

CAPITULO IV

EL MAGNETISMO TERRESTRE

I

PRIMERAS IDEAS SOBRE LOS FENÓMENOS DE MAGNETISMO TERRESTRE

Hemos visto que los antiguos apenas conocían otra cosa del imán sino sus propiedades atractivas, y que sobre todo ignoraban completamente la acción directriz de la Tierra, ó lo que es lo mismo, la orientación fija que toma un imán libre. Las primeras nociones acerca del asunto, al menos para el mundo occidental, se remontan á la invención, ó más bien á la importación de la brújula, largo tiempo hacía usada en Oriente.

Los chinos se valían, desde la más apartada antigüedad (1), de lo que ellos llamaban carros *indicadores del Sur* (*tchi-nan*) para guiarse en sus viajes terrestres ó marítimos. La parte anterior de estos carros magnéticos estaba formada de una aguja que flotaba libremente en el agua y hacía mover los brazos de una figurita que señalaba el Sur. La brújula, así como otras muchas invenciones del mismo origen, pasó luengos siglos ignorada de los pueblos de Occidente, porque está probado que ni los griegos, ni los romanos, ni los navegantes fenicios y etruscos hicieron uso de ella. Seguramente fueron los árabes de los siglos XI y XII los que la introdujeron poco á poco en los mares de Europa, conservando en un principio su forma primitiva de aguja flotando en el agua. La brújula suspendida sobre un eje no empezó á usarse hasta la primera mitad del siglo XIV.

Por lo que hace á la declinación, también fueron los chinos los que hicieron la primera mención de ella. A decir verdad, el ángulo formado por la aguja con el meridiano era muy pequeño en los países del extremo Oriente y así ha subsistido sin variaciones apreciables por espacio de siglos enteros, de lo cual procede el nombre de carros indicadores del Sur. Por esto era muy difícil comprobar la existencia de dicho ángulo con aparatos tan movibles. Con todo, un pasaje de un autor chino, citado por Biot, prueba claramente que se descubrió la declinación todo lo más tarde á fines del siglo XI, resultando además de dicho pasaje que los antiguos chinos imanaban también sus agujas por fricción.

“Los que hacen juegos de manos, dice, frotan la aguja con una piedra imán; entonces puede marcar el Sur; sin embargo, declina constantemente al Este y no puede mar-

(1) Eduardo Biot hace mención de dos tradiciones consignadas en sus escritos por antiguos autores chinos de los siglos IV y XII de nuestra era. La primera de ellas hace remontar la invención y el uso de los carros indicadores del Sur al emperador Hoang-ti, que según el cómputo floreció hacia el siglo XXVII antes de Jesucristo. La segunda tradición atribuye el invento al príncipe Teheu-Kong, que vivió en el siglo XI antes de la era cristiana. Así pues, y según observa Humboldt, la propiedad que posee la aguja imanada de marcar el Norte y el Sur se utilizaba ya en una época anterior tal vez á la invasión dórica y al regreso de los Heraclidas al Peloponeso.

car el Sur con toda exactitud. Cuando esta aguja flota en el agua, se mueve mucho; si se toca con la punta de los dedos el borde de la vasija en que flota, se mueve todavía más; sólo que continúa deslizándose y cae fácilmente. Es mejor suspenderla para que manifieste su virtud todo lo posible. He aquí cómo: se saca un solo hilo del medio de una madeja nueva de algodón, y con un poco de cera del tamaño de un grano de mostaza se le adhiere exactamente á la mitad de la aguja, y así se la suspende en un sitio donde no haga viento; entonces la aguja señala constantemente el Mediodía. Hay agujas de éstas que marcan el Sur cuando se las frota; nuestros jugadores de manos tienen unas que marcan el Norte y otras que marcan el Sur (1).”

Vese también por esto que los antiguos chinos se habían anticipado á Gilbert y á Coulomb en el modo de suspensión de la aguja por su centro de gravedad; sólo que, según parece, no sacaron provecho alguno de esta circunstancia.

