

## CAPITULO XIV.

### DE LA BRÚJULA.

138. Los goniómetros de que me he ocupado hasta aquí, dan directamente el ángulo que forman entre sí las visuales dirigidas á dos ó más objetos; pero hay un instrumento muy usado en la planometría, llamado *brújula* y también *compás azimutal*, que da los ángulos que forman las visuales con un punto invisible, el cual es el polo magnético, cuya dirección difiere poco de la del meridiano terrestre. La brújula consta esencialmente de una aguja ó barra imantada *A B*

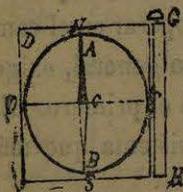


Fig.<sup>a</sup> 20<sup>a</sup>

(fig. 90<sup>a</sup>), que gira libremente sobre un eje de acero colocado en el centro *C* de un limbo ó circunferencia graduada, y de tal manera que ambos extremos de la aguja, terminados en punta, pasen muy cerca de las divisiones, aunque sin tocarlas para que no se entorpezca su movimiento. Todo el aparato está contenido dentro de una caja *D* de madera ó de latón, que se fija en un tripié, y va acompañada del mecanismo necesario para establecerse horizontalmente.

Se sabe que una barra dotada de la propiedad magnética y suspendida libremente por su centro, toma una dirección fija en un plano vertical que dista poco del meridiano, y que se llama por esta razón, *meridiano magnético*. Cuando se aparta la barra de esta dirección, dejándola libre en seguida, vuelve á ocuparla luego que, después de

algunas oscilaciones, se restablece el equilibrio. El ángulo que forma esta dirección con el plano del meridiano, ó si se quiere, el azimut de la barra imantada, se llama la *declinación* de la brújula, ángulo variable, no sólo en diversos lugares, sino aun en el mismo lugar con el transcurso del tiempo. Actualmente en México la declinación es de poco más de 8° hacia el Este, quiere decir, que el meridiano magnético forma ese ángulo con el astronómico, desviándose el primero del Norte al Este, ó bien del Sur al Oeste. A principios de este siglo el barón Alejandro de Humboldt halló 8° 8', y después fué aumentando, pues los Sres. D. Miguel Velázquez de León y D. Joaquín de Mier y Terán encontraron por más de 900 observaciones que en 1850 era de 8° 35'.2. En seguida parece haber comenzado á decrecer, como lo manifiesta la tabla siguiente que termina con la observación que hice el 1º de Noviembre de 1868 en compañía del ingeniero D. Manuel Fernández. La última columna de la tabla indica las declinaciones calculadas con un decremento anual de 1'.4 que resulta de la comparación de las observaciones de 1850 con las de 1868, y se ve que, en general, las diferencias respecto de las halladas directamente, son bastante pequeñas, pudiendo considerarse comprendidas dentro de los límites del error posible de las observaciones.

Declinación oriental de la aguja magnética en México.

OBSERVADORES.	Años.	Declinación observada.	Declinación calculada.	o - σ
Humboldt.....	1804	8° 8. 0...		
Velázquez y Terán.....	1850	8 35. 2...	8° 35'.2	0'.0
Almazán .....	1858	8 22. 3...	8 24. 0	- 1. 7
Salazar Ilarregui.....	1860	8 30. 0...	8 21. 2	+ 8. 8
Díaz Covarrubias.....	1862	8 20. 5...	8 18. 4	+ 2. 1
Ponce de León .....	1866	8 8. 5...	8 12. 8	- 4. 3
" " " .....	1867	8 9. 3...	8 11. 4	- 2. 1
Fernández y Díaz Covarrubias.	1868	8 10. 0...	8 10. 0	0. 0

Para el resto de la República no se tienen datos exactos, y sólo se

sabe que hacia el Oriente de la capital, la declinación es menor, y mayor hacia el Occidente. Probablemente en nuestro país las declinaciones magnéticas están comprendidas entre  $7^\circ$  y  $12^\circ$ , como lo manifiesta la figura 91<sup>a</sup>, que he formado prolongando las curvas ob-

