



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### **Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### **About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



## Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

## Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

## Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>

QC  
818  
R45  
LAC

QC 818 R45 LAC

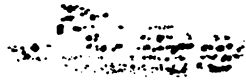
651 Reyes, V., memoria s. el departamento magnético del observat. meteorológ. central de México. Con 1 lám. En-8 may. México 1884. 59 pp.

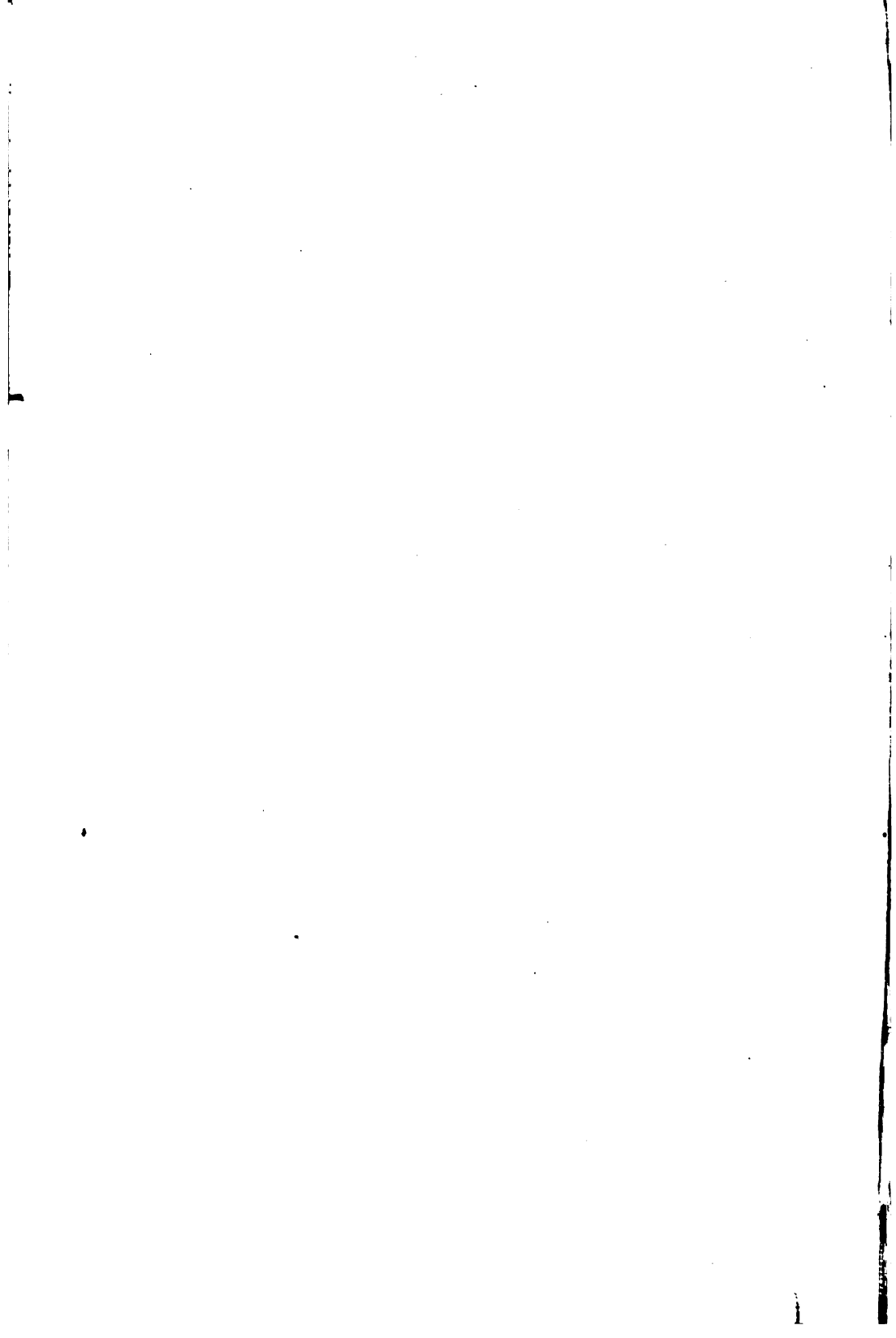


THE LIBRARY  
OF  
THE UNIVERSITY  
OF TEXAS  
AT  
AUSTIN

QC  
818  
R45  
LAC

LATIN AMERICAN COLLECTION





# MEMORIA

SOBRE EL

984

# DEPARTAMENTO MAGNÉTICO

DEL

OBSERVATORIO METEOROLÓGICO CENTRAL DE MÉXICO

POR

VICENTE REYES

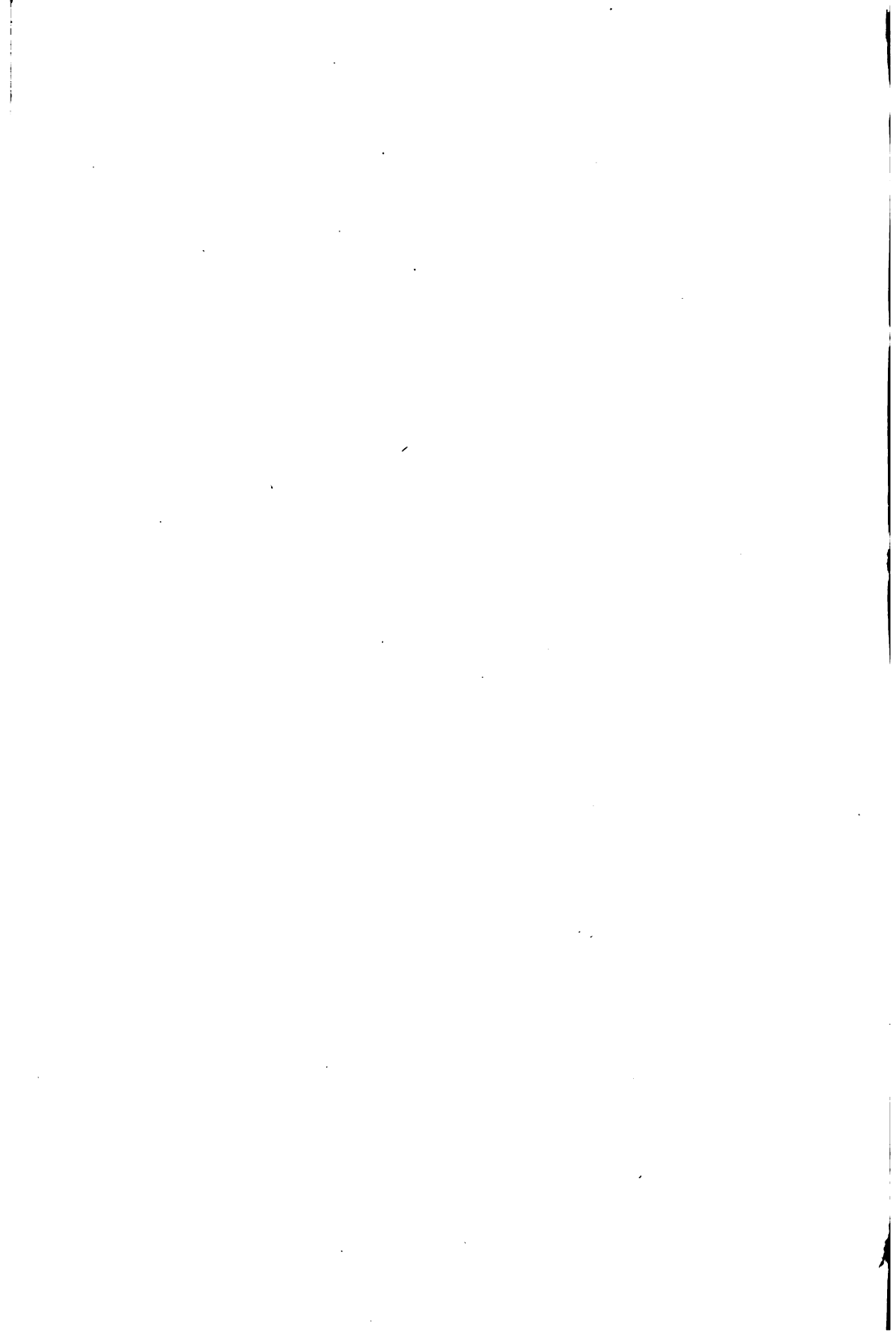
Ingeniero Civil y Arquitecto



MÉXICO.

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO,  
Calle de San Andrés número 15.

1884





---

---

## INTRODUCCION.

---



LA fuerza misteriosa que produce los fenómenos del magnetismo terrestre, ha sido siempre objeto de particular estudio por parte del físico; y el conocimiento de sus variaciones y de su distribución geográfica, es asunto de singular interés para el meteorologista, el navegante y el viajero.

Tres elementos comprende el estudio de la fuerza magnética terrestre, á saber: la *declinacion*, la *inclinacion* y la *intensidad*. Los dos primeros hacen referencia á su direccion y el tercero á su grado de accion, determinado por la comparacion de sus efectos con los de otra fuerza conocida.

Suspendida una aguja imantada de manera que pueda girar libremente al rededor de un eje vertical, tomará, bajo la accion de la fuerza magnética de la tierra, una direccion fija en un plano vertical, cuya situacion se establece en el espacio por el azimut que forme con el meridiano geográfico. La medida angular del diedro formado por ambos planos, recibe el nombre de *declinacion*; distinguiéndose ésta en oriental y occidental, segun que el extremo de la aguja, dirigido hácia el Norte, se encuentre desviado al E. ó al W. de la meridiana que pasa por el lugar de observacion.

El plano vertical que contenga los dos polos de la aguja se llama el meridiano magnético, y meridiana magnética su traza sobre el plano horizontal.

Suspendida una aguja imantada por su centro de gravedad, de tal suerte que pueda girar al rededor de un eje horizontal, moviéndose en el plano del meridiano magnético, la línea de los polos, en nuestras comarcas, no permanecerá horizontal, pues se inclinará hácia abajo el extremo del iman vuelto al N.: el ángulo formado por el eje magnético con el horizonte se llama la *inclinacion*.

2. La fuerza atractiva de los imanes fué conocida de los pueblos occidentales de la antigüedad; pero los fenicios y los etruscos, los griegos y los romanos, ignoraron completamente la acción directa que el globo terrestre ejerce sobre la aguja imantada. Solamente á partir de los siglos XI y XII es cuando las naciones de Occidente adquieren el conocimiento de esa propiedad, que ha impulsado de una manera tan poderosa los adelantamientos de la navegacion, y que más tarde, en vista de los servicios materiales que podia prestar, ha promovido constantemente el estudio de una fuerza natural derramada sobre toda la tierra y, sin embargo, apenas observada en aquella época.

Más de mil años ántes de la Era Cristiana, los chinos sabian ya la propiedad inherente al iman de marcar el Sur y el Norte, y para dirigirse á través de las estepas inmensas de la Tartaria hacian uso de brújulas acuáticas, formadas de una aguja imantada que, flotando libremente en el agua, hacia mover el brazo de una figurita que señalaba el Sur. El precioso instrumento, que en los comienzos de su descubrimiento sólo se usaba en los viajes por tierra, convirtióse despues en un interesante auxiliar para la navegacion; y así se sabe que, bajo la dinastía de los Tsín y en el siglo IV de la era presente, los juncos chinos, guiados por la brújula, visitaron los puertos indios y las costas orientales del Africa. Mas para ver introducido el uso de la aguja imantada en los mares europeos, era preciso aguardar á que se generalizara en todo el Océano Indio, sobre las costas de la Persia y de la Arabia, lo que no tuvo efecto sino hasta entrado el siglo XII.

Las indagaciones históricas no han puesto de manifiesto de una manera segura, si la importacion de la brújula fué debida á la influencia directa de los árabes, ó á los cruzados, que desde el año de 1096 entraron en comercio con el Egipto y el Oriente propiamente dicho; pero sí se sabe que los que más eficazmente contribuyeron á vulgarizar el uso del nuevo instrumento, fueron los pi-

lotos moriscos, los genoveses, los venecianos, los mallorquinos y los catalanes.

Ya en la época que se viene considerando, las primitivas brújulas flotantes que, á causa de su excesiva movilidad, no podían servir para medir con exactitud sus indicaciones, habían sido reemplazadas por agujas que, moviéndose con libertad en el aire, estaban suspendidas de un hilo de seda ó de algodón muy ténue, según el procedimiento llamado hoy suspensión á la Coulomb y que Gilbert puso por primera vez en uso en la Europa occidental. Con este aparato comenzó á ser observada la *variación* ó declinación magnética en varios lugares de la tierra firme y de los mares, y merced á los viajes de descubrimientos que se llevaron á cabo en los siglos posteriores, se enriqueció la ciencia con nuevos é importantes elementos para el estudio del magnetismo terrestre, y con la tendencia á las observaciones manifestó el gusto por las especulaciones teóricas, concomitantes siempre de aquella y á menudo sus precursoras.

Colón, en su célebre viaje, prestó á la ciencia un interesante servicio, determinando el 13 de Setiembre de 1492 una línea sin declinación magnética, situada dos grados y medio al E. de la Isla Corvo, una de las Azores: al penetrar en la parte occidental del Océano Atlántico notó que la *variación* pasaba insensiblemente del N. E. al N. W., y esta observación le condujo á la idea que después ha preocupado tanto á los navegantes, de encontrar la longitud por medio de las curvas de las *variaciones*, que suponía todavía paralelas al meridiano. Las ideas predominantes en aquella época hicieron transformar una línea física de demarcación en una línea política, y la *raya* sobre la cual la aguja de marear estaba exactamente dirigida hácia la estrella polar, convirtiéndose en el límite de separación de las posesiones portuguesas y españolas; fué necesario determinar de una manera precisa, por los métodos astronómicos, la longitud geográfica de esa línea de demarcación, siguiéndola en ambos hemisferios sobre toda la superficie terrestre; y así, como hace observar el ilustre autor de una de cuyas grandes obras se toman estos apuntamientos,<sup>1</sup> un abuso de la autoridad papal fué de consecuencias felices y trascendentalísimas para el desarrollo de la navegación y el perfeccionamiento de los instrumentos magnéticos.

1. De Humboldt, *Cosmos*, tomo IV, pág. 67.—Edición de 1867, París.

3. Por espacio de mucho tiempo, la atención de los observadores estuvo exclusivamente concentrada en el estudio de la declinación, es decir, de la distancia angular de la aguja horizontal al polo N. geográfico; pero en el siglo XVI comenzó á medirse otro elemento de la fuerza magnética, la *inclinación*. En 1576, Roberto Normann determinó en Londres esta propiedad de la aguja imantada, por medio de un declinatorio inventado por él mismo y con una gran precisión.

4. Dos siglos más tarde se hacían los primeros ensayos para estimar el tercer elemento del magnetismo terrestre, á saber: la intensidad misma de esta fuerza. Según Humboldt, se debe á la penetración del caballero Borda la idea de estudiar las diferencias de la intensidad magnética en diversos lugares de la superficie terrestre, medidas por la duración de las oscilaciones de una aguja colocada verticalmente en el meridiano magnético. Confirmadas sus conjeturas por las observaciones que Lamanon, compañero de La Pérouse, recogió de 1785 á 1787, comenzó á entreverse, aunque de una manera incompleta, la importante ley de la intensidad, variable con la latitud magnética; si bien esa ley recibió una existencia verdaderamente científica el día en que fueron publicadas las observaciones que Humboldt ejecutó, de 1798 á 1804, en la Francia meridional, en España, en las Islas Canarias, en la América tropical, en el Océano Atlántico y en el Mar del Sur.

En la primera mitad del siglo XIX, las investigaciones magnéticas han recibido un impulso singular; no tan sólo el progreso ha sido casi simultáneo para todas las ramas de la teoría del magnetismo, la declinación, la inclinación y la intensidad, sino que ha acrecido considerablemente, merced á los nuevos descubrimientos sobre la producción del magnetismo y sobre la manera de medir su distribución, así como por el primer y brillante ensayo, debido á Federico Gauss, de una teoría del magnetismo terrestre, rigurosamente fundada sobre el razonamiento matemático.

La merecida influencia de que gozó Humboldt, por sus relaciones y por sus talentos, con todos los gobiernos de Europa, y el gran valor de su autorizadísima palabra en todas las academias y corporaciones científicas, fueron elementos que el ilustre sabio puso siempre al servicio de la ciencia, y en la historia de los progresos del magnetismo, que tanto impulsó con sus observaciones personales, hacen época sus iniciativas cerca de la Academia Im-

perial de San Petersburgo y la Real Sociedad de Lóndres, proponiéndoles el establecimiento de una red de observatorios magnéticos en las vastas posesiones de los imperios ruso y británico. Bajo la sábia direccion del profesor Kupffer se fundaron en Rusia un gran número de estaciones magnéticas, y desde 1832 fueron ejecutadas observaciones correspondientes y simultáneas entre el Mar Blanco y la Crimea, entre el golfo de Finlandia y las costas de la América Rusa, bañadas por el Mar del Sur.

En 1839 fueron establecidos varios observatorios magnéticos, en ambos hemisferios, á expensas del gobierno británico, poniéndolos bajo la excelente direccion del coronel Sabine, que se consagraba ya á estudios de ese género desde 1818, en el célebre viaje de John Ross al Estrecho de Davy, á la Bahía de Baffin y al Estrecho de Lancaster.

Las observaciones comenzaron en Toronto, en el Canadá y en la Tierra de Van Diemen, en 1840, y el año siguiente en el Cabo de Buena Esperanza. Continuadas despues con singular perseverancia y sábiamente discutidos los resultados obtenidos, esos trabajos han contribuido de una manera importantísima para perfeccionar el conocimiento de la distribucion geográfica del magnetismo terrestre, poniendo, además, de manifiesto buen número de leyes relativas á las perturbaciones accidentales y á las variaciones periódicas de los elementos magnéticos, señalando tambien su conexion más ó ménos íntima con otros fenómenos del órden cósmico.

Webber en Gotinga, con Gauss; Lamont en Munich; Airy en Greenwich; Quetelet en Bruselas; Lloyd en Dublin; Arago en Paris; Secchi en Roma, y los más eminentes observadores contemporáneos, han llevado su valioso contingente al estudio del magnetismo terrestre, perfeccionando los instrumentos ó los métodos de observacion, y siendo el alma de ese género de trabajos en sus respectivos países; y las grandes expediciones maritimas hechas bajo los auspicios de los gobiernos europeos, han explorado la extension de los más remotos mares bajo el punto de vista magnético, fijando los valores de sus principales elementos: baste citar en esa línea á Duperrey, Bougainville, Dumont d'Urville, Jules de Blosseville, Le Vaillant, Bravais, Martins, Bérard, John y James Clark Ross, Hansteen, Scoresby, Erikson, Roussingault, Erman, Douglas, Fitzroy, Krey, Emory, y tantos y tantos marinos y sabios ilustres que, en sus atrevidas expediciones á las regiones po-

lares y en sus viajes de circunnavegacion, han enriquecido la física del globo con valiosos descubrimientos é interesantísimas observaciones.