Según lo que más arriba dejamos dicho, la introducción de la brújula en la navegación europea apenas precedió en dos ó tres siglos á las grandes expediciones, á los grandes viajes terrestres y marítimos, cuya consecuencia fué el ensanchamiento considerable del mundo antiguo y el descubrimiento de uno nuevo. Esta introducción debió favorecer singularmente la exploración del globo, pudiéndose también decir que ha sido el punto de partida de los descubrimientos científicos cuyo conjunto constituye hoy una rama importante de la ciencia de la física del globo, la que estudia los fenómenos del magnetismo terrestre. Débense sin duda á Gilbert las primeras nociones que asimilan la Tierra á un gigantesco imán con sus polos y su línea neutra; pero Cristóbal Colón descubrió, mucho antes que él, el hecho importante de la declinación magnética y observó las variaciones que sufre cuando se transporta la aguja imanada de un lugar á otro. El gran navegante reconoció también que al Este de una de las islas Azores había una línea sin declinación magnética. Fuéronse compilando poco á poco todos los hechos de este género y otros muchos, y bajo la influencia fecunda del método de observación experimental, muy en breve se los pudo sistematizar y coordinar en leyes. Las conjeturas vagas y las ideas místicas de los primeros observadores de los fenómenos magnéticos cedieron también el puesto á teorías que, aun sin ser verdades demostradas, no dejan de tener el carácter de hipótesis científicas.

II

LA DECLINACIÓN MAGNÉTICA

La influencia que la invención de la brújula tuvo en la extensión de la navegación de altura, y por tanto en los descubrimientos geográficos, ha sido inmensa: es un hecho que no necesita demostración. Mas, desde el punto de vista científico, su utilidad no habrá sido menor, y ahora veremos cómo, merced á este instrumento convenientemente perfeccionado, se han podido adquirir preciosos datos sobre el estado magnético del globo terráqueo.

Tres elementos principales se ofrecen á la observación en cada lugar: la declinación, la inclinación y la intensidad magnética. Hemos definido ya los dos primeros: nos ocu-

(1) Esta curiosa distinción entre *las agujas que marcan el Sur* y *las que marcan el Norte* procede sin duda de la ignorancia en que estaban los chinos de la existencia de los dos polos contrarios del imán, y quizás también del modo cómo imanaban por fricción.

paremos del tercero cuando se trate de medirlo. El problema que se había de resolver era sumamente complejo. Era preciso reunir y coordinar los resultados de un crecido número de observaciones simultáneas hechas en todos los puntos del globo, para poder caracterizar la distribución del magnetismo en la superficie de la Tierra, en la época misma en que se recogían estos datos. Importaba por otra parte prolongar todo lo posible en cada lugar esta clase de observaciones hechas con los mismos instrumentos ó con otros comparables, para comprobar los cambios que sobrevenían en los elementos magnéticos de dicho lugar y estudiar las leyes de estas variaciones con el tiempo. Gracias al concurso de los sabios, de los viajeros y de los marinos de todos los países se han enviado misiones científicas con tal objeto á todas las partes del mundo, y los datos de este problema son ya bastante numerosos para que se haya podido bosquejar la solución en sus grandes líneas, representar en su conjunto la distribución del magnetismo terrestre y tomar nota de sus variaciones más importantes.

Veamos ante todo cómo se miden los tres elementos de la declinación, inclinación é intensidad.

Empezaremos por describir la brújula de declinación.

Cuando se trata de una determinación científica que requiera gran precisión, se construye la brújula de declinación como lo indica la figura 39. La aguja imanada suspendida sobre un eje vertical de ágata va encerrada en una caja cilíndrica MN de la cual parten dos montantes metálicos que sostienen un anteojo LL' con hilos recticulares en su foco y que puede girar sobre sí mismo

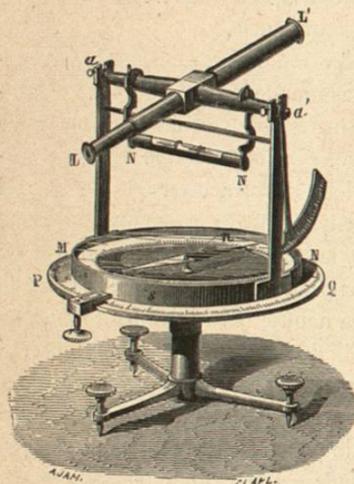


Fig. 39.—Brújula de declinación

alrededor de un eje aa' paralelo al plano del limbo. Todo este sistema puede girar también horizontalmente sobre el plano de otro círculo graduado PQ.