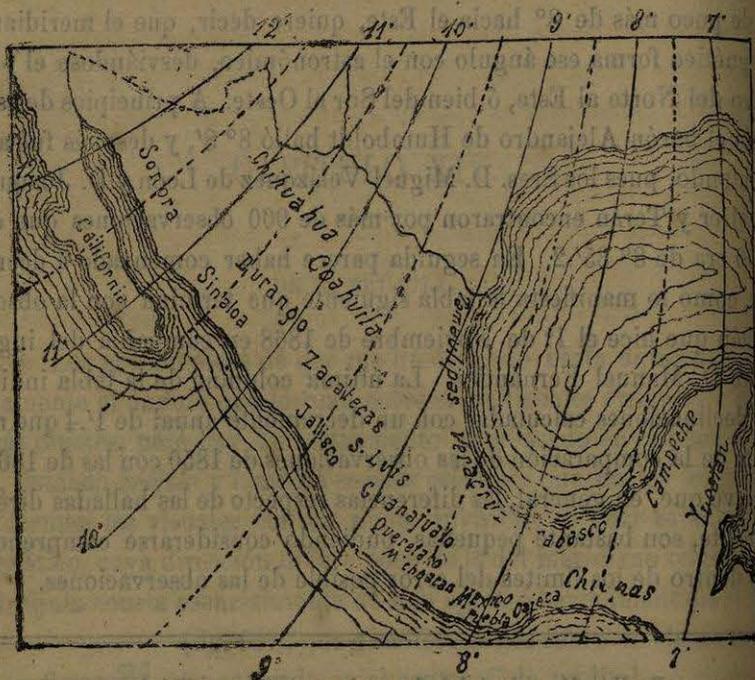


Fig. 91ª

servadas en los Estados Unidos, y que pasan por todos los lugares en que se tiene la misma declinación.

Si una aguja, antes de magnetizarse, estuviese perfectamente equilibrada, de tal modo que apoyada en su centro, se situase en un plano horizontal, tomaría una inclinación muy sensible luego que se le comunicara la fuerza magnética; así el hecho de que sus dos extremidades estuviesen á la altura de la graduación, no sería una prueba de que ésta, ó la caja de la brújula, fuesen horizontales. Para evitar este inconveniente, los fabricantes llevan en cuenta el fenómeno de la inclinación, bien sea haciendo un poco más pesado el extremo Sur de la aguja, ó lo que es mejor, adaptándole una pequeña lámina

metálica, ó contrapeso, que pueda colocarse á diversas distancias del centro, pues es sabido que la inclinación de la aguja magnética, varía con las latitudes, y este segundo medio permitirá hacer la corrección en una región cualquiera. Para conseguirlo, se comenzará por nivelar la caja que contiene el limbo, y después se irá moviendo el contrapeso adicional hasta que ambas extremidades de la barra se encuentren á la altura de la graduación, la cual se halla á una distancia del fondo de la caja, igual al tamaño de la espiga ó pivote en que se apoya y gira la aguja.

Es de la mayor importancia que la brújula se mueva libremente sobre su apoyo, por lo cual se emplean sustancias muy duras para construirlo, lo mismo que para hacer la chapa central de la barra que juega sobre el pivote ó eje. Comúnmente este último se construye de acero y la chapa de ágata. Los extremos Norte y Sur de la aguja se distinguen uno de otro en que el primero tiene alguna señal, ornato, etc., ó bien en que está pavonado.

La graduación del limbo está numerada algunas veces de  $0^\circ$  á  $360^\circ$  partiendo del punto Norte, y otras por cuadrantes partiendo del Norte y del Sur tanto hacia el Este como hacia el Oeste. A un lado de la caja hay un anteojo *GH* (fig. 90<sup>a</sup>), provisto de su retícula y dotado de un movimiento vertical, que está colocado paralelamente á la línea *NS* (Norte-Sur) marcada en el fondo de la caja. A veces en lugar de telescopio hay un tubo con pínulas. Por lo general en las brújulas inglesas el anteojo ó las pínulas están colocadas en el plano ver-

