

La Ilustración

Centro general de suscripciones

**TALLER DE
ENCUADERNACIONES**

Paraiso 9, Córdoba.



MANUAL

DE

Mediciones eléctricas.



45-24

21,3,02

G-

XIX

1008

MANUAL

DE

MEDICIONES ELÉCTRICAS

POR

D. JOSÉ GALANTE Y VILLARANDA,

INSPECTOR

del Cuerpo de Telégrafos.



SEVILLA.

Imp. de JOSÉ M.^a ARIZA, Serpes 19.

1880.

Es propiedad del autor.
Queda hecho el depósito
que marca la Ley.

PRÓLOGO.

La importante ley de 7 de Marzo de 1873 concediendo dos créditos extraordinarios, uno para la ampliacion de la red telegráfica de España y otro para reparar las líneas entónces existentes, produjo como era consiguiente un gran movimiento en la Direccion general de telégrafos, y en su virtud se estudiaron con la mayor actividad las líneas que debian construirse ó repararse, se formaron los correspondientes proyectos y presupuestos y se anunciaron algunas subastas que á causa de la situacion en que el País se hallaba, no dieron resultado.

Despues, cuando las circunstancias cambiaron y se trató de continuar los interrumpidos trabajos, el Excmo. señor Director general, que lo era ya D. Gregorio Cruzada Villaamil, conformándose con lo propuesto por la Junta de Jefes presidida por el Ilmo. señor Inspector general Jefe de la Seccion Don Antonio Lopez Ochoa, se sirvió acordar que el material telegráfico que se emplease en las líneas nuevas y en las que debian sufrir alguna reparacion, habia de reunir todas las condiciones técnicas

que los electricistas y la experiencia aconsejaban como más convenientes; por cuyo motivo y con el objeto de llenar de la mejor manera que nos fuera posible los justos deseos de la superioridad en la parte que en la reforma del material nos correspondia, consultámos las obras y las publicaciones más acreditadas y tomamos várias notas y apuntes que ampliamos más adelante, cuando la Direccion general se sirvió encargarnos la determinacion de la resistencia y del aislamiento de los conductores de este Distrito, operacion que llevamos á cabo con el eficaz auxilio del Director de Seccion D. Bernabé Muñoz y Torres.