Para medir la declinación, se pone la brújula sobre un plano casi horizontal y se observa el nivel de aire NN para cerciorarse de la perfecta horizontalidad de los limbos MN y PQ. Hecho esto, se pone el anteojo en dirección de una estrella conocida, y según la hora de la observación, se puede calcular el ángulo que forma el plano vertical de la estrella, que es el del anteojo, con la línea meridiana, ó sea su azimut. De este modo queda fijada la dirección de la meridiana sobre el limbo PQ; se da vuelta á la caja MN sobre el círculo PQ en una cantidad igual á este ángulo; la línea de mira ns ó 0° - 180° está entonces en el meridiano, y ya sólo resta leer en el limbo M el ángulo que forma con ella la dirección de la aguja imanada. Este ángulo es la declinación magnética del lugar en el momento de la observación.

Se emplea el mismo método cuando, para medir la declinación, se hace uso de la brújula de Gambey (fig. 40); sólo que con este instrumento se puede obtener el elemento en cuestión con mayor exactitud. La aguja de este aparato es una barra imanada AB cuyos extremos llevan dos anillos de hilos cruzados que sirven de miras. Esta barra está suspendida de un eje movable por medio de un haz f de hebras de seda sin torcer. El marco que sostiene el eje lleva al propio tiempo un anteojo L, que desempeña el mismo papel que el de la brújula descrita anteriormente. El marco que lo so-

porta, y que soporta también el hilo de suspensión y la barra, puede girar sobre el plano de un limbo graduado CC, provisto de nonios con los cuales se leen los grados que corresponden, ya á la posición del anteojo y por consiguiente á la del plano vertical de la aguja observada, ya á la del plano vertical que contiene el eje de la barra imanada. Para evitar la influencia de las agitaciones del aire, la hebra de seda está

