseta del tripode (131).

179. El limbo zenital está dividido en medios grados, y el nonius aprecia minutos (114). El cero del limbo se halla en la parte superior del mismo; lo que no es un inconveniente para la medida de los ángulos de elevación y depresión (133). Las graduaciones son dos, simétricas á partir del cero: la que está hacia la parte del ocular sirve para la apreciación de los ángulos de elevación, y la de la parte del objetivo para los de depresión. Cuando el eje del anteojo es horizontal, el cero del nonius coincide con el del limbo zenital.

Otras brújulas dan directamente los ángulos zenitales, que pueden deducirse (81) en la explicada. En ellas está el cero dispuesto de modo que el eje del anteojo es vertical cuando los ceros coinciden.

180. **Usos de la brújula de limbo zenital.**—Con el instrumento de que nos ocupamos puede obtenerse á la vez el rumbo y la pendiente de una línea AB (fig. 78, lám. 3) del terreno. Para esto, se coloca la brújula en estación en el extremo A de dicha línea, disponiendo verticalmente el eje de rotación del instrumento: para lo cual se hace girar á la brújula alrededor de este eje, hasta que el nivel n (fig. 77, lám. 3) se halle en dirección de dos tornillos de la plataforma, y moviendo estos hasta que la ampolla acuse la horizontalidad: se coloca después en la dirección del tercer tornillo de la plataforma, horizontándole por el movimiento de este solo tornillo: se repite la misma operación hasta que el nivel permanezca horizontal en ambas posiciones, con lo que el eje será vertical. La operación de disponer verticalmente el eje de rotación se llama en general *horizontalar el instrumento*.

Dirigiendo la visual al pie de un jalón situado en B, para lo que se hace uso del movimiento del instrumento alrededor de su eje vertical y del de la alidada por medio de los tornillos a y c (107), se obtendrá (164) el rumbo de AB: para hallar su pendiente se dirigirá la visual á un punto b elevado sobre B en una cantidad igual á

la altura Aa del instrumento; y el ángulo de elevación m que se leerá entonces en el limbo zenital será la pendiente de AB (Acotaciones, 34), á causa del paralelismo de ab y AB (Geometría, Teorema 30).

181. **Verificaciones y correcciones.**—1.^a *Verticalidad del eje de rotación del instrumento.*—Consiste en la verticalidad del eje de rotación de un nivel de aire. En efecto, si el eje ab (figura 79, lám. 3) es perpendicular por construcción á un plano P, se pondrá horizontal una recta cd que pase por su pie, análogamente á como hemos dicho (51) y haciendo después girar al nivel hasta que sea paralela según n' á la ef , perpendicular á la cd del plano P, en el punto b , bastará hacer girar al sistema de las rectas ab , n' y ef alrededor de la cd hasta que el nivel acuse la horizontalidad; en cuyo caso el eje ab será vertical.

Esta operación, que tiene por objeto poner horizontales las dos rectas cd y ef , y por consiguiente el plano P que determinan, donde resulta quedar vertical el eje ab que es por construcción perpendicular al plano P, se llama *horizontalar el instrumento* (180), ó *determinación de la verticalidad de su eje de rotación*.

De una manera análoga se procede y se demuestra cuando el nivel está sujeto á girar tangente á una circunferencia de radio cualquiera cuyo centro esté en el eje, en cuyo caso se dice que el nivel es *excéntrico*, como en la fig. 80 (lám. 3), que es la disposición en que se halla el instrumento que nos ocupa (fig. 77, lám. 3). En virtud de lo expuesto, para determinar la verticalidad del eje de rotación de este instrumento, se coloca el nivel paralelamente á dos tornillos de la plataforma y se horizonta por ellos, dándole después una semi-revolución hasta que quede paralelo á los mismos tornillos y corrigiendo la desviación que pueda haber en la burbuja, mitad por los tornillos b de corrección del nivel, y mitad por los indicados de la plataforma: se le lleva después á su posición primera, repitiendo la misma operación anterior hasta que la ampolla no acuse desviación alguna en dos de sus posiciones sucesivas, con lo que el nivel estará corregido. Disponiéndolo después paralelamente á la recta determinada por el tercer tornillo de la plataforma y el punto medio de la que une los dos primeros, se le horizonta por el solo movimiento del tercero, y el eje de rotación del instrumento será vertical.

182. 2.^a *Que la aguja en todas sus posiciones sea un diámetro del limbo.*—(168.)

183. 3.^a Que el eje del anteojo sea perpendicular á su eje de rotación.—(170.)

184. 4.^a Orientación de la brújula.—(171 y 172.)

