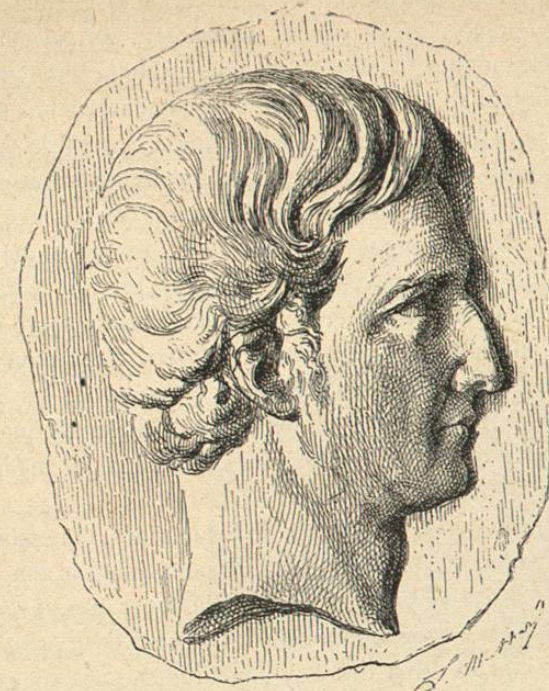


menos visitando el puerto de la Jungfran. En lugar de una caída de gresil, era una copiosa nevada la que acompañó á esas singulares manifestaciones de la tensión eléctrica en las altas regiones; á los silbidos de los palos, hachas y otros objetos salientes, se unía el ruido de los copos de nieve, que, según Watson, se asemejaba al de una fuerte granizada.

En resumen, ciertos países parecen dotados en alto grado de la propiedad de emitir, en tiempo seco, electricidad á considerable tensión, sucediendo lo propio con los puntos del suelo que por su altitud ó su forma saliente ó aguda son eminentemente adecuados para dar salida á la electricidad acumulada en la superficie de la tierra. En el primer caso, los fenómenos se explican por la persistencia de ciertos vientos, por la evaporación abundante que suscitan, por la sequedad del aire que es su consecuencia, y que según sabemos es una condición de la manifestación de la electricidad. Pero si se puede así, *grosso modo*, dar la razón de los hechos observados, en cambio se sabe muy poco acerca de las circunstancias complejas de su producción y de su conexión con los demás fenómenos meteorológicos.



GAY-LUSSAC

SEGUNDA PARTE

APLICACIONES DE LOS FENÓMENOS Y DE LAS LEYES
DEL MAGNETISMO Y DE LA ELECTRICIDAD

CAPÍTULO PRIMERO

LA BRÚJULA

I

BRÚJULA DE DECLINACIÓN. — SUS USOS EN LA NAVEGACIÓN

Mucho antes de conocerse las leyes de los fenómenos magnéticos, se hacía uso de la brújula para navegar lejos de las costas, cuando el cielo, cubierto de nubes ó de brumas, no proporcionaba ninguna indicación astronómica del rumbo que debían seguir los barcos en el mar. Este es uno de los ejemplos más sorprendentes de una de las aplicaciones de los fenómenos de la física que precedió con mucho al descubrimiento de las leyes ó de la teoría. "Más de mil años antes de nuestra era, dice Humboldt, en la obscura época de Codro y del regreso de los Heraclidas al Peloponeso, los chinos tenían ya *balanzas magnéticas*, en uno de cuyos brazos había una figura humana que marcaba constantemente el Sur; y se valían de esta brújula para viajar al través de los

inmensos páramos de la Tartaria. En el siglo III antes de J. C., es decir, lo menos setecientos años antes de introducirse la brújula en los mares europeos, los juncos chinos navegaban por el Océano Indico guiándose por la indicación magnética del Sur., (*Cosmos.*)

Ya hemos dicho lo que eran los *carros indicadores del Sur*, de que habla Humboldt; en su forma más antigua consistían en una estatuita que giraba sobre un eje vertical; uno de sus brazos se extendía al Sur, porque contenía una aguja imanada con el polo boreal hacia la mano y el Norte ó austral hacia el hombro. Más adelante, en el siglo II, se dió otra forma á la brújula china que los árabes transmitieron á los navegantes europeos en la época de las primeras cruzadas: era una aguja imanada puesta sobre un flotador. Pero hasta la primera mitad del siglo XIV no se perfeccionó de nuevo un instrumento tan útil para la navegación y hoy tan precioso para el estudio de la física del globo, en cuya época se suspendió la aguja imanada sobre un eje (1).