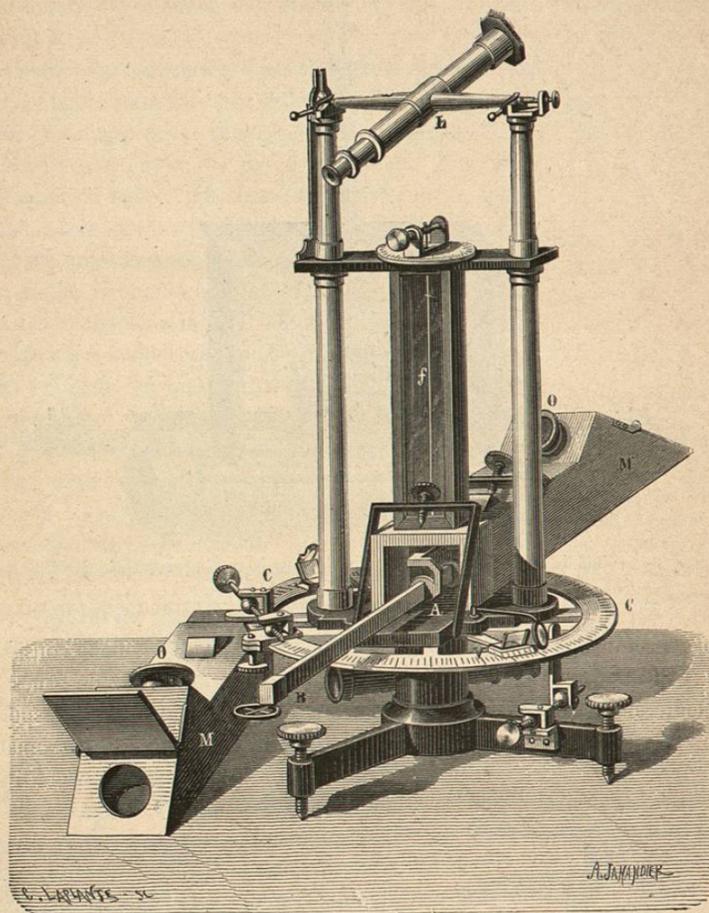


Fig. 40.—Brújula de declinación de Gambey

metida en una caja de cristal, y en otra caja MM la barra, cuyos extremos se observan entonces por las aberturas OO.

La observación de la declinación absoluta con un instrumento tan complicado como el que acabamos de describir es una operación delicada y bastante larga; de suerte que, mientras dura, la aguja puede experimentar cambios apreciables en su dirección, y por consiguiente el resultado que se obtiene no es más que un término medio de los valores verdaderos de la declinación en dicho intervalo. En los observatorios meteorológicos, rara vez se observa la declinación absoluta, al paso que se estudian y anotan con regularidad las variaciones que sufre de un día para otro; entonces se emplea un aparato construido con este objeto especial y que ha recibido el nombre de *brújula de variaciones*.

He aquí la descripción de la brújula de variaciones de declinación del observatorio de Montsouris: Se compone de una caja de cobre rojo basada en una placa de mármol (fig. 41) y cuyas dos grandes caras laterales son cristales. Sobre la caja hay un tubo de cobre terminado en su extremo superior en un tambor de pinza, graduado en

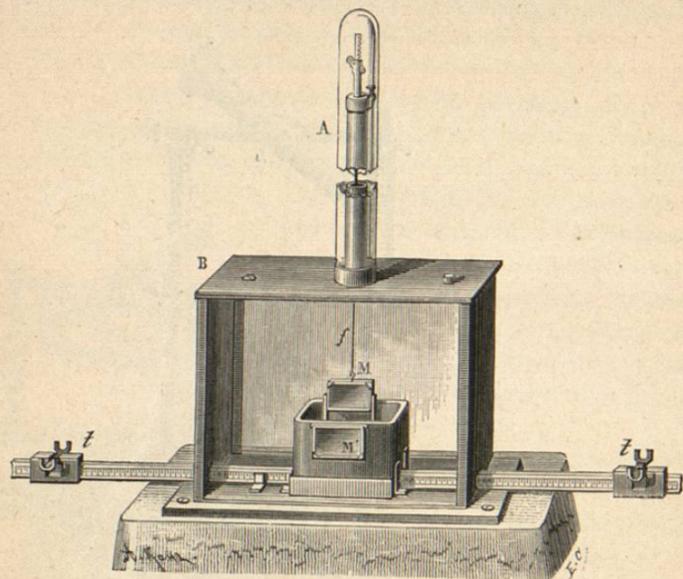


Fig. 41.—Brújula de las variaciones de declinación usada en el observatorio de Montsouris

su contorno. En el centro del tambor hay una barra dentada y un tornillo de presión, y de la barra está suspendido el hilo *f* de la brújula. La aguja imanada consiste en una barra de acero de 96 milímetros de longitud por 10 de altura y 2 de grueso, regular y fuertemente imanada por la pila eléctrica; está fija paralelamente á un espejo *M* que