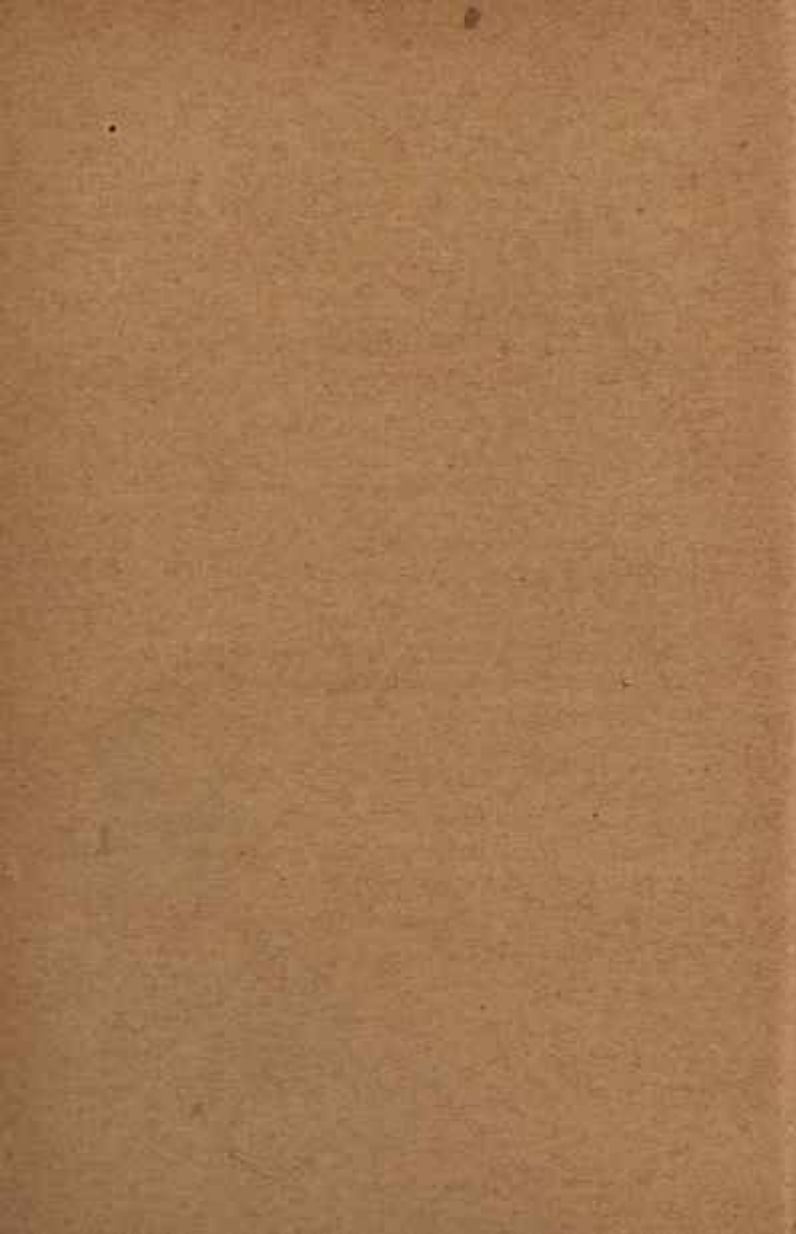
Encontrándonos, pues, con estos datos y con otros muchos recogidos en distintas ocasiones, creimos que su publicacion pudiera ser útil especialmente para aquellos funcionarios que por cualquiera circunstancia, no les es fácil consultar las obras maestras que tratan de la ciencia telegráfica en lenguaje extranjero.

Por lo tanto, lo que ofrecemos á los funcionarios del Cuerpo de telégrafos de España es un resúmen elemental de todo cuanto nos ha parecido más importante respecto de la ciencia de las *mediciones eléctricas* y de su aplicacion á la telegrafía, y para ordenarlo mejor y completarlo hemos tenido presentes las excelentes obras de los Sres. Lartimer Clark, Fleming Jenkin, Culley, Gavarret, Du Moncel, Blavier, Ternant, el *Diario Telegráfico* de la oficina internacional de las Administraciones de Telégrafos, el de la Sociedad de Ingenieros de Telégrafos de Lóndres y otras muchas publicaciones que sería prolijo enumerar, procurando ampliar y

aclarar las cuestiones principales para ponerlas al alcance de los más, y tambien aunque poco, hemos puesto algo de nuestra parte, como por ejemplo, una demostracion elemental del principio en que se funda el Puente de Wheatstone, un método sencillo para determinar la resistencia de un galvanómetro, otro para calcular el aislamiento de una parte de un conductor y varios procedimientos para resolver ó demostrar algunos problemas.

Por lo demás, rindiendo el debido tributo á la justicia, debemos consignar que si hemos llevado á cabo este trabajo lo debemos al Excmo. señor Director general de Correos y Telégrafos Sr. D. Gregorio Cruzada Villaamil, puesto que sin su acertada disposicion de reformar el material telegráfico y de importar los aparatos más perfeccionados tanto para las pruebas eléctricas y del material, como para la trasmision, es seguro que no lo hubiéramos emprendido.

Por esta razon se lo dedicamos con el mayor gusto, rogándole, como asimismo á los que se dignen leerlo, que dispensen su escaso mérito y las faltas que contiene, en consideracion á que el único objeto que nos ha movido á publicarlo, es el de contribuir en lo posible á la mayor perfeccion de la telegrafía en España.



MANUAL DE MEDICIONES ELÉCTRICAS.

CAPÍTULO I.

Nociones preliminares.