La brújula de declinación presta frecuentes servicios á los navegantes, proporcionándoles uno de los elementos necesarios para el rumbo de los barcos, es decir, el ángulo que forma el eje del buque con el meridiano del lugar en que se encuentra. En la navegación por estima, el otro elemento que se determina por medio del instrumento llamado *corredera* es la marcha del barco.

La brújula lleva entonces, en el lenguaje de los marinos, el nombre de *aguja náutica ó de marear*. Se la instala de un modo fijo, á popa, junto al timón, en una especie de caja ó armario que se llama *bitácora*. Esta suele tener tres divisiones ó compartimientos: uno en medio, que contiene una lámpara, la cual sirve para las observaciones nocturnas; en cada uno de los otros dos hay una brújula, para comprobar las indicaciones de ambas.

La aguja imanada de la brújula marina descansa sobre un eje, en el centro de la *cubeta* ó cilindro de cobre; lleva un disco ligero en el cual está trazada una rosa de vientos, y que además hace más suaves las oscilaciones de la aguja. La cubeta, lastrada con una masa de metal, está sostenida á su vez por la bitácora mediante una *suspensión á la Cardán* (2), de modo que el plano del limbo subsista horizontal, cualesquiera que sean los movimientos del barco. Una raya ó una estrella marca en el borde anterior de la cubeta la dirección de la quilla ó del eje del buque, á cuyo punto se da el nombre de *cabeza de la brújula*.

Así pues, á todo instante se puede ver en la rosa de vientos el ángulo que forma la aguja imanada con la *cabeza de la brújula*. Añadiendo á este ángulo la declinación magnética ó deduciéndola del mismo ángulo, según los casos, se tendrá la orientación del barco.

Como se ve, el uso de la aguja náutica en la navegación marítima supone el conocimiento del valor de la declinación magnética en los puntos en que observa el marino;

(1) Según parece, este perfeccionamiento fué obra del napolitano Flavio de Gioia, á quien se atribuyó al principio la invención de la brújula.

(2) Úsase este modo de suspensión siempre que se quiere conservar á un objeto su posición relativamente al plano del horizonte, cualesquiera que sean los movimientos del soporte. Se consigue suspendiendo el objeto por medio de dos muñones, de suerte que adquiera un movimiento de rotación alrededor del eje de los mismos. Estos muñones descansan á su vez sobre los bordes de un marco móvil alrededor de otros dos muñones, cuyo eje tiene una dirección perpendicular á la del primer eje, y que se apoyan en el soporte de todo el sistema. La gravedad tiende de continuo á colocar el objeto suspendido en su primitiva posición de equilibrio, gracias á las dos rotaciones simultáneas alrededor de los ejes. Por lo que hace á la aguja náutica, los dos muñones de la cubeta están en dirección perpendicular á la quilla, y los otros dos dirigidos paralelamente á ésta.

mas para esto se requiere que no haya causas de perturbaciones capaces de inducirle á error, tanto más grave cuanto más exento de él se crea. Y esta causa de error existe, siendo la que resulta de la acción sobre la aguja imanada de las masas de hierro que contiene el buque. Lo que es más de temer es la imanación transitoria que ocasiona la influencia del globo sobre dichas masas, porque varía con la posición y con la orientación del buque.