5. Hecha esta sucinta relacion de las principales fases que ha presentado en su desarrollo el estudio del magnetismo, conviene dar una ligera idea de su distribución geográfica, para mejor comprender el lugar que ocupan los elementos derivados de las observaciones hechas en México.

6. El efecto completo que el magnetismo produce al exterior, puede representarse gráficamente por tres sistemas de líneas, á saber: las líneas *isogónicas*, las *isoclinicas* y las *isodinámicas*; es decir, las líneas de igual declinacion, de igual inclinacion y de igual intensidad. Si se examinan las cartas de declinacion publicadas por Gauss para el año de 1835, y construidas segun su teoría del magnetismo terrestre,<sup>1</sup> se reconoce que entre todas las líneas isogónicas hay una particularísima marcada 0° y que es la *línea sin inclinacion*; da la vuelta al globo, separando los puntos en que la declinacion es occidental de aquellos en que es oriental. La forma de la línea es bastante irregular y se aparta mucho de la de un círculo máximo: corta la punta oriental de la América del Sur hácia el cabo de San Roque; pasa al E. de las Indias occidentales á traves del Océano Atlántico, penetra en el Continente por la América del Norte, cerca de Filadelfia; continúa á traves de la Bahía de Hudson para pasar cerca del polo Norte geográfico; entra despues en el antiguo continente al E. del Mar Blanco; atraviesa el Mar Caspio; cruza el meridiano de Paris hácia los 65° de latitud austral; corta la punta oriental de la Arabia; se dirige hácia la Nueva Holanda y va á pasar cerca del polo geográfico austral, para volverse á enlazar en su punto de partida.

En la vecindad del polo, las líneas isogónicas tienen una forma muy complicada y vienen á concurrir en dos puntos poco distantes uno de otro, que son: el polo geográfico y el polo magnético. Semejante complicacion de las líneas isogónicas proviene de que la declinacion magnética está ligada á un elemento enteramente extraño al magnetismo, á saber: el meridiano astronómico. Púedese tambien, siguiendo el sistema de Duperrey, obtener cartas en las que están trazados los *meridianos magnéticos verdaderos*. Para

1. Brisse et André, *Cours de Physique*, page 500.

ésto se supone que, partiendo de un punto cualquiera, se marcha constantemente en la direccion misma de la extremidad Norte de la aguja de declinacion, de manera á seguir sobre la superficie de la tierra la traza del meridiano magnético; y este sistema tiene, sobre el de Gauss, la ventaja de dar para cada punto la direccion de la aguja de declinacion. Por lo demas, las líneas formadas por los meridianos magnéticos afectan una forma más sencilla que las isogónicas, si bien distan de confundirse con los círculos máximos de la esfera terrestre; concurren en dos puntos, uno situado en el hemisferio boreal en la tierra de Bothia—Félix, cerca de la Bahía de Hudson, y el otro en el hemisferio austral, en South—Victoria, siendo esos puntos los polos magnéticos, en cada uno de los cuales la aguja de inclinacion se pone vertical y la de declinacion está loca.

Una parte de la línea sin declinacion cruza el territorio de los Estados Unidos, y esa línea, segun el Prof. Loomis,<sup>1</sup> el año de 1840 comenzaba en la parte N. W. del Lago Huron, seguia por el medio del Lago Erie, corria por el ángulo S. W. del Pennsylvania, las partes centrales de la Virginia, y pasaba á traves de la Carolina del Norte, hasta la costa; para todos los lugares colocados al W., la declinacion de la aguja es oriental y occidental en la region opuesta; en general, mientras más diste el punto que se considere de la línea sin variacion, mayor será el valor angular de la declinacion. Como todas las líneas isogónicas, la línea de 0° está sujeta á dislocarse sobre la superficie de la tierra con el trascurso del tiempo. Por muchos años ha experimentado un movimiento lento hácia el W., continuando aún esa traslacion en la actualidad; de donde resulta que los lugares cuya declinacion es occidental se alejan más y más cada año de la línea sin variacion, acercándose, por el contrario, á la misma línea los sitios que tienen una declinacion oriental; por consiguiente, la declinacion W. va constantemente aumentando y la E. disminuyendo. La marcha de este incremento ó decremento se estima, por término medio, en 2' al año para los Estados del Sur de la Union americana, 4' para los Estados del centro y del Oeste y 6' para los de la Nueva Inglaterra.

En la carta magnética del Almirantazgo inglés para 1871,<sup>2</sup> el

1. Prof. Loomis in Silliman's Journal. Vol. XXXIX, 1840.

2. *Curves of Equal Magnetical Variation*, 1871. Reduced to that epoch from observations at Sea, made chiefly by the Officers of Her Majesty's Navy and from various Magnetic Surveys undertaken by Colonial and Foreign Governments. 1855-70 by Staff Captain F. J. Evans, F. R. S. and Navigating Lieutenant E. W. Creak, Royal Navy.

territorio de la República Mexicana resulta estar comprendido entre las líneas isogónicas de  $6^{\circ}$  y  $13^{\circ}$  E. La primera pasa por el Mar de las Antillas, corriendo del S. S. E. al N. N. W.; atraviesa el canal de Yucatan, penetra en el Golfo de México, inclinándose al N., y cruza la costa al E. de Mobila. La isogónica de  $13^{\circ}$  viniendo del Pacífico con rumbo E.  $\frac{1}{2}$  N. E., encuentra la Península de la Baja California al Sur de la Bahía de Todos Santos, y penetra en el Continente recurvando al N. E. Las líneas intermedias afectan una direccion sensiblemente normal al eje de figura de la área ocupada por la República, siendo de notar que las isogónicas de  $8^{\circ}$  y  $9^{\circ}$  distan más entre sí que las otras líneas de igual declinacion que, variando de grado en grado, continúan surcando el territorio mexicano al N. W. de San Blas; por consiguiente, desde Minatitlán hasta Matamoros en la costa del Golfo, y desde Salina Cruz hasta San Blas en el Pacífico, son cortas las variaciones de la declinacion por el cambio de posicion geográfica, cuando se hace abstraccion de la influencia de las causas locales. Es digno de observar que, en el Pacífico, las isogónicas de  $8^{\circ}$ ,  $7^{\circ}$ ,  $6^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ , y las de menor declinacion oriental, forman un sistema de curvas cerradas y concéntricas, existiendo sobre el ecuador y hácia los  $135^{\circ}$  de longitud W. de Greenwich una pequeña region sin declinacion.

Independientemente de los cambios que la declinacion de una localidad experimenta en el discurso de los años, cambios que constituyen una variacion, por decirlo así, secular, se observan otras anuales y diurnas, y frecuentemente hay perturbaciones irregulares de considerable amplitud.

Por lo que respecta á la variacion anual, la declinacion occidental en el hemisferio boreal es generalmente mayor en los meses de verano que en los de invierno, ocurriendo lo contrario con la declinacion oriental.

La amplitud de la variacion diurna depende de la latitud magnética del lugar, habiéndose observado que en el hemisferio Norte la aguja alcanza su extrema posicion occidental hácia las dos de la tarde, y hácia las ocho de la noche su extrema posicion oriental; por consiguiente, en los puntos que tienen una declinacion occidental, la máxima tiene lugar hácia las 2 p. m., y hácia las 8 p. m. en los puntos que tienen declinacion oriental.

7. Las curvas que en una carta geográfica reúnen los puntos de la tierra que en determinada época tienen la misma declinacion,



se llaman *líneas isoclínicas*, afectando éstas, como las isogónicas, una forma bastante irregular que les da una situación muy diferente de los paralelos terrestres. Entre las isoclínicas existe una particularmente notable, á saber: la que liga los puntos sin inclinación y que se llama el *ecuador magnético*. Al N. de esta línea la extremidad Norte de la aguja está bajo el horizonte, sucediendo lo contrario en los puntos situados al S. Si bien el ecuador magnético no es una línea regular, empero se confunde en muchos de sus puntos, sobre todo cuando atraviesa los mares, con un círculo máximo que forma con el ecuador terrestre un ángulo de  $12^{\circ} 30'$ .

La posición de la línea sin inclinación ha sido objeto de serias investigaciones, en la primera mitad de este siglo. Según los excelentes trabajos de Duperrey, que de 1822 á 1825 atravesó seis veces el ecuador magnético, los nodos de los dos ecuadores, es decir, los puntos en que la línea sin inclinación corta al ecuador terrestre, pasando así de un hemisferio á otro, están situados de una manera bastante irregular: en 1825, el nodo que se encontraba cerca de la isla de San Thomas, hácia la costa occidental del Africa, estaba á  $188^{\circ} 30'$  del otro nodo situado en el mar del Sur, cerca de las pequeñas islas de Gilbert y casi bajo el meridiano del Archipiélago de Viti. Después de haber cortado la cadena de los Andes entre Quito y Lima, el ecuador magnético atraviesa casi todo el Océano Pacífico en el hemisferio austral, aproximándose lentamente al ecuador terrestre; pasa al hemisferio boreal un poco adelante de las Indias occidentales, toca solamente las extremidades meridionales del Asia y penetra después en el continente africano, al W. de Socotora, siendo entonces cuando más se aparta del ecuador terrestre; atraviesa el interior del Africa, vuelve á aparecer en la zona austral de los trópicos hácia el Golfo de Guinea, encuentra la costa del Brasil á los  $15^{\circ}$  de latitud Sur y recorre toda la América meridional.

Las observaciones del coronel Sabine pusieron de manifiesto que, de 1825 á 1837, el nodo de la Isla de San Thomas se había dislocado cerca de  $4^{\circ}$ , avanzando del E. al W.; y á una variación secular semejante están también sujetas las demás líneas isoclínicas, debiendo, sin embargo, observarse que el progreso de la variación secular de la inclinación es mucho más lento que el de la declinación. Experimenta también la inclinación variaciones anua-

les y diurnas, cuya amplitud cambia con las estaciones y además con la situación geográfica de la localidad.

El territorio mexicano está probablemente comprendido entre las isoclínicas de  $35^\circ$  y  $60^\circ$ .

8. El tercer elemento del magnetismo terrestre, ó sea la intensidad de la fuerza total, puede también representarse gráficamente en las cartas por un sistema de *líneas isodinámicas*, así llamadas porque unen entre sí todos los puntos para los cuales se ha encontrado la misma intensidad magnética. Las isodinámicas difieren notablemente de las líneas isoclínicas; la línea de mínima intensidad dista poco, pero no llega á confundirse con el ecuador magnético, y además, á lo largo de la línea llamada ecuador *magnético verdadero*, la intensidad total tiene valores variables.

Ya se ha dicho que el estudio y la medida de la fuerza magnética, por el método de las oscilaciones de una aguja vertical ú horizontal, comenzó á inspirar un vivo interés á principios de este siglo; y merced á los recursos perfeccionados de la óptica y de la cronometría, las medidas de la intensidad son actualmente de una exactitud superior á las otras determinaciones magnéticas. Las isogónicas son, en verdad, las líneas que más interesan al navegante y al piloto; pero tratándose de la teoría del magnetismo terrestre, las líneas de igual intensidad son objeto de particular importancia para el físico.

Cuando se examina atentamente la dirección de las líneas isodinámicas, que se envuelven unas á otras, y que se pasa de las líneas exteriores, que son las más débiles, á las interiores, cuya fuerza aumenta gradualmente, se reconoce en cada hemisferio, á distancias desiguales de los polos de rotación y de los polos magnéticos, dos puntos ó focos de intensidad máxima, uno más fuerte y otro más débil. De estos cuatro puntos, el más fuerte es el foco americano, situado en el hemisferio Norte, á los  $52^\circ 19'$  de latitud y  $117^\circ 40'$  de longitud E. de París. El otro punto más débil, llamado también foco siberiano, parece estar situado á los  $70^\circ$  de latitud N. y  $117^\circ 40'$  de longitud E., y el medio del *lemniscato*, que liga los dos focos del hemisferio septentrional, se halla al N. E. del Estrecho de Behring, más cerca del foco asiático que del americano.

9. Las consideraciones generales que preceden permiten formarse un juicio, siquiera aproximado, de la distribución de la fuerza

magnética sobre la superficie terrestre, pudiendo en consecuencia apreciarse la importancia que, bajo el punto de vista especulativo, tienen los estudios magnéticos que se han comenzado á practicar en la ciudad y en el valle de México. En la porcion del Continente americano que ocupa la República, apenas han sido observados los elementos magnéticos de tarde en tarde, y no siempre de una manera metódica y continuada; en las costas es tal vez donde mejor se ha estudiado la declinacion, y ésto merced á las exploraciones de las oficinas hidrográficas extranjeras; en el Valle, los primeros trabajos sobre la declinacion, dignos de fé, se practicaron en 1775 por D. Joaquin Velazquez de Leon; el ilustre Humboldt determinó más tarde la declinacion de varios lugares de la entonces Nueva-España, en su célebre viaje, y posteriormente algunos ingenieros se han ocupado de este género de observaciones; mas desgraciadamente los resultados obtenidos son poco conocidos, existen dispersos en diversas obras, han sido determinados en épocas distintas y son insuficientes para trazar con alguna seguridad el curso de las líneas isogónicas sobre la carta de la República.

Hablando de las observaciones hechas en el Valle sobre la declinacion, dice el Sr. Orozco y Berra: <sup>1</sup> “El Ingeniero Iglesias, que practicó sus observaciones con un transit americano, obtuvo en 1862 una declinacion E. de 8° 34' 50”.

“Aunque hemos buscado, no hemos podido haber á la mano datos antiguos que pudieran informarnos de la cantidad y del rumbo que han seguido las variaciones seculares de la aguja en México. Faltan, para tiempos pasados, observadores de quienes se pudiera confiar; y por otra parte, cierta clase de estudios, ni han sido emprendidos ni fueron estimados sino de algunos años á esta parte. Hé aquí lo que encontramos:

OBSERVADORES.	Declinacion al E.
1775. Velazquez de Leon.....	6° 42' 00”
1804. Humboldt.....	8 8
1849. Gomez de la Cortina .....	8 30 12
1857. Dr. Sonntag.....	8 46 5
1858. Almazan .....	8 22 18
1860. Salazar Ilarregui.....	8 30
1862. Iglesias .....	8 34 50

1. Memoria para la Carta Hidrográfica del Valle de México, pág. 35, 1864.

“Las observaciones metódicas emprendidas en el Colegio de Minería, podrian enseñarnos alguna cosa, si los resultados finales hubieran visto la luz pública; á nuestro conocimiento no han llegado más de las relativas al período corrido de 11 de Mayo á fin de Julio de 1857 que, como de luego á luego se comprende, así aislados son datos truncos de los que no debe sacarse conclusion alguna. Resulta de ellos que el 12 de Mayo la declinacion era de  $8^{\circ} 50' 15''$  á las siete de la mañana, aumentada á  $8^{\circ} 56' 55''$  á las seis de la tarde; la desviacion creció el 14 hasta  $9^{\circ}$  que disminuyó durante el dia, y desde las seis de la tarde del 15, que se observaron  $9^{\circ} 20' 55''$ , la aguja se muntuvo avanzando y retrocediendo hasta el 18 de Junio á las doce de la mañana, que volvió á señalar  $8^{\circ} 55''$ . Retornó á  $9^{\circ}$  el 25 y se mantuvo así hasta el 5 de Julio, en que dió á las nueve de la mañana  $8^{\circ} 31'$  y así permaneció con poco más ó ménos hasta el fin de aquel mes.”

En otra de sus obras,<sup>1</sup> el mismo autor inserta los apuntamientos que le fueron suministrados por el Sr. Ingeniero Ignacio Cornejo, acerca de las observaciones meteorológicas y magnéticas que practicó en la Escuela de Minas durante el año de 1866, y cuyos resultados ponen de manifiesto que en el año á que se ha hecho referencia, la inclinacion de la aguja magnética varió entre  $45^{\circ} 20'$  y  $43^{\circ} 40'$ , oscilando la declinacion entre  $8^{\circ} 8' 47''$  y  $7^{\circ} 56' 27''$ .

“Las observaciones magnéticas, dice el Sr. Cornejo, aunque en menor número que las otras ( las meteorológicas ), merecen entera confianza. Cuento para la declinacion con una brújula de variaciones horarias del sistema de Gambey, construida por Sécrotan y dividido el limbo en grados sexagesimales, con aproximacion de diez en diez segundos. La aguja queda encerrada en una caja y libre de las agitaciones del aire, y como está suspendida por el medio, es muy sensible á toda fuerza que la solicita. La brújula de inclinacion es inglesa, construida por Blunt, con graduacion sexagesimal, sin nivel; de manera que no exige mucho tiempo para ponerla en observacion, pues sostenida en su parte superior con suspension de Cardan, por su propio peso se coloca siempre en el plano vertical.

“Están colocadas en dos ventanas, al Norte y al lado contrario al del barómetro. La primera operacion practicada fué la de qui-

1. Memoria para el Plano de la ciudad de México.

tar todos los goznes, clavos y objetos de fierro, sustituyéndolos con otros semejantes de laton ó bronce. Abiertos los claros en el muro de fachada, que es de bastante espesor, son inapreciables sobre los aparatos los movimientos que pueden producir los carruajes á su paso por la calle. Colocar la brújula de inclinacion es sencillo; no así la de declinacion, que fué preciso mudarla tres veces, en cuya operacion tuvieron la bondad de ayudarme el señor D. Miguel Ponce, conservador del Observatorio Astronómico, y el Sr. Ingeniero de minas D. Luis Espinosa. Ambos calcularon varios pasos de la polar por el meridiano, y aquella quedó en el meridiano astronómico y determinada su ecuacion." Hasta aquí el Sr. Cornejo.

Examinados atentamente los valores que se han apuntado para la declinacion, no se descubre entre ellos una relacion determinada para la variacion secular; pues aunque la disminucion ó aumento gradual de la desviacion de la aguja magnética no tiene lugar de una manera constante en determinado sentido, porque la oscilacion secular general se halla subdividida en ciclos menores de diez á once años, probablemente relacionados con el ciclo de las variaciones de las manchas solares; empero, el movimiento general en los dos primeros tercios del siglo no acusa una tendencia á un decremento ó un incremento de la declinacion. Así, comparados los resultados que obtuvo Humboldt en 1804, con los del Conde de la Cortina en 1849, aparece que en ese lapso la declinacion experimentó un incremento de 29'6 al año; de 1849 á 57 la variacion anual está representada por + 1' 59"; de 1857 á 58 hay la fuerte diferencia de 23' 47", que corresponde á un excesivo decremento, tornándose éste despues en incremento de 3' 51" por año, de 1858 á 60, y 2' 25" de 1860 á 62.