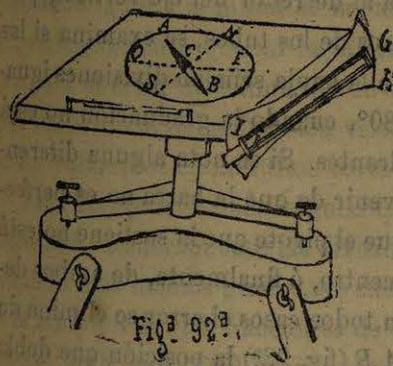


Fig. 92ª

tical que pasa por *NS*, de modo que estos instrumentos no son excéntricos. Lo mismo sucede respecto de las brújulas que casi siempre tienen los teodolitos ingleses y americanos.

Las brújulas comunes tienen una rodilla semejante á la del grafómetro; pero las de mejor construcción como la que representa la figura 92<sup>a</sup>, están sostenidas por tres ó cuatro pies provistos

de tornillos, y tienen además dos niveles en posición rectangular sobre la caja para situarla horizontalmente, procediendo como se ha explicado en el número 56, tanto para nivelar el aparato como para rectificar los niveles mismos. El telescopio  $FG$  se mueve en el centro de un limbo vertical graduado  $HI$ , y tiene los tornillos de presión y aproximación necesarios para fijarlo y para comunicarle pequeños movimientos. Este último aparato, llamado *eclímetro*, consta comunmente de dos sectores de círculo, y si se quiere, no es esencial en la brújula, pero sí muy útil para medir los ángulos de inclinación, como se verá en otra parte.

Como la aguja, antes de fijarse en el meridiano magnético, hace algunas oscilaciones al derredor de esta dirección, el instrumento tiene un tornillo que la fija en cualquiera posición, levantándola de su eje y apoyándola contra el vidrio que cubre la caja, de manera que para proceder con violencia, se observa la amplitud de las oscilaciones, y en seguida se fija la aguja repentinamente hacia el centro del arco recorrido; poniéndola después en libertad, las oscilaciones que haga tendrán menor extensión y cesarán pronto, quedando finalmente la barra en su situación normal. La misma suspensión de movimientos debe usarse para transportarla, y en general siempre que no se emplee la brújula, á fin de que no sufran el eje ó la chapa las consecuencias de un rozamiento continuo ó innecesario.

139. Antes de hacer uso de una brújula es preciso rectificarla. Después de bien nivelada la caja, y corregidos los niveles hasta conseguir que en una revolución entera al derredor del eje vertical, permanezcan las burbujas en los centros de los tubos, se examina si las



Fig: 93ª

dos extremidades de la aguja señalan divisiones iguales, más ó menos  $180^\circ$ , cuando la graduación no está numerada por cuadrantes. Si se nota alguna diferencia, ésta puede provenir de que la barra no es perfectamente recta, de que el pivote que la sostiene no está exactamente en el centro, ó finalmente, de ambos defectos reunidos. En todos casos el error se elimina de esta manera. Sea  $AB$  (fig. 93ª) la posición que debía tener la aguja y  $A'B'$  la que realmente ocupa por el doble motivo

de ser curva y de girar al derredor del eje excéntrico  $C'$ . Siendo  $NS$  el diámetro desde cuyos extremos parte la graduación, el ángulo correcto que debía señalar sería  $NCA = SCB = x$ . Como  $AB$  y  $A'B'$  son paralelas puesto que la brújula se dirige al polo magnético, tendremos  $AA' = BB' = e$ , que es el error, siendo las indicaciones de los extremos de la aguja  $NA' = a$  y  $SB' = a'$ . Con estas anotaciones se tendrá:

$$x = a + e$$

$$x = a' - e$$

de donde resulta  $2x = a + a'$ , ó bien  $x = \frac{1}{2}(a + a')$ ; luego tomando el término medio de las lecturas hechas con las dos extremidades de la barra, se tendrá una indicación independiente del error.