Hace ya mucho tiempo que se notó la influencia del hierro de los barcos en la dirección de la aguja de la brújula. Muchos y muy ilustrados navegantes, como Parry, Ross, Sabine y Duperrey, estudiaron el modo de evitarla; primero, alejando toda pieza de hierro del sitio en que se coloca la brújula á popa, y luego, estudiando de antemano la desviación producida y procurando compensarla mediante la acción de masas de hierro situadas convenientemente. Los *compensadores magnéticos* ó *placas de corrección* propuestas por Barlow requieren que se estudien ante todo las desviaciones sufridas por la aguja por efecto de la acción del hierro del buque orientado en diferentes posiciones, comparando las indicaciones de su brújula con las de otra colocada en la playa; y luego, que se averigüe por tanteo el punto en que se debe poner la placa de corrección para producir desviaciones iguales. Observando en seguida la brújula dos veces, la primera quitando la placa de corrección, y la segunda poniéndola de nuevo en su sitio, la diferencia es igual al doble del error buscado.

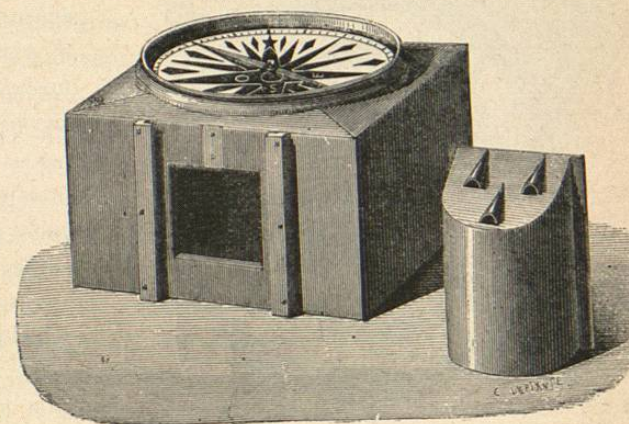


Fig. 290.—Brújula marina

Pero siempre se tropieza con la dificultad de que el estado magnético de las masas de hierro del barco no es constante, como tampoco lo es el de las placas de corrección, pues ambas varían con la temperatura y con los cambios de latitud. Por otra parte, hoy que va en aumento el número de buques con casco de hierro ó cubiertos de una coraza de metal, dicha causa de error es más marcada, pareciendo positivo que la desviación de la aguja imanada en los buques así contruidos ha sido la principal causa de muchos siniestros. Cuando se remachan los pernos de un casco de hierro, se desarrolla un magnetismo intenso, se da lugar á la formación de un imán, cuya dirección depende de la del eje del barco en construcción. Este magnetismo actúa sobre la aguja imanada instalada en seguida á popa, y esta acción produce una desviación que se ha de calcular ó definir para evitar los errores de observación. Mediante la instalación de una brújula-tipo en otro punto de la embarcación se puede hacer la corrección necesaria; pero también se apela á un medio que consiste en poner en sitios á propósito barras de hierro dulce ó imanes capaces de anular la desviación. Por desgracia sucede, según acabamos de decir, que, durante el viaje, el magnetismo propio del barco cambia de dirección é intensidad, y entonces es tanto mayor el riesgo cuanto más seguro se cree el marino.

Ya se emplee el procedimiento que consiste en determinar para cada buque la ley

de las perturbaciones que sufre su brújula y en deducir por el cálculo una tabla de las correcciones que se han de aplicar á cada una de sus indicaciones, ó ya se neutralicen los efectos de desviación valiéndose de imanes poderosos, es lo cierto que ambos procedimientos pueden ser y son con frecuencia deficientes. Según lo demuestra la experiencia, durante el viaje ocurren cambios en la polaridad de los buques de hierro y en la posición de los imanes con relación al meridiano, de lo cual resultan forzosamente graves errores. "La desviación de la brújula por efecto de la acción del hierro, dice M. Evan Hopkins, amenaza ser fatal para la vida y para los bienes de muchas personas. El número de barcos de hierro que se construyen en la actualidad excede con mucho del de los de madera, y sobre todo del de los destinados al transporte de pasajeros.