Estas discrepancias, en extremo sensibles, reconocen, entre otras causas, por origen: 1ª El no haberse hecho uso de los mismos instrumentos, ó por lo ménos la falta de comparacion de los nuevos con los antiguos, para llevar en cuenta sus diferencias, refiriendo á los más perfectos las declinaciones obtenidas en diversas épocas. 2ª El no haberse practicado tal vez las observaciones en una misma época de los años, para eliminar la influencia de las variaciones anuales, pues puede muy bien haber acontecido que los datos de un observador se refieran á la época de la máxima y los de otro á la de la mínima. 3ª El haber acaso coincidido

el tiempo en que se hacia una observacion con la ocurrencia de alguna perturbacion magnética notable, en virtud de la cual las indicaciones de la aguja debieron apartarse mucho de su valor normal. 4ª El no haberse ejecutado las observaciones en el mismo punto, para que fueran constantes los errores motivados por las influencias locales, á las que no es fácil sustraerse completamente cuando el observador se encuentra rodeado de construcciones en el centro de las grandes ciudades.

10. Más escasos son todavía los datos relativos á las observaciones hechas en México sobre la inclinacion de la aguja magnética: Humboldt encontró, en 1803,  $42^{\circ} 10'$ ; el Dr. Sonntag, en 1856,  $41^{\circ} 26'$ ; y el Sr. Cornejo, en 1866,  $44^{\circ} 30'$ , promedio de los resultados extremos que consigna en sus apuntamientos ya citados,

11. Ocupan un lugar importante entre los estudios que sobre el magnetismo terrestre se han efectuado en México, las observaciones que por disposicion y á expensas del Instituto Smithsonian ejecutó en 1856 el Dr. A. Sonntag, bajo la direccion del Baron Von Müller. Esos trabajos son interesantes, ya porque constituyen una serie de delicados experimentos ejecutados desde Veracruz hasta México, ya porque los observadores hicieron uso de los métodos y de los instrumentos modernos, lo que hace muy apreciables los resultados obtenidos, puesto que sirven de término de comparacion para los estudios posteriores sobre los elementos magnéticos. No es aventurado asegurar que, desde que á principios del siglo ejecutó en México el Baron de Humboldt algunas observaciones sobre la intensidad de la fuerza magnética, cuando apenas comenzaba á iniciarse ese género de estudios, no volvieron á ser emprendidos en el Valle, aunque de una manera pasajera, sino hasta 1856, en cuya época se determinó por primera vez la intensidad horizontal con un aparato de precision, cual es el magnetómetro unifilar de Gauss, perfeccionado por Lamont.

Los instrumentos usados, los métodos de observacion que se siguieron y los datos que fueron recogidos por el Dr. A. Sonntag, se hallan ampliamente enumerados en la Memoria que publicó el Instituto Smithsonian sobre la expedicion; <sup>1</sup> no pareciendo necesario describir aquellos, pues apenas discrepan de los empleados

1. Smithsonian Contributions to Knowledge.—Observations on terrestrial magnetism in Mexico, conducted under the direction of Baron Von Müller, with notes and illustrations of an examination of the Volcano Popocatepetl and its vicinity, by August Sonntag.—Washington, 1860.

actualmente en el Departamento Magnético del Observatorio Meteorológico Central; mas si cuadra al objeto de esta reseña copiar el resumen de los resultados en 1856 y 57 obtenidos, y que constan en el cuadro siguiente:

Observaciones hechas por Mr. A. Sonntag, bajo la direccion del Baron Von Müller.							
Números de orden.	NOMBRES DE LAS ESTACIONES.	Latitud N.	Longitud W. de Greenwich.	Declinacion E.	Inclinacion.	Intensidad ho- rizontal.	Fechas Año de 1856-57.
1	Veracruz.....	19°12'	98°09'	8°17'	43°58'	7.533	Agosto 7-8
2	Potrero.....	18.56	96.48	8.39	42.51	7.574	„ 16-17
3	Cocolapam.....	18.53	97.04	8.28	42.51	7.579	„ 26-27
4	San Andrés.....	18.50	97.15	8.13	42.38	7.589	Set. 17-18
5	Mirador.....	19.13	96.37	8.02	43.50	7.522	Oct. 10-11
6	México.....	19.26	99.05	8.46	41.26	7.576	Dic. 10-17
7	Chalco.....	19.18	98.51	9.03	43.12	7.540	Enero 6
8	Tlamacas.....	19.06	98.39	8.28	42.34	7.571	„ 25

Los valores de la fuerza horizontal están expresados en la escala inglesa, tomando por unidades respectivas el pié inglés, el segundo de tiempo médio solar y el grano; en la escala métrica las unidades son: el milímetro, el segundo de tiempo y el milígramo, y para reducir los valores ingleses á los métricos, basta multiplicarlos por el factor 0.46108.<sup>1</sup>

12. La grande elevacion que tiene el Valle de México sobre el nivel del mar, debe dar, sin duda, una importancia particular á las observaciones magnéticas; se reunirán nuevos datos para saber si la intensidad de la fuerza terrestre disminuye sensiblemente sobre las alturas, pues las soluciones de este problema no han sido siempre en el mismo sentido. En efecto, cuando en las ascensiones rápidas á las montañas se trata de comparar los efectos producidos por las alturas considerables, los macizos montañosos no permiten establecer una relacion entre las estaciones superiores é inferiores. La naturaleza de las rocas y de las vetas invisibles de

1. Report of the Kew Committee for the year ending October 31, 1878, p. 10.

los minerales que las atraviesan pueden modificar los resultados; además, el conocimiento incompleto de las variaciones horarias y accidentales de la intensidad, es una causa de error para las observaciones que no son rigurosamente simultáneas.

13. Apenas habrá quien ignore la importancia que para la navegación tienen las indagaciones magnéticas; pero no es bajo ese solo punto de vista que encuentran brillante aplicación ese género de estudios.

La Real Sociedad de Ciencias de Upsal ha publicado recientemente un trabajo de Mr. Thalen, relativo á la busca de las minas de fierro por las observaciones magnéticas. Para confirmar la existencia de los minerales de fierro y encontrar el lugar que ocupan, se hace uso en Suecia de la *brújula de los mineros*. Este instrumento se compone de una pequeña aguja imantada, contenida en una caja herméticamente cerrada: la aguja se mueve libremente sobre su punto de apoyo y permanece en una posición horizontal bajo la influencia única de la acción magnética de la tierra. Cuando se sospecha la existencia de una mina de fierro, se observa la inclinación de esa aguja en diferentes puntos y se admite que la riqueza máxima del mineral magnético está bajo del punto en que la aguja se coloca verticalmente. Pero Mr. Thalen ha demostrado que semejante relación no siempre es exacta, y por otra parte, este método no da ninguna indicación sobre la profundidad del yacimiento metalífero ni sobre la masa del mineral.

El procedimiento propuesto por Mr. Thalen consiste en servirse de una brújula de declinación y de un imán conveniente é invariablemente colocado respecto de la aguja. El ángulo de desviación producido por el imán se mide en diversos puntos lo más cercanos posible y regularmente espaciados encima del sitio donde se presume exista la mina. De esa manera se determina en varios lugares la componente horizontal de la acción combinada de la fuerza magnética terrestre y de la del mineral; y en seguida, sobre un plano del terreno metalífero se trazan las líneas de igual intensidad ó isodinámicas, dispuestas en dos series de curvas cerradas, que rodean á los dos puntos correspondientes á la máxima y á la mínima desviación: una línea no cerrada se encuentra entre estos puntos; es la *línea neutra*, relativa á los lugares donde la influencia magnética del mineral es nula.

La línea que une los dos puntos del ángulo máximo y del mí-



nimo de desviacion, indica la direccion del *meridiano magnético* de la mina; la línea neutra da generalmente la direccion de la capa del mineral, y por lo comun la interseccion de ambas líneas designa el sitio donde se encuentra la riqueza máxima del mineral.<sup>1</sup>

14. Examinados los resultados de las observaciones magnéticas bajo otra de sus fases prácticas, es digna de mencion la íntima conexion que existe entre las perturbaciones magnéticas y los grandes accidentes meteorológicos: si se representan gráficamente en un sistema de ejes coordinados las variaciones de la declinacion, la intensidad, etc., en una misma localidad, se obtienen curvas más ó ménos sinuosas análogas á los diagramas que representan las oscilaciones anormales de la presion, la temperatura, etc.; y así como los grandes movimientos barométricos, que acusan un gran desequilibrio en la presion, anuncian la aproximacion de los temporales giratorios, los ciclones, los huracanes, etc., de una manera semejante, las probabilidades de la ocurrencia de uno de estos imponentes meteoros son precedidas, de una manera sensible y con alguna anticipacion, por una perturbacion notable de las indicaciones de los aparatos magnéticos.<sup>2</sup>

---

#### **Establecimiento del Departamento Magnético del Observatorio Meteorológico Central de México.**

15. Durante el tiempo en que la Secretaría de Fomento estuvo á cargo del C. general Vicente Riva Palacio, fundador de los Observatorios meteorológicos y astronómicos y celoso protector de los estudios científicos, se promovió el encargo á Inglaterra, á la afamada fábrica de Negretti & Zambra, de Lóndres, de un magnetómetro unifilar primero, y más tarde una brújula de inclinacion.

El magnetómetro, ántes de ser recibido en México, fué cuida-

1. L. Figuer, *L'Année Scientifique et Industrielle*, 1878, page 93.

2. Véanse las Observaciones magnéticas y meteorológicas del Real Colegio de Belen, en la Habana, por el P. B. Vifies, y las Memorias del Observatorio del Colegio Romano, por el P. A. Secchi.

dosamente verificado en el Observatorio de Kew, donde estuvo algun tiempo en observacion, habiendo sido determinadas las constantes y coeficientes de correccion y computadas las tablas para facilitar los cálculos por Mr. F. G. Figg, bajo la superintendencia del Prof. G. M. Whipple.

Las primeras observaciones sobre la declinacion y la fuerza horizontal, fueron ejecutadas de Enero á Mayo de 1879 en una pequeña barraca de madera, contigua al Observatorio central astronómico situado en la azotea del Palacio Nacional: antes de comenzar esa primera série de observaciones, se tuvo cuidado de quitar del piso, techo y paredes de la barraca, todo clavo de fierro, asegurando las tablas con espigas de madera, y el herraje de la puerta y ventanas fué tambien reemplazado por piezas análogas de cobre ó bronce: el magnetómetro estuvo instalado sobre un poste de ladrillo de un metro de altura, teniendo el cuarto dos ventanas al N. y al S. y una puerta al W.

Cuando se recibió varios meses despues la brújula de inclinacion, fué necesario proceder á la construccion de un departamento especial, donde los instrumentos estuvieran establecidos en las mejores condiciones posibles, y se dió principio á la nueva serie regular de observaciones completas sobre los tres elementos del magnetismo terrestre, el 1º de Setiembre de 1879.

16. Del departamento magnético han estado exclusivamente encargados el que esto oscribe y el ingeniero arquitecto D. José Collazo, auxiliar del Observatorio Central Meteorológico.

El Sr. Collazo, si bien no ha tomado participio en la ejecucion de las cálculos, ha sido un colaborador eficazísimo en los trabajos de observacion, y particularmente en el arreglo é instalacion de los instrumentos. Dotado de un talento especial para ciertas operaciones mecánicas que requieren delicadeza, ha sido muy útil en las laboriosas tareas de verificacion de los aparatos, y se deben á su perspicacia buen número de pequeños detalles que fué señalando la experiencia, y que han contribuido satisfactoriamente á acelerar la ejecucion de las observaciones diarias y á su mayor precision.

Las observaciones sólo se han interrumpido algunos domingos, con motivo de las expediciones que con los instrumentos se han ejecutado, para estudiar la distribucion del magnetismo en diferentes puntos del Valle.

La construccion del salon magnético se llevó á cabo igualmente bajo la direccion de los ingenieros encargados del departamento.

Tratándose de cierto género de observaciones, se tiene la medida del grado más ó ménos alto de precision de los resultados obtenidos y de la confianza que merecen, si se describe con alguna exactitud la disposicion del lugar en que han sido practicadas, los instrumentos que se han empleado, los métodos de observacion que se han seguido en la práctica de las experiencias y los procedimientos de cálculo.

Las partes siguientes de esta Memoria harán, por consiguiente, referencia á todas estas particularidades, y á riesgo de hacerla algo difusa, será preciso darle cierta extension, pues no siendo suficientemente conocidos en México los instrumentos para el estudio de la intensidad magnética, necesitase hacer de ellos una detallada descripcion, exponiendo con algun detenimiento la manera de usarlos y demostrando las fórmulas empleadas en los cálculos, para facilitar la mejor inteligencia de los resultados á la generalidad de las personas que en México siguen con interes los estudios científicos.



### Descripcion del Salon Magnético.

17. Se halla situado sobre la porcion de la azotea del Palacio Nacional que queda frente á la plaza llamada del Volador. La figura 1<sup>a</sup> representa en la escala de 0.01 la planta del Observatorio, que consta de una pieza rectangular de fábrica de mampostería y cubierta de azotea, y que mide 6<sup>m</sup>94 de longitud, 4<sup>m</sup>27 de anchura y 2<sup>m</sup>85 de elevacion. La pared del N. ofrece dos ventanas con vidrieras, y la del Sur ha sido reemplazada por cuatro pilastras de cantería ligadas por una platabanda y simétricamente espaciadas. El intercolumnio separa el salon de un pequeño gabinete de 7<sup>m</sup>93 de longitud y 1<sup>m</sup>41 de anchura, cuyas paredes están formadas por tabiques de ladrillo y cubierto por un techo inclinado de madera y zinc. En el tabique del S. están practicadas

la puerta de entrada y dos ventanas laterales, con vidrieras por dentro y persianas al exterior. En la construcción fué completamente evitado el uso del hierro.

El tramo central del intercolumnio queda libre para la entrada (fig. 2), y en los ejes de los laterales se levantan postes cilíndricos de cantería, de 0<sup>m</sup>37 de diámetro y 1 metro de altura, coronados por placas de mármol y destinados: el del W. á recibir el magnetómetro y el del E. la brújula de inclinación. Entre los ejes de los postes média una distancia de 4<sup>m</sup>62. Las pilastras y los postes insisten sobre una pared maestra de considerable espesor; y han quedado los instrumentos en tan buenas condiciones de estabilidad, que no sufren el más ligero movimiento por el paso de los carruajes, ó cuando en las festividades cívicas se hacen descargas de artillería en la plaza principal.

Las coordenadas geográficas del salón magnético son las siguientes: Lat. N., 19° 26'; Long. W. de Greenwich, 99° 6' 39"; Altitud, 2,266 metros.

18. Antes de pasar adelante, conviene entrar en algunas consideraciones sobre las circunstancias especiales en que está el Observatorio respecto de las construcciones vecinas, á efecto de que de una vez sean desvanecidas las críticas más ó menos ligeras que pudieran hacerse sobre el particular.

Cuando se está en el centro de una gran ciudad, no es posible sustraer por completo los instrumentos magnéticos á la influencia de la proximidad de los edificios, que determinan la alteración de los valores absolutos de los resultados, particularmente por la presencia del hierro, cuyo uso está tan generalizado en las construcciones modernas, por una parte; y por la otra, aunque el hierro no figure en ellas al estado metálico, no por eso dejarán de ejercer cierta acción sobre la dirección y los movimientos de la aguja imantada, ya por la masa misma de los edificios, ya por la existencia de otros materiales de construcción, artificiales ó naturales, como el ladrillo y las rocas, que, como se sabe, contienen el hierro más ó menos encubierto al estado de óxido. Por lo demás, la vecindad de grandes masas de agua, de carbon, de mercurio y otros cuerpos, producen pequeñas desviaciones sobre la aguja, según las observaciones de Arago.

Ahora bien: el objeto principal de las largas series regulares de observaciones magnéticas que se emprenden en los observatorios,

es el de establecer las leyes de las variaciones seculares, anuales, diurnas, y de las perturbaciones accidentales; y como esas variaciones se estiman por las diferencias entre los resultados obtenidos en épocas determinadas ó por las diferencias de los máximos y mínimos con los valores medios ó normales, si la influencia de las causas locales es constante, porque no varíe de una manera sensible la situacion respectiva de los cuerpos que originan las alteraciones, es evidente que tambien será constante el error que afecte á cada uno de los resultados individuales, y por consiguiente las variaciones, apreciadas como ántes se ha dicho, tienen necesariamente que aparecer independientes de tales errores.

Por lo demas, la influencia de la vecindad de los objetos de fierro tiene un límite, más allá del cual es inapreciable para el grado de aproximacion que dan los instrumentos, y sería ocioso llevar la nimiedad hasta el grado de querer valuar los errores producidos por aquella influencia y tomarlos en consideracion en los cálculos, si en realidad no se pueden evitar errores más fuertes provenientes del observador ó de la imperfeccion de los aparatos.

19. Para dar una idea de la desviacion que sobre la aguja imantada produce la aproximacion de un objeto de acero, haciéndola tangible por los números, se presentan los resultados de las experiencias que se hicieron con el iman colimador del declinómetro y una fuerte barra de acero imantada que se tiene, para cambiar los polos de las agujas de inclinacion.

La barra está imantada hasta la saturacion y tiene la forma de un paralelipédo de 0<sup>m</sup>229 de longitud y 225<sup>gr</sup> de peso. Puesta en reposo la aguja del declinómetro y solicitada únicamente por la accion directiva de la tierra, se situó por sí sola en la direccion del meridiano magnético. En seguida se fué acercando la gran barra en la direccion en que ejerce su mayor influencia, ésto es, sobre una línea perpendicular á la aguja del declinómetro, y solamente cuando la barra estuvo á 4<sup>m</sup>60 de distancia de la aguja, ésta experimentó la desviacion de 1'. Ahora bien: como más adelante se verá, los *senos de los ángulos de desviacion* que produce un iman sobre el otro, *están en razon inversa de los cubos de las distancias*; luego se comprende sin dificultad que, tomando la precaucion de colocar la gran barra á 6<sup>m</sup>50 del magnetómetro, como en efecto se hace durante las observaciones, no son afectados de una manera apreciable los resultados de la declinacion, pues es de advertir

que en la escala del iman colimador no pueden estimarse con exactitud fracciones de arco inferiores á 30". Este ejemplo bastará para hacer comprender cómo por algunos se tiene una idea exagerada de la influencia de ciertos objetos lejanos de fierro; y á mayor abundamiento, bueno es recordar que el fierro, ni tiene ni llega á adquirir de una manera permanente el mismo grado de imantacion que puede conservar el acero.