La segunda rectificación consiste en examinar si la línea  $NS$  es paralela á la línea de colimación del telescopio. Para esto se dirige una visual á un objeto muy distante, y luego que esté cortado por la retícula, se anota la graduación que señala la aguja. Se mueve después la caja  $180^\circ$ , esto es, hasta que la indicación dé el mismo ángulo más ó menos  $180^\circ$ , y se vuelve á dirigir el anteojo al mismo objeto; si la retícula lo corta también en esta nueva posición, no habrá defecto de paralelismo, puesto que la distancia de las dos posiciones que ha tomado el telescopio puede considerarse nula respecto de la del objeto. En el caso de que este no quede en coincidencia con los hilos, debe moverse la retícula por medio de sus tornillos una cantidad igual á la mitad de la desviación observada, repitiendo la experiencia hasta que no haya error apreciable. Destruído de esta manera el error de colimación en el sentido horizontal, puede quedar sin embargo el de colimación vertical, de cuya corrección ó eliminación trataremos en la última parte de esta obra.

140. La aproximación angular que se obtiene con la brújula es muy limitada. Generalmente las divisiones sólo marcan grados enteros, ó cuando más medios grados, de suerte que hay necesidad de estimar á la simple vista las fracciones de la graduación; y como casi siempre el limbo tiene  $0^m.1$  de diámetro poco más ó menos, resulta que  $30'$  ocupan la pequeña extensión de  $0^m.00044$ , ó bien  $15'$  la de  $0^m.00022$ .

De aquí se deduce que considerando siempre á  $0^m.0001$  como límite de la extensión apreciable, no podrán estimarse con la brújula fracciones angulares inferiores á un octavo de grado, y tal vez con alguna seguridad sólo cuartos de grado. El espesor sensible de las puntas de la aguja, por finas que sean, y la circunstancia de que es indispensable que queden á una pequeña distancia de la graduación, contribuyen también á hacer más inciertas las lecturas. Se ha procurado, si no subsanar, al menos disminuir estos inconvenientes, adaptando á la caja de la brújula, dotada á veces de un pequeño movimiento, un arco graduado con su vernier, y entonces si la aguja señala un número  $g$  de grados más una fracción, se mueve la caja con su tornillo de aproximación hasta que señale solamente el número  $g$ ; y la fracción se obtiene por el vernier que ha medido la pequeña diferencia angular de las dos posiciones de la caja. Otras veces uno de los extremos de la barra magnética lleva un vernier hecho de cartón ó de otra substancia muy poco pesada; pero siempre las pequeñas vibraciones que tiene la aguja se oponen á la apreciación exacta de las fracciones; así es que por lo general sólo se estiman á la simple vista, y esto, como dije antes, con la aproximación de cuartos de grado, ó cuando más con la de  $8'$  á  $10'$ .

Hay además otra causa de error, aunque de muy poca influencia en nuestras latitudes. Si se fija la caja de una brújula de manera que el telescopio señale una dirección invariable, tal como la del meridiano, y se observan á diversas horas del día los azimutes magnéticos que indica la aguja, se notarán pequeñas diferencias llamadas *variaciones diurnas*, originadas por un ligero movimiento del extremo Norte de la barra hacia el Oeste. La amplitud de estas variaciones cambia con la posición de los lugares, siendo sensiblemente nula cerca del ecuador y aumentándose hacia los polos. En Europa y en otras regiones septentrionales las variaciones son hasta de  $10'$  á  $15'$ , llegando á su *máximo* á cosa de las dos de la tarde, hora desde la cual comienzan á decrecer hasta las diez ó las once de la noche, en que vuelven á ser sensiblemente nulas. La aguja permanece casi estacionaria toda la noche hasta el amanecer, en que vuelve á comenzar su movimiento hacia el Oeste. En nuestro país faltan observa-

ciones precisas para conocer la amplitud de las variaciones diurnas; pero por nuestra posición geográfica es de creerse que no excederán de  $5'$  ó  $6'$ , y por consiguiente casi siempre será inútil tomarlas en cuenta á causa de estar comprendido este arco dentro de los límites de la apreciación angular que proporciona la brújula.

