



ESCUELA ELEMENTAL DEL TRABAJO
DE LA DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE BARCELONA



GALVANÓMETROS



E. E. T.
ARTES GRÁFICAS
1950

FU-5-43

Publicaciones del Servicio de Extensión de Enseñanzas Técnicas

EDITORIAL Y ESCUELA POR CORRESPONDENCIA

Galvanómetros

DISTINTOS PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR LA INTENSIDAD
DE UNA CORRIENTE

GALVANÓMETROS



B A R C E L O N A , 1 9 4 0

R. 1992

Es propiedad del Servicio



2756. — Casa Provincial de Caridad
Imprenta - Escuela

Galvanómetros

DISTINTOS PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR LA INTENSIDAD DE UNA CORRIENTE

1. Cualquiera de los efectos que produce la corriente eléctrica puede servir para la medida de su intensidad, siempre que dichos efectos puedan ser medidos.

Sabemos que la aguja imantada se desvía de su posición de equilibrio, si se halla próxima a un conductor recorrido por una corriente, y que un conductor móvil situado en un campo magnético toma una posición determinada al circular por el mismo una corriente eléctrica.

Los aparatos que, basados en este principio, miden la intensidad de una corriente se llaman *galvanómetros*.

A este objeto puede también utilizarse la acción que una corriente ejerce sobre otra, y en este caso el aparato recibe el nombre de *dinamómetro*.

La dilatación de un conductor, debida al calor producido por una corriente que lo recorre, puede asimismo servir para medir la intensidad de la corriente que la ha producido.

Por último, la acción química de las corrientes constituye igualmente un medio para medir su intensidad, aplicando las leyes de Faraday a las descomposiciones químicas producidas por las corrientes.

En el presente libro nos ocuparemos exclusivamente del estudio de los galvanómetros, explicando los diversos tipos y su manejo.

GALVANÓMETROS

2. Un galvanómetro se compone, en general, de una aguja imantada (suspendida de un hilo de seda sin retorcer, o montada sobre un eje que le permite moverse en un plano horizontal) cuyo centro coincide con el de una bobina recorrida por la corriente cuya intensidad se trata de medir.

Si la aguja no estuviera solicitada más que por la fuerza que sobre la misma ejerce la corriente, se colocaría normalmente al plano de la bobina, cualquiera que fuese la intensidad de ésta. Así es que para medir esta in-

tensidad es preciso que la aguja se halle sometida a una acción antagonista de valor conocido; de la igualdad de esta acción y la ejercida por la corriente, se puede deducir fácilmente la intensidad.

En algunos galvanómetros, la fuerza antagonista es la torsión del hilo de suspensión o de un resorte en hélice, producida por la desviación de la aguja imantada; pero, en la mayoría de ellos esta fuerza proviene del campo magnético en que se halla colocado el galvanómetro. Vamos a estudiar el caso en que este campo es el campo magnético terrestre.

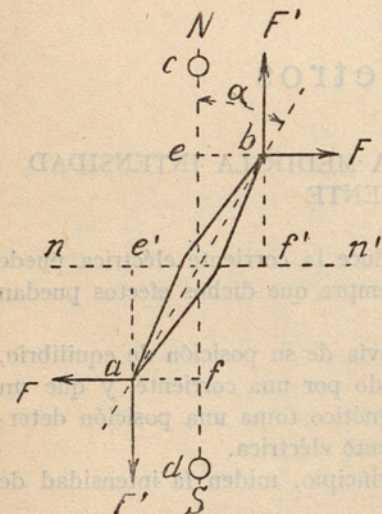


FIG. I

3. Sea ab (fig. 1) una aguja imantada horizontal que, bajo la influencia del magnetismo terrestre, se colocaría en la dirección SN del meridiano magnético del lugar en que se efectúa el experimento, y cd una bobina, que suponemos formada por una sola espira de hilo representada por la sección con un plano horizontal que pase por el eje de la aguja, colocada en el plano del meridiano magnético. En cuanto una corriente pasa por la espira, la aguja se desvía de su primitiva posición, y, después de algunas oscilaciones, cuya amplitud va decreciendo, se para a la derecha o a la izquierda del plano del meridiano magnético, según el sentido de la corriente en la bobina. El ángulo que forma el eje de la aguja, en su nueva posición de equilibrio, con la recta NS , o sea el *ángulo de desviación*, depende de la intensidad de la corriente que circula por la espira y de la componente horizontal del magnetismo terrestre, y, por lo tanto, puede servir para medir dicha intensidad, siempre que conozcamos la ley de dependencia entre dichas cantidades.

GALVANÓMETRO DE TANGENTES

4. Sea i la intensidad (en unidades C. G. S.) de la corriente que circula por la espira cd (fig. 1), cuyo radio, que mide r cm, es muy grande con relación a la longitud de la aguja. Sabemos que si una corriente, cuya intensidad es la unidad C. G. S., recorre una circunferencia de 1 cm de radio, ejerce sobre el polo magnético unidad situado en su centro, una fuerza de 2π dinas. Si la circunferencia tiene r cm de radio, la fuerza será $\frac{2\pi}{r}$,

y si el polo tiene una intensidad m y la corriente es de i unidades C. G. S. la fuerza con que la corriente actúa sobre el polo será mi veces la anterior o sea $\frac{2 \pi m i}{r}$ dinas.

Cada polo de la aguja ab es solicitado por una fuerza $F = \frac{2 \pi m i}{r}$ y como ambas son paralelas y de sentido opuesto, constituyen un par que tiende a colocar la aguja en la dirección nn' normal a NS . El momento de este aparato es la fuerza aplicada a uno de los polos multiplicada por la proyección de la distancia entre los polos sobre la recta NS normal a la dirección de las fuerzas F , o sea $\frac{2 \pi m i}{r} \cdot \overline{ef}$.

Designando por h la componente horizontal del magnetismo terrestre, o sea la fuerza que ejerce el magnetismo terrestre sobre el polo-unidad para moverlo en sentido horizontal, la que ejercerá sobre un polo de intensidad m será $F' = mh$. Cada uno de los polos de la aguja imantada está sometido a esta fuerza F' , y como son iguales y de sentidos contrarios, forman un par que tiende a situar la aguja en la dirección NS . Este par tiene por momento la fuerza aplicada a cada polo, multiplicada por la proyección $\overline{e'f'}$ de \overline{ab} sobre la recta nn' normal a la dirección de las fuerzas, o sea $m \cdot h \cdot \overline{e'f'}$. Puesto que hay equilibrio, los dos momentos hallados son iguales, y por tanto:

$$\frac{2 \pi m i}{r} \cdot \overline{ef} = m \cdot h \cdot \overline{e'f'}$$

Pero $\overline{ef} = \overline{ab} \cdot \cos \alpha$ y $\overline{e'f'} = \overline{ab} \cdot \sen \alpha$, luego:

$$\frac{2 \pi m i}{r} \cdot \overline{ab} \cdot \cos \alpha = m \cdot h \cdot \overline{ab} \cdot \sen \alpha$$

o bien, simplificando,

$$\frac{2 \pi m i}{r} \cos \alpha = m \cdot h \cdot \sen \alpha$$

de donde

$$i = \frac{r m h \sen \alpha}{2 \pi m \cos \alpha}$$

Como $\frac{\sen \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$; resulta, finalmente

$$i = \frac{r h}{2 \pi} \operatorname{tg} \alpha$$

Si en vez de considerar una sola espira recorrida por la corriente de intensidad i consideramos una bobina de n espiras, con la misma intensidad de corriente, la acción de esta bobina será igual a la de una corriente de intensidad ni . Será preciso, pues, dividir el valor hallado, por n , y resultará

$$i = \frac{r h}{2 \pi n} \operatorname{tg} \alpha$$

En esta fórmula i está expresada en unidades C. G. S. de intensidad. Para que represente amperios habrá que multiplicar por 10 el valor hallado, es decir,

$$i = \frac{5 r h}{\pi n} \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

De esta fórmula se deduce que la intensidad de la corriente es proporcional a la tangente del ángulo de desviación y que es independiente de la intensidad magnética de la aguja. Permite calcular en amperios la intensidad de una corriente siempre que sean conocidos el radio y número de espiras de la bobina, la componente horizontal y el ángulo de desviación, cuya tangente hallaremos en una tabla de tangentes.

5. *Constante del galvanómetro.* — En la fórmula (1) del número anterior r y n tienen valores constantes para un mismo galvanómetro. En cuanto a la componente horizontal h del magnetismo terrestre, puede considerarse como conocida, si bien varía no sólo según la situación geográfica del lugar del experimento, sino también según la época, de modo que de nada serviría dar una tabla de componentes horizontales de los diversos lugares observadas en años anteriores, siendo necesario buscarla en las tablas meteorológicas del año en que se experimenta. La fracción $\frac{5 r h}{n}$ tiene un valor que puede calcularse; llamándole k , tenemos, en general

$$i = k \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

La constante k se llama *constante del galvanómetro*. Para hallar la intensidad de la corriente basta multiplicar la tangente del ángulo de desviación por dicha constante k .