20. Para terminar estas consideraciones, se hará observar que el departamento magnético mexicano no es el único que se ha encontrado sometido á la accion de los edificios de la vecindad; observadores tan entendidos y tan especiales en los estudios magnéticos, como Gauss, Lamont, Quetelet y Secchi, se han hallado en circunstancias semejantes en Gotinga, Munich, Bruselas y Roma; y los medios de que ellos se han servido para tener los valores absolutos de los elementos magnéticos independientemente de las influencias locales, son tambien los que, á mocion del que esto escribe, se han puesto en práctica en México, y consisten en ejecutar expediciones con los instrumentos á diferentes puntos del Valle y por diversos rumbos, para determinar aquellos valores debidos á la simple accion natural de la tierra, esperando, además, que otro de los frutos de semejantes excursiones, sea el de recoger algunos datos para el estudio de la distribucion del magnetismo en esta porcion del territorio, y la apreciacion de la influencia de ciertas rocas, de los lagos, de las montañas y de los terrenos de origen volcánico.

---

#### Descripcion y uso del magnetómetro unifilar.

21. En el poste W. del Observatorio Magnético se encuentra instalado el magnetómetro unifilar, destinado á la determinacion absoluta de la fuerza horizontal, segun el método de Gauss.

Sobre un tripié de tres tornillos niveladores está un limbo circular de 0<sup>m</sup>165 de diámetro, graduado de 20' en 20' y en cuyo interior se mueve un disco central provisto de un par de nonius,

que aproximan las lecturas de los arcos de  $20''$  en  $20''$ . Sobre el centro del disco y á  $0^m05$  de su plano, se encuentra una caja rectangular en cuyo interior se coloca la barra imantada suspendida de un hilo sin torsion, que pasa por el interior de un tubo de vidrio (D, fig. 3), de  $0^m21$  de longitud, atornillado sobre la base superior de la caja de cobre, que presenta una abertura circular, para dejar pasar con libertad el hilo. La base superior del tubo se encuentra cerrada por un casquillo de metal, provisto de un círculo móvil, graduado de  $3^\circ$  en  $3^\circ$  para medir la torsion, y una cremallera cuyo piñon se mueve por medio del boton P, para subir ó bajar el hilo.

La barra magnética (120 C) es un cilindro hueco de acero, de  $0^m064$  de longitud y  $8^m$  de diámetro externo, puesto en equilibrio en un estribo, que lleva en su parte inferior un espejo perpendicular al eje de figura del iman.

Las paredes laterales de la caja se cierran por medio de unas tapas correderas de madera (T, T'), forradas interiormente de paño y que tienen por objeto preservar á la aguja de las agitacion del aire.

Una de las cabeceras de la caja presenta una abertura circular, cerrada por un vidrio plano, y en sus ángulos tiene atornillado un tubo cilíndrico Z de  $0^m215$  de longitud y  $0^m065$  de diámetro pintado interiormente de negro y en cuya extremidad libre se adapta un telescopio A, provisto de una retícula formada por un hilo vertical, y que lleva encima trasversalmente un arco de marfil B con una escala graduada, cuya imágen, despues de reflejada en el espejo del iman, es percibida por el ojo del observador colocado en el ocular del antejo, cuyo eje óptico está ligeramente inclinado, segun la direccion de los rayos reflejos.

A la otra cabecera de la caja se atornilla un cilindro Z', que sirve de contrapeso y que lleva en su extremidad libre un pequeño círculo azimutal graduado de  $30'$  en  $30'$ ; con nonius que da una aproximacion de  $1'$  y un espejo giratorio sostenido por dos montantes, debiendo servir todo este accesorio para determinar el meridiano astronómico ó el azimut verdadero de una señal cualquiera en el horizonte por observaciones de sol.

Perpendicularmente al eje óptico del antejo A está colocada una regla de laton L de  $1^m076$  de longitud, graduada por uno de sus lados en piés ingleses, décimos y centésimos, y por el otro en

decímetros, centímetros y milímetros. Esta regla, despues de pasar por unas quijadas que le sirven de directrices, se fija á ellas por unas clavijas; sobre su cara superior se desliza á frotamiento suave una corredera provista de cada lado de una línea de fé y un nonius, y destinada á recibir el iman deflector, que se usa para producir una desviacion sobre la barra magnética encerrada en la caja, segun el método de observacion.

El imán deflector I es igualmente un cilindro hueco de acero de  $89^{mm}5$  de longitud y  $9^{mm}$  de diámetro, formando un anteojito colimador, á cuyo efecto lleva atornillado en uno de sus extremos un lente objetivo y en el otro una escala de cristal graduada, para contar las vibraciones y medir su amplitud. Lleva además un estribo, en uno de cuyos anillos se atraviesa la barra magnética, y en el otro un cilindro de bronce de peso y dimensiones conocidos, para determinar el momento de inercia del imán, como se enseñará más adelante.

El instrumento, tal como se ha descrito y representado en la figura 3, se encuentra montado para la ejecucion de los experimentos de deflexion, por los cuales se obtiene la relacion del momento magnético de la barra deflectora con la fuerza magnética horizontal de la tierra, en el lugar de observacion.

22. Por la segunda parte del procedimiento se obtiene el producto del propio momento y de la misma componente, presentando entónces el instrumento el aspecto que ofrece la figura 4.

Habiéndose desmontado el imán suspendido, desatornillado el tubo de suspension y quitado las tapas de la caja, se retira tambien el antejo que lleva la escala; se fija la caja de madera AA', el tubo de suspension D y el termómetro C; se cuelga del hilo el imán que ántes se habia empleado como deflector, y sobre los montantes que presenta en su cara superior el brazo Z se coloca el telescopio B, que lleva en su plano focal una retícula formada de dos hilos perpendiculares, y que sirve para observar las oscilaciones ó vibraciones que hace la barra deflectora encerrada dentro de la caja, á cuyo efecto ésta presenta en la direccion del eje óptico del antejo dos pequeñas ventanas cubiertas por vidrios planos en sus dos cabeceras, pudiendo cerrarse sus flancos por tapas corredizas con vidrieras, V:

Debe advertirse que en las observaciones de la deflexion, el telescopio y su escala quedan situados al S. del meridiano magné-



tico, en tanto que el telescopio, para contar las vibraciones, queda al N. del mismo meridiano.

23. El magnetómetro representado en la figura 4 se convierte en declinómetro, es decir, en un instrumento destinado para medir la declinacion, reemplazando en la caja de vibracion el imán deflector (120 A) por el imán colimador de declinacion (120 B), puesto en equilibrio sobre un estribo de un solo anillo, y en cuya escala se determina previamente la division que corresponde al eje magnético de la barra, fijándose la declinacion por la diferencia entre el azimut magnético de una señal suficientemente distante, y el azimut astronómico de la misma señal.

---

#### Manera de practicar las observaciones.

24. (PRIMERA PARTE.)—*Observaciones de la deflexion.*—a). Dispuesto el instrumento en la forma que indica la figura 3, se nivela por medio de los niveles del círculo azimutal; se suspende del hilo la plomada de bronce, se deja reposar y se hace girar el círculo de torsion hasta que el apéndice plano en que termina la cremallera esté sensiblemente situado en el meridiano magnético. Se quita la plomada, y cuidando de no torcer el hilo, se suspende el imán que lleva el espejo, y se hace subir ó bajar hasta que la imagen reflejada de la escala aparezca en el campo del anteojo con claridad: se cierran despues los costados de la caja por medio de las puertas correderas.

b).—Se coloca el imán deflector en su estribo sobre la corredera, á la distancia de  $0^m30$  al E. del centro del círculo, y con el extremo N. vuelto hácia el E. Se hace girar el círculo en azimut hasta que la division média de la escala aparezca cubierta por la retícula del anteojo. No siempre se aguarda á que el imán suspendido quede en perfecto reposo, pues habiéndose reducido suficientemente la amplitud de las oscilaciones, cuya reduccion se acelera con auxilio de un pequeño objeto de acero, se aprieta el tornillo de presion y por el de aproximacion se mueve con suavi-

dad el círculo, hasta que la oscilacion de la aguja esté medida por cinco de las menores divisiones de la escala, á uno y otro lado de la retícula. Se leen los nonius, se observa la temperatura y se anota el tiempo.

c).—Se pasa el imán con su corredera al W. y á la misma distancia de  $0^{\text{m}}30$  del centro, quedando siempre el extremo N. al E. Se mueve el círculo en azimut hasta que el plano de la retícula vuelva á bisectar el ángulo de una pequeña oscilacion de la aguja, de una amplitud equivalente á diez divisiones de la escala: se leen en seguida las indicaciones de los nonius.

d). Se invierte la barra defectora, de manera que su extremo N. mire al W, repitiéndose despues las operaciones precedentes.

e). Se traslada, por último, la barra con su corredera al E. y á  $0^{\text{m}}30$  del centro, debiendo quedar la extremidad N. vuelta hácia el W, y se leen los arcos señalados por los nonius, cuando la retícula cubra el centro del ángulo de oscilacion descrito por el imán suspendido.

f). Se toma el promedio de las lecturas del círculo en las posiciones 1<sup>a</sup> y 2<sup>a</sup> y otro término medio de las lecturas en las posiciones 3<sup>a</sup> y 4<sup>a</sup>; la semidiferencia de estos promedios será el ángulo de la deflexion producida por el imán de la regla sobre la barra contenida en la caja. Sea, en efecto, (fig. 5)  $ab$  el imán suspendido, susceptible de girar al rededor de la vertical que pase por el punto  $O$ ;  $LI$  la regla de metal y  $AB$  la barra defectora; si el imán  $ab$  se encontrara sometido únicamente á la accion directiva de la tierra, se pondría en la direccion del meridiano magnético N. S.; pero bajo la influencia de la barra  $AB$  y por efecto de las atracciones y repulsiones que se ejercen entre los polos  $A$  y  $B$ ,  $a$  y  $b$ , la aguja  $ab$  se aparta del plano meridiano y se coloca en la direccion  $Oa'$ , siendo entónces la indicacion del nonius  $va'$ . Traslada la barra  $AB$  á los  $0^{\text{m}}30$  de  $O$  á  $L$ , si el magnetismo estuviera distribuido con uniformidad en toda la extension de la barra y si su centro de figura coincidiera con la division  $0^{\text{m}}30$  de la regla, al repeler la barra  $ab$  la haria tomar la direccion que ántes tuvo  $Oa'$ ; mas como las circunstancias anteriores no se verifican en la práctica, la segunda indicacion del nonius  $va''$  diferirá un poco de la primera  $va'$ , y el promedio de ambas dará la direccion que seguiria la aguja  $ab$  en la hipótesis expuesta. Invertida la barra defectora y practicadas las observaciones á uno y otro lado

del centro  $O$ , las nuevas posiciones del imán suspendido serán señaladas por los arcos  $v a^m$ ,  $v a^n$ ; y como la desviación al W. del meridiano debe ser la misma que al E., si se operase con agujas perfectas, llamando  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$ ,  $u_4$ , los arcos medidos por los nonius en las cuatro posiciones descritas y  $u$ , la verdadera deflexión á uno y otro lado de la línea N. S., se deberá tener:

$$u = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} (u_1 + u_2) - \frac{1}{2} (u_3 + u_4) \right];$$

que era lo que se deseaba demostrar.

g). Por lo comun se practican una segunda vez las observaciones que se acaban de describir, de manera á obtener dos valores separados del ángulo de deflexión. Si los valores encontrados difieren más de  $30''$  ó  $40''$  se ejecuta una tercera serie de operaciones. Los cálculos de los promedios se hacen inmediatamente, á efecto de poder descubrir con facilidad la causa de cualquier error de observación que se haya cometido. Se efectúan además dos series de observaciones á la distancia de  $0^m40$ , y el valor de la constante  $P$  que entra en las fórmulas se ha deducido de 100 pares de reflexiones, habiéndose encontrado  $P=0.000457$ .

h). Para no maltratar el magnetómetro, á consecuencia del cambio de piezas que se debe operar al prepararlo para la observación de las oscilaciones, las de la deflexión sólo se han ejecutado cada 10 dias, deduciendo por interpolación, para los dias intermedios, los valores del momento magnético de la barra deflectora, pues ese momento en un corto tiempo, ó permanece sensiblemente constante, ó bien decrece de una manera lenta y progresiva, por la disminución gradual de la imantación de las barras.

i). Los valores en arco de las divisiones de la escala fueron determinados en el Observatorio de Kew, así: puesta en reposo la barra de la caja y proyectándose la retícula del anteojo sobre una de las divisiones cercana á un extremo de la escala, se leen las indicaciones de los nonius; y moviendo el círculo hasta que sea cubierta por el hilo una división del extremo opuesto, se vuelven á observar los nonius. El ángulo recorrido por el círculo, dividido por la diferencia correspondiente en las lecturas de la escala, dará el valor de una división. Este método tambien se aplica á los imanes colimadores usados en las observaciones de vibración y declinación.

Para la escala de marfil, se encontró:

Valor angular de una division=58' 1.

Y para el imán de vibracion (120 A):

Valor angular de una division de la escala=1' 98.

25.—SEGUNDA PARTE.—*Observacion de las oscilaciones.*—a.) Dis-  
puesto el magnetómetro de la manera que indica la fig.<sup>a</sup> 4, se ni-  
vela por medio del nivel del anteojo y el nivel en cruz del extre-  
mo de la caja, se quita la torsion al hilo y se suspende el imán que  
antes se usó como deflector; si no permanece horizontal se corre  
á uno y otro lado del anillo hasta destruir la accion de la compo-  
nente vertical de la fuerza directiva terrestre, y por medio de la  
cremallera se sube ó baja el hilo hasta que la escala grabada en  
una de las lentes del imán aparezca con claridad en el campo del  
telescopio y sea paralela al hilo horizontal de la retícula. Se cie-  
rran los costados de la caja de vibracion y se mueve el instrumen-  
to en azimut hasta que la division média de la escala sea cortada  
por el hilo vertical de la retícula del anteojo, cuando el imán esté  
en reposo. Acercando entónces un pequeño objeto de acero, se ha-  
ce oscilar el imán segun un arco que se extienda cerca de 60' á ca-  
da lado de la línea média de la escala, y se observa el tiempo que  
tarda en vibrar de la manera siguiente:

b).—Uno de los observadores está sentado frente al magnetó-  
metro contando las oscilaciones que hace el imán, y el otro obser-  
va con atencion á cierta distancia la marcha de un cronómetro:  
cuando moviéndose la escala del imán en el campo del telescopio  
del E. al W. llega á pasar su division média por el hilo vertical  
de la retícula, se da el *up* y se anota el tiempo que señala el cro-  
nómetro; se sigue contando el número de veces que la division  
média de la escala pasa por el hilo de la retícula, siempre en el  
mismo sentido del E. al W., y al cabo de las 5, es decir, cuando  
han trascurrido 10 oscilaciones, se vuelve á dar el *up* y se anota  
de nuevo el tiempo; se continúa de la misma manera observan-  
do los tiempos de las vibraciones 20, 30, 40, 50, y despues el de  
las 100; puede entónces el observador pendiente de las vibracio-  
nes separarse del magnetómetro y dejar que el imán siga osci-  
lando; se calcula el tiempo á que tendrá lugar la oscilacion 300,  
fundándose en el conocido principio del isocronismo, de las peque-  
ñas oscilaciones; oportunamente vuelven á ocupar los observado-  
res sus respectivos puestos, uno frente al cronómetro y otro frente

te al anteojo del magnetómetro; 2 ó 3 segundos ántes que se cumpla el tiempo calculado para la vibracion 300, da la voz de "atencion" el contador del cronómetro, y al verificarse el paso inmediato de la division média de la escala por el hilo vertical de la retícula, da el "up" el observador de las oscilaciones. Se anota el tiempo (que, como comprobacion, debe discrepar muy poco del calculado), y de la misma manera que al principio de la operacion, se siguen observando los términos de las vibraciones 310, 320, 330, 340 y 350, y anotando los tiempos correspondientes. Al comenzar y concluir las experiencias se apuntan las temperaturas que señala el termómetro del magnetómetro, y se observan además en la escala del imán las semiamplitudes de los arcos de vibracion, apreciadas en divisiones de la escala. Restando de los tiempos de las vibraciones 300, 310, 320, 330, 340 350, los relativos á las vibraciones 0, 10, 20, 30, 40 y 50, se tendrán seis valores distintos de la duracion de 300 oscilaciones, de los cuales se deducen el término medio y la duracion de una oscilacion, aproximando hasta los diezmilésimos de segundo.

c). El cronómetro que se ha usado es el número 694, fabricado por el relojero mexicano D. Francisco Vasquez, discípulo del célebre Lozada, de Lóndres. El cronómetro es observado periódicamente, para deducir su marcha, en el Observatorio Astronómico Central, que con tanto acierto dirige el Sr. Ingeniero Geógrafo D. Francisco Jimenez, y que está situado, como el Observatorio Magnético, en la azotea del mismo Palacio Nacional.

d). La fuerza de torsion del hilo de suspension se determina como sigue: despues de haber completado las experiencias de vibracion se lleva el imán al estado de reposo y se observa la lectura de la escala  $a$ . Se hace girar el círculo de torsion  $+ 90^\circ$ , de manera que la graduacion aumente, y se observa la nueva lectura de la escala  $B$ . Vuelta la línea de fé del círculo de torsion á su posicion primitiva, se anota la lectura correspondiente de la escala  $a'$ . Se hace girar el círculo de torsion  $- 90^\circ$ , de manera que la graduacion disminuya, y se anota la indicacion de la escala  $C$ ; finalmente, se vuelve el círculo á su posicion original y se observa la lectura de la escala  $a''$ . La torsion producida en el hilo por una evolucion de  $+ 90^\circ$  es igual  $B - \frac{a+a'}{2}$  y el efecto de un movimiento circular de  $- 90^\circ$  está representado por  $C - \frac{a+a''}{2}$ . La média aritmética de estas dos cantidades, multiplicada por el valor en

arco de una division de la escala, da el efecto de  $90^\circ$  de torsion en minutos.

e). Los imanes deflectores que ahora se usan son imanes colimadores, que tienen dobles escalas: una de ellas es corta y está en ángulo recto con la escala principal.