Lo que nunca debe olvidarse al hacer uso de la brújula, es alejar de ella toda materia ferruginosa, pues es bien conocida la atracción que ejercen en la aguja; así es que la cadena, las fichas, las llaves, etc., se llevarán á cierta distancia para que el instrumento señale los verdaderos azimutes magnéticos sin desviación alguna por causas accidentales. En los terrenos que contienen substancias ferruginosas ó magnéticas, es casi imposible el uso de la brújula; después veremos cómo se conoce la existencia de alguna causa anormal de atracción.

Todos los defectos que se han mencionado contribuyen á hacer de la brújula un instrumento de poca precisión; no obstante lo cual es acaso el que más se usa en la planimetría, ya sea por proporcionar el grado de exactitud que casi siempre se cree bastante en la práctica, ó ya por tener otras ventajas que daremos á conocer en lo sucesivo.

141. Procedamos ahora á explicar su uso. La propiedad de la aguja magnética de dirigirse siempre al mismo punto del horizonte, reunida á la hipótesis admisible del paralelismo de los meridianos, bastan



para formarse una idea del modo de utilizar este instrumento en la planimetría, pudiéndose obtener directamente con él los *rumbo*s ó azimutes magnéticos de los lados de una figura. Supongamos primero que el telescopio ó las pínulas estén en el centro de la caja, y sea  $AB$  (figura 94<sup>a</sup>) la aguja establecida de modo que su centro  $C$  corresponda verticalmente al de la estación. Si puesta en libertad la barra, paralelizada sus oscilaciones y nivelado el instrumento, se mueve la caja hasta que el extremo Norte  $A$  señale el *cer*o de la graduación, es claro que el antejo se

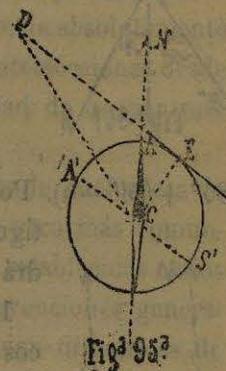
encontrará situado en el meridiano magnético, y si se dirige después á otro punto cualquiera  $D$ , el arco recorrido por la caja será  $N' A$ , ó azimut magnético de la línea  $CD$  contado desde el Norte. En general, el azimut de una dirección cualquiera es el ángulo comprendido entre el  $0^\circ$  y la punta Norte de la aguja; y si las divisiones están numeradas de izquierda á derecha, los azimutes resultarán contados como lo hemos acostumbrado hasta ahora.

Nótese que al observar un punto tal como  $D$ , que esté en el cuadrante  $NO$  (*Nor-Oeste*), como la caja es la que se mueve del Norte al Oeste y la aguja permanece estacionaria, su extremo  $A$  quedará en el cuadrante  $N'E$  (*Nor-Este*) de la caja, de modo que aparecerán invertidos sus rumbos *Este* y *Oeste*. Por esta razón algunas brújulas, especialmente las inglesas, tienen marcado el Este en el lugar que corresponde al Oeste y viceversa; de esta manera el cuadrante en que está la extremidad Norte de la aguja expresa inmediatamente el que corresponde al punto que observa. Cuando la brújula no tiene invertidas las letras  $E$  y  $O$ , es preciso que las invierta el observador al apuntar los azimutes.

Es muy variado el modo de contar los azimutes: algunos ingenieros los cuentan desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$  partiendo del Norte, ya sea hacia el Oeste como se ha hecho en este libro, ya sea hacia el Este. Para esto, por regla general, se sujetan ó al sentido en que esté numerada la graduación, ó á la costumbre que hayan adquirido. Muchas brújulas tienen numerado su limbo por cuadrantes, y entonces es cómodo contar los azimutes sólo de  $0^\circ$  á  $90^\circ$  partiendo indiferentemente del Norte ó del Sur; pero en tal caso es preciso anotar también el cuadrante en que está realmente el objeto observado, lo cual se hace por medio de las iniciales  $N$  ó  $S$ , según sea el punto de partida, quiere decir, el extremo de la aguja con que se lea la graduación y las otras  $O$  y  $E$  que se refieren respectivamente al Oeste y al Este. Un ejemplo dará una idea más clara de las diversas maneras de contar. Suponiendo que el arco  $N' A$  (fig. 94ª) sea de  $30^\circ$ , el azimut de  $D$  se puede expresar de todos estos modos: si la graduación está numerada de  $0^\circ$  á  $360^\circ$  partiendo del Norte y continuando hacia la derecha, se apuntará: az.  $CD = 30^\circ$ . Si está numerado el limbo también de  $0^\circ$  á  $360^\circ$ ,