185. 5.^a Que el plano descrito por el eje óptico del anteojo sea vertical.—Esta verificación es la explicada (104). La corrección se hace en algunas brújulas por el movimiento de unos tornillos que unen el limbo vertical á la caja de la brújula.

186. 6.^a Que el eje óptico del anteojo sea horizontal, cuando se halla en coincidencia el cero del limbo zenital con el del nonius correspondiente.

Para determinar en general la horizontalidad de una recta sujeta á girar alrededor de una vertical, supongamos que sea xx (figura 81, lám. 3) el eje de rotación, at la horizontal de t , y bc la recta inclinada que se trata de horizontalar: se dirige por ella la visual á un reglón vertical Aa' y se marca el punto a' en que termina. Dando una semi-revolución, tomará la alidada la posición $b'c'$ simétrica de la primera con relación á xx , resultando iguales los ángulos m, m' como complementos de los iguales $c'tx, xtc$; y por consiguiente también lo son los m, ym'' . Los triángulos rectángulos $taa', ta'a''$ resultan también iguales, y dan $aa' = a'a''$: bastará por lo tanto dirigir la visual al punto a equidistante de los a', a'' observados en las dos posiciones de la alidada, para dar á ésta la posición horizontal.

187. La altura Aa de este punto medio sobre el pie A del reglón se halla en función de las alturas Aa', Aa'' , observando que se tiene

$$Aa = Aa' - aa'; \quad Aa = Aa'' + a'a;$$

que sumadas dan $2Aa = Aa' + Aa''$, en virtud de ser $aa' = a'a''$; deduciéndose de aquí

$$Aa = \frac{Aa' + Aa''}{2}; \quad [21].$$

188. Para hacer ahora en el instrumento que nos ocupa que el eje óptico del anteojo sea horizontal, se establece la coincidencia de los ceros en el limbo zenital y se observa el punto en que termina la visual dirigida á un objeto vertical lejano, dando después una semi-revolución exacta á la alidada y otra al instrumento, para dirigir la visual al objeto observado primeramente y ver si va á parar al mismo punto: moviendo en caso contrario todo el limbo por su tornillo r (fig. 77, lám. 3) de movimiento general

hasta que ocupe una posición equidistante de los dos puntos observados (186 y 187). Después se horizontala el nivel (m, m') por su tornillo s de corrección particular, á fin de que pueda dar á conocer en lo sucesivo las descorrecciones del limbo.

189. **Declinatoria.**—Se compone de una caja rectangular de madera, en cuyo interior y hacia los lados menores se hallan dos arcos divididos m, m' (fig. 82, lám. 3): los ceros de ambas divisiones corresponden á los puntos medios de los arcos, y determinan una recta paralela á los lados mayores de la caja. La graduación de cada uno de los arcos se extiende hasta 40 ó 45° á uno y otro lado del cero. En el centro a común á los dos arcos se halla un estilo que sostiene á la aguja magnética ns . La letra N indica la parte á que ha de corresponder el extremo n de la aguja, y sirve para colocar el instrumento orientado siempre de la misma manera.

El error de declinación de que el costado cb de la caja puede hallarse afectado, no influye, como hemos visto (171) en la determinación de las posiciones relativas de las rectas cuyos rumbos se tomen con el auxilio de este instrumento.

190. **Usos de la declinatoria.**—Se emplea para hallar la declinación de la aguja y para trazar en un plano la meridiana magnética ó la astronómica. Para hallar la declinación es preciso que se tenga trazada en un plano la meridiana astronómica (35); se hace coincidir con esta línea el canto bc de la caja de la declinatoria, y entonces el extremo n de la aguja marca la declinación.

Para trazar la meridiana magnética basta mover la caja hasta que la aguja coincida con la línea de los ceros, y trazar una línea por el canto bc de la caja.

La meridiana astronómica se traza moviendo la caja hasta que la aguja señale el ángulo de declinación que se supone conocido, quedando el punto N al Este del extremo n de la aguja: la línea trazada por el canto bc será la meridiana pedida.

191. **Plancheta.**—La *plancheta* es un goniógrafo por medio del cual se obtiene desde luego, representada en una hoja de papel, la proyección horizontal del polígono semejante al del terreno. Se compone de un tablero mm' (fig. 83, lám. 3), rodeado de un marco metálico para que no se alabee, y destinado á que se coloque sobre él el papel en que ha de hacerse el dibujo del plano; y para cuando éste ha de tener mucha longitud, lleva el tablero en su parte inferior unos cilindros r, r' , dispuestos de modo que pue-

dan girar alrededor de su eje en un solo sentido, y cuyo movimiento puede detenerse á voluntad, manteniéndolos en la posición que se quiera; en uno de ellos va arrollada una tela fina, á la cual se pegan de antemano, unos á continuación de otros, los pliegos de papel necesarios. De esta manera, cuando el dibujo no puede estar contenido en el papel que ocupa el tablero, se arrolla en uno de los cilindros, y queda sobre el tablero el papel en blanco que se desarrolla en el otro.