6. *Determinación de la constante.* — Según hemos visto, la constante de un galvanómetro puede determinarse por el cálculo, pero es preferible hallarla experimentalmente, siendo indispensable hacerlo así cuando faltan datos precisos del valor de la componente horizontal. Para ello haremos pasar por la bobina una corriente de intensidad perfectamente conocida i'

que producirá una desviación α' . Aplicando la fórmula (I) del número anterior, se tiene

$$i' = k \operatorname{tg} \alpha'$$

de donde se deduce

$$k = \frac{i'}{\operatorname{tg} \alpha'}$$

Conocido el valor de k podemos hallar, mediante la fórmula citada, la intensidad de cualquier corriente, siendo necesario tener en cuenta que, variando la componente horizontal según la época, será preciso comprobar de vez en cuando el valor de k .

De la fórmula (I) del número anterior se obtiene el valor $k = \frac{i}{\operatorname{tg} \alpha}$. De ésta y de la hallada anteriormente se deduce:

$$\frac{i}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{i'}{\operatorname{tg} \alpha'}$$

Esta igualdad expresa que las intensidades son proporcionales a las tangentes de los ángulos de desviación, y, por tanto,

$$i = i' \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'}$$

fórmula que permite calcular la intensidad de una corriente cuando conocemos la desviación que produce esta corriente y la que ocasiona otra corriente de intensidad conocida.

LECTURA DE LA DESVIACIÓN

7. *Lectura directa.* — Para apreciar el valor de la desviación sufrida por la aguja imantada, algunos galvanómetros tienen debajo de la misma un círculo graduado, que permite conocer en grados la desviación sufrida. En estos casos, la aguja, que por los motivos que explicaremos, tiene que ser muy corta, lleva adherido un índice muy ligero de aluminio, que sirve para leer la desviación. Es evidente que cuanto mayor sea la longitud del índice, y, por tanto, el diámetro del círculo graduado, mejor podrá efectuarse la lectura de la desviación, pero es fácil comprender que es imposible darles las dimensiones convenientes para hallar el valor de la intensidad de la corriente con la aproximación que algunos experimentos requieren, lo cual ha obligado a adoptar otra disposición que permite la lectura del ángulo de desviación con mayor aproximación.

8. *Necesidad de una aguja imantada corta.* — Las fórmulas que hemos deducido en los números anteriores están basadas en la hipótesis de que los campos magnéticos que actúan sobre la aguja son perfectamente uniformes, y por tanto, que sus líneas de fuerza son paralelas. Cualquiera que sea la longitud de la aguja, sus polos se hallan, en todas las posiciones que aquella pueda tomar, en un campo uniforme, por lo que al magnetismo terrestre se refiere, pero no ocurre lo mismo respecto al campo producido por la bobina, el cual, al tener éste poca longitud, sólo es uniforme en el centro de la circunferencia-sección de la bobina. De modo que para disminuir en lo posible el error cometido, la longitud de la aguja ha de ser muy pequeña comparada con el diámetro de la bobina.

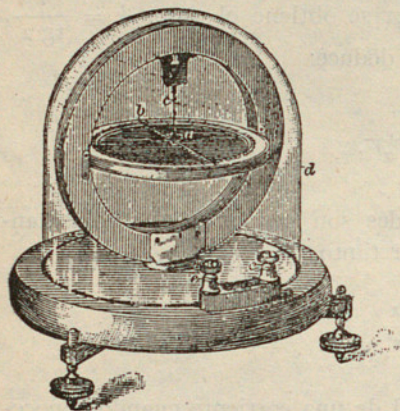


FIG. 2

Como con una aguja de poca longitud es imposible leer la desviación obtenida, es necesario adaptarla un índice de longitud apropiada que permita leer las divisiones del círculo graduado.

9. La fig. 2 representa un galvanómetro cuya disposición permite efectuar la lectura en la forma indicada.

Consta este aparato de una platina sostenida por tres tornillos de nivelación sobre la cual está montada la bobina, en cuya parte interior superior se sujeta un hilo de seda fino, sin retorcer, que sostiene la aguja imantada.

El extremo superior del hilo de suspensión está unido a un tornillo que permite subir o bajar la aguja a fin de situarla en el centro de la bobina. Un índice de aluminio, fijo a la aguja, recorre las divisiones de un círculo graduado colocado horizontalmente debajo del mismo. El conjunto está protegido por una campana de cristal que impide que las corrientes de aire puedan influir sobre las indicaciones de la aguja.

Los extremos del hilo de la bobina acaban en dos bornes situados en el exterior, a los que se conectan los conductores del circuito cuya intensidad de corriente deseamos medir.

Para efectuar una medida empezaremos por colocar el aparato de manera que el plano de la bobina coincida con el meridiano del lugar en que operamos, nivelando el aparato a fin de que el hilo de suspensión sea normal al plano del círculo graduado. El plano vertical que pasa por la aguja coincidirá con el de la bobina y con el del meridiano magnético, y el índice marcará el cero de la escala graduada. En estas condi-

ciones haremos circular la corriente por la bobina, que producirá la desviación de la aguja. El producto de la tangente del ángulo de desviación por la constante del galvanómetro es la intensidad de la corriente.

Si por cualquier causa se duda de que la desviación observada sea la que corresponde, se hace pasar la corriente en sentido inverso en la bobina, valiéndonos de un conmutador. Si la desviación obtenida en sentido opuesto es igual a la anterior, el aparato estará bien orientado y la desviación leída será correcta; si las desviaciones producidas a uno y otro lado del cero son diferentes, es prueba de que el plano de la bobina no coincide con el del meridiano magnético, y en este caso tomaremos como desviación el promedio de ambas desviaciones.

ERROR DE PARALAJE Y MODO DE EVITARLO

10. Para que la lectura del ángulo de desviación sea exacta, es preciso que el rayo visual se halle en un plano normal al círculo graduado. En cualquier otra posición leeremos un ángulo que será mayor o menor que el verdadero, según la posición del observador respecto a dicho plano.

En la fig. 3, aa es el plano del círculo graduado y b el índice. El verdadero ángulo de desviación es od , siendo o el cero de la escala y estando d en la prolongación de la recta cb contenida en un plano normal a ab . Si miramos desde c' , leeremos un ángulo $od' = od + dd'$, y si miramos desde c'' , leeremos el ángulo $od'' = od + dd''$. En ambos casos hay error, en el primero por exceso y en el segundo por defecto; este error, que depende de la distancia bd del índice al círculo graduado, se denomina *error de paralaje*.

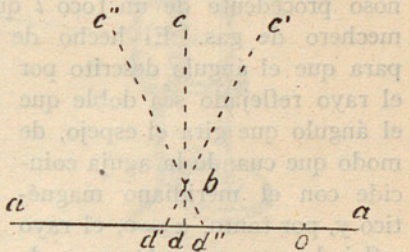


FIG. 3

Para disminuir el error de paralaje basta reducir la distancia bd , es decir, aproximar tanto como sea posible el círculo graduado al índice. Para eliminarlo colocaremos horizontalmente un espejo en el círculo, debajo del índice, de modo que se vea por reflexión la imagen del mismo. Cuando la imagen quede oculta por el índice, el rayo visual se hallará en el plano normal al círculo graduado y la lectura será exacta.

11. *Lectura por reflexión.* — Como la lectura directa no permite obtener con la exactitud debida el valor de la desviación sufrida por la aguja, ideó Sir W. Thomson, para remediar este defecto, la lectura por reflexión, fundada en que al girar un espejo cierto ángulo, el rayo luminoso reflejado

por el mismo describe un ángulo doble. La demostración general de este principio es la siguiente : sea ab (fig. 4) un espejo, mo un rayo incidente y on el reflejado; los ángulos $mo\hat{p}$ y $p\hat{o}n$ formados por dichos rayos con la normal al espejo en el punto o son iguales y los llamaremos i . Si el espejo gira un ángulo α , la normal habrá girado el mismo ángulo y el rayo reflejado será on' , el cual formará, con la nueva normal op' , un ángulo $n'o\hat{p}' = mo\hat{p}' = i + \alpha$. Pero, es evidente que el ángulo que ha girado el rayo reflejado, o sea non' es igual a $mon' - mon$, luego

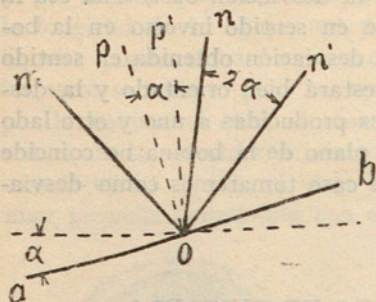


FIG. 4

$$non' = 2(i + \alpha) - 2i = 2\alpha$$

Este principio se aplica a la lectura de la desviación de la aguja de un galvanómetro en la forma siguiente : ab (fig. 5), es la aguja y c un pequeño espejo cóncavo pegado a la misma que refleja, en una escala ef colocada paralelamente al plano de la bobina, un rayo luminoso procedente de un foco l que puede ser una bombilla eléctrica o un mechero de gas. El hecho de ser cóncavo el espejo no es obstáculo para que el ángulo descrito por el rayo reflejado sea doble que el ángulo que gira el espejo, de modo que cuando la aguja coincide con el meridiano magnético y, por tanto, $\alpha = 0$, el rayo reflejado pasa por el cero o de la escala, y cuando aquél gira el ángulo α , el rayo luminoso reflejado describe un ángulo 2α y marca en la escala una división para la cual se verifica

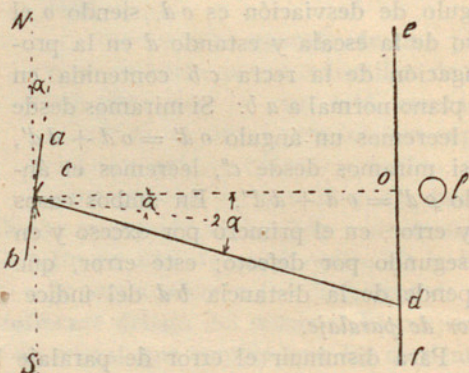


FIG. 5

$$\frac{od}{oc} = \operatorname{tg} 2\alpha.$$

Ahora bien : como los ángulos de desviación son generalmente muy pequeños, podemos admitir, *sin error sensible*, que la tangente es igual al ángulo y, por consiguiente, $\operatorname{tg} 2\alpha = 2 \operatorname{tg} \alpha$, de donde se deduce $\operatorname{tg} \alpha = \frac{od}{2 \cdot oc}$.