pero del Norte hacia la izquierda, se tendrá: az.  $CD = 330^\circ$ . Si se quiere contar por cuadrantes, lo cual siempre puede hacerse aunque la graduación corra hasta  $360^\circ$ , se tiene: az.  $CD = 30^\circ NO$ . Si fuere  $F$  el punto que se observa siendo  $S' B$  también de  $30^\circ$ , se tendrá en el primer caso: az.  $CF = 210^\circ$ ; en el segundo  $150^\circ$ , y en el tercero  $30^\circ SE$ . Estando el punto en  $G$ , se tendría en cada uno de los casos que hemos considerado: az.  $CG = 150^\circ$ , ó bien  $210^\circ$ , ó bien  $30^\circ SO$ . Finalmente, siendo  $H$  el objeto observado, se apuntaría respectivamente: az.  $CH = 330^\circ$ ; ó  $30^\circ$ , ó bien  $30^\circ NE$ . Todo esto es extremadamente sencillo y basta ver una brújula para comprenderlo mejor que con las explicaciones más minuciosas. Es claro que cada ingeniero puede adoptar el sistema que le parezca más conveniente, con tal que conociendo su brújula, pueda designar inmediatamente el cuadrante en que está el punto que ha observado, en vista de la indicación que haya obtenido.

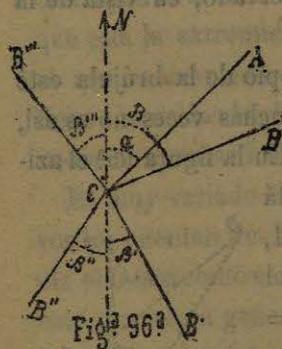
142. He supuesto hasta ahora que el telescopio de la brújula esté colocado en el centro de la caja; mas como muchas veces no es así, veamos cual es el efecto de su excentricidad. En la figura 95ª el azimut de  $D$  es  $NCD$ ; pero como el anteojo está en  $E$ , la indicación de la aguja será  $A'CA$ , puesto que la línea  $A'S'$  es paralela al eje del telescopio; y se ve que habrá un error  $A'CD = CDE = e$ . Para calcularlo, el triángulo rectángulo  $CDE$  da:  $\text{sen. } e = \frac{CD}{CE}$ , ó bien expresando en minutos el pequeño ángulo  $e$  y llamando  $k$  la distancia  $CD$ , se tiene:  $e = \frac{CE}{k \text{ sen. } 1'}$ . En la mayor parte de las brújulas la distancia del centro al eje del anteojo no excede de un decímetro, de modo que suponiendo  $CE = 0^m.1$  puede calcularse la tabla siguiente para diversas distancias:



$k$	$e$	$k$	$e$	$k$	$e$
10 <sup>m</sup> .....	34' 23"	50 <sup>m</sup> .....	6' 52"	90 <sup>m</sup> .....	3' 49"
20.....	17 11	60.....	5 44	100.....	3 26
30.....	11 27	70.....	4 55	200.....	1 43
40.....	8 36	80.....	4 18	300.....	1 9

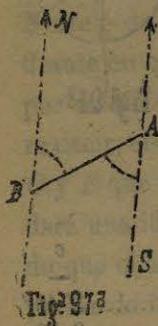
Por estos números se ve que desde 100<sup>m</sup>, y acaso desde 50<sup>m</sup> en adelante, la corrección es del mismo orden que la aproximación angular de la brújula; y así puede desecharse casi siempre. Para menores distancias rara vez se usa la brújula, puesto que las directrices tienen ordinariamente mayor longitud; pero en el caso de usarla, lo que debe hacerse es tomar el azimut magnético tanto con el telescopio á la derecha como á la izquierda, y el término medio de los dos resultados, según se ha visto en el número 63, suministrará el ángulo independiente del error de excentricidad.