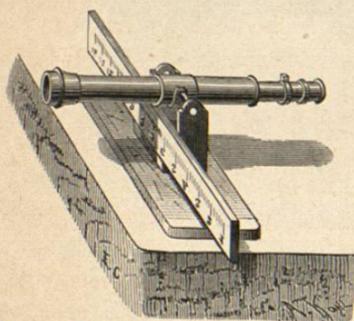


Fig. 42.—Anteojo de la brújula de variaciones

lleva el gancho de suspensión, y se mueve libremente dentro de un anillo de cobre rojo de 50 milímetros de altura y 7 de grueso, destinado á amortiguar las oscilaciones de la barra en virtud de las acciones inductivas que el imán en movimiento desarrolla en el cobre; este anillo lleva un espejo fijo *M'* para las referencias. La brújula de variaciones está empotrada en un pilar de piedra de sillería en el interior del pabellón magnético; enfrente, y á 1^m,719 de distancia, hay otro pilar parecido al primero y en el cual hay encajado un anteojo, cuyo eje óptico está dirigido hacia el centro del espejo (fig. 42). Transversalmente al anteojo y fija á su pie hay una regla horizontal dividida en milímetros. El anteojo, provisto en su foco de un hilo vertical, da la imagen de las divisiones de la regla reflejada por el espejo. Esta imagen, fija cuando el espejo lo está, se desvía con él en un ángulo doble de la desviación de éste. La distancia de la regla al espejo, 1^m,719, ha sido calculada de modo que la imagen avanza en el campo del anteojo una división de la regla cuando el espejo se desvía 1' de arco. Se puede, pues, apreciar á la vista hasta décimos de minuto.

III

INCLINACIÓN É INTENSIDAD MAGNÉTICAS

Cuando una aguja imanada está suspendida por su centro de gravedad de modo que pueda moverse en todos sentidos alrededor de este punto, se sitúa, según sabemos, en el meridiano magnético, y en este plano forma con el horizonte un ángulo constante que es la *inclinación magnética* del lugar en el instante de la observación. Si la aguja está dispuesta, como se acostumbra, de modo que pueda girar libremente alrededor de un eje horizontal que pase por su centro de gravedad, toma por lo regular una posición inclinada al horizonte, pero que varía con el azimut del plano vertical que contiene la aguja. El ángulo que forma así con la horizontal es *mínimum* cuando aquélla está en el plano del meridiano magnético; va creciendo á medida que se desvía de este plano, y llega á 90° cuando el plano en que se halla forma un ángulo recto con dicho meridiano; en otros términos, la aguja está entonces vertical. El primero de estos ángulos es la inclinación magnética del lugar en que se hace la observación.

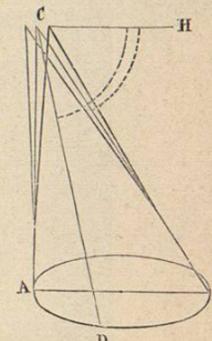


Fig. 43.—Ángulos máximo y mínimo de la aguja imanada con el horizonte; HCB, ángulo mínimo en el meridiano magnético; HCA, ángulo máximo perpendicularmente á este meridiano.

Para medir la inclinación se usan instrumentos especiales que vamos á describir y que llevan el nombre de *brújulas de inclinación*. La figura 44 representa una de ellas.

Se compone de un círculo metálico, graduado y vertical, que lleva en su centro la aguja imanada, movable alrededor de un eje horizontal perfectamente cilíndrico, el cual pasa por el centro de gravedad de la aguja. Este eje gira sobre el filo de dos plaquitas de ágata paralelas sostenidas en un bastidor horizontal puesto en la dirección del diámetro del círculo graduado. Todo este conjunto, sostenido por dos columnas, puede dar vueltas alrededor de un eje vertical que forma el pie de la brújula. Con un segundo círculo horizontal y fijo se puede medir el ángulo azimutal del primero, es decir, del plano vertical que contiene la aguja de la brújula. Un nivel situado debajo del limbo y tres tornillos de nivel sirven para colocar horizontalmente el círculo fijo y por consiguiente cerciorarse de la verticalidad del plano de la aguja.