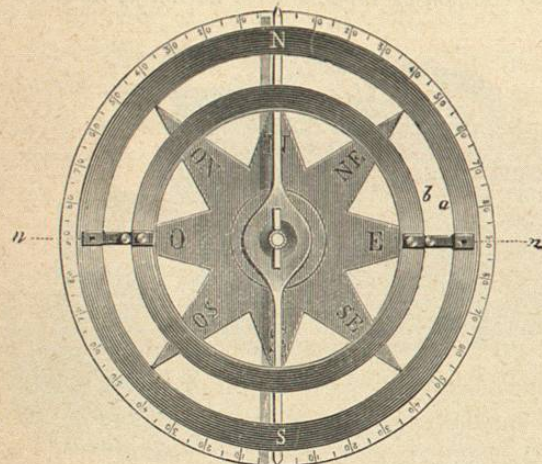


Fig. 291.—Brújula circular de Duchemín

- „1.º Neutralizar ó anular la polaridad adquirida por un buque de hierro durante su construcción, por medio de un imán de herradura;
- „2.º Elevar la brújula á una altura tal, que esté fuera de la esfera de actividad de la atracción ejercida por el hierro forjado de la embarcación;
- „3.º Poner un reflector cerca de la brújula, de modo que se pueda ver la rosa como la esfera de un reloj, y leer exactamente sus indicaciones á 20 pies de distancia del timón;
- „4.º Poner una rosa muda enfrente del timón para establecer la marcha del barco, para guiar al timonel, y evitar así los errores procedentes de las indicaciones verbales, pues la rosa de vientos y la muda estarán arregladas de modo que se correspondan mutuamente;
- „5.º Construir y emplear agujas imanadas de la mayor fuerza directriz, para obviar la inestabilidad y las oscilaciones excesivas;
- „6.º Emplear agujas curvas preparadas para la navegación por altas latitudes, en las que las agujas rectas son muy lentas en sus movimientos, siendo por consiguiente su dirección incierta.

M. E. Duchemín ha construido una brújula circular, representada en la figura 291 y que parece tener cierta superioridad sobre las ordinarias. Responde en efecto al deseo expresado en la quinta condición de las enumeradas por Hopkins, esto es, mayor fuerza directriz y estabilidad más segura. Se compone de dos círculos de acero concéntricos, imanados y unidos por un travesaño de aluminio. En los puntos marcados NS, la

En el Canal de la Mancha y en otros puntos han ocurrido muchos siniestros, y durante estos últimos años han naufragado bastantes buques á consecuencia de las grandes desviaciones de sus brújulas. Por más que estos hechos están hoy plenamente demostrados, se supone que son males incurables, inseparables de los buques de hierro y á los cuales hay que resignarse porque es imposible evitarlos.

El mismo autor enumera como sigue los remedios adecuados á precaver los peligros de las desviaciones de la brújula en los buques de hierro:

imanación es máxima, y desde ellos disminuye gradualmente hasta los extremos del diámetro perpendicular *nn*, en donde es nula y donde constituye por tanto la línea neutra del sistema de los círculos imanados. Descansa sobre un eje y sobre una chapa de ónice.

En el transcurso de los años 1874, 1875, etc., se han hecho muchos experimentos comparativos en los buques del Estado, y todos ellos han resultado favorables á la brújula Duchemín. Se ha reconocido que su sensibilidad es superior á la de las agujas de las brújulas marinas ordinarias, lo cual consiste sin duda en que, á igualdad de peso, un anillo circular es susceptible de mayor cantidad de magnetismo que una barra. También es más estable; sus oscilaciones son más lentas que las de la aguja; "como rosa de buen tiempo es excelente, porque no duerme, dice el autor de un dictamen sobre esta brújula; como rosa de temporales ofrece una estabilidad mecánica que debe hacerla preferible á la brújula ordinaria."