Si la escala está dividida en milímetros, la distancia oc es de 1 m y d es igual a 17 mm, tendremos: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{17}{2 \times 1000} = 0,0085$, que corresponde a un ángulo de $30'$. Obsérvese que si quisiéramos obtener una desviación igual

con el sistema de lectura directa, sería preciso que el índice tuviese 2 m de longitud.

De lo que acabamos de exponer se deduce que cuanto mayor sea la distancia de la escala al aparato, mayor será, para un mismo ángulo de desviación, la distancia $o d$, y, por tanto, más precisa será la lectura.

12. *Escala transparente.* — En los galvanómetros modernos la escala es transparente y el observador, situado detrás de la misma, ve un trazo luminoso que recorre sus divisiones. Generalmente, el foco luminoso está cubierto por un tubo que tiene una abertura provista de un retículo vertical

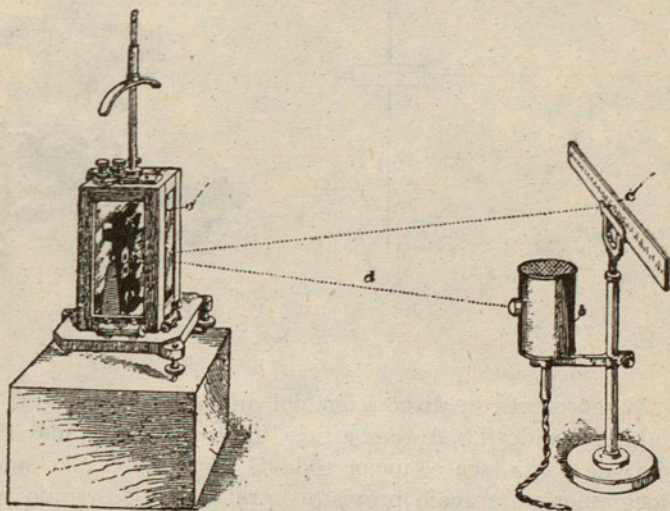


FIG. 6

que se proyecta en la escala según un trazo obscuro en medio de una parte iluminada de la misma.

La posición relativa que tienen el galvanómetro, la escala y el foco luminoso se indican en la fig. 6, que representa dichos aparatos en el momento de efectuarse una lectura utilizando una escala transparente.

Si, dada la construcción del galvanómetro, es sensible a la influencia de las corrientes exteriores que se hallan próximas, se debe sustituir la bombilla eléctrica por un mechero de gas colocado en la parte superior y central de la escala.

13. En la disposición ideada por Poggendorff es sustituida la bombilla l (fig. 5) por un anteojo con retículo, y el espejo c , en vez de ser cóncavo, es plano. Es fácil comprender que al girar el espejo un ángulo α (fig. 7), una

porción de la escala se proyectará en el mismo, y el espejo la reflejará hacia el anteojo, de modo que la división d reflejada coincidirá con el retículo. Cuando se emplea este sistema, la escala ha de estar muy iluminada, a fin de distinguir claramente sus divisiones.

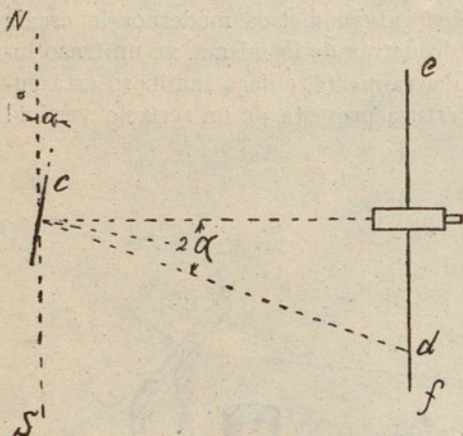


FIG. 7

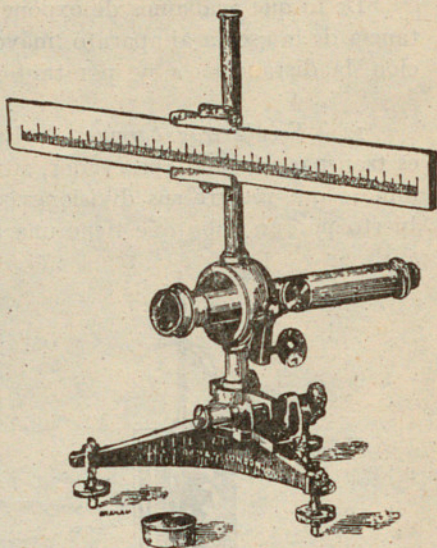


FIG. 8

La fig. 8 representa la disposición del anteojo empleado en la lectura por el método Pogendorff. Ante el espejo, fijado al sistema móvil por medio de unas gotas de goma laca o, mejor todavía, por tres grapas sujetas a sus bordes, colocaremos un anteojo provisto de retículo y sostenido por un trípode, con tornillos de nivelación, que soporta una escala horizontal perpendicular al eje óptico del anteojo. La distancia de la escala al espejo puede variar de 1 a 3 m.

El eje óptico del anteojo está orientado de modo que el plano vertical que pasa por el mismo es normal al espejo y pasa por su centro cuando éste se halla en reposo. Para esto hay que procurar que los extremos de la escala estén a igual distancia del espejo, nivelar el trípode por medio de los tres tornillos en que descansa y graduar la inclinación del anteojo hasta conseguir ver a través del mismo la imagen del centro de la escala. Después comprobaremos si al mover el espejo igualmente a otro lado de su posición de reposo, se leen desviaciones iguales en la escala. Los números marcados en ésta están invertidos, a fin de que se vean con el anteojo en posición normal.

GALVANÓMETROS APERIÓDICOS

14. Cuando se cierra el circuito de un galvanómetro ordinario, la aguja experimenta una serie de oscilaciones a uno y otro lado del cero, las cuales van disminuyendo hasta alcanzar el equilibrio, pero el tiempo necesario para esto es largo y constituye un serio inconveniente, sobre todo si hay que hacer muchas mediciones. Para evitar este defecto se usan ciertos procedimientos que amortiguan las oscilaciones, tales como la colocación de una lámina de aluminio en el hilo de suspensión cuyo rozamiento con el aire hace decrecer rápidamente las oscilaciones. También se puede hacer girar la aguja en el interior de una pieza de cobre muy próxima a la misma; cuando la aguja se mueve se producen en la masa de cobre corrientes parásitas de tal efecto que, en los aparatos bien dispuestos, la aguja queda inmóvil a la primera oscilación. Estos galvanómetros, que tienen la propiedad de indicar rápidamente la desviación, se llaman galvanómetros *aperiódicos*.

SENSIBILIDAD DE UN GALVANÓMETRO

15. Entendemos por *sensibilidad* de un galvanómetro la facilidad con que acusa la presencia de corrientes de poca intensidad. Hemos visto que sobre la aguja del galvanómetro actúan dos fuerzas antagonistas, que son: la acción producida por la corriente de la bobina y la ejercida por el magnetismo terrestre. La primera de dichas fuerzas tiende a producir la desviación de la aguja y la segunda a impedirla; luego, toda disposición que aumente la acción de la corriente o debilite la del magnetismo terrestre producirá una desviación mayor de la aguja y, por tanto, aumentará la sensibilidad del aparato. La resistencia que halla la aguja para moverse actúa en el mismo sentido que el magnetismo terrestre y la disminución de esta resistencia constituye de por sí un medio de aumentar la sensibilidad. Una aguja suspendida de un hilo de seda sin retorcer presenta mucha menor resistencia a las oscilaciones que una aguja montada sobre un eje, y por ello es preferida la primera disposición a la segunda.

Para aumentar la acción ejercida por la corriente hay dos medios: disminuir la distancia de la aguja a la bobina, o lo que es igual, reducir tanto como sea posible el diámetro de ésta, o construir la bobina con gran número de espiras, con lo cual se consigue un aumento de resistencia.