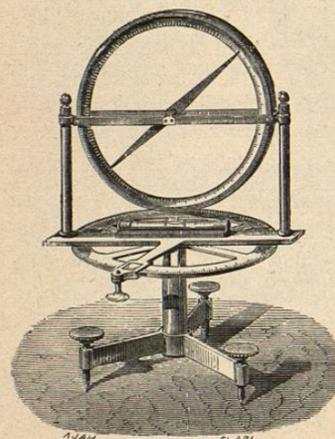


Fig. 44.—Brújula de inclinación

Cuando se han llenado estas condiciones, se empieza por determinar la posición del meridiano magnético, lo cual se puede hacer de dos modos: ó buscando la posición en la cual la aguja forma un ángulo mínimo con la horizontal, en cuyo caso se halla precisamente en el meridiano, ó buscando aquella en que la aguja quede vertical, posición que toma al hallarse en un plano perpendicular al meridiano magnético, bastando hacerla girar 90° para conducirla al meridiano mismo. Obtenida esta posición, se

conocerá la inclinación viendo el número de grados que hay en el limbo vertical entre su 0° y una ú otra de las dos puntas de la aguja imanada.

Como puede suceder que la imanación de la aguja no sea perfectamente regular y que los polos no estén en el eje de figura, se comprueban nuevamente los grados por el método de inversión, es decir, volviendo la aguja de suerte que la arista inferior ocupe el sitio de la superior: el promedio de los dos números de grados da la inclinación,

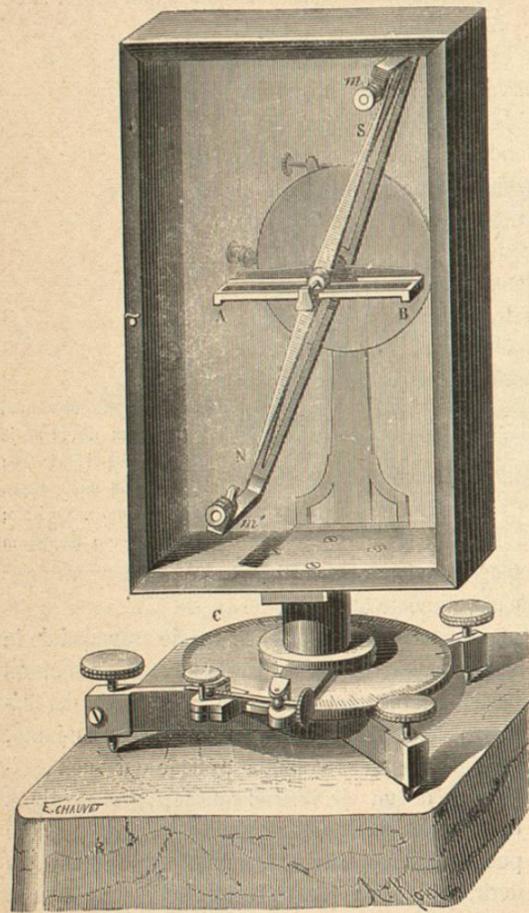


Fig. 45.—Brújula de inclinación absoluta

rectificada de esta causa de error. Otra hay también que puede proceder de la falta de coincidencia del eje de rotación con el centro de gravedad de la aguja. En este caso, la acción de la gravedad altera el ángulo de inclinación. Corrígese el error que resulta de esta alteración quitando la aguja, é imanándola en sentido contrario de suerte que sus polos cambien de sitio. Se mide de nuevo la inclinación con la aguja así modificada, mediante otras dos lecturas de grados. El promedio de las cuatro lecturas ú observaciones da entonces la inclinación verdadera, en la época y lugar en que se han efectuado.

Quando se quieren observar las variaciones de la inclinación á distintas horas del período diurno, se usan instrumentos especiales que reciben en este caso el nombre de *brújulas de variaciones en inclinación*.

Las figuras 45, 46 y 47 representan la brújula de inclinación absoluta y la de variaciones de inclinación, tales como se emplean en el pabellón magnético del observatorio de Montsouris. Compónese la primera de un círculo graduado C sostenido por tres tornillos de nivel y en cuyo eje descansan el soporte de la aguja imanada, la caja que la contiene y el círculo de los microscopios m, m' , círculo del que sólo se ve la sombra al través del cristal deslustrado de la caja (fig. 45), pero que reproducimos visto por el otro lado en la figura 46.