Para estudiar con fruto la ciencia de las *Mediciones eléctricas*, y para comprender la disposicion de los diferentes aparatos y la razon de los procedimientos que al efecto se emplean, es necesario conocer la ciencia de la electricidad, no precisamente la que se enseña en las escuelas y en los libros de texto, sino la nueva ciencia eléctrica creada por los *electricistas prácticos* ingleses al resolver el gran problema de la telegrafía submarina y que consignada en varios periódicos de aquella nacion, fué despues recopilada por Mr. Fleming Jenkin en su excelente obra titulada *Electricidad y Magnetismo*.

Debíamos, por lo tanto, comenzar este trabajo, exponiendo con la conveniente extension los principios de la ciencia de que hablamos; pero como además de que nuestras escasas fuerzas

no lo permiten, es de creer que se ocupe de ella un ilustrado funcionario del Cuerpo de Telégrafos, por cuya doble razon nos limitaremos á recordar lo más indispensable para que sirva de base y fundamento á la exposicion y demostracion de los diferentes métodos de determinar las fuerzas y las resistencias eléctricas, aunque comprendemos cuán fácil es caer, al penetrar en terreno tan resbaladizo, áun caminando, como vulgarmente se dice, con piés de plomo, mucho más cuando falta la inteligencia y la sólida instruccion que se requiere para engolfarse en las sublimidades de una ciencia.

Esto no obstante, poniendo de nuestra parte lo posible, empezaremos manifestando que siendo desconocida la naturaleza de la electricidad, los físicos han hecho varias suposiciones é inventado varias hipótesis ó teorías para explicar los importantes y numerosos fenómenos á que da lugar este misterioso agente. Franklin suponía que la electricidad era una materia distinta de todas las demás, que se hallaba en todos los cuerpos en cantidad determinada y que únicamente aparecian las manifestaciones eléctricas cuando esta cantidad era mayor ó menor que la normal, y llamó *electro-positivos* á los cuerpos que por cualquiera causa, habian absorbido mayor cantidad que la que correspondia á su estado natural, y *electro-negativos* á los que habian

perdido una parte de la que tenian en dicho estado. Despues Symmer dió á conocer su teoría de los dos flúidos, uno *positivo* y otro *negativo*, que al combinarse se neutralizaban mutuamente, quedando los cuerpos que los contenian en *re-poso eléctrico*.

En la actualidad se admite generalmente la teoría unitaria ó sea la de un sólo flúido ó materia eléctrica y algunos físicos notables suponen que esta materia es el *éter*, que ocupa todos los espacios y rodea las moléculas de todos los cuerpos. Segun esta teoría cada cuerpo contiene en el *estado neutro* ó de *equilibrio eléctrico* una cantidad determinada de éter libre ó adherido á sus moléculas y el exceso ó defecto de esta sustancia con respecto á la normal, constituye la electrizacion positiva ó negativa como en la hipótesis de Franklin, y la entrada ó salida del éter en los cuerpos por medio de un movimiento de traslacion, da lugar á los fenómenos electro-dinámicos, así como se supone que el movimiento oscilatorio del mismo éter produce el calor y la luz. Sin entrar en consideraciones sobre las ventajas y los inconvenientes de estas hipótesis, nos limitaremos á manifestar que por medio de la teoría unitaria, sea cualquiera la naturaleza de la electricidad, se explican más fácilmente cuantos hechos tienen lugar en la telegrafia eléctrica que por la teoría dualista, especial-

mente si, como diremos luego, se considera como cero el *estado eléctrico* de la tierra.

Fuerza eléctrico-motriz.—Todos los fenómenos que se verifican en la naturaleza dan lugar al desarrollo de electricidad y como todos ellos entran en el dominio de la mecánica, de la física, de la química ó de la fisiología, resulta que todos los infinitos orígenes de electricidad pueden reducirse á cuatro grupos diferentes.