Cuando la línea de colimacion del anteojo es horizontal, el hilo horizontal de la retícula debe proyectarse sobre aquel punto de la escala vertical corta que se haya encontrado que corresponde al eje magnético de la barra. Ese punto puede determinarse haciendo que esté horizontal la escala menor y fijando el eje magnético por inversion, de la manera que más adelante se describe para el imán de declinacion. Una vez averiguada la posicion de ese punto, el imán puede nivelarse en cualquier tiempo haciéndolo resbalar en su estribo hasta que el hilo horizontal de la retícula corte el punto que se quiera de la escala vertical. Cuando está ajustado con propiedad, el imán se fija firmemente en su estribo y no se remueve, á ménos que un cambio considerable en la posicion geográfica exija un nuevo arreglo de la horizontalidad de la barra.

f). Tanto en las observaciones de vibracion como en las de declinacion, para observar la escala con claridad se ha proyectado sobre un diafragma negro, convenientemente iluminado y situado á cierta distancia detras del magnetómetro sobre la línea de colimacion del anteojo.

26. *Observaciones de la declinacion.*—Como ántes se ha dicho, el magnetómetro unifilar representado en la fig.\* 4, se trasforma en declinómetro reemplazando la barra magnética de vibracion por el imán colimador de declinacion, que en el instrumento que se ha usado lleva la marca (120 B.)

Para las observaciones de viaje, presenta al declinómetro un accesorio para la determinacion del meridiano geográfico por observaciones de sol; mas teniendo tan próximo como se encuentra del Departamento Magnético el Observatorio Central Astronómico, ha parecido preferible fijar la direccion del meridiano verdadero por observaciones de la polar, cuya operacion se prestó bondadosamente á ejecutar el Sr. Ingeniero Jimenez. A este efecto fué colocado un altazimut sobre el poste central del Observatorio Astronómico, en un punto tal que desde él se se veia, á traves de las ventanas del salon magnético, el tubo del magnetómetro, en-

contrándose sobre la prolongacion de la misma línea una señal que existe sobre la cúpula de la Iglesia de San Lúcas. El promedio de varias observaciones indicó que el azimut de esa señal observada desde el poste del salon magnético es de  $2^{\circ} 25' 45''$  del S. al W.

Para las observaciones diarias se ha escogido otra señal, probablemente más estable, que es la cruz de la torre de Sta. Cruz Acatlan que tiene un azimut S.  $3^{\circ} 25' 45''$  W.

El azimut magnético de esa señal se determina:

a). Subiendo el iman por medio del hilo de suspension hasta que la línea de vision del antejo se descubra al traves de la caja del iman; en seguida se mueve el círculo en azimut hasta que el hilo vertical de la retícula se proyecte sobre la señal, y se anotan las indicaciones de los nonius.

b). Se baja el iman y se mueve el círculo en azimut hasta que la escala de la barra aparezca en el campo del antejo; se hace reposar el iman, y por el tornillo de aproximacion se lleva el hilo vertical de la retícula, tan exactamente como sea posible, sobre el cero de la escala ó sobre aquella de las divisiones que corresponda al eje magnético de la barra, y se leen las indicaciones de los nonius.

c). La diferencia entre las dos lecturas precedentes dá el azimut magnético de la señal observada; y conociendo el azimut astronómico, de la misma señal, se puede calcular la declinacion de la aguja. Las horas más propias para la observacion de la declinacion son de las 7 á las 10 a. m. y de las 4 á las 6 p. m.; pues á esas horas el iman está próximamente en su posicion média.

d). Antes de comenzar una série de observaciones con el iman colimador de declinacion, es necesario determinar muy exactamente el punto cero de la escala ó la division correspondiente al eje magnético de la barra. Para ésto se suspende el iman en su estribo con la escala directa, y se mueve el círculo hasta que las divisiones cercanas al medio de la escala estén en el centro del campo del telescopio; se aprieta el tornillo de presion y se anota la lectura de la escala. Se invierte el iman sobre su estribo, éstos es, se hace girar  $180^{\circ}$  sobre su propio eje; se aguarda á que entre en reposo y se vuelve á leer la escala. Se repite la operacion varias veces hasta obtener un buen promedio. Con 10 pares de lecturas de la escala, en las posiciones directa é inversa, se ha

encontrado que el eje magnético del iman (120 B) corresponde á la division 20.....

e).—De tiempo en tiempo es conveniente quitar al hilo la torsion. Esto se ejecuta separando el iman de su estribo y reemplazándolo por una barra de bronce de igual peso, dejando ésta colgada hasta que tome una posicion fija, y haciendo girar el extremo del tubo de suspension hasta que la barra permanezca invariablemente suspendida en la línea del telescopio. Puédesse entónces retirar la barra de bronce y volver á poner el iman, teniendo cuidado de no tocar el hilo, y haciendo que la escala esté siempre horizontal y las divisiones al derecho.

27.—Cálculo del valor de la componente horizontal de la fuerza magnética de la tierra, deducida de las observaciones de vibracion y deflexion.—Siendo:

$T_0$  la duracion observada de una vibracion del iman;

$T_1$  la duracion de la vibracion corregida por la marcha del cronómetro y el arco de vibracion;

$T$  la duracion de una vibracion corregida por la marcha del cronómetro, el arco de vibracion, la temperatura, la fuerza de torsion del hilo de suspension y la induccion;

$s$  la marcha diaria del cronómetro, + cuando adelanta, — cuando atrasa;

$\alpha$  y  $\alpha'$  los semiarcos de vibracion al principio y fin de la observacion, expresados en partes de radio;

$\frac{H}{F}$  la relacion de la fuerza de torsion del hilo de suspension á la fuerza directiva magnética (Se obtiene por la fórmula .....  
 $\frac{H}{F} = \frac{90^\circ}{90^\circ - u}$ ; en la que  $u$  representa el ángulo de desviacion del iman cuando el hilo experimenta una torsion de  $90^\circ$ );

$q$  la correccion por el decremento del momento magnético del iman producido por el aumento  $1^\circ\text{C}$  en la temperatura. (Esta correccion no es constante á todas las temperaturas, y queda más exactamente expresada por la fórmula siguiente: correccion á  $t_0 = q(t_0 - t) + q'(t_0 - t)^2$ , siendo  $t_0$  la temperatura observada y  $t$  la temperatura normal adoptada para las correcciones;

$K$  el momento de inercia del iman, incluyendo el estribo de suspension y sus otros apéndices. (Es constante para el mismo iman y el mismo sistema de suspension; pero varia ligeramente con la temperatura á causa de la dilatacion del metal);



$\pi$  la relacion de la circunferencia al diámetro de un círculo, =3.1415927;

$\mu$  el incremento del momento magnético del iman, producido por la accion inductiva de una fuerza magnética igual á la unidad del sistema métrico de medidas absolutas;

$r_0$  la distancia aparente entre los centros del iman suspendido y la barra deflectora, en las observaciones de la deflexion;

$r$  la distancia corregida por el error de graduacion y la temperatura,

$$[r=r_0 \{1 + 0.000018 (t_0 - 0^\circ)\} + \text{cor. por error de la escala}]$$

$u_0$  el ángulo de deflexion observado.

$P$  una constante que depende de la distribucion del magnetismo en las barras suspendida y deflectora. (Se determina por muchas series de observaciones de deflexion á dos ó más distancias; siendo las más convenientes para el objeto  $0^{\text{m}}30$  y  $0^{\text{m}}40$ . La correccion es muy pequeña y puede dejar de aplicarse hasta la conclusion de la serie);

$m$  el momento magnético del iman deflector ó de vibracion;

$X$  la componente horizontal de la fuerza magnética terrestre,

$\frac{m_0}{X_0}$  el primer valor aproximado de  $\frac{m}{X}$

$\frac{m'}{X'}$  el segundo valor aproximado de  $\frac{m}{X}$ , ántes de hacer la correccion por el factor  $\left(1 - \frac{P}{r_0^2}\right)$

Las fórmulas son:

$$T_1 = T_0 \left(1 - \frac{s}{86400} - \frac{a a'}{16}\right)$$

$$T^2 = T_1^2 \left(1 + \frac{H}{F} - q(t_0 - t) + \mu \frac{X_0}{m_0}\right)$$

$$m X = \frac{\pi^2 K}{T^2}$$

$$\frac{m_0}{X_0} = \frac{1}{2} r^3 \text{sen. } u_0$$

$$\frac{m'}{X'} = \frac{m_0}{X_0} \left\{1 + \frac{2\mu}{r_0^3} + q(t_0 - t)\right\}$$

$$\frac{m}{X} = \frac{m'}{X'} \left(1 - \frac{P}{r_0^2}\right)$$

Sea  $A$  el valor de  $\frac{m'}{X'}$ , cuando la deflexion se produce á la distancia  $r$ .

$A'$  el valor de  $\frac{m'}{X'}$ , cuando la deflexion se produce á la distancia  $r'$ ; se tiene

$$P = \frac{A - A'}{\frac{A - A'}{r^2} - \frac{A - A'}{r'^2}}$$

La cantidad  $K$  se obtiene observando alternativamente la duracion de una vibracion del iman, con su montadura acostumbrada y con su momento de inercia aumentado por la adicion de un cilindro de bronce, de peso y dimensiones conocidos. El valor de  $K$  es dado por la expresion de  $K = W \left( \frac{l^2}{12} + \frac{d^2}{16} \right) \frac{t^2}{t'^2 - t^2}$  en la que  $W$  representa el peso del cilindro en gramos,  $l$  y  $d$  su longitud y diámetro, expresados en metros;  $t'$  y  $t$  las duraciones de una vibracion del iman (corregidas por la torsion, la temperatura, etc.) con y sin el peso adicional.

28. *Constantes, coeficientes y correcciones del Magnetómetro unifilar, determinadas en el Observatorio de Kew.*—Correccion por el error de graduacion de la regla de deflexion:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Correccion en } 0^m 1 = + 0^m 000075 \\ \text{„ „ } 0.5 = + 0.000175 \end{array} \right\} \text{ á } 0^\circ \text{ centigrados.}$$

Valor angular de una division de la escala del aparato de deflexion =  $58''$  1.

Cuando la lectura de la escala es *inferior* á la division média, la correccion de la lectura del círculo es *aditiva*; y cuando la primera es *superior* la segunda es *sustractiva*.

Valor angular de una division de la escala del iman de vibracion =  $1'98$ .

El iman deflector usado, lleva la marca — 120 A.

El iman suspendido, lleva la marca — 120 C.

Para el iman deflector:

$$\text{Correccion á } 0^\circ \text{ C} = 0.0003518 (t_0 - 0^\circ \text{C}) + 0.000000593 (t_0 - 0^\circ \text{C})^2$$

Coefficiente de induccion,  $\mu = 0.00000414$ .

Log.  $\pi^2 K$ , á  $0^\circ \text{ C} = 9.23467$ .

Dimensiones del cilindro de inercia: longitud =  $0^m 093993$ ; diámetro =  $0^m 009501$ ; peso = 57.1752 gramos.

### Estudio teórico del Magnetómetro Unifilar.

29. *Demostracion de las fórmulas usadas en las observaciones de deflexion.*—Sea  $NS$  (fig. 6) el meridiano magnético;  $ab$  la aguja suspendida;  $AB$  el iman deflector colocado sobre la regla, llamando  $r$  la distancia entre los centros de los imanes  $o$  é  $I$ ;  $l$  la semilongitud  $AI$ ;  $l'$  la semilongitud  $ob = oa$ , y  $u_0$  el ángulo de deflexion  $No b$ ; se tendrá, considerando los imanes reducidos á la línea de los polos, que el punto  $a$  se halla sometido á la accion: 1º, de la repulsion ejercida por  $A$  sobre  $a$ , que obra en la direccion  $Aa$  y puede representarse por  $f$ ; 2º, de la atraccion ejercida por  $B$  sobre  $a$ , que tiene lugar en la direccion  $Ba$  y se puede figurar por  $f'$ ; 3º, de una de las componentes  $H$  de la fuerza directiva terrestre, que actúa en la direccion  $aH$  paralela á  $NS$ .

Como á causa de la simetría de la figura, fuerzas análogas obran respectivamente sobre el polo  $b$ , bastará considerar el sistema aplicado al polo  $a$  y buscar su ecuacion de equilibrio, expresada en funcion de las cantidades conocidas,  $u_0$ ,  $l$ ,  $l'$  y  $r$ .

Bajo la influencia de la accion combinada del iman deflector  $AB$  y de las componentes horizontales del par magnético terrestre, el iman móvil permanece en equilibrio en la posicion  $ab$ ; luego es necesario para que ese efecto se produzca, que la suma algebraica de las proyecciones de las fuerzas  $f$ ,  $f'$  y  $H$ , sobre una recta perpendicular á  $ab$ , sea igual á cero.

Y como esas proyecciones tienen respectivamente por expresiones:

$$f' \text{ sen } b \text{ a } B, \quad - f \text{ sen } b \text{ a } A \text{ y } H \text{ sen } u_0,$$

la ecuacion de equilibrio será:

$$H \text{ sen } u_0 + f \text{ sen } b \text{ a } B - f \text{ sen } b \text{ a } A = 0$$

De donde se deduce

$$H \text{ sen } u_0 = f \text{ sen } o \text{ a } A - f' \text{ sen } o \text{ a } B \dots \dots (1)$$

Los triángulos  $o a A$  y  $o a B$  dan

$$\text{sen. } o \text{ a } A = \frac{o A}{a A} = \frac{r - l}{\sqrt{l'^2 + (d - l)^2}}$$

$$\text{sen. o a B} = \frac{o \text{ B}}{a \text{ B}} = \frac{r + 1}{\sqrt{l'^2 + (d + 1)^2}}$$

Y substituyendo, resulta:

$$H \text{ sen } u_0 = \frac{f(r-1)}{\sqrt{l'^2 + (r-1)^2}} - \frac{f'(r+1)}{\sqrt{l'^2 + (r+1)^2}} \dots \dots \dots (2)$$

Por otra parte se sabe que las atracciones y repulsiones magnéticas se ejercen en razon inversa del cuadrado de las distancias; luego si se designa por *A* la accion de un polo sobre otro á la unidad de distancia, la fuerza *f* que representa la repulsion ejercida á la distancia *a A* y la *f'* equivalente á la atraccion ejercida á la distancia *a B*, tendrán por expresiones:

$$f = \frac{A}{A a^2} = \frac{A}{l'^2 + (r-1)^2} \dots \dots \dots f' = \frac{A}{B a^2} = \frac{A}{l'^2 + (r+1)^2}$$

Y la ecuacion (2) se convierte en

$$\frac{H \text{ sen. } u_0}{A} = \frac{r-1}{(l'^2 + (r-1)^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{r+1}{(l'^2 + (r+1)^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Desarrollando los cuadrados de (r-1) y (r+1); haciendo para abreviar, l'<sup>2</sup> + l'<sup>2</sup> = K<sup>2</sup> y pasando los denominadores á los numeradores con el signo cambiado al exponente, queda:

$$\frac{H \text{ sen. } u_0}{A} = (r-1) [r^2 - 2 r l + K^2]^{-\frac{3}{2}} - (r+1) [r^2 + 2 r l + K^2]^{-\frac{3}{2}}$$

Desarrollando por la fórmula del binomio, ejecutando las operaciones indicadas, haciendo la reduccion de los términos semejantes, prescindiendo de los de un orden superior al 5º respecto de *r*, y ejecutando las trasformaciones convenientes, se obtiene:

$$\frac{1}{2} r^2 \text{ sen. } u_0 = \frac{2 A l}{H} \left( 1 + \frac{P}{r^2} \right) \dots \dots \dots (3);$$

siendo *P* una funcion de las cantidades conocidas *l* y *l'*.

Significando por *X* la intensidad de la componente horizontal de una de las fuerzas del par director, que obran sobre la unidad de masa magnética colocada en el mismo punto que la barra imantada, y llamando *μ'* la masa magnética de uno de los polos del iman *a b*, se tiene:

$$H = \mu' X$$

Por otro lado, recordando que, segun las experiencias de Hansteen, la intensidad de la atracción ó de la repulsión que se ejerce entre dos centros magnéticos, colocados á una distancia determinada, es proporcional al producto de sus masas magnéticas, conservando  $\mu'$  y  $A$  las significaciones arriba apuntadas, y siendo  $\mu$  la masa magnética de uno de los polos de la barra deflectora  $A B$ , resulta  $A = \mu \mu'$ ; y la ecuación (3) toma la forma:

$$\frac{1}{2} r^3 \text{ sen. } u_0 = \frac{2\mu l}{X} \left( 1 + \frac{P}{r^2} \right)$$

El producto  $2\mu l$ , que depende solamente de la constitución de la barra imantada, es lo que se llama el *momento magnético* de esa barra; representándolo por  $m$ , se obtiene despejando:

$$\frac{m}{X} = \frac{1}{2} r^3 \text{ sen. } u_0 \left( 1 - \frac{P}{r^2} \right)$$

Y haciendo  $\frac{m_0}{X_0} = \frac{1}{2} r^3 \text{ sen. } u_0$ ; queda

$$\frac{m}{X} = \frac{m_0}{X_0} \left( 1 - \frac{P}{r^2} \right)$$

30.— *Correccion por la temperatura.*—Descubierta por Gilbert, hácia el año de 1600, la influencia de la temperatura sobre el grado de imantación de un iman; esta cuestión, que tan importante es para los marinos, los viajeros y los que en los establecimientos científicos hacen observaciones de alguna precisión, ha sido estudiada por un gran número de físicos, entre los cuales puede citarse á Coulomb, Hansteen, Weber, Kupffer y Dufour; mas las dificultades experimentales del problema han obligado á los observadores á recurrir, en la práctica, á una corrección empírica, cuando se trata de referir á una misma temperatura normal los momentos magnéticos de la misma barra observada á diferentes temperaturas.

La corrección se efectúa segun los mismos principios que las correcciones de dilatación, fundándose en el hecho observado de que la variación del momento magnético de una barra con la temperatura es siempre muy débil, y para una elevación de temperatura poco considerable puede mirarse como proporcional á la variación misma; de manera que siendo  $m$  y  $m_0$  los momentos magnéticos de una barra á las temperaturas  $t$  y  $t_0$ , se puede poner

$$m = m_0 [1 - q (t - t_0)];$$

en cuya expresion, la literal  $q$ , que se llama *coeficiente de temperatura*, es una cantidad que se determina experimentalmente midiendo el momento magnético de la barra á diferentes temperaturas constantes.

La fórmula anterior deja de ser aplicable cuando las variaciones de temperatura exceden de  $12^\circ$  á  $13^\circ$ , y en este caso se recurre á la expresion

$$m = m_0 [1 - q(t - t_0) - q'(t - t_0)^2];$$

siendo  $q'$  un nuevo coeficiente que se determina tambien por la experiencia.