143. Aunque la brújula da directamente los ángulos que forman las líneas con el meridiano magnético, es muy fácil deducir los que forman entre sí, pues la operación se reduce en general á hallar las diferencias de los azimutes de cada dirección, si se cuentan desde 0° hasta 360°.



Cuando se cuentan por cuadrantes, si las dos líneas cuyo ángulo se busca, están en un mismo cuadrante, como  $CA$  y  $CB$  (fig. 96<sup>a</sup>), la diferencia de sus azimutes  $\alpha$  y  $\beta$  será el ángulo que forman, esto es:  $ACB = \beta - \alpha$ . Si una de las líneas  $CB'$  está en el cuadrante contiguo, se tendrá:  $ACB' = 180^\circ - (\beta' + \alpha)$ . Si ambas líneas están separadas por un cuadrante entero como  $CA$  y  $CB''$ , se tiene:  $ACB'' = 180^\circ + (\beta'' - \alpha)$ .

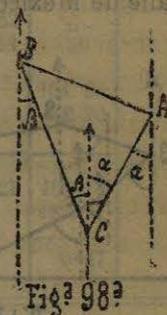
Por último, si las líneas estando en cuadrantes contiguos, la una está al Este y la otra al Oeste, se tendrá:  $ACB''' = \beta''' + \alpha$ .



144. El paralelismo de los meridianos magnéticos en toda la extensión del polígono que se mide, da á la brújula una gran superioridad sobre los demás instrumentos; porque si se toman los ángulos azimutales en los dos extremos de una línea, deben diferir exactamente 180°, ó bien ser numéricamente iguales cuando se lean por cuadrantes. Si en  $A$  (figura 97<sup>a</sup>) se tiene la indicación  $SAB = \beta$ , al observar en  $B$  deberá hallarse  $NBA = \beta$ . La primera observación se llama

ma directa y la segunda inversa; cuando se practican las dos, se obtiene inmediatamente una comprobación que hace al resultado más digno de confianza, y suministra un medio de descubrir alguna atracción irregular, como veremos más adelante.

Otra gran ventaja de la brújula consiste en que basta estacionar en un punto  $C$  (fig. 98<sup>a</sup>), desde el cual se distinguen otros dos  $A$  y  $B$  conocidos de posición, para poder determinar la del primero. La resolución analítica de este caso se dió en el número 87, y la figura actual indica que se resuelve también gráficamente con mucha facilidad trazando por los puntos  $A$  y  $B$  ya situados en el plano, las dos líneas que formen en  $AB$  los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  medidos en  $C$ . Para evitar cualquiera equivocación respecto de la dirección de las líneas, tégase presente que en  $A$  y  $B$  deben tomarse los cuadrantes opuestos á los anotados en  $C$ ; el ángulo  $\alpha$ , por ejemplo, medido en este último punto según la figura, será  $NE$  (Nor-Este), mientras que en  $A$  se construirá  $SO$  (Sur-Oeste). Todo consistirá en cambiar las letras  $N$  por  $S$ ,  $E$  por  $O$  y viceversa. Se ve que este modo de fijar un punto, da absolutamente el mismo resultado que si se hubiese situado por intersecciones desde  $A$  y  $B$ , con la ventaja de que no se tiene necesidad de ocupar más que una estación.



145. La brújula se usa en la planimetría aplicando cualquiera de los tres métodos generales que se han explicado; pero más comunmente se emplea en su combinación. A las reglas establecidas en los Capítulos precedentes sólo añadiremos, como prevenciones generales, que siempre que el terreno lo permita, se escojan directrices de suficiente longitud para no temer el efecto de la excentricidad del telescopio; que cuando desde algunos puntos se descubra un vértice trigonométrico, ó bien cualquier otro objeto, se le dirijan visuales que sirvan de comprobación; que se procure siempre tomar desde cada estación tanto el azimut directo, esto es, el del punto que siga en el sentido de la marcha, como el azimut inverso, ó sea el del lado que preceda; por último, que al leer las indicaciones angulares, se