Posible es que andando el tiempo, llegue á utilizarse la inmensa cantidad de materia eléctrica que todos estos fenómenos engendran y ya esparcen ó ya condensan en el espacio; pero en en la actualidad el hombre obtiene esta misteriosa fuerza, utilizando entre las acciones mecánicas el frotamiento, entre las físicas el calor y la induccion y entre las químicas la afinidad ó sea la descomposicion y recomposicion de los cuerpos.

La electricidad por frotamiento se obtiene por medio de las llamadas *máquinas eléctricas* ordinarias, compuestas de un disco de vidrio ó de ebonita que frota contra unas almohadillas de crin, cerca de las cuales se hallan las puntas del *conductor*.

Puesto el disco en movimiento, resultan, en último término las almohadillas electrizadas negativamente y cargado el conductor de electricidad positiva, ó sea, segun la teoría unitaria, el conductor con más y las almohadillas con mé-

nos materia eléctrica que la que corresponde á su estado neutro.

Las *pilas* suministran la electricidad, debida á las acciones químicas. En el elemento figura 2.^a lámina 1.^a compuesto de una lámina de zinc z á la cual se halla soldada otra de cobre c y de una lámina de cobre c' separada de la de zinc y sumergidas ámbas en una disolucion de ácido sulfúrico, resulta la lámina de cobre c electrizada negativamente y positivamente la lámina de cobre independiente c' .

En estos casos y en todos cuantos pudiéramos considerar, es evidente que se ha desarrollado una fuerza que ha separado los dos flúidos que segun la teoría dualista formaban el estado neutro, ó que ha trasportado la materia eléctrica de un cuerpo á otro, segun la teoría unitaria. Esta fuerza es la que se llama *fuerza eléctrica-motriz*, que los físicos definen diciendo: *que es toda causa, cualquiera que sea su origen y su naturaleza, capaz de producir, un desarrollo de electricidad, ó sea un desequilibrio eléctrico*, y es consiguiente que este será tanto mayor, cuanto mayor sea el valor de dicha fuerza. Así como el calor engendra la fuerza de expansion de los gases y vapores, así el mismo calor, el rozamiento, las acciones químicas y otras infinitas, originan la fuerza electro-motriz.

Tension.—Supongamos el cuerpo A figura

1.^a lámina 1.^a montando sobre un pié de vidrio ó de ebonita y en comunicacion con el conductor de una máquina eléctrica y el *B* aislado tambien de la misma manera y en comunicacion con las almohadillas de dicha máquina: puesto el disco de ésta en movimiento, el desequilibrio eléctrico entre los cuerpos que se consideran, aumentará á cada vuelta del disco ó, lo que es lo mismo, con la fuerza electro-motriz desarrollada, y sucederá, además, que segun la física nos enseña, la electricidad *acumulada* ó *condensada* en el cuerpo *A*, tenderá á pasar al cuerpo *B* y si suponemos, como en la teoría dualista, que el primero se carga de electricidad positiva y el segundo de electricidad negativa, cada uno de estos dos flúidos ejercerá un esfuerzo más ó ménos considerable é igual, en este caso, para reunirse el uno con el otro. Este esfuerzo, esta energía de atraccion es lo que se llama *tension*, la cual es positiva y se representa con el signo +, ó negativa y se expresa con el signo —, segun que la electricidad á que pertenece sea positiva ó negativa.

Es evidente que el esfuerzo total ejercido para la reunion de los dos flúidos es la suma del valor absoluto de las dos tensiones; pero como si la una se representa por $+a$ la otra lo está por $-a$, la indicada suma sólo puede obtenerse por una resta y será: $a - (-a) = 2a$.