En el caso del magnetómetro unifilar se reducen los momentos magnéticos de la barra deflectora á la temperatura  $t_0$  de  $0^\circ$  C; los coeficientes  $q$  y  $q'$  han sido calculados en el Observatorio de Kew, habiéndose encontrado  $q = 0.0003518$ ,  $y q' = 0.000000593$ ; de manera que siendo  $t_0 > 0^\circ$ , al disminuir la temperatura debe aumentar el momento magnético, quedando efectuada la correccion si se multiplica por el factor

$$[1 + q(t_0 - t) + q'(t_0 - t)^2].$$

Prescindiendo del tercer término, la fórmula (4) se trasforma en hecha la correccion de que se trata, en

$$\frac{m}{X} = \frac{m_0}{X_0} \left( 1 - \frac{P}{r_0^2} \right) [1 + q(t_0 - t)] \dots\dots\dots (5).$$

31.— *Correccion por la induccion.*—El incremento que experimenta el momento magnético de la barra deflectora por la accion inductiva terrestre, está representado por  $\mu X_0$  sen  $u_0$ , y la relacion  $\frac{m_0}{X_0}$  se convierte en

$$\frac{m_0 + \mu X_0 \text{ sen. } u_0}{X_0} = \frac{m_0}{X_0} \left( 1 + \frac{2\mu}{r_0^3} \right)$$

quedando entónces la fórmula (5) así:

$$\frac{m}{X} = \frac{m_0}{X_0} \left[ 1 + \frac{2\mu}{r_0^3} + q(t_0 - t) \right] \left[ 1 - \frac{P}{r_0^2} \right]$$

Y haciendo

$$\frac{m'}{X'} = \frac{m_0}{X_0} \left[ 1 + \frac{2\mu}{r_0^3} + q(t_0 - t) \right]; \text{ resulta}$$

$$\frac{m}{X} = \frac{m'}{X'} \left( 1 - \frac{P}{r_0^2} \right) \dots\dots\dots (6).$$

32.—*Determinacion de la constante P.*—Sea A el valor de  $\frac{m}{X}$ , calculado para la distancia  $r$ ; y A' el valor de la misma relacion  $\frac{m'}{X'}$ , cuando la distancia sea  $r'$ ; la ecuacion (6) da:

$$\frac{m}{X} = A \left(1 - \frac{P}{r^2}\right) = A' \left(1 - \frac{P}{r'^2}\right)$$

de donde se deduce despejando á P

$$P = \frac{A - A'}{\frac{A}{r^2} - \frac{A'}{r'^2}} \dots\dots\dots (7)$$

Por 100 pares de observaciones de deflexion, ejecutadas durante los meses de Enero, Febrero y Marzo de 1879, á las distancias  $r = 0^m30$  y  $r' = 0^m40$ , se encontró:

$$A = 0.00191175$$

$$A' = 0.00190749$$

Y con estos elementos se obtuvo:

$$P = 0.000457$$

La correccion tiene, pues, por expresion:

Para la distancia de  $0^m30$

$$\left(1 - \frac{P}{r_0^2}\right) = 0.99714 \dots\dots\dots \text{cuyo log.} = 9.9977882$$

Y para la distancia de  $0^m40$

$$\left(1 - \frac{P}{r_0^2}\right) = 0.99714 \dots\dots\dots \text{cuyo log.} = 9.9987561$$

33. *Demostracion de las fórmulas usadas en las observaciones de vibracion.*—Suspendida una barra imantada de un hilo sin torsion, de manera que pueda oscilar libremente en un plano horizontal; si se separa de su posicion de equilibrio y se abandona á la accion de la tierra sola, ejecutará una serie de oscilaciones enteramente equiparables á las que un péndulo ejecuta á uno y otro lado de la vertical, bajo la accion de la pesantez. En efecto, si se reemplaza el par terrestre horizontal por otro situado en el mismo plano paralelo y del mismo momento, pero cuyas fuerzas pasen, una por el polo austral, por ejemplo, y otra por el eje de suspension, el efecto producido sobre el iman no sufrirá altera-

cion. Ahora bien; como una de las fuerzas de ese par queda destruida por la fijezza del eje, la barra imantada puede ser considerada como un cuerpo que gira al rededor de un eje vertical, solicitado por una fuerza horizontal, constante en magnitud y direccion, aplicada en uno de sus puntos; se encontrará, pues, evidentemente en el mismo caso que un cuerpo pesado, sometido á la accion de la pesantez aplicada en su centro de gravedad, y la duracion de una de sus escilaciones infinitamente pequeñas, será dada por la fórmula misma del péndulo compuesto.

Se tendrá, pues, designando por  $T$  la duracion de una oscilacion y por  $K$  el momento de inercia de la barra, siendo  $2l$  su longitud y  $H$  una de las componentes del par terrestre horizontal:

$$T^2 = \frac{\pi^2 K}{2lH} \dots\dots\dots (8)$$

Si se reemplaza por  $H$  su valor,  $H = \mu X$  y se recuerda que el producto  $2\mu l$ , representa el momento magnético de la barra, que se ha llamado  $m$ , la fórmula anterior se convierte en

$$T^2 = \frac{\pi^2 K}{mX} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{De donde se deduce} \dots\dots mX = \frac{\pi^2 K}{T^2} \dots\dots (10)$$

Resta explicar cómo se deduce de la observacion el valor de  $T$ , duracion de una vibracion infinitamente pequeña, y cómo se determina el momento de inercia  $K$ .

34.—*Correccion por la marcha de cronómetro.*—Sea  $s$  el adelanto expresado en segundos, que experimenta el cronómetro en 24 horas; como en 24 horas se cuentan  $24 \times 60 \times 60 = 86400$  segundos, el adelanto en 1 segundo tendrá por valor  $\frac{s}{86400}$  y en  $T_0$  segundos [duracion observada de una oscilacion] el adelanto será  $\frac{s T_0}{86400}$ ; luego el valor de  $T_0$ , corregido por la marcha del cronómetro, se convierte en  $T_0 \left(1 - \frac{s}{86400}\right)$  Si el cronómetro atrasa bastará cambiar el signo á  $s$ .

35.—*Correccion por la amplitud de las oscilaciones.*—El valor de  $T$  que entra en la fórmula [9], supone que las oscilaciones son infinitamente pequeñas; mas como en la práctica se aprecian oscilaciones de amplitud finita, es necesario hacer cierta correccion para convertir las segundas en las primeras.



Sea  $T_1$  la duracion de una oscilacion infinitamente pequeña y  $T_0$  la de una oscilacion finita, cuya semiamplitud esté medida por el arco  $\theta$ , se tiene la siguiente relacion :

$$T_0 = T_1 (1 + \frac{1}{4} \text{sen}^2 \frac{1}{2} \theta)$$

Como el arco  $\theta$  es muy pequeño, pues siempre se procura en la observacion que no exceda de  $1^\circ$ ,  $\frac{1}{2} \theta$  es más pequeño aún y se puede por consiguiente reemplazar el seno por el arco, es decir, poner en lugar de  $\frac{1}{4} \text{sen}^2 \frac{1}{2} \theta$ ,  $\frac{\theta^2}{16}$ , trasformándose entónces la ecuacion anterior, así :

$$T_0 = T_1 \left( 1 + \frac{\theta^2}{16} \right)$$

Ahora bien; segun el método que se ha seguido en las observaciones de vibracion,  $T_0$  viene á ser el promedio en las duraciones de una oscilacion al principio y al fin del experimento, y fundándose en el teorema de que las amplitudes de las oscilaciones en arcos pequeños decrecen sensiblemente en progresion geométrica, cuando el número de oscilaciones aumenta en progresion aritmética; si se representan por  $a$  y  $a'$  las semiamplitudes de una vibracion, al principio y al fin de la experiencia, puede substituirse por  $\theta^2$  el producto  $aa'$ , quedando entónces

$$T_0 = T_1 \left( 1 + \frac{aa'}{16} \right)$$

De donde se deduce

$$T_1 = T_0 \left( 1 - \frac{aa'}{16} \right)$$

Resumiendo en una sola fórmula las dos relativas á las correcciones por la marcha del cronómetro y la amplitud de los arcos de vibracion, se tiene

$$T_1 = T_0 \left( 1 - \frac{s}{86400} - \frac{aa'}{16} \right) \dots \dots \dots (11)$$

Generalmente en la práctica de las observaciones se ha procurado que la semiamplitud del arco de vibracion inicial no exceda de  $40'$ , siendo próximamente la terminal de  $16'$ ; en cuyo caso no

es necesario hacer la correccion de que se viene hablando, pues el valor de  $\frac{a a'}{16}$  no influye en la quinta cifra decimal del valor de  $T_1$ .

36.—*Correccion por la torsion del hilo.*—Para llegar á establecer la fórmula (8), y las (9) y (10) que de ella se derivan, se ha tomado en consideracion un péndulo magnético ficticio, por decirlo así, suponiendo que la barra imantada estaba reducida á la línea de sus polos, y suspendida de un hilo sin torsion. Mas como la torsion nunca llega á desaparecer completamente en los cuerpos naturales, su presencia equivale necesariamente á la introduccion de una nueva fuerza que, modificando la manera de ser de las oscilaciones, exige tambien la alteracion de la constitucion primitiva de las fórmulas, haciendo figurar en ellas nuevos elementos.

Designando por  $c$  el coeficiente de torsion del hilo, y por  $T_1$  el tiempo que tarda en hacer una oscilacion el iman bajo la doble influencia de la fuerza magnética terrestre y la torsion se tiene

$$T_1^2 = \frac{\pi^2 K}{21H + c}$$

Y combinando esta ecuacion con la [8] resulta

$$T^2 = T_1^2 \left( 1 - \frac{c}{21H} \right)$$

A fin de conservar las notaciones expuestas en el párrafo 27, se hará  $\frac{c}{21H} = \frac{H}{F}$ ; convirtiéndose entónces la ecuacion que precede en

$$T^2 = T_1^2 \left( 1 + \frac{H}{F} \right) \dots \dots (12)$$

Resta demostrar que la relacion  $\frac{c}{21H} = \frac{H}{F} = \frac{u}{90^\circ - u}$ , siendo  $u$  el ángulo segun el cual se desvia la barra de las oscilaciones cuando el círculo de torsion del tubo de suspension hace un cuarto de evolucion.

Sea  $NS$  (fig. 7) el meridiano magnético, y  $ab$  la nueva direccion de la barra, cuando el micrómetro superior se ha hecho girar  $90^\circ$ ; el ángulo de torsion del hilo será  $(90^\circ - u)$ , y el momento de torsion igual á  $c(90^\circ - u)$ , puesto que el momento del par de torsion es proporcional al ángulo de torsion y el coeficiente  $c$

representa el momento correspondiente á un ángulo igual á la unidad. Por otra parte, el momento del par director ( $H, -H$ ) tiene por expresion  $2lH \text{ sen } u$ ; luego la ecuacion de equilibrio es

$$2lH \text{ sen } u = c (90^\circ - u)$$

De la cual se deduce

$$\frac{\text{sen } u}{90^\circ - u} = \frac{c}{2lH} = \frac{H}{F}$$

Mas como el ángulo  $u$  es muy pequeño, es permitido reemplazar su seno por el arco, y resulta

$$\frac{H}{F} = \frac{u}{90^\circ - u} \dots\dots\dots (13)$$

De varias observaciones se ha deducido que el efecto de una torsion de  $90^\circ$  es  $u = 1'98$ , y el factor correctivo tiene entónces por expresion

$$1 + \frac{H}{F} = 1.00037.$$

37.—*Correccion por la temperatura.*—Infiérese de la fórmula (8) que los cuadrados de la duracion de las oscilaciones varian en razon inversa de los momentos magnéticos de la barra, y como además se ha visto que el momento magnético aumenta al disminuir la temperatura, es preciso agregar al factor de correccion por la torsion  $-q (t_0 - t)$  que representa el coeficiente de reduccion á la temperatura normal adoptada, quedando entónces la ecuacion (12) así:

$$T^2 = T'^2 \left( 1 + \frac{H}{F} - q (t_0 - t) \right) \dots\dots\dots (14)$$

38.—*Correccion por la induccion.*—Sea  $m'$  el momento magnético de la barra, aumentado por la accion inductiva terrestre, y  $T'$  la duracion de una oscilacion; como los cuadrados de los tiempos están en razon inversa de los momentos magnéticos, se tiene la proporcion

$$T^2 : T'^2 :: m' : m$$

De donde sale

$$T^2 = \frac{T'^2 m'}{m} \dots\dots\dots (15)$$

Ahora bien; siendo  $\mu$  el coeficiente de induccion, y  $x$  la componente horizontal de la fuerza magnética terrestre, el incremento que experimenta el momento  $m$  por la accion inductiva de esa fuerza, está representado por  $\mu X$ ; y en tal virtud se tiene

$$m' = m + \mu X$$

Y la ecuacion (15) puede ponerse así

$$T^2 = \frac{T'^2}{m} (m + \mu X) = T'^2 \left( 1 + \frac{\mu X}{m} \right)$$

Reuniendo en una sola expresion las tres correcciones de la torsion, la temperatura y la induccion, y observando que siendo el coeficiente  $\mu$  muy pequeño se puede reemplazar  $\frac{X}{m}$  por su primer valor aproximado  $\frac{X_0}{m_0}$ , deducido de las experiencias de deflexion, se tiene para el valor corregido del cuadrado del tiempo de una oscilacion infinitamente pequeña:

$$T^2 = T'^2 \left( 1 + \frac{H}{F} - q(t_0 - t) + \frac{\mu X_0}{m_0} \right) \dots \dots \dots (16)$$

39.—*Determinacion del momento de inercia K.*—Despues de haber hecho oscilar la barra sola bajo la influencia de la accion magnética terrestre y determinado la duracion de una vibracion, se inserta un cuerpo no magnético de forma geométrica determinada, en el segundo anillo que lleva el estribo de la barra, de manera que la prolongacion del hilo de suspension pase por el centro de gravedad del cuerpo adicional, que es generalmente un cilindro de laton, y se hace oscilar de nuevo todo el sistema. Llamando  $t$  y  $t'$  las duraciones respectivas de una oscilacion, en cada caso, y  $K'$  el momento de inercia del cilindro, se tiene evidentemente

$$t^2 = \frac{\pi^2 K}{m X} \text{ y } t'^2 = \frac{\pi^2 (K + K')}{m X}$$

Dividiendo ordenadamente estas ecuaciones, resulta:

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{K}{K + K'}$$

Y despejando á  $K$ , se obtiene

$$K = K' \frac{t^2}{t'^2 - t^2} \dots \dots \dots (17)$$

Considérese un cilindro elemental  $a b c d$  (Fig. 8) cuya base diste del centro de gravedad  $O$  del cilindro total, la cantidad  $O O' = x$ , y que tenga una altura  $a b = d x$ ; llamando  $\rho$  la densidad del cuerpo, el peso del elemento será  $\rho \pi r^2 d x$  y su momento con relacion al eje  $O Z$  tendrá por expresion

$$\pi r^2 \rho \left( x^2 + \frac{r^2}{4} \right) d x$$

Y el momento de inercia del cilindro total estará representado por

$$K' = \int \pi r^2 \rho \left( x^2 + \frac{r^2}{4} \right) d x$$

Si se designa por  $l$  la longitud ó altura del cilindro, habrá que efectuar la integracion entre los límites  $x = -\frac{l}{2}$ , y  $x = +\frac{l}{2}$  resultando

$$K' = \pi r^2 \rho \left( \frac{l^3}{12} + \frac{l r^2}{4} \right) = \pi r^2 l \rho \left( \frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right)$$

Si se hace  $r = \frac{d}{2}$ , y se observa que el producto  $\pi r^2 l \rho$  que representa el peso del cilindro puede ser llamado  $W$ , la última ecuacion tomará la forma

$$K' = W \left( \frac{l^2}{12} + \frac{d^2}{16} \right);$$

convirtiéndose entónces la ecuacion [ 17 ] en

$$K = W \left( \frac{l^2}{12} + \frac{d^2}{16} \right) \frac{t^2}{t'^2 - t^2}$$

El diámetro, la longitud y el peso del cilindro de inercia han sido apuntados arriba; además en el observatorio de Kew han sido determinados los valores de  $t$  y  $t'$ , siguiendo el procedimiento ántes expuesto, y se ha encontrado que el

$$\log. \pi^2 K, \text{ á } 0^\circ \text{ C} = 9.23467$$

## 40.—Tablas para facilitar el cálculo de las observaciones.

Tabla I.

VALORES DE  $1 - \frac{s}{86400}$  PARA LAS DIFERENTES MARCHAS  
DEL CRONÓMETRO USADO.

Marcha diaria.	Adelanto.	Atraso.
5 <sup>s</sup>	0.99994	1.00006
10	.99988	.00012
15	.99983	.00017
20	.99977	.00023
25	.99971	.00029
30	.99965	.00035
35	.99959	.00041
40	.99954	.00046
45	.99948	.00052
50	.99942	.00058

Tabla II.

VALORES DE  $\frac{\alpha \alpha'}{16}$  PARA LOS DIFERENTES SEMIARCOS INICIALES  
Y TERMINALES DE LA VIBRACION.

Semiarco al principio.	Semiarco al fin de la observacion.					
	80'	70'	60'	50'	40'	30'
100'	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003	0.00002	0.00002
90	.00004	.00003	.00003	.00002	.00002	.00001
80	.00003	.00003	.00003	.00002	.00002	.00001
70		.00003	.00002	.00002	.00001	.00001
60			.00002	.00002	.00001	.00001
50				.00001	.00001	.00001

Tabla III.

VALORES DE  $1 + \frac{H}{F}$  PARA LOS DIFERENTES VALORES DE LA DEFLEXION  
PRODUCIDA EN EL IMAN  
POR UNA TORSION DE 90° EN EL HILO DE SUSPENSION.

Efecto de 90° de torsion.	$1 + \frac{H}{F}$	Efecto de 90° de torsion.	$1 + \frac{H}{F}$	Efecto de 90° de torsion.	$1 + \frac{H}{F}$
1'	1.00019	6'	1.00111	11'	1.00204
2	.00037	7	1.00130	12	.00223
3	.00056	8	1.00148	13	.00241
4	.00074	9	1.00167	14	.00260
5	.00093	10	1.00185	15	.00278

Tabla IV.

VALORES DE  $1 + \frac{2\mu}{r_0^3}$  PARA DIFERENTES DISTANCIAS.

Distancia.	$1 + \frac{2\mu}{r_0^3}$
	<sup>m</sup> 0.25
0.30	1.00031
0.35	1.00019
0.40	1.00013
0.45	1.00009

Tabla V.