Para disminuir el efecto producido por la componente horizontal del magnetismo terrestre colocaremos cerca del galvanómetro un imán, con polos orientados de modo tal que reduzcan la acción del magnetismo terrestre, y además se emplea un sistema, llamado *astático*, que consiste, (fig. 9) en dos

agujas de momentos casi iguales, paralelas y dispuestas de manera que no pueda girar una sin la otra. Los polos de las agujas están invertidos, de modo que la acción directiva de la componente horizontal del magnetismo terrestre corresponderá a la diferencia del esfuerzo ejercido sobre ambas, y como tienen casi iguales la longitud e intensidad de imantación, se comprende que basta una pequeña intensidad de corriente para producir una desviación muy notable del sistema. De las dos agujas, una se halla en el interior de la bobina y la otra encima; esta disposición aumenta la acción de la corriente sobre el conjunto de las dos agujas, pues sobre la interior actúa la de toda la bobina, como si se hallase sola, y la exterior tiende a girar en el mismo sentido, como es fácil comprobar aplicando la regla de Ampere. En efecto, si bien las partes laterales y la inferior de la bobina tienden a hacerla girar en sentido opuesto al de la aguja interior, la parte superior tiende a moverla en el mismo sentido, y como se halla más próxima, predomina sobre las demás y se obtiene como resultado un impulso del mismo sentido. No obstante, el objeto del sistema astático es, según hemos indicado, disminuir la acción del campo terrestre sobre la aguja.

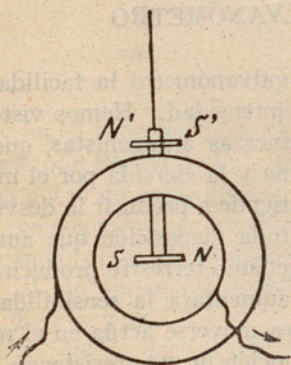


FIG. 9

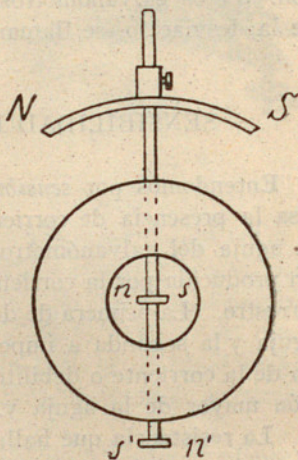


FIG. 10

De las dos agujas del sistema astático una se halla situada siempre en el interior de la bobina, y la otra puede estar colocada encima o debajo de la misma. La fig. 10 muestra una bobina con un sistema astático e *imán director* NS , cuyo objeto es disminuir la acción del campo terrestre. Este imán está colocado sobre el sistema astático y puede subirse o bajarse a voluntad y orientarse del modo que convenga, a fin de disminuir o aumentar el esfuerzo director.

Puesto que interesa disminuir la acción directriz del campo magnético terrestre, a fin de aumentar la sensibilidad de un galvanómetro, y como,

además, la desviación es independiente del momento magnético de la aguja, parece que podríamos emplear agujas muy poco imantadas, incluso de hierro dulce, que se imantasen bajo la acción del campo terrestre y del campo producido por la corriente de la bobina, pero la influencia de esta corriente sobre una aguja tal sería muy débil y, por consiguiente, la desviación sumamente lenta. Por otra parte, el eje magnético de la aguja variaría con la imantación recibida, y las desviaciones observadas no serían exactas. Por estas razones, las agujas empleadas en los galvanómetros están fuertemente imantadas y su magnetismo permanece invariable, aun bajo la influencia de corrientes intensas.

16. Cuando la acción de la componente horizontal se halla modificada por los procedimientos descritos, la determinación de la constante del galvanómetro tiene que hacerse experimentalmente sin basarse en las dimensiones de la bobina ni en la componente horizontal, pues la acción magnética que actúa sobre la aguja es la resultante de dicha componente sobre cada una de las agujas y del magnetismo del imán director. En este caso no importa que existan imanes o piezas de hierro cerca del aparato siempre que estén fijos, pero si el campo magnético terrestre actúa sólo como director y la constante se ha determinado por medio del cálculo, el galvanómetro tendrá que estar resguardado de toda influencia magnética exterior y no podrá entrar en su construcción ninguna pieza o tornillo de hierro.

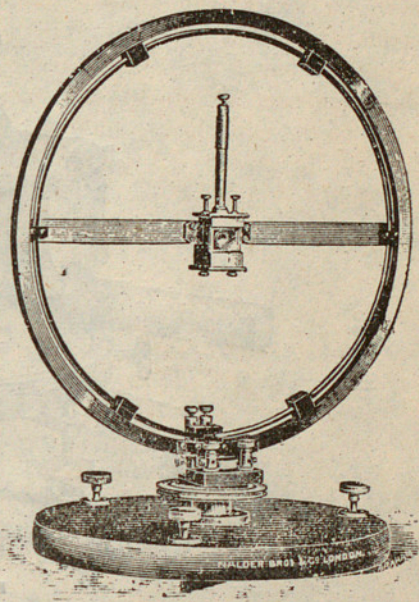


FIG. 11

17. La fig. 11 representa un galvanómetro de imán móvil que consta de dos bobinas concéntricas de gran diámetro, de las cuales la exterior contiene gran número de espiras alojadas dentro de un bastidor de metal, y la interior, convenientemente aislada de la otra, está formada por una sola espira consistente en una cinta de cobre. Cada una de estas bobinas tiene su par de bornes correspondientes y por medio de los mismos podemos medir intensidades muy variables. En un diámetro horizontal se halla el imán móvil provisto de su suspensión, y el conjunto está montado de modo que puede girar sobre la placa inferior que le sirve de base, la cual descansa sobre

tres tornillos de nivelación. Una vez conseguida ésta, haremos girar el plano de las bobinas hasta que coincida con el meridiano magnético. La lectura de la desviación se efectúa mediante un espejo fijo a la aguja; este galvanómetro es, pues, de *reflexión*.

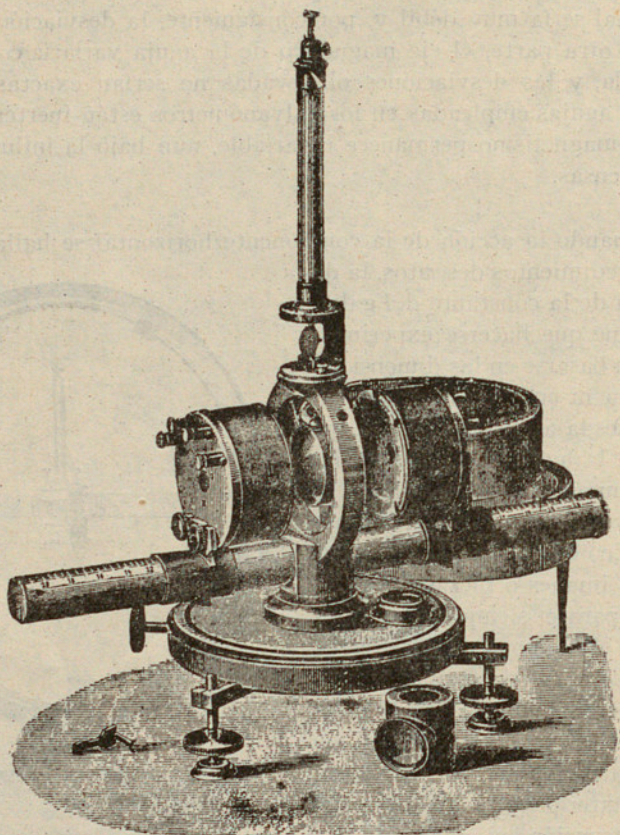


FIG. 12

18. *Galvanómetro de Wiedemann.* — En este sistema, representado en la figura 12, la aguja imantada oscila, suspendida de un hilo de seda, entre dos bobinas paralelas montadas sobre una barra metálica, de modo que deslizándose a lo largo de la misma podemos variar la distancia entre ellas y la aguja y, por consiguiente, aumentar o disminuir la sensibilidad del galvanómetro. Designando por d la distancia media de las espiras a la aguja, la intensidad de la corriente está dada por la fórmula

$$i = h \frac{(r^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \pi r^2 n} \operatorname{tg} \alpha$$

en la que h es la componente horizontal del campo terrestre, r el radio de la espira media y n el número total de espiras de ambas bobinas.

Si en esta fórmula suponemos $d = 0$, lo que equivale a admitir que existe solamente una bobina de n espiras en cuyo centro se halla la aguja, obtenemos

$$i = h \frac{(r^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \pi r^2 n} \operatorname{tg} \alpha$$

o bien, simplificando,

$$i = h \frac{r}{2 \pi n} \operatorname{tg} \alpha$$

que es el valor hallado en el n.º 4 para una intensidad de i unidades C. G. S.

El aparato está provisto de bobinas de recambio que permiten medir corrientes de diversas intensidades. Las lecturas se verifican por reflexión.