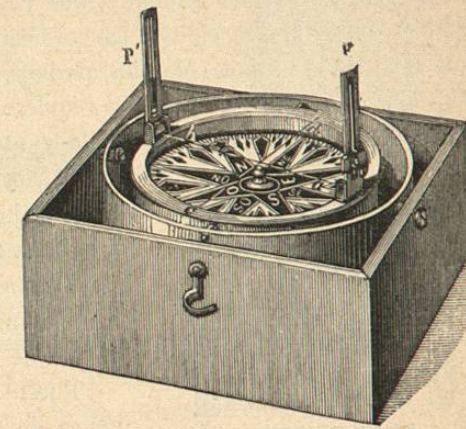


Fig. 292.—Aguja de variación ó acimutal

Asimismo se hace uso en la marina de una brújula que tiene precisamente por objeto el averiguar la declinación magnética por una operación enteramente análoga á la que dejamos descrita en el artículo segundo del capítulo IV del *Magnetismo*. Se observa un astro conocido, se mide su ángulo acimutal, lo cual, mediante un cálculo en que entra la hora de la observación, da la dirección de la meridiana, y se deduce de ello la declinación. La brújula toma entonces el nombre de *aguja de variación ó acimutal*.

Es portátil, como la brújula de la figura 39, no difiriendo de ella sino en que la lente está reemplazada por una alidada concéntrica, de pínulas P, P', diametralmente opuestas. La caja que contiene la aguja imanada con limbo graduado está suspendida á la Cardán. En el borde de esta caja hay dos hilos cruzados en ángulo recto, dando uno de ellos la dirección de las ranuras de las pínulas y por consiguiente la del plano de mira. Una de las pínulas lleva un espejo á 45° en el cual se refleja el arco y las divisiones correspondientes del limbo, al mismo tiempo que se ve el astro al través de las ranuras de las pínulas y de una línea del espejo de la que se ha quitado el

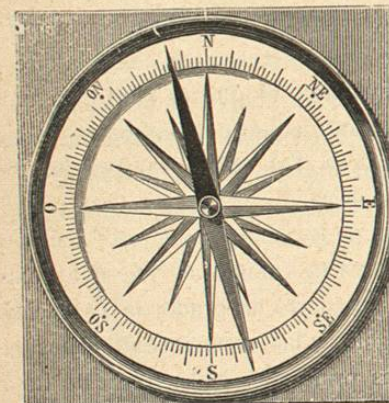


Fig. 293.—Aguja de declinación

azogue. Mientras un observador dirige la visual al astro, sea estrella, luna ó sol, ó á un objeto terrestre, y lee en el espejo la división que marca el ángulo de la aguja imanada con la vertical, otro observador efectúa una segunda lectura con el hilo tendido en ángulo recto en dirección de las pínulas, lectura que es comprobación de la primera. Con este instrumento sólo se puede dirigir la visual á objetos poco elevados sobre el horizonte, de 15° á 20° á lo sumo.

A veces se instala la aguja acimutal en una plataforma, sobre la cubierta de la escala de popa.

II

LA BRÚJULA DE DECLINACIÓN USADA EN GEOGRAFÍA Y EN GEODESIA

Los viajeros, en sus exploraciones geográficas continentales, y los geólogos que quieren conocer la dirección de las cordilleras de montañas u otros accidentes del suelo, se valen de la brújula como los marinos, sólo que, como el instrumento es más fácil de instalar en una posición fija, no requiere un modo de suspensión tan complejo; basta un trípode al cual se sujeta la brújula con tornillos, y un nivel de aire para cerciorarse

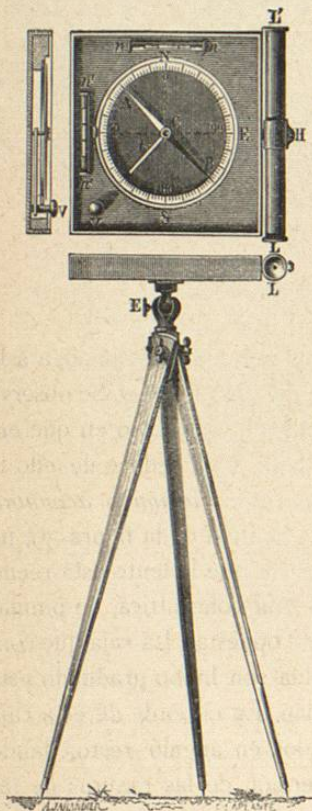


Fig. 294.—Brújula de los geómetras

de la horizontalidad del limbo. Con un pequeño anteojo de hilos reticulares, que se mueve paralelamente á la línea de fe en un plano vertical, se dirige la visual en dirección de la línea que se trata de orientar. Las brújulas más sencillas tienen una alidada de pínulas en vez de anteojo.