VALORES DE LOG.  $\pi^2 K$  Y LOG.  $\frac{1}{2} R^3$  PARA DIFERENTES TEMPERATURAS.

Temp. centig. $t_0$	Log. $\pi^2 K$	Log. $\frac{1}{2} R^3$				
		$r_0 = 0.25$	$r_0 = 0.30$	$r_0 = 0.35$	$r_0 = 0.40$	$r_0 = 0.45$
0°	9.23467	7.89227	8.12990	8.33080	8.50474	8.65817
5°	.23472	.89231	.12994	.33084	.50478	.65821
10°	.23477	.89235	.12998	.33088	.50482	.65825
15°	.23482	.89238	.13001	.33092	.50486	.65829
20°	.23487	.89242	.13005	.33096	.50490	.65833
25°	.23492	.89246	.13009	.33100	.50494	.65837
30°	.23497	.89250	.13013	.33104	.50498	.65841
35°	9.23502	7.89254	8.13017	8.33107	8.50501	8.65844

Tabla VI.

CORRECCIONES POR LA TEMPERATURA PARA EL IMAN (120 A.)

Temperat. <sup>a</sup> ( $t_0$ )	Correccion 4° C.	Temperat. <sup>a</sup> ( $t_0$ )	Correccion 4° C.	Temperat. <sup>a</sup> ( $t_0$ )	Correccion 4° C.
- 5°	-0.00174	+ 9°	332	+23°	841
4	139	10	+0.00357	24	879
3	105	11	394	25	+0.00917
2	70	12	431	26	955
- 1	- 35	13	468	27	993
0	0.00000	14	504	28	1032
+ 1	+ 35	15	+0.00541	29	1070
2	71	16	578	30	+0.01109
3	106	17	615	31	1148
4	142	18	653	32	1187
5	+0.00177	19	690	33	1226
6	213	20	+0.00727	34	1265
7	249	21	765	35	+0.01304
+ 8	286	+22	803	36	1343

### Descripcion y uso de la brújula de inclinacion.

41. En el poste E. del Observatorio Magnético se encuentra instalada, como ántes se ha dicho, la brújula de inclinacion. La construccion de este instrumento ha sido modificada en estos últimos años por los astrónomos del Observatorio de Kew, á efecto de alcanzar mayor precision, pues con las antiguas brújulas rara vez se obtenia la inclinacion con una aproximacion superior á 10' ó 15'.

Consta el instrumento de un círculo horizontal E. provisto de un vernier, y que se mueve en el interior de una corona graduada CC', dividida de 30' en 30' y de cuadrante en cuadrante [fig. 9].

El nonius da una aproximacion de 1' y el limbo está fijo á un pié, llevado por tres tornillos niveladores.

Del centro del círculo móvil se levanta un cilindro de corta altura, que recibe en su base superior una plancha rectangular P P', sobre la cual están fijos los montantes que sostienen la aguja y dos pequeñas columnas que sirven de apoyo al círculo vertical G graduado de la misma manera que el horizontal y cuyos nonius permiten apreciar fracciones de 1'.

En el interior del círculo vertical se mueve una alidada que lleva en sus extremidades dos nonius N N', y dos microscopios M y M'; los primeros sirven para medir los ángulos sobre el círculo, y los segundos para definir exactamente la posicion de la aguja, á cuyo efecto cada microscopio lleva en su plano focal una retícula formada por un hilo diametral, debiendo coincidir ambos hilos con un mismo diámetro del círculo graduado.

La aguja tiene 0<sup>m</sup>09 de longitud, y lo más cerca posible de su centro de gravedad está atravesada por el eje de rotacion, formado por dos pequeños cilindros de acero trabajados con esmero, y que insisten sobre las aristas agudas (horizontales y paralelas al plano del círculo vertical) de dos prismas triangulares de ágata, llevados por los dos brazos de un montante vertical.

Aplicadas contra las caras interiores de los montantes, se encuentran dos quijadas de laton que pueden subir ó bajar por medio de una cremallera, cuyo piñon se pone en movimiento con



auxilio del boton B. Esas quijadas tienen por objeto levantar la aguja y bajarla despues suavemente, para que su eje de rotacion, al descansar sobre las ágatas, sea perpendicular al centro del círculo vertical. Como de esta circunstancia depende en gran manera el buen éxito de las observaciones, es indispensable hacer al montante de la aguja las correcciones necesarias para que sean satisfechas las dos condiciones siguientes:

1<sup>o</sup> Que las aristas de los prismas de ágata estén contenidas en el plano horizontal que pase por el centro del círculo vertical graduado.

2<sup>o</sup> Que la línea que une los vértices de las quijadas, en su movimiento ascendente ó descendente, no se aparte del plano vertical perpendicular al centro del círculo graduado.

Estas correcciones se efectuaron en el montante por medio de varios juegos de pequeños tornillos de que está provisto, y que permiten subir ó bajar las aristas de las ágatas dándoles diversas inclinaciones, y hacer caminar lateralmente en el sentido horizontal los vértices de las quijadas.

Se reconoció que las precedentes correcciones se habian efectuado, cuando despues de arregladas las retículas de los microscopios y nivelado el instrumento, puesta la aguja en su lugar y en diversos planos verticales, coincidieron sus extremidades con los hilos de las retículas.

Para preservarla de las corrientes del aire, la aguja está encerrada dentro de una caja de madera, cuya cara anterior está formada por un vidrio claro y la posterior por un vidrio despulido.

En las antiguas brújulas de inclinacion, el centro de suspension de la aguja coincidia con el centro del círculo vertical graduado; pero siguiendo las instrucciones de los astrónomos del Observatorio de Kew, se han alejado los planos del círculo y de la aguja, á fin de amenguar la perturbacion que pudiera originar la presencia accidental del fierro, de que no siempre está exento el laton.

42.— *Determinacion de la inclinacion magnética.*— Sabido es que por inclinacion magnética se entiende el ángulo que forma la aguja con el plano horizontal, cuando girando libremente al rededor de un eje horizontal, se encuentra en el plano del meridiano magnético; por consiguiente, conocida la direccion de este último plano, bastará colocar en él una aguja, supuesta perfecta, y el ángulo que forme con la horizontal medirá la inclinacion magnética.

43.—*Determinacion del meridiano magnético por la brújula de inclinacion.*—Esta determinacion se funda en el conocimiento de la direccion que toma la aguja de inclinacion en los diferentes azimutes.

En el plano  $Z O M$  del meridiano magnético (fig. 10), el par director obra enteramente sobre la aguja, y si  $O F$  es una de las fuerzas del par, la aguja suspendida en el punto  $O$  por su centro de gravedad seguirá la direccion  $O F$ , y su inclinacion estará representada por el ángulo  $M O F = I$ .

En otro plano vertical  $Z O A$ , que forme con el meridiano magnético un ángulo  $M O A = a$ , las fuerzas que obran sobre la aguja están representadas por la proyeccion  $O R$  de  $O F$  sobre el plano  $Z O A$ , cuya proyeccion se obtiene llevando por el punto  $F$  un plano horizontal y trazando una perpendicular  $F R$  sobre la interseccion  $V R$ .

Ahora bien: como el triángulo  $F V R$  es rectángulo en  $R$ , el punto  $R$  se encuentra sobre la circunferencia descrita sobre  $V F$  como diámetro, y esta circunferencia será por consiguiente el lugar geométrico de los piés de las perpendiculares bajadas del punto  $F$  sobre los diferentes planos que pasen por la vertical  $O Z$ . Si el plano  $Z O A$  es perpendicular al meridiano magnético,  $F R$  seguirá la direccion  $F V$ , el punto  $R$  se confundirá con  $V$ , y la aguja que entónces está sujeta á la componente vertical de la fuerza directiva terrestre, tomará la direccion  $O V$ . En general, las direcciones que en los diferentes azimutes tome una aguja magnética reducida á la línea de sus polos y suspendida en el punto  $O$  por su centro de gravedad, están representadas por las generatrices del cono que tenga el mismo punto  $O$  por vértice y por base el círculo descrito sobre  $V F$  como diámetro. De lo que precede se infieren las conclusiones siguientes:

1º La inclinacion aparente tiene su valor minimum en el plano del meridiano magnético.

2º En dos planos cuyo ángulo diedro esté bisectado por el meridiano magnético, la inclinacion de la aguja tendria el mismo valor.

3º En un plano perpendicular al meridiano magnético, la aguja sigue la direccion vertical, y sólo queda sometida á la componente vertical de la fuerza magnética terrestre.

44. Se puede llegar á los mismos resultados de otra manera:

Se tiene por los triángulos  $O V F$  y  $O V R$  rectángulos en  $V$ ; llamando  $I'$  la inclinacion aparente de la aguja en un plano cualquiera  $Z O A$ , é  $I$  la inclinacion verdadera en el meridiano magnético.

$$O V = V F \operatorname{tang.} I' - V R \operatorname{tang.} I.$$

De donde sale

$$\operatorname{tang.} I' = \frac{V F}{V R} \operatorname{tang.} I.$$

Mas como

$$V R = V F \cos. a; \text{ resulta}$$

$$\operatorname{tang.} I' = \frac{\operatorname{tang.} I}{\cos. a}$$

Si  $a = 90^\circ$ ;  $\cos. a = 0$ ; la tangente del ángulo  $I'$  será infinita y el ángulo  $I'$  recto, es decir, que la aguja tomará la direccion vertical.

45. El método para determinar el meridiano magnético consistirá, pues: 1º, en mover el instrumento en azimut hasta que, estando las líneas de fe de los nonius en la vertical, las extremidades de la aguja sean cubiertas por las retículas de los microscopios; 2º, en llevar el círculo vertical á  $90^\circ$  del ángulo marcado por el nonius del círculo graduado horizontal.

46.—*Estudio teórico de la brújula de inclinación.*—Para que el instrumento sea perfecto debe satisfacer á las tres condiciones siguientes:

- 1º El eje de figura debe coincidir con la línea de los polos.
- 2º El centro de gravedad debe estar sobre el eje de suspension.
- 3º La línea  $0^\circ$ — $180^\circ$  del círculo vertical debe ser horizontal.

Como en la práctica es extremadamente difícil llenar semejantes condiciones, por mucho esmero que se ponga en la fabricacion de la brújula, resultan necesariamente en la observacion errores que se deben eliminar.

Se supondrá, para más generalidad, que la aguja se encuentra en un azimut cualquiera.

Sea  $H H'$  el horizonte (fig. 11);  $L M$  el eje de figura y  $A B$  la línea de los polos, suponiendo que ambas rectas pasen por el eje de suspension  $O$ ;  $G$  el centro de gravedad de la aguja.

Cuando ésta se encuentra en equilibrio, el momento del peso  $P$ , aplicado en  $G$ , es igual al momento del par director; de manera que designando por  $H$  y  $V$  las componentes horizontal y vertical de cada una de las fuerzas del par director, en el azimut en que se encuentra la aguja;  $\alpha$  y  $\beta$  los ángulos que la línea de los polos y la recta  $O G$  forman con el eje de figura;  $2l$  la longitud  $A B$ ,  $d$  la distancia  $O G$  y  $\varphi$  la inclinación observada, se tiene:

$$2l V \cos. (\varphi - \alpha) + P d \cos. (\varphi + \beta) - 2l H \sin. (\varphi - \alpha) = 0.$$

Si se cambia la aguja de manera que el reverso esté vuelto hácia el observador, las líneas  $L M$  y  $O G$  tomarán nuevas posiciones, simétricas con relación á  $A B$ ; los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  cambiarán de signo, y llamando  $\varphi'$  la nueva inclinación, la ecuación de equilibrio será:

$$2l V \cos. (\varphi' + \alpha) + P d \cos. (\varphi' - \beta) - 2l H \sin. (\varphi' + \alpha) = 0.$$

Sumando las ecuaciones precedentes y recordando que

$$\cos. a + \cos. b = 2 \cos. \frac{1}{2} (a + b) \cos. \frac{1}{2} (-b)$$

y  $\sin. a + \sin. b = 2 \sin. \frac{1}{2} (a + b) \cos. \frac{1}{2} (a - b)$ , resulta:

$$2l V \cos. \frac{\varphi + \varphi'}{2} \cos. \left( \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \alpha \right) + P d \cos. \left( \frac{\varphi + \varphi'}{2} \right) \\ \cos. \left( \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \beta \right) - 2l H \sin. \frac{\varphi + \varphi'}{2} \cos. \left( \frac{\varphi + \varphi'}{2} - \alpha \right) = 0$$

Si los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  son pequeños,  $\varphi$  y  $\varphi'$  discreparán poco entre sí, los cosenos de  $\left( \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \alpha \right)$  y  $\left( \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \beta \right)$  serán sensiblemente iguales á la unidad, y la ecuación precedente tomará la forma

$$2l V \cos. \frac{\varphi + \varphi'}{2} + P d \cos. \left( \frac{\varphi + \varphi'}{2} \right) - 2l H \sin. \left( \frac{\varphi + \varphi'}{2} \right) = 0$$

Ahora bien: si se tuviese una aguja tal que los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  sean nulos, es decir, que la línea de los polos coincida con el eje de figura y que el centro de gravedad esté sobre esa línea, la ecuación

cion de equilibrio será, llamando  $i$  la inclinacion que tome la aguja en el azimut en que se encuentre:

$$21 V \cos. i + P d \cos. i - 21 H \operatorname{sen.} i = 0 \dots\dots (a)$$

Y comparando esta ecuacion con la anterior, resulta:

$$i = \frac{\varphi + \varphi'}{2}$$

De manera que tomando un promedio entre las inclinaciones aparentes de la aguja, ántes y despues de la inversion, se obtendrá el mismo resultado que si se hubiese operado con una aguja cuyo eje de figura coincidiese con la línea de los polos, y cuyo centro de gravedad se encontrase sobre esa línea; mas no debe perderse de vista que este procedimiento sólo es suficientemente exacto cuando no es muy grande la diferencia entre los ángulos  $\varphi$  y  $\varphi'$ , para lo cual se requiere que sean pequeños los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ .

47. La inclinacion que así se obtendria no es todavía la verdadera, cuando el centro de gravedad no está sobre el eje de suspension. En el caso de la figura, encontrándose el centro de gravedad más abajo que el eje de suspension, la accion de la pesantez tiende á aproximar la aguja de la vertical, aumentando por consiguiente el ángulo de inclinacion, y un efecto contrario se produciria si el centro de gravedad estuviese situado encima del eje de suspension. Se elimina esta causa de error desimantando la aguja, volviéndola á imantar hasta la saturacion, de manera á invertir la posicion de los polos, y repitiendo la misma serie de observaciones que se acaban de practicar. Entónces el centro de gravedad, en lugar de encontrarse más cerca del polo austral, se aproxima más del boreal; en vez de estar abajo se halla encima del eje de suspension, la accion de la pesantez cambia de sentido y tiende entónces á disminuir la inclinacion. Supóngase, pues, que salvo el sentido, la aguja tenga el mismo grado de imantacion en ambos casos; llamando  $i'$  la nueva inclinacion que se obtenga, bastará cambiar el signo de  $d$  para establecer la ecuacion de equilibrio correspondiente, á saber:

$$21 V \cos. i' - P d \cos. i' - 21 H \operatorname{sen.} i' = 0 \dots\dots (b)$$

Sumando las ecuaciones (a) y (b) resulta:

$$2lV \cos. \frac{i+i'}{2} \cos. \frac{i-i'}{2} - Pd \operatorname{sen.} \frac{i+i'}{2} \operatorname{sen.} \frac{i-i'}{2} \\ - 2lH \operatorname{sen.} \frac{i+i'}{2} \cos. \frac{i-i'}{2} = 0$$

Ahora bien: si  $d$  es poco considerable con relacion á  $l$ , los ángulos  $i$  é  $i'$  diferirán poco entre sí,  $\frac{i-i'}{2}$  será muy pequeño, su coseno puede reemplazarse por la unidad y su seno por 0; y la ecuacion anterior se convierte en

$$2lV \cos. \frac{i+i'}{2} - 2lH \operatorname{sen.} \frac{i+i'}{2} = 0 \dots\dots\dots (c).$$

Si la distancia  $d$  fuese nula, en cuyo caso seria perfecta la aguja, su ecuacion de equilibrio tomaria la forma siguiente, designando por  $I$  la inclinacion:

$$2lV \cos. I - 2lH \operatorname{sen.} I = 0 \dots\dots\dots (d)$$

De la comparacion de las ecuaciones (c) y (d) se deduce:

$$I = \frac{i+i'}{2}$$

Significando, pues, por  $\varphi$ ,  $\varphi'$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi'_1$  las inclinaciones observadas en el azimut en que se opera, ántes y despues de voltear la aguja y con los polos cambiados, quedarán eliminadas las dos primeras causas de error de que se ha hablado, tomando para valor de  $I$  la expresion

$$I = \frac{1}{2} (\varphi + \varphi' + \varphi_1 + \varphi'_1)$$

48. La falta de horizontalidad de la línea  $0^\circ$ — $180^\circ$  del círculo vertical constituye, como se ha dicho, una tercera causa de error; su efecto se elimina haciendo girar todo el instrumento en azimut  $180^\circ$ , repitiendo en todas sus partes las mismas series de operaciones y tomando el promedio de ambos resultados; puédesse tambien hacer alternativamente cada observacion en la posicion primitiva de la aguja, y en la que tome despues de dar media vuelta á la brújula en azimut.

49.—*Manera de hacer las observaciones.*—Resumiendo las consideraciones que proceden, se deduce el siguiente método para la práctica de las observaciones con la brújula de inclinacion, habiendo sido previamente ejecutadas las correcciones del nivel, de las retículas de los microscopios y del eje de suspension de la aguja.

a).—Nivéllese el instrumento por medio de los tornillos de los piés, hasta que la burbuja de aire permanezca en el centro del nivel en todos los azimutes.

b).—Llévese el nonius á los  $90^\circ$  del círculo vertical; colóquese la aguja sobre las cuchillas de ágata, con la parte letrada, ó sea el anverso, hácia el círculo; hágasela subir y en seguida bajar lentamente por medio del excéntrico que pone en movimiento las quijadas; muévase todo el instrumento en azimut hasta que las puntas de la aguja sean bisectadas por las retículas de los microscopios; fijése el círculo horizontal y léase la indicacion del nonius: el plano de la aguja distará entónces  $90^\circ$  del meridiano magnético.

c).—Súbase la aguja por medio del excéntrico; hágase girar  $90^\circ$  en azimut el plano del círculo vertical; fijese el círculo horizontal; bájese la aguja hasta que descanse sobre las ágatas; muévase la alidada del círculo vertical, hasta que las retículas vuelvan á coincidir con las puntas de la aguja; léanse las indicaciones de los nonius y tómesese el promedio.

d).—Súbase la aguja; muévase  $180^\circ$  el círculo horizontal, bájese la aguja y anótese el promedio de las nuevas indicaciones de los nonius, despues de haber dirigido los microscopios á los vértices de la aguja.

e).—Desmóntese en seguida la aguja; colóquese con el “reverso” hácia el círculo y repítanse todas las operaciones anteriormente descritas.

f).—Quítese la aguja; desimántese y vuélvase á imantar hasta la saturacion, de manera que resulten sus polos invertidos; colóquese nuevamente sobre sus apoyos y repítanse todas las observaciones enumeradas en los párrafos precedentes. Tomando el término medio de los ocho ángulos observados, se tendrá el verdadero valor de la inclinacion magnética con la aguja que se haya empleado. Combinando los resultados que dé la aguja número 1, con los que se obtengan usando la número 2, se fijará un valor más aproximado todavía para la inclinacion.