19. *Galvanómetro de torsión de Siemens y Halske.*—

En el galvanómetro de Siemens y Halske (fig. 13) la aguja está reemplazada por un imán a que gira en el interior de una bobina rectangular b , suspendido de un hilo de seda unido a un botón colocado en la parte superior, y dirigido por un resorte en hélice. Cuando pasa una corriente por la bobina, el imán se desvía y el índice c , unido al mismo, se aleja del cero del círculo graduado que se halla en la parte superior. Para volver al cero este índice hay que girar el tornillo t en un sentido determinado; el índice d , unido a él, indica en el círculo el ángulo α necesario para esto, y entonces tenemos

$$i = \frac{\alpha}{k}$$

siendo k una constante que hay que determinar experimentalmente. Con este galvanómetro podemos medir corrientes de intensidades muy diversas, puesto que el resorte puede girar 360° sin llegar al límite de elasticidad. Como la desviación del índice c no se toma en consideración, se limita su movimiento mediante dos topes colocados a una y otra parte del cero y muy próximos a éste. Los movimientos del sistema móvil se amortiguan por medio de unas paletas de mica, no indicadas en el croquis.

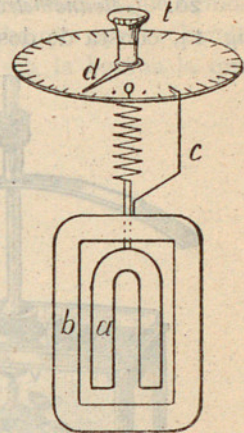


FIG. 13

GALVANÓMETROS DIFERENCIALES

20. *Galvanómetro de Lord Kelvin.* — Este aparato, representado en la fig. 14, consta de dos juegos de láminas de acero fuertemente imantadas,

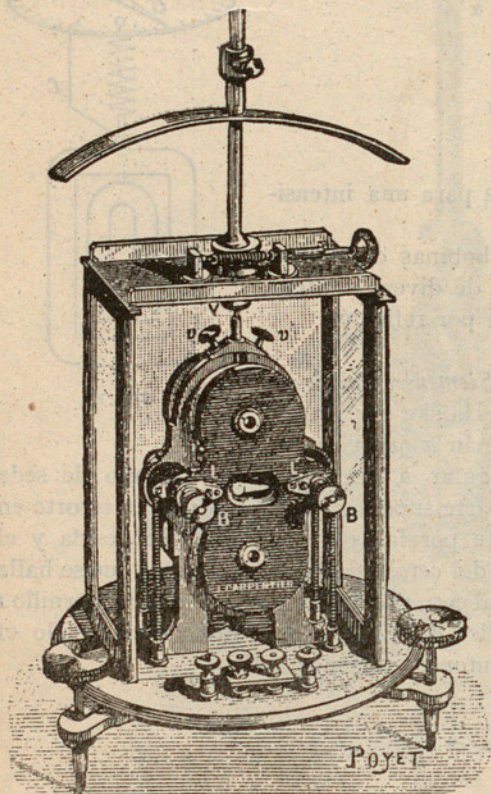


FIG. 14

fijas a un hilo de aluminio suspendido a su vez de uno de seda o de cuarzo que sostiene toda la parte móvil. El juego de imanes superior forma un sistema astático con el inferior, y ambos giran entre dos pares de bobinas montadas sobre charnelas que permiten apartar dichas bobinas y examinar el interior del aparato sin necesidad de desmontarlo. Una paleta de aluminio, fija a un hilo del mismo metal, constituye el amortiguador. Cada par de bobinas paralelas actúa sobre su juego de imanes correspondiente, y la corriente va en ellos en tal sentido, que la acción ejercida por el par superior es exactamente igual y opuesta a la producida por el inferior, de modo que, si las bobinas están conectadas en serie, estas acciones se equilibran y la desviación es nula. El aparato está provisto de cuatro bornes, dos para cada par de bobinas, estando unido a uno de

los juegos de imanes, el espejo cóncavo destinado a la lectura de la desviación.

Este galvanómetro sirve especialmente para comparar corrientes por el método de reducción a cero. Cuando a través de uno de los pares de bobinas pasa una corriente conocida y por el otro una de intensidad desconocida, ambas corrientes son iguales si la desviación es nula.

GALVANÓMETROS DE BOBINA MÓVIL

21. *Galvanómetro Deprez y Arsonval.* — En los galvanómetros que hemos descrito el imán es móvil y la bobina fija, pero se concibe que aprovechando la acción recíproca de los imanes sobre las corrientes, sea la bobina la que

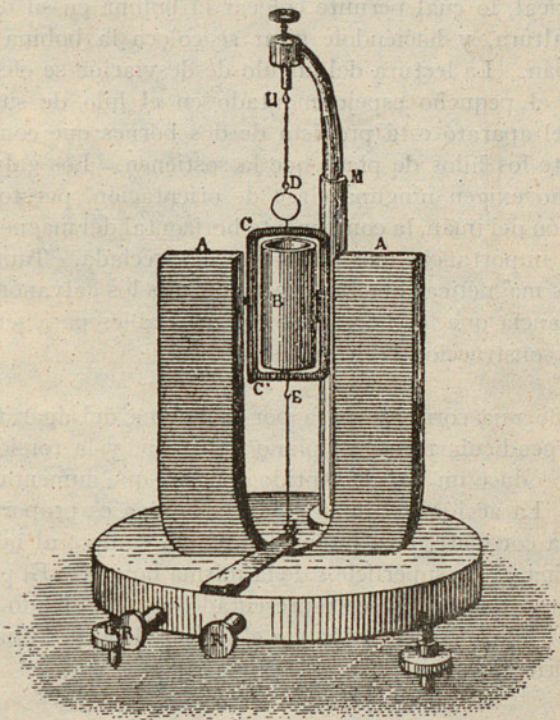


FIG. 15

gire y el imán el que permanezca fijo. Uno de los galvanómetros basado en este principio universalmente conocido por su fácil manejo y gran exactitud, es el de Deprez y Arsonval. Consiste este aparato (fig. 15) en un imán de herradura, fijo verticalmente a un marco de madera provisto de tornillos de nivelación, entre cuyos polos gira libremente una bobina rectangular suspendida de un hilo de plata muy fino unido por su extremo superior a un tornillo. Otro hilo igual al anterior, unido a la parte inferior de la bobina y fijo al marco mediante una lámina flexible mantiene la bobina en forma que ésta puede girar alrededor de un eje vertical que pasa por el centro de la misma. En el interior de la bobina hay un cilindro de hierro dulce, que

tiene por objeto aumentar la intensidad del campo magnético en el pequeño entrehierro en que se halla la bobina. En los modelos más modernos las extremidades de los polos del imán tienen en su cara interna una convexidad concéntrica con la superficie del cilindro interior, de modo que la bobina en cualquier posición que tenga se halla en un campo uniforme. El cilindro de hierro está fijo a un soporte vertical que lleva en su parte superior el tornillo al que está unido el hilo de suspensión. Este tornillo puede jugar en sentido vertical, lo cual permite colocar la bobina en su debida posición respecto a la altura, y haciéndole girar se coloca la bobina perpendicular al plano del imán. La lectura del ángulo de desviación se efectúa por reflexión mediante el pequeño espejo montado en el hilo de suspensión.

La base del aparato está provista de dos bornes que comunican con la bobina mediante los hilos de plata que la sostienen. Los galvanómetros de bobina móvil no exigen ninguna clase de orientación, puesto que, dada la fuerte imantación del imán, la componente horizontal del magnetismo terrestre tiene tan poca importancia que puede ser despreciada. Tampoco hay que alejar las piezas magnéticas que tanto perjudican a los galvanómetros de imán móvil, circunstancia que los hace muy recomendables para ser utilizados en los talleres de construcciones eléctricas.

22. Cuando una corriente pasa por la bobina del aparato, ésta tiende a colocarse perpendicularmente al plano del imán, y la torsión de los hilos de suspensión produce un par de sentido opuesto, que aumenta con el ángulo de desviación. La acción del imán sobre la bobina es proporcional a la intensidad i de la corriente, a la intensidad H del campo, al número de espiras n de la bobina y a la superficie s de la misma bobina. El par antagonista tiene un momento que puede ser representado por $c\alpha$, siendo c la constante de torsión de los hilos de suspensión y α el ángulo de giro. Cuando la bobina está en equilibrio tenemos

$$H i n s = c \alpha$$

de donde

$$i = \frac{c \alpha}{H n s} = k \alpha$$

El valor de la constante $k = \frac{c}{H n s}$ se determina haciendo pasar por el galvanómetro una corriente de intensidad conocida i' que producirá una desviación α' , y de la expresión anterior deduciremos $k = \frac{i'}{\alpha'}$.

23. *Galvanómetro de Ayrton y Mather.* — La fig. 16 representa el aspecto exterior del galvanómetro de Ayrton y Mather, que pertenece al tipo de Arsonval. El imán director es horizontal y de forma circular, con un pequeño

entrehierro en el que se introduce la parte móvil, cerrada en un tubo de latón que encaja en el espacio interpolar del imán. La bobina móvil está situada en el interior de un tubo de plata que actúa de amortiguador, por efecto de las corrientes que se inducen en el mismo al girar entre los polos del imán. El hilo de suspensión es de bronce fosforoso o de plata, y forma una cinta de $0,27 \times 0,05$ mm; a fin de no fatigarlo inútilmente el tubo de latón va provisto de un tornillo que actúa sobre un resorte que sostiene el peso del cilindro de plata mientras el aparato no funciona. La lectura se hace por reflexión, y para ello el tubo tiene una abertura circular cerrada con un vidrio a la altura del espejo que se halla sobre la bobina. Con el aparato se suministran varios tubos con los sistemas móviles adecuados a los usos a que esté destinado el aparato y las conexiones se establecen automáticamente mediante resortes que actúan al introducir el tubo en el entrehierro del imán.