La aguja imanada SN tiene la figura de rombo, 402 milímetros de longitud y $1^{mm}.3$ de grueso. Termina por ambos extremos en puntas muy finas que se miran directamente por medio de dos microscopios m, m' , los cuales son movibles alrededor del eje del círculo graduado vertical que sirve para medir su inclinación. Para que pueda mirarse la aguja mientras oscila, los microscopios están provistos en el foco del objetivo de una

placa de cristal dividida en décimas de milímetro á cada lado de la línea central. Cada intervalo de este micrometro corresponde á $2' 2''$ y puede dividirse á la vista en diez partes, de modo que las indicaciones de la aguja se pueden hacer á $\frac{1}{10}$ de minuto. Por otro lado, el círculo graduado vertical V (fig. 46) que mide la inclinación de los microscopios da también décimas de minuto, habiendo así uniformidad en el grado de precisión de ambas lecturas.

La observación que hemos hecho acerca de lo largo de las operaciones que exige la medición de la declinación absoluta, es aplicable también á la de la inclinación absoluta. Así es que, en las observaciones magnéticas, sólo de vez en cuando se efectúan estas mediciones. En cambio, las observaciones cotidianas se consagran con regularidad á medir las variaciones de estos elementos, lo cual se hace más fácil y rápidamente con brújulas de variación.

Hay otro elemento cuya determinación es de gran importancia para el estudio del magnetismo terrestre: la *intensidad* de la fuerza que actúa sobre la aguja imanada, es decir, de la resultante total de las acciones magnéticas ejercidas en ella por la Tierra. La declinación y la inclinación indican la dirección de la acción magnética del par terrestre, pero no nos ilustran sobre las variaciones que experimenta la fuerza misma, según los lugares y las épocas de observación.

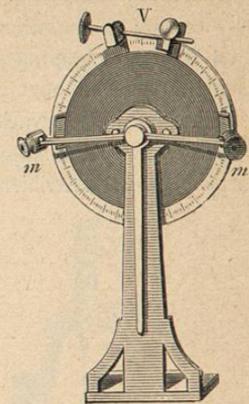


Fig. 46.—Círculo de la cara posterior de la brújula de inclinación absoluta

El método empleado para medir la intensidad magnética se basa en la asimilación de las oscilaciones de una aguja imanada, que se separa infinitamente poco de su posición de equilibrio, con las oscilaciones de un péndulo. La observación prueba en efecto que estas oscilaciones son isócronas, y por tanto las fuerzas magnéticas que las producen están en razón inversa de los cuadrados de sus duraciones, ó lo que es lo mismo, son proporcionales á los cuadrados de los números de oscilaciones que la misma aguja imanada efectúa en un tiempo dado.

Supongamos, pues, que se toma una aguja imanada, que se la hace oscilar alrededor de su posición de equilibrio, y que se la transporta á

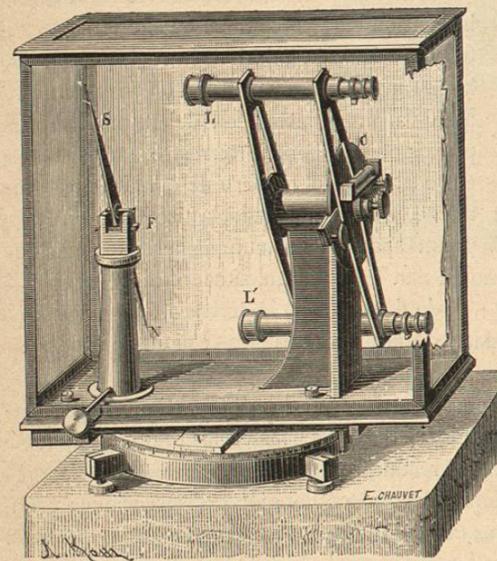


Fig. 47.—Brújula de las variaciones de inclinación del observatorio de Montsouris

otro lugar, contando en cada caso el número de oscilaciones que efectúa en un tiempo dado.

Las intensidades magnéticas de ambas estaciones serán entre sí como los cuadrados de dichos números. Para esto se hace uso indistintamente de la aguja de inclinación