50.—*Imantacion de la aguja.*—Entre los accesorios de la brújula de inclinacion, que se recibieron de la casa de Negretti & Zambra, se encuentran dos barras imanes, destinadas á invertir el sentido de la imantacion de la aguja, por el método llamado de *contacto separado*. Este procedimiento, que implica una mejora del método del simple contacto, se debe al físico Knight, que lo adoptó en Inglaterra el año de 1845, y consiste, como se sabe, en colocar los dos polos contrarios de dos imanes de igual fuerza en el medio de la barra que se quiere imantar, separándolos en seguida y haciéndolos deslizar simultáneamente hasta las extremidades opuestas de la barra, conservándolos en una direccion vertical. Se colocan despues los imanes en su posicion primitiva, en el medio de la barra, y se vuelven á llevar hácia cada uno de los cabos; y habiendo practicado varias fricciones semejantes sobre las dos caras de la aguja, ésta queda imantada hasta la saturacion.

El método de Knight fué sucesivamente perfeccionado por Coulomb, Duhamel y Antheaume, en Francia; Michell y Canton, en Inglaterra; Hoffer y Æpinus, en Alemania. El método de imantacion que resulta de las investigaciones de esos sabios, es el que en la actualidad se usa casi exclusivamente y se conoce con el nombre de *método del doble contacto*, que le fué asignado por Michell. Su descripcion puede verse en casi todos los tratados de física.

#### Determinacion de la componente vertical y de la fuerza total.

51.—Habiendo fijado por las observaciones hechas con el magnetómetro unifilar, la intensidad de la componente horizontal de la fuerza magnética terrestre, y conociendo la inclinacion de la aguja que da la direccion de la fuerza total, se tienen los elementos suficientes para calcular la intensidad de la componente vertical Y y de la resultante R.

Del triángulo X O R (Fig. 12), se saca

$$Y = X \operatorname{R} = X \operatorname{tang. I} \dots\dots\dots R = \frac{X}{\operatorname{cos. I.}}$$



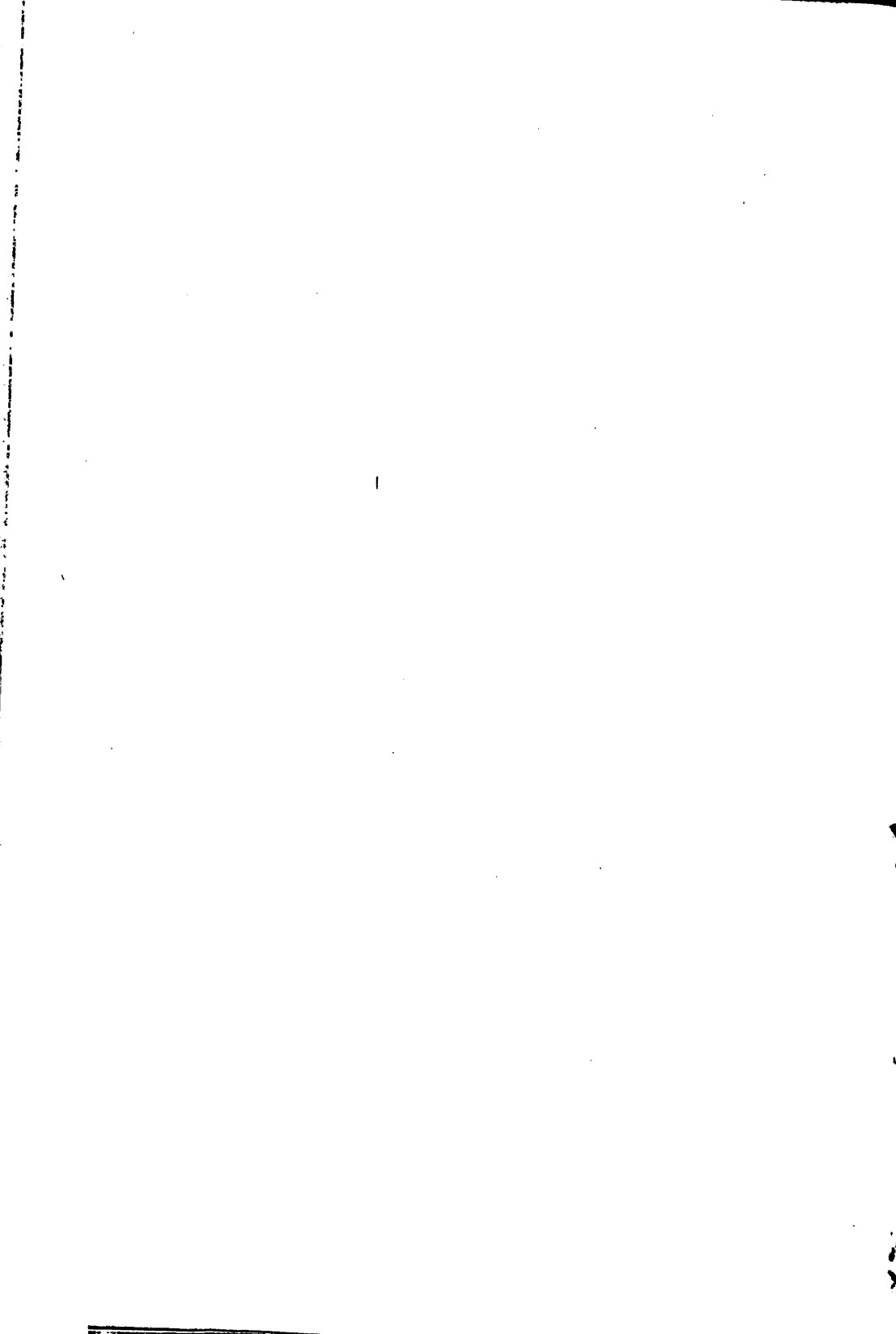
**Resumen de los resultados obtenidos.**

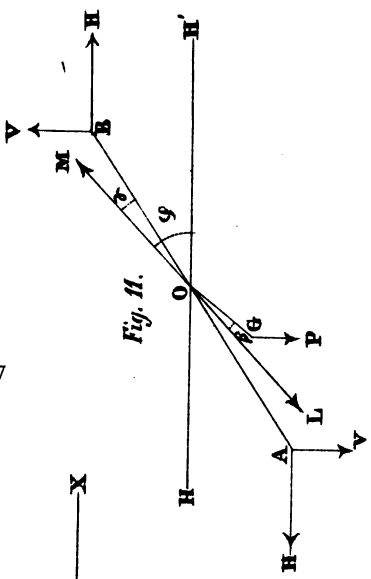
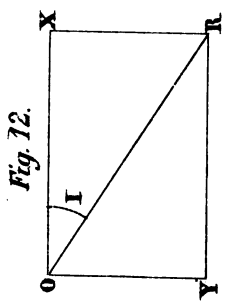
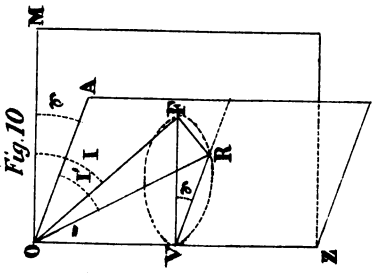
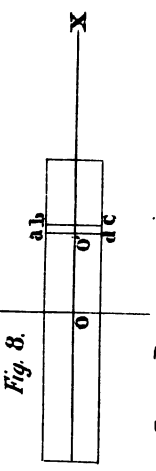
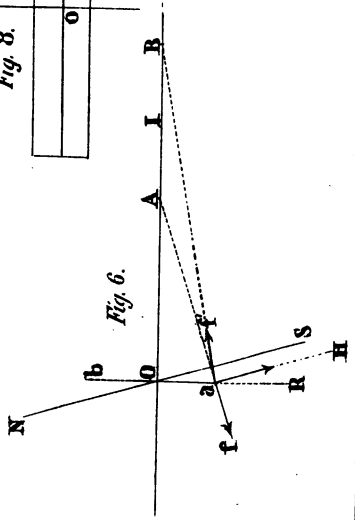
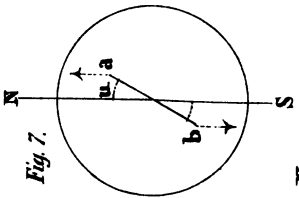
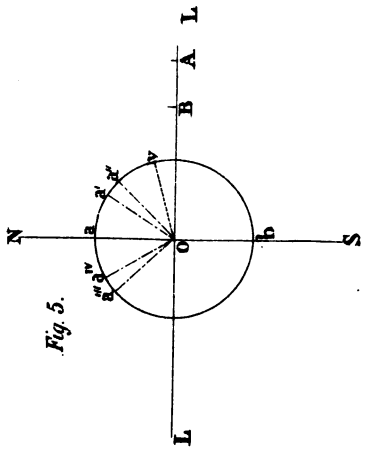
52.—Los resultados de las observaciones magnéticas practicadas cada día en el nuevo departamento, desde el 1° de Setiembre de 1879, se han publicado en el *Boletín del Ministerio de Fomento*, y á reserva de discutir oportunamente las variaciones estacionales de los elementos magnéticos y la relacion más ó menos directa que guarden con las vicisitudes atmosféricas en general, y particularmente con las más notables perturbaciones meteorológicas observadas, haciendo además conocer los resultados de las expediciones ejecutadas fuera del Observatorio, se da fin á la presente Memoria con el resumen general de las observaciones hechas en México durante los últimos cuatro meses del año de 1879.

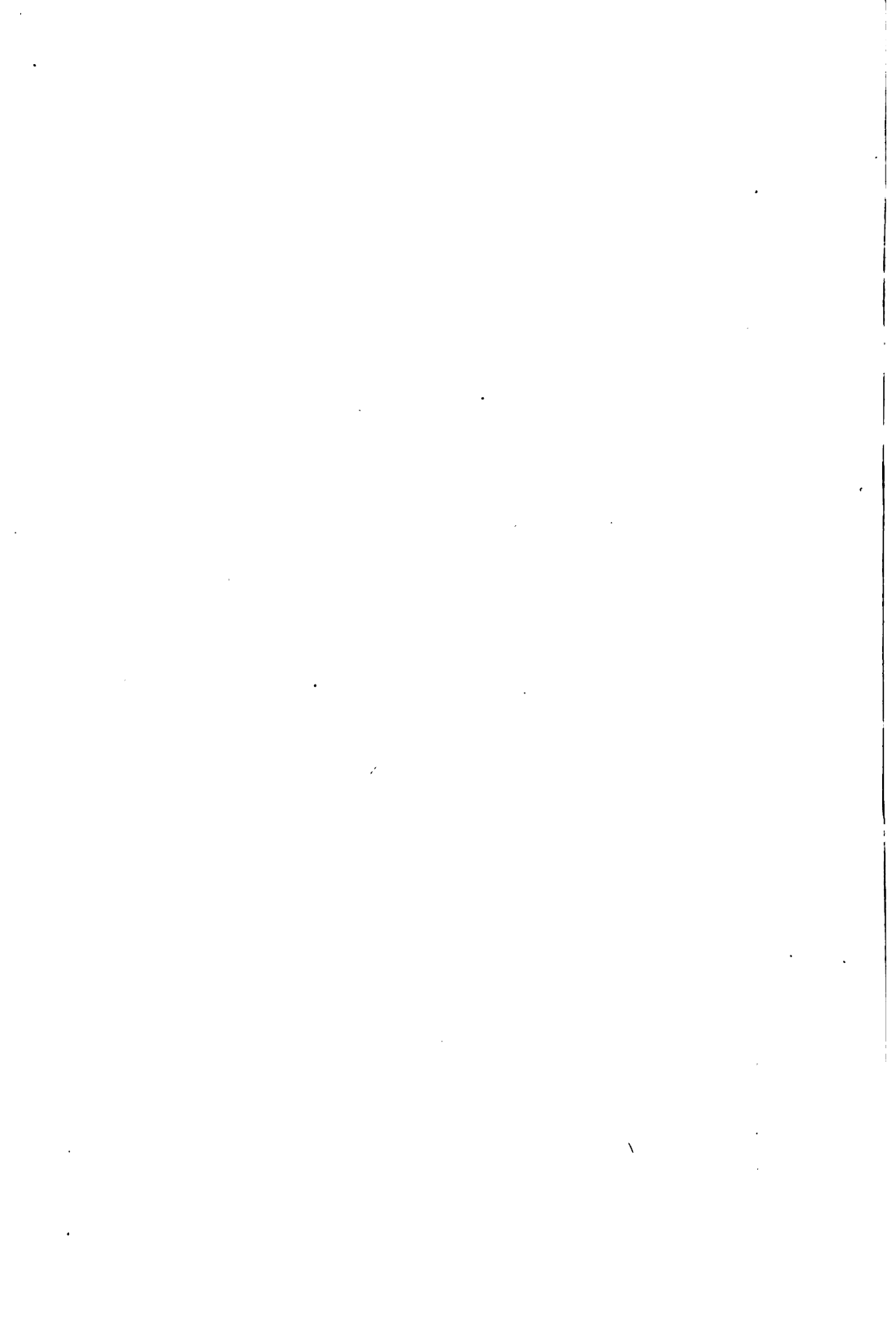
MESES.	Declinacion E.	Inclinacion N.	INTENSIDAD.		
			Horizontal.	Vertical.	TOTAL.
Setiembre...	8°41'18''	44°50'41''	3.4548	3.4359	4.8727
Octubre.....	8 39 59	44 50 18	3.4505	3.4311	4.8661
Noviembre.	8 35 30	44 52 30	3.4486	3.4339	4.8668
Diciembre...	8 21 20	44 53 26	3.4415	3.4284	4.8577

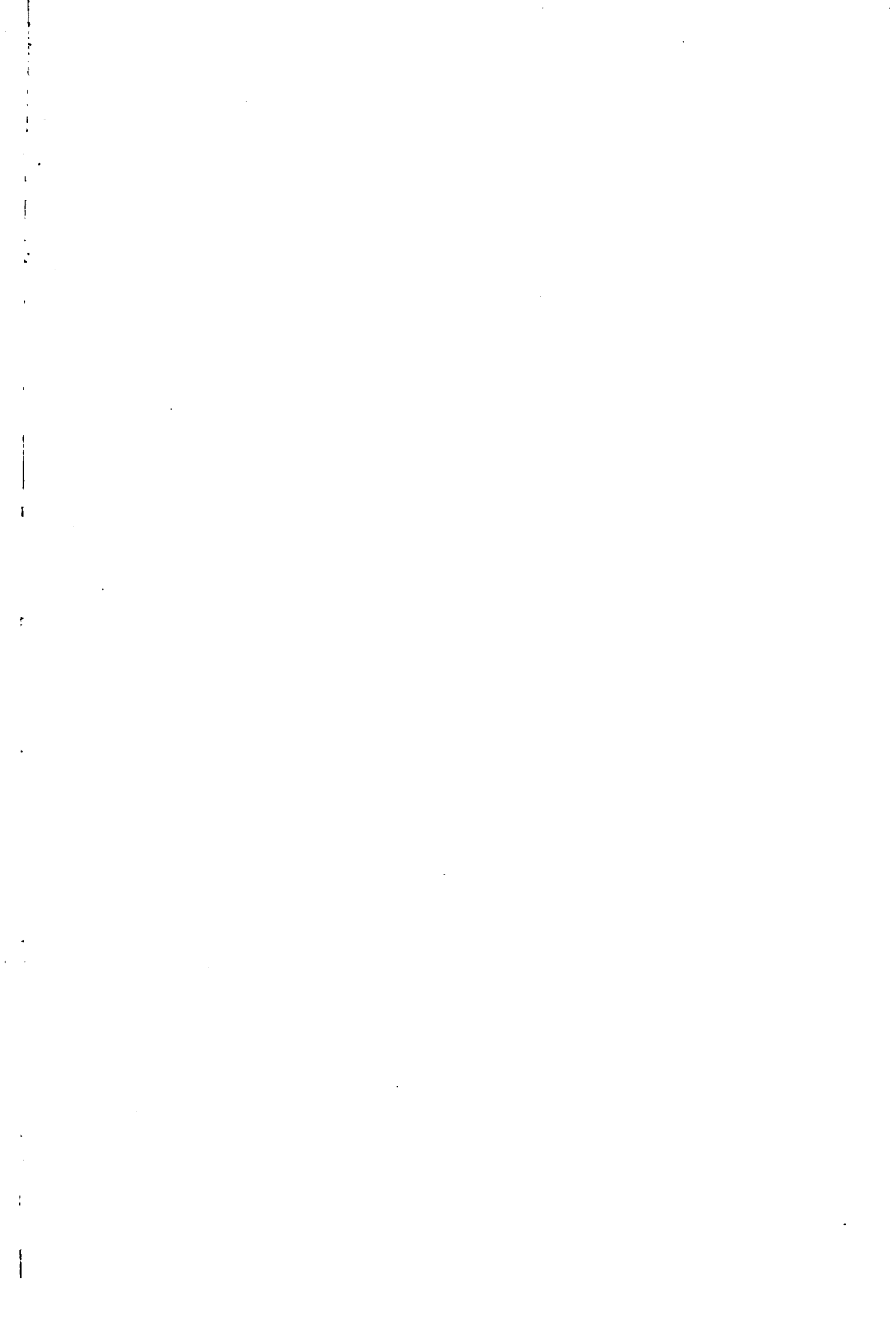
México, Diciembre 31 de 1879.

V. REYES.

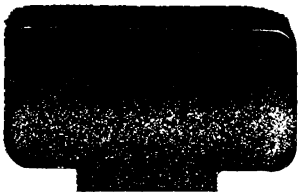












UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN - UNIV LIBS



3023303200

0 5917 3023303200