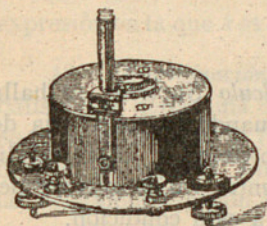


FIG. 16

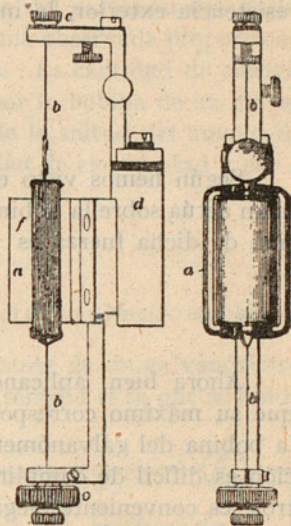


FIG. 17

24. En el galvanómetro Holden de

Arsonval el imán, circular y horizontal como en el tipo Ayrton y Mather, está formado de planchas superpuestas que presentan un corte formando entrehierro, en el cual está colocado el sistema móvil, indicado en la fig. 17. Como los hilos de suspensión sirven al mismo tiempo para la conducción de la corriente, el soporte del sistema móvil está formado por dos partes, aisladas con una placa de ebonita. El conjunto del aparato está cubierto con un tubo de latón cerrado en su parte superior, y tiene una abertura lateral con un cristal a fin de poder efectuar la lectura por reflexión.

CONSIDERACIONES GENERALES

25. En todos los galvanómetros de bobina móvil hay que procurar que la imantación de los imanes directores sea muy intensa y su resistencia ha de estar en relación con la del circuito en que se intercalan. El cálculo demuestra que la sensibilidad de un galvanómetro es máxima cuando su resistencia es igual a la del circuito exterior. Consideremos una bobina formada de una sola espira de resistencia r ; si, suponiendo que no se pierde espacio, construí-

mos una bobina de las mismas dimensiones que la anterior, pero de n espiras, su resistencia será rn^2 , pues la longitud del hilo será n veces la anterior y su sección $\frac{I}{n}$.

Llamando e a la fuerza electromotriz que actúa en el circuito y r' a la resistencia exterior, la intensidad de la corriente será

$$i = \frac{e}{r' + rn^2}$$

Según hemos visto en el n.º 22, la fuerza electromagnética con que el imán actúa sobre la bobina es Hin . Sustituyendo i por su valor, la expresión de dicha fuerza es

$$\frac{Hnse}{r' + rn^2}$$

Ahora bien, aplicando a esta expresión el *Cálculo Superior*, se halla que su máximo corresponde a $r' = rn^2$, es decir, cuando la resistencia de la bobina del galvanómetro es igual a la del circuito exterior. Esta condición es difícil de cumplir, pero, si podemos escoger entre varios galvanómetros, es conveniente elegir el que se aproxime más a esta condición.

26. *Forma de la bobina móvil.* — De las bobinas rectangulares, la cuadrada es la que, teniendo igual perímetro que otra y, por consiguiente, igual resistencia para un número dado de espiras, tiene mayor superficie y, por lo tanto, tiene mayor par, pero presenta el inconveniente de tener un momento de inercia relativamente grande. Como el momento del par electromagnético es proporcional a la anchura de la bobina y el momento de inercia lo es al cuadrado de dicha dimensión, interesa adoptar bobinas estrechas, con lo que se facilita el amortiguamiento del sistema móvil.

MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD

MÉTODO BALÍSTICO

27. Cuando una corriente circula por un conductor durante cierto tiempo, es fácil determinar la cantidad de electricidad que pasa en dicho tiempo hallando la intensidad, si es constante, por medio de un galvanómetro y multiplicándola por el número de segundos durante los cuales ha pasado. Si la corriente es instantánea, o, mejor dicho, es de muy corta duración, como

ocurre en la descarga de un condensador, no podemos emplear este sistema y hay que recurrir al método llamado *balístico*, usando galvanómetros que reúnen condiciones especiales, los cuales se denominan *galvanómetros balísticos*, que no son más que galvanómetros dotados de una aguja imantada pesada y que carecen de amortiguador.

Al pasar la corriente instantánea por la bobina del galvanómetro balístico, se desvía y vuelve a cero; y la desviación máxima observada proporciona un medio para conocer la cantidad que ha pasado. La cantidad de electricidad, o sea el número de culombios que circulan por la bobina de un galvanómetro balístico está en razón directa del seno de la mitad del ángulo de desviación, de modo que designando por q la cantidad de electricidad y por α el ángulo de desviación, tendremos

$$q = k \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}$$

expresión en la que k es una constante que depende del galvanómetro empleado.

28. *Determinación de la constante.* — La constante de un galvanómetro balístico se determina de varias maneras. La más sencilla es la que se funda en la comparación de las cargas de dos condensadores. Una vez hechas las conexiones, según indica el esquema (fig. 18), en el que E es un elemento normal, G el galvanómetro y a un doble conmutador, moveremos éste hacia la izquierda, con lo cual se ponen los polos del elemento en comunicación con las armaduras del condensador. Éste se cargará con una cantidad de electricidad q igual al producto de su capacidad c por la diferencia de potenciales e de sus armaduras o sea por la fuerza electromotriz del elemento E ; luego, $q = ec$. Poniendo después la palanca del conmutador en comunicación con el borne de la derecha, el condensador se descargará sobre el galvanómetro y la corriente instantánea producirá en el sistema móvil una desviación α que estará ligada a la cantidad de electricidad que ha pasado por el galvanómetro mediante la expresión indicada en el número anterior.

Repitiendo estas operaciones con otro condensador de capacidad c' se cargará con una cantidad de electricidad $q' = ec'$, y al descargarse sobre el galvanómetro producirá una desviación α' para la cual tendremos análogamente

$$q' = k \operatorname{sen} \frac{\alpha'}{2}$$

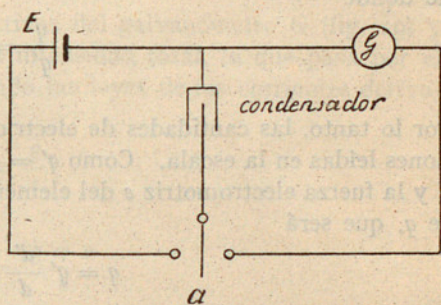


FIG. 18

De esta igualdad y de la citada anteriormente se deduce

$$\frac{q}{q'} = \frac{\operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{sen} \frac{\alpha'}{2}}$$

Como los ángulos son muy pequeños podemos suponer que $\operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}$ es igual a la longitud del arco $\frac{\alpha}{2}$ dividida por el radio, o sea la distancia δ del espejo a la escala, y como la longitud del arco $\frac{\alpha}{2}$ es igual a $\frac{d}{4}$, siendo d la longitud de la desviación leída en la escala, tendremos $\operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} = \frac{d}{4\delta}$.

Luego

$$q = k \frac{d}{4\delta}, \quad q' = k \frac{d'}{4\delta} \quad (I)$$

de donde

$$\frac{q}{q'} = \frac{d}{d'}$$

Por lo tanto, las cantidades de electricidad son proporcionales a las desviaciones leídas en la escala. Como $q' = e c'$ es conocido por serlo la capacidad c' y la fuerza electromotriz e del elemento normal, podremos deducir el valor de q , que será

$$q = q' \frac{d'}{d} = \frac{e c' d}{d'}$$

Sustituyendo este valor en la primera de las igualdades (I), resulta

$$\frac{e c' d}{d'} = k \frac{d}{4\delta}$$

de donde se deduce el valor de la constante

$$k = \frac{4\delta e c'}{d'}$$

SHUNT DE UN GALVANÓMETRO

29. En los galvanómetros que hemos estudiado hemos supuesto que pasaba toda la corriente del circuito principal, pero cuando se trata de grandes intensidades que podrían averiar las bobinas, se intercala entre los bornes del aparato una resistencia, calculada de forma que sólo pase por la bobina una fracción determinada de la corriente total y el resto circule por dicha resistencia. Toda resistencia intercalada entre los bornes de un aparato con el fin indicado, recibe el nombre de *shunt*, palabra inglesa que significa *bifurcación* o *derivación*.