Puesto que, cuando se conoce la declinación magnética de un lugar, se puede averiguar rápidamente con la brújula el ángulo de una línea con la meridiana ó su orientación, claro está que si se han determinado de este modo los ángulos acimutales de una serie de líneas horizontales, por ejemplo los de los lados de un polígono, bastará deducir la diferencia entre estos ángulos para conocer los que las líneas forman entre sí. Más aún: si sólo se desea determinar ángulos del polígono, se conseguirá del mismo modo, sin necesidad de conocer la declinación magnética. Basta para ello que durante la operación sea constante la dirección de la aguja imanada, lo que es cierto en una medida suficiente durante el período ordinario de las operaciones topográficas. Tal es el principio del uso de la brújula en geodesia.

Pero la medición de los ángulos por este método no es ya bastante exacta cuando se quiere aproximar hasta medio ó un cuarto de grado; la oscilación de la aguja imanada, que dificulta la lectura del ángulo, y las variaciones diurnas de la declinación, á veces bastante considerables, son las principales causas de esta falta de precisión.

Para levantamientos de planos perentorios, por ejemplo los de reconocimientos militares, se han construido brújulas que ni siquiera dan la aproximación que hemos indicado, por la sencilla razón de que el instrumento se sostiene en la mano y no en una instalación fija.

Describiremos dos ó tres de estos aparatos que pueden prestar grandes servicios en las circunstancias especiales en que se hace uso de ellos.

La *brújula de Burnier*, metida en una caja elíptica, se compone de una aguja imanada que lleva una banda cilíndrica muy delgada *aaa* (figs. 295, 296 y 297), la cual sirve de limbo y en la que hay trazadas divisiones verticales. La línea de mira la deter-

mina una crin *OMN*, fija por los dos cabos en los dos extremos de un diámetro de la caja, y que se tiende por medio de un arco elíptico *AMB* que gira alrededor de los puntos *A* y *B* y puede tomar la posición vertical que sirve para tesar el hilo, ó bien re-

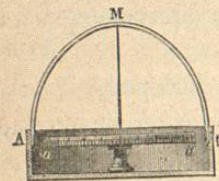


Fig. 295.—Brújula de Burnier: plano

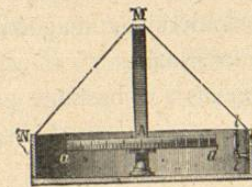


Fig. 296.—Brújula de Burnier: corte en dirección del eje menor

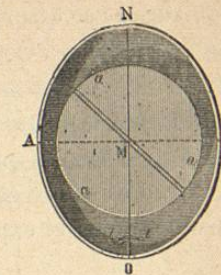


Fig. 297.—Brújula de Burnier: corte en dirección del eje mayor

cogerse en la caja. Se leen las divisiones del limbo vertical por un orificio circular *O* practicado en la caja en el plano de la crin tirante, cuyo orificio está provisto de un cristal de aumento *tt* para facilitar la lectura. Al mismo tiempo que se dirige la visual á un punto remoto valiéndose de la crin á modo de alidada, se lee por el agujero ocular

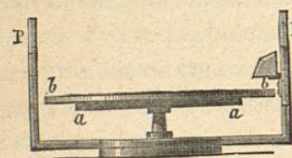


Fig. 298.—Brújula de Kátter: corte

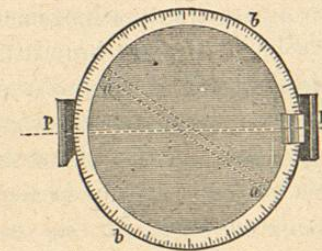


Fig. 299.—Brújula de Kátter: plano

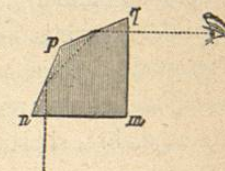


Fig. 300.—Prisma de reflexión total

el número de la división del limbo vertical que aparece delante del ojo, y este número será la medida del ángulo que la línea visual forma con el meridiano magnético.