En el marco suele estar señalada la graduación de la circunferencia en que puede suponerse inscrito el cuadrado ó el rectángulo de la plancheta.

El tablero descrito es susceptible de un *movimiento de traslación* en la dirección de la recta mm' , deslizándose una ranura longitudinal del reglón pp' , que forma cuerpo con él por medio de los tornillos t, t' , á lo largo de un reborde saliente de la pieza oo' , que le forma con la parte inferior del instrumento. El movimiento de traslación puede ser rápido ó lento por el sistema de los tornillos M y E (107). Toda la parte superior ya descrita es susceptible de un *movimiento de rotación*, que puede impedirse apretando el tornillo de presión T. El instrumento que nos ocupa puede tener una posición cualquiera, ya horizontal, vertical ó inclinada, por el juego de la rodilla de Cugneau (124), que le une á un tripode cónico (132). La rodilla se sustituye á veces por una plataforma de tres ó de cuatro tornillos (129 y 126).

192. La plancheta más generalmente usada (fig. 84, lám. 4) se compone sencillamente de un tablero susceptible del movimiento de rotación indicado (191), con auxilio de una espiga metálica e , que se introduce en un cilindro hueco provisto de un platillo circular metálico y terminado por una esfera, la cual forma parte del juego de nuez (123) de la rodilla que une el instrumento á un tripode de tres brazos (131). El movimiento de rotación que hemos indicado puede impedirse por medio de un tornillo de presión que entonces sujeta el tablero al disco mencionado. También puede darse á este tablero una posición cualquiera, por el movimiento de la esfera dentro de las conchas de la rodilla.

193. *Partes accesorias.*—Al instrumento descrito acompaña un nivel de aire (25) destinado á horizontar el tablero, una declinatoria (189), la alidada de pínulas (87) ó de antejo (97), y además una pieza curva de acero llamada *compás curvo* ó *compás de espesor*, provista en su parte inferior de una plomada y en la superior

de un pequeño taladro circular c (fig. 85, lám. 3), en prolongación del cordón de la plomada.

194. **Verificaciones y correcciones.**—Están reducidas á las del nivel (51), y de la alidada (88 y 105), ejecutando esta última sobre el tablero dispuesto horizontalmente (30).

195. **Orientación de la plancheta.**—Se dice que se orienta la plancheta, cuando dada una línea en el terreno y trazada su homóloga en el papel del tablero, se coloca éste en estación de modo que uno de los extremos de la línea trazada en él se halle en la vertical del extremo correspondiente de su línea homóloga del terreno; hallándose además toda la línea del tablero situada en el plano vertical de la del terreno. Para conseguirlo, se colocará la plancheta en el extremo A (fig. 86, lám. 4), de modo que el punto a se halle próximo á la vertical del A, disponiendo también el tablero á ojo próximamente horizontal por medio de los pies del tripode, y rectificando después la horizontalidad con el nivel de aire. Hecho esto, se coloca el compás de espesor de modo que su taladro se halle coincidiendo con a , y la alidada de manera que el canto de la línea de fe se ajuste exactamente á la recta trazada ab .

Valiéndose después de los movimientos de rotación y traslación del tablero, se hace que la plomada caiga exactamente sobre el punto A, y que la visual vaya á parar á un jalón situado previamente en el extremo B de la línea del terreno, sin que el compás de espesor ni la alidada dejen de ocupar en el tablero la posición que se les había dado. Para lograr que todas estas circunstancias se verifiquen hay necesidad de varios tanteos, teniendo que mover á veces todo el instrumento, en lo que suele emplearse mucho tiempo. Cuando se ha conseguido, se dice que la plancheta se halla *en estación y orientada*.

196. Disponiendo la declinatoria sobre la recta ab (fig. 86, lám. 4) trazada en la plancheta, y moviendo su caja hasta que la aguja coincida con la línea *Norte-Sur*, se traza una recta por uno de sus lados mayores, con lo que se tendrá en el plano la dirección de la meridiana (190), y la plancheta estará orientada con respecto al meridiano magnético. Trasladando la plancheta á otro punto de estación, haciendo que coincida uno de los lados mayores de la citada caja con la meridiana trazada en el tablero, y dando á éste el movimiento de rotación hasta que la aguja marque la graduación cero, las rectas trazadas en el tablero ocuparán posiciones paralelas á las que tenían en la primitiva.

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-