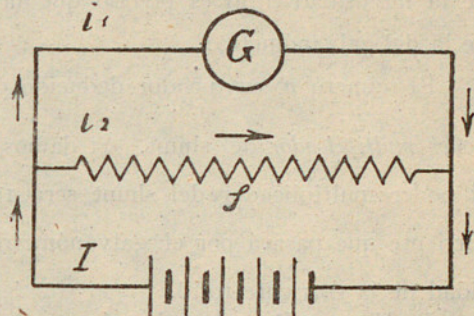


FIG. 19

Sean g y s las resistencias respectivas del galvanómetro G (fig. 19) y del shunt; I , i_1 , i_2 , respectivamente, la intensidad total, la que pasa por el galvanómetro y la del shunt. Aplicando las leyes de las corrientes derivadas tendremos

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{g}{s}$$

de donde

$$\frac{i_2 + i_1}{i_1} = \frac{g + s}{s}$$

y, por tanto,

$$i_1 = I \frac{s}{g + s} \quad (1)$$

Análogamente,

$$i_2 = I \frac{g}{g + s} \quad (2)$$

Luego, la intensidad que pasa por el galvanómetro es una fracción $\frac{s}{g + s}$ de la corriente total. Si queremos que en el galvanómetro circule $\frac{I}{n}$ de la corriente principal, debe verificarse

$$\frac{s}{g + s} = \frac{I}{n}$$

de donde se deduce

$$s = g \frac{I}{n - I} \quad (3)$$

Así, pues, para que la intensidad de corriente en el galvanómetro sea $\frac{I}{n}$ de la intensidad total es preciso que la resistencia del shunt sea $\frac{I}{n - I}$ de la del galvanómetro.

El número n , cuyo valor deducido de (3) es $n = 1 + \frac{g}{s}$ se denomina *poder multiplicador* del shunt. Si damos a s los valores $\frac{I}{9}g$, $\frac{I}{99}g$, $\frac{I}{999}g$, el poder multiplicador del shunt será 10, 100, 1000 y la intensidad de la corriente que pasará por el galvanómetro será $\frac{I}{10}$, $\frac{I}{100}$, $\frac{I}{1000}$ de la intensidad de la corriente total.

Problema. : Por un galvanómetro, que tiene una resistencia de 20 ohmios, pasa una corriente de 1,5 amperios y el poder multiplicador del shunt es 10. ¿Cuál es la intensidad en el circuito principal?

Resolución : De la fórmula (3) se deduce $s = 20 \times \frac{I}{10 - I} = 2,222$; y de la (1), $I = \frac{i_1 (g + s)}{s} = 1,5 \frac{(20 + 2,222)}{2,222} = 15$ amp.

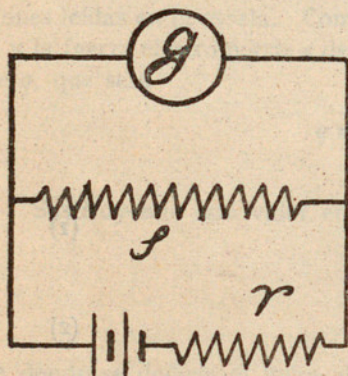


FIG. 20

30. *Resistencia compensadora.* — La introducción de un shunt en el circuito disminuye la resistencia, y, por tanto, aumenta la intensidad de la corriente total. Si queremos que esta intensidad conserve su valor o, lo que es lo mismo, que la resistencia sea igual a la que tenía el circuito antes de intercalar el shunt, hay que añadir una resistencia en serie como se indica en la figura 20. La resistencia entre los bornes del galvanómetro es g antes de emplear el shunt, e intercalado éste es, según las fórmulas de los circuitos derivados, $\frac{gs}{g + s}$.

Así, pues, si queremos mantener la misma resistencia g habrá que intercalar en serie una resistencia r tal que

$$r + \frac{gs}{g + s} = g$$

de donde se deduce

$$r = g - \frac{gs}{g+s} = \frac{g^2}{g+s} = g \frac{g}{g+s}$$

Pero, como

$$\frac{g}{g+s} = \frac{\frac{g}{s}}{\frac{g}{s} + 1}, \quad \frac{g}{s} + 1 = n, \quad \frac{g}{s} = n - 1$$

resulta

$$r = g \left(\frac{n-1}{n} \right)$$

o bien

$$r = g \left(1 - \frac{1}{n} \right) \quad (1)$$

Problema : La resistencia de un galvanómetro es de 100 ohmios y la del shunt es de 10 ohmios. ¿Cuál habrá de ser la resistencia compensadora?

Resolución : Según hemos visto, $r = \frac{g^2}{g+s}$, luego sustituyendo g y s por sus valores tendremos $r = \frac{100^2}{100+10} = 90,909$ ohmios.

31. *Diversas clases de shunts*. — Los shunts de los galvanómetros están formados por bobinas arrolladas en la forma que indica la fig. 21, a fin de evitar los efectos de la autoinducción que, como sabemos, tendrían lugar si fueran bobinas ordinarias. Los extremos de los hilos de dichas bobinas comunican con unas placas de metal fijadas a la cubierta del aparato y aisladas unas de otras. Estas placas comunican entre sí mediante las bobinas, pero pueden hacerlo directamente introduciendo clavijas de metal en los orificios dispuestos al efecto. Si introducimos

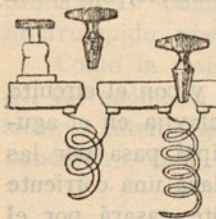


FIG. 21

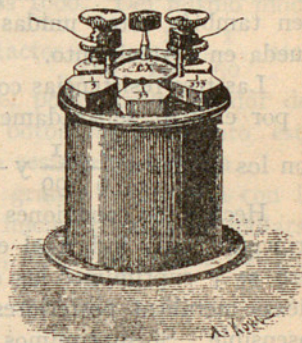


FIG. 22

una clavija, queda suprimida la resistencia de la bobina correspondiente y la corriente pasa de una placa a la contigua sin hallar resistencia, y si la sacamos la resistencia de la bobina queda intercalada en el circuito.

32. La fig. 22 representa un shunt muy empleado, y la fig. 23, el esquema de conexiones. Se compone de tres bobinas, cuyas resistencias respectivas son $\frac{I}{9}$, $\frac{I}{99}$, $\frac{I}{999}$ de las del galvanómetro, encerradas en una caja cilíndrica de metal que tiene por cubierta una placa de ebonita. A dicha placa van fijos seis bloques metálicos, de resistencia despreciable a causa de su grueso, aislados unos de otros, excepto la pieza central *a* que comunica con la posterior *b*. Las tres piezas delanteras pueden ponerse en co-

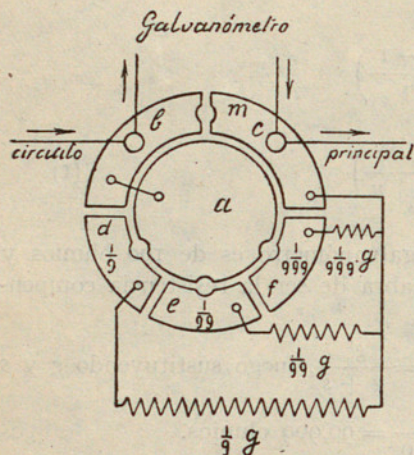


FIG. 23

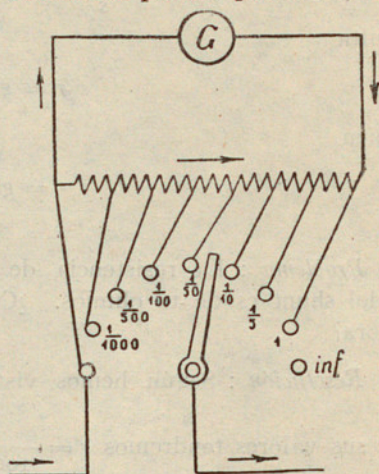


FIG. 24

municación con la central por medio de clavijas, y las dos posteriores pueden también estar unidas por una clavija, con lo cual el galvanómetro queda en cortocircuito.

Las tres resistencias comunican por un extremo con la pieza posterior *c* y por el otro, separadamente con los bloques *d*, *e*, *f* anteriores, marcados con los números $\frac{I}{9}$, $\frac{I}{99}$ y $\frac{I}{999}$.

Hechas las conexiones del shunt con el galvanómetro y con el circuito principal como indica el esquema, si introducimos una clavija en el agujero *m* y suprimimos las demás, toda la corriente principal pasa por las piezas metálicas posteriores, y por el galvanómetro circulará una corriente insensible. Si suprimimos dicha clavija, toda la corriente pasará por el galvanómetro. Colocando la clavija en los agujeros marcados con $\frac{I}{9}$, $\frac{I}{99}$ o $\frac{I}{999}$, pasará por el galvanómetro una intensidad igual a $\frac{I}{10}$, $\frac{I}{100}$ o $\frac{I}{1000}$ de la intensidad total y el poder multiplicador de la resistencia intercalada

será 10, 100 o 1000, según se estudió en el número 29, pues los valores de dichas resistencias son $\frac{1}{9}$ g, $\frac{1}{99}$ g, $\frac{1}{999}$, respectivamente.