En la *brújula del capitán Kátter* (figs. 298 y 299) la aguja *aa* lleva un limbo horizontal graduado *bb*; al mismo tiempo que se mira un objeto por las pinulas *PP*, el

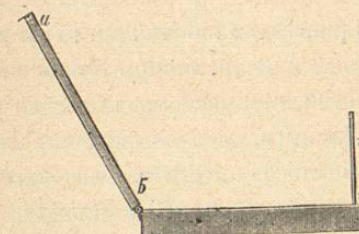


Fig. 301.—Brújula de Hossard: corte

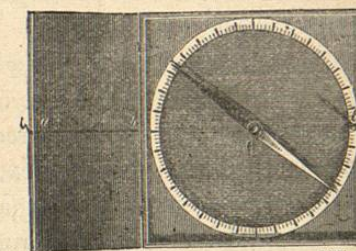


Fig. 302.—Brújula de Hossard

ojo puede percibir por doble reflexión total, á través de un prisma *mnpq* (fig. 300), el número de la división del limbo que se presenta debajo del prisma en el plano vertical de la línea de mira. A menudo se sustituye el prisma con un espejo plano inclinado 45° y que produce el mismo efecto.

En la *brújula de Hossard* (figs. 301 y 302) el limbo va fijado á la caja, la cual

tiene una tapa que se abre á charnela y cuya cara interior es un espejo. En el plano vertical de simetría de este espejo se ha trazado una línea bien visible *ab*, y en medio del borde opuesto de la caja descuella un vástago vertical *tt* que puede bajarse horizontalmente cuando se quiere cerrar aquélla. Para dirigir la visual á un objeto, es menester ponerse de espaldas á él y hacer de modo que el vástago *tt*, la imagen de este vástago y la raya *ab* del espejo corten verticalmente la imagen del objeto. La medida del ángulo que forma la línea visual con el meridiano magnético se lee directamente en el limbo al mismo tiempo que se dirige la visual.

Las dimensiones de estas tres brújulas son bastante pequeñas para poder tenerlas en la mano durante el experimento y metérselas en el bolsillo una vez terminado éste.

III

LA BRÚJULA Y LA BUSCA DE MINAS DE HIERRO

El sueco Thalen ha estudiado la influencia que los yacimientos de hierro de cierta extensión ejercen en las indicaciones de la brújula de declinación, y de los resultados de este estudio ha deducido reglas que, desde el punto de vista técnico, pueden tener importancia práctica y positiva para el arte del ingeniero geognosta.

Cuando se observa en cualquier sitio una brújula de declinación y, valiéndose por ejemplo del método de las oscilaciones, se determina el valor de la componente horizontal del magnetismo terrestre en dicho sitio, esta componente no varía por lo general de un modo apreciable en una gran extensión. Pero sucede lo contrario si el observador se halla en una región en que haya debajo de tierra masas de óxido de hierro, en una palabra, si está cerca de una mina. En este caso, la intensidad magnética que determina con ayuda de la brújula es la resultante de las acciones combinadas del globo, por una parte, y de las masas perturbadoras, por otra. Cambiando de sitio en varias direcciones, obtendrá distintos valores de intensidad, porque si la componente horizontal del magnetismo terrestre continúa, según acabamos de decir, sensiblemente constante, no sucede lo propio con la acción magnética de las masas de mineral, cuyo espesor y distancia á la brújula varían durante los cambios de sitio del observador. Así pues, la resultante de ambas acciones difiere en las inmediaciones de las minas de hierro, y el estudio de estas variaciones puede proporcionar indicaciones sobre la extensión y profundidad del yacimiento.