33. *Shunt universal de Ayrton y Mather.* — El shunt que acabamos de describir ha de ser empleado con el galvanómetro para el que haya sido construído, lo cual es un gran inconveniente; de modo que se prefiere el de Ayrton y Mather, que puede conectarse con un galvanómetro de resistencia cualquiera. La fig. 24 representa las conexiones de este shunt, que consta de siete resistencias conectadas en serie que terminan en contactos señalados con los números $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{100}$, etc., sobre los que descansa una palanca que gira alrededor del punto central. La resistencia total se halla siempre conectada entre los bornes del galvanómetro, y una resistencia variable queda intercalada en el circuito principal. Cuando la palanca descansa sobre el contacto 1, toda la resistencia del shunt está intercalada en el circuito y el poder multiplicador del shunt es igual a 1. Si la palanca se halla en el primer contacto de la izquierda, el conjunto del galvanómetro y todas las resistencias en serie con el mismo se hallan en cortocircuito. Colocando la palanca en el contacto $\frac{1}{1000}$, la primera bobina de la izquierda es el shunt de la serie formada por el galvanómetro y las bobinas restantes, y en esta posición la corriente que pasará por el galvanómetro será $\frac{1}{1000}$ de la que pasaría por el mismo si la palanca estuviese en la posición 1, admitiendo que en ambos casos la corriente total fuera una misma, y el poder multiplicador del shunt es 1000. Del mismo modo los poderes multiplicadores del shunt en los contactos $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{50}$, etc., son, respectivamente, 500, 100, 50, etc., veces el poder multiplicador del contacto 1. Cuando la palanca descansa en el botón *inf* el circuito está interrumpido, pues se intercala en el mismo una resistencia infinita.

Como la resistencia de este shunt es muy grande comparada con la del galvanómetro, la disminución de sensibilidad inicial, a causa de hallarse siempre intercalada toda la resistencia del shunt, entre los bornes del galvanómetro, es despreciable.

RESISTENCIA DE UN GALVANÓMETRO

34. La resistencia de un galvanómetro puede ser medida fácilmente sirviéndose de las indicaciones suministradas por el mismo aparato. Para esto se conecta el galvanómetro con su shunt, con una pila de resistencia

despreciable y una resistencia $a b$ que podemos graduar a voluntad, según indica la fig. 25.

Con una resistencia r obtenemos en el galvanómetro una desviación determinada; si después suprimimos el shunt, la desviación es mayor, y para volverla a su primitivo valor hay que aumentar la resistencia de $a b$. Llamando r_1 esta nueva resistencia, e a la fuerza electromotriz de la pila e i a la intensidad de la corriente total producida por la pila en el primer experimento, tendremos

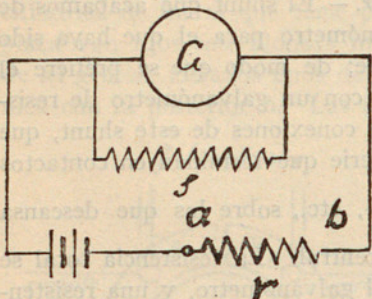


FIG. 25

$$i_1 = \frac{e}{r + \frac{gs}{g+s}}$$

puesto que r se encuentra en serie con la resistencia combinada $\frac{gs}{g+s}$ de las resistencias del galvanómetro y del shunt. Esta corriente se divide entre el galvanómetro y el shunt en razón inversa de sus resistencias; por tanto, llamando i a la intensidad de la corriente en el galvanómetro e i_s a la del shunt, tendremos

$$\frac{i_s}{i} = \frac{g}{s}$$

o bien

$$\frac{i_s + i}{i} = \frac{g + s}{s}$$

de donde

$$i = \frac{(i_s + i) s}{g + s}$$

y sustituyendo en lugar de $i_s + i = i_1$ su valor, resulta:

$$i = \frac{e}{r + \frac{gs}{g+s}} \cdot \frac{s}{g+s} = \frac{es}{r(g+s) + gs}$$

Cuando suprimimos el shunt, la intensidad i_2 que circula por el circuito es

$$i_2 = \frac{e}{r_1 + g}$$

Pero las intensidades i e i_2 son iguales, puesto que producen la misma desviación, luego

$$\frac{e s}{r(g+s) + g s} = \frac{e}{r_1 + g}$$

de donde se deduce

$$g = s \frac{r_1 - r}{r} \quad (1)$$

Problema : Hallar la resistencia que habrá que intercalar en serie con un galvanómetro de 240 ohmios, para obtener la misma desviación que si el galvanómetro lleva un shunt de 100 ohmios y una resistencia de 5 ohmios en serie con los mismos, siendo en ambos casos igual la fuerza electromotriz.

Resolución : Deduciendo de la fórmula (1) el valor de $r_1 = \frac{(g+s)r}{s}$

y substituyendo, tendremos $r_1 = \frac{(240 + 100) 5}{100} = 17$ ohmios.

Galvanómetros

PROBLEMAS

1. En un galvanómetro de tangentes de imán móvil, cuya bobina tiene 30 cm de diámetro y consta de 4 espiras, observamos que una corriente de un amperio produce una desviación de 40° . ¿Cuál es la intensidad de la componente horizontal en el lugar del experimento?
2. ¿Qué valor tiene la constante del galvanómetro del caso anterior?
3. Un galvanómetro con un shunt de 10 ohmios y una resistencia en serie de 20 ohmios marca la misma desviación que sin el shunt y con una resistencia de 40 ohmios. Hallar la resistencia del galvanómetro cuando la f. e. m. aplicada es una misma en ambos casos.
4. Una corriente de 5 amperios produce en un galvanómetro de torsión Siemens y Halske una desviación $\alpha = 20^\circ$. ¿Cuál será la intensidad de una corriente que produce una desviación de 45° , y cuál es el valor de la constante?
5. ¿En qué consiste un sistema astático?
6. Un galvanómetro de tangentes que tiene una resistencia de 45 ohmios lleva un shunt de 5 ohmios.
 - 1.º ¿Cuál es el poder multiplicador del shunt?
 - 2.º Si por el galvanómetro pasa una corriente de 2 amperios, ¿qué intensidad tendrá la corriente en el circuito principal?
 - 3.º ¿Qué valor tendrá la constante de dicho galvanómetro si la desviación producida es de 22° ?
7. La resistencia compensadora aplicada a un galvanómetro de 600 ohmios es de 500 ohmios. ¿Cuál es la resistencia del shunt?
8. ¿Cuál ha de ser la resistencia de un shunt para que, aplicado a un galvanómetro de 500 ohmios, tenga un poder multiplicador igual a 100?
9. Explicar el fundamento de la lectura por reflexión y por qué es preferible a la lectura directa.
10. ¿En qué consiste el error de paralaje, cómo se disminuye y cómo se evita?
11. Determinar la constante de un galvanómetro de tangentes, sabiendo que por el circuito principal pasa una corriente de 5 amperios, que el ángulo de desviación es de 15° y que el shunt tiene un poder multiplicador igual a 10.
12. ¿Qué es un galvanómetro aperiódico?

Galvanómetros

PROBLEMAS

1. En un galvanómetro de tangentes de imán móvil, cuyo bobina tiene 30 cm de diámetro y consta de 4 espiras, observamos que una corriente de un amperio produce una desviación de 30° . ¿Cuál es la intensidad de la componente horizontal en el lugar del experimento?
2. ¿Qué valor tiene la constante del galvanómetro del caso anterior?
3. Un galvanómetro con un shunt de 10 ohmios y una resistencia en serie de 20 ohmios marca la misma desviación que sin el shunt y con una resistencia de 40 ohmios. Hallar la resistencia del galvanómetro cuando la l. e. m. aplicada es una misma en ambos casos.
4. Una corriente de 2 amperios produce en un galvanómetro de tangentes Siemens y Halske una desviación $\alpha = 20^\circ$. ¿Cuál será la intensidad de una corriente que produce una desviación de 45° y cuál es el valor de la constante?
5. En qué consiste un sistema estándar?
6. Un galvanómetro de tangentes que tiene una resistencia de 15 ohmios lleva un shunt de 5 ohmios.
7. ¿Cuál es el poder multiplicador del shunt?
8. Si por el galvanómetro pasa una corriente de 2 amperios, ¿qué intensidad tendrá la corriente en el circuito principal?
9. ¿Qué valor tendrá la constante de dicho galvanómetro si la desviación producida es de 25° ?
10. La resistencia compensadora aplicada a un galvanómetro de 500 ohmios es de 200 ohmios. ¿Cuál es la resistencia del shunt?
11. ¿Cuál ha de ser la resistencia de un shunt para que aplicado a un galvanómetro de 500 ohmios tenga un poder multiplicador igual a 100?
12. Explica el fundamento de la lectura por reflexión y por qué es preferible a la lectura directa.
13. En qué consiste el error de paralaje, cómo se disminuye y cómo se evita?
14. Determina la constante de un galvanómetro de tangentes sabiendo que por el circuito principal pasa una corriente de 2 amperios, que el ángulo de desviación es de 15° y que el shunt tiene un poder multiplicador igual a 10.
15. ¿Qué es un galvanómetro estándar?

ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
Distintos procedimientos para medir la intensidad de una corriente. . .	3
Galvanómetros	3
Galvanómetro de tangentes	4
Lectura de la desviación	7
Error de paralaje y modo de evitarlo	9
Galvanómetros aperiódicos	13
Sensibilidad de un galvanómetro	13
Galvanómetros diferenciales.	18
Galvanómetros de bobina móvil	19
Consideraciones generales.	21
Medición de la cantidad de electricidad: método balístico.	22
Shunt de un galvanómetro	25
Resistencia de un galvanómetro	29



FU-5-43

Precio: 2 ptas.