Tomando el valor de la intensidad en muchos puntos, se hallarán por lo menos dos puntos *aA* en que este valor llegue á un *mínimum* y á un *máximum*. Reuniendo por medio de líneas los puntos del terreno en que dicha intensidad sea la misma y esté comprendida entre los dos valores extremos, resultarán curvas á las que podrá darse el nombre de *isodinámicas*, por analogía con las *isodinámicas* terrestres. Estas dos curvas forman otros tantos sistemas, que rodean, uno el punto de intensidad *mínimum* *a*, y otro el de intensidad *máximum* *A*, separados por una línea casi recta en que la intensidad guarda un término medio entre el *máximum* y el *mínimum*, y que será la *línea neutra*.

Pues bien, M. Thalen ha demostrado: 1.º que la dirección general de la capa de mineral magnético es la de la línea que reúne los dos puntos que forman los centros de los dos sistemas; 2.º que la distancia del meridiano magnético del punto *A* al de intersección de la línea neutra con *Aa*, es igual á la mitad de la distancia del centro de la

masa del mineral á la superficie del suelo, siempre que esta masa se halle situada á gran profundidad. El sabio sueco deduce de aquí esta regla práctica: *que, para la explotación, es menester excavar debajo del punto A*. Esta regla es aplicable *à fortiori* al caso en que el mineral esté muy cerca del suelo.

Las leyes del magnetismo explican los resultados de las investigaciones de M. Thalen, pero estos resultados han sido confirmados además por pruebas prácticas hechas en minas conocidas y explotadas, de todo lo cual se deduce fácilmente que el uso de la brújula para la busca de minas de óxido de hierro magnético será en adelante un auxiliar indispensable ó por lo menos muy útil del arte del ingeniero.

CAPITULO II

LOS PARARRAYOS

I

PRINCIPIOS QUE SIRVEN DE BASES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PARARRAYOS

Arago enumera en su erudito *Tratado del Rayo* los varios procedimientos á que la preocupación popular ó la de los hombres de ciencia ha venido atribuyendo la propiedad de disipar las tormentas ó de preservar del rayo, desde la antigüedad hasta la época de Franklin y aun hasta la nuestra. Gran parte de estos procedimientos no son otra cosa sino prácticas que tienen por origen una creencia supersticiosa, y por lo tanto no merecen mención especial. Algunos están basados en hipótesis que la práctica no ha justificado, ó acerca de los cuales la observación ha dado hasta ahora resultados contradictorios.

Por ejemplo, se ha creído que encendiendo grandes hogueras al aire libre se quitaban en parte á las nubes sus propiedades fulminantes. Tal era la opinión de Volta, fundada sin duda en que las llamas, los gases caldeados son buenos conductores de la electricidad. Pero, en el caso citado de las hogueras, ¿se elevan las columnas gaseosas á suficiente altura para llegar á las nubes tempestuosas? Verdad es que se han citado localidades en que los campesinos tenían la costumbre de encender, al acercarse una tormenta, montones de paja esparcidos por los campos, cuyas localidades se libraron en efecto de los estragos del rayo ó del granizo. Mas por otra parte, también se ha dado el caso de estallar grandes incendios antes ó durante una gran tempestad, sin que ni siquiera las nubes más próximas al lugar del siniestro parecieran privadas en lo más mínimo de su electricidad.

Los marinos y labradores han empleado también otro medio de disipar toda clase de nubes, y por consiguiente las tempestuosas, cuyo medio consiste en disparar cañonazos ó grandes petardos. Pero los ejemplos concluyentes que cita Arago en pro y en contra de este método prueban que dista mucho de ser de verdadera eficacia. Tampoco está demostrado que haya tenido jamás alguna influencia en la dispersión de las nubes, y del propio modo se podría sacar una deducción contraria de los hechos conocidos.

Otro tanto debemos decir del sonido de las campanas. La costumbre de repicar las de las iglesias durante las tormentas no tiene más origen que la superstición, y el efecto