Si los cuerpos estuvieren cargados de una misma especie de electricidad y suponemos que la tension del cuerpo *A* es mayor que la del cuerpo *B*, la de este anularía una parte igual de la del cuerpo *A* y el esfuerzo resultante sería la diferencia de las dos tensiones. Así pues, puede decirse que el esfuerzo con que tienden á reunirse ó á neutralizarse las dos electricidades de nombre contrario es igual á la diferencia de sus respectivas tensiones, de donde se deduce que cuando esta diferencia es nula ó cero, no puede verificarse dicha reunion ó traslacion de un cuerpo ó de un punto á otro, como sucede cuando las tensiones son cero ó iguales en signo y en cantidad. Si la tension del cuerpo *A* está representada por $+20$ y lo mismo la del *B*, resultará $20-20=0$, y si ámbas son negativas é iguales á -20 , tendríamos: $-20-(-20)=20-20=0$, y ni en uno ni en otro caso habria movimiento eléctrico.

Se dice que unos cuerpos adquieren una cantidad mayor de electricidad positiva ó que se electrizan positivamente y que otros pierden una parte de su electricidad, que se cargan de electricidad negativa ó que se electrizan negativamente, y naturalmente ocurre el preguntar cómo se conoce el que gana ó pierde una cantidad más ó ménos considerable de flúido eléctrico ó el que se electriza de uno ú otro modo, á

la cual procede contestar, que desconociéndose la naturaleza de la electricidad, sólo pueden hacerse suposiciones ó hipótesis para explicar los efectos que produce. Así es que los físicos han convenido en llamar electricidad positiva á la que adquiere una varilla de vidrio frotada con un paño de lana y negativa á la que al mismo tiempo adquiere el paño frotador, lo que equivale á decir que el vidrio ha tomado una cantidad mayor de electricidad que la que tenía ántes de ser frotado ó sea en el estado neutro, y que el paño ha perdido una cantidad igual de su electricidad, normal. Si tambien con un paño de lana se frota una barra de lacre ó de resina, sucede que el paño toma ahora la misma especie de electricidad que ántes tomaba el vidrio, y la resina la que ántes adquiria el paño, ó sea, éste se carga de electricidad positiva y la resina de electricidad negativa, por lo cual suele darse á la primera el nombre de *vitrea*, y á la segunda el de *resínosa*. En general conviene tener presente que al decir que un cuerpo tiene un exceso de electricidad, una tension positiva, que está cargado de electricidad positiva ó electrizado positivamente, se quiere expresar que se halla en el mismo estado eléctrico que el vidrio frotado con un paño de lana, y que al decir que un cuerpo ha perdido una parte de su electricidad normal, que está cargado de electricidad nega-

tiva, electrizado negativamente ó que posee una tension negativa, se quiere dar á entender que su estado eléctrico es semejante al que adquiere la resina frotada con un paño de lana.

Las expresiones de electricidad positiva y negativa pueden conservarse y conviene hacerlo, en la hipótesis unitaria, considerando como electricidad positiva el exceso de electricidad y como electricidad negativa el defecto de este fluido, lo mismo que sus tensiones respectivas, así como se consideran como positivas las temperaturas superiores al cero del termómetro y como negativas las inferiores al mismo.

Por lo demás, esto, como hemos dicho, sólo es un convenio y lo mismo ha podido llamarse electricidad positiva ó la de la resina y negativa á la del vidrio, frotados ámbas sustancias con un paño de lana.

La especie de electricidad de que se halla cargado un cuerpo, se reconoce fácilmente por la propiedad de este fluido de rechazar los cuerpos ligeros electrizados del mismo modo, y de atraer los que lo están de un modo diferente. Si se frota con un paño una varilla de vidrio y con ésta se carga un *péndulo* de sauco y se aproxima á un cuerpo electrizado, es evidente que si lo rechaza, la electricidad del cuerpo será positiva y si lo atrae negativa.

Por importantes que sean los fenómenos de

atraccion y de repulsion eléctricas, no procede que nos ocupemos de ellos como pudiera hacerse en un tratado de fisica ó especial de electricidad; pero sí conviene que nos hagamos cargo de algunos hechos que ayudarán á comprender lo que expongamos en lo sucesivo.

Suponiendo que los cuerpos *A* y *B* de la figura 1.^a se hallan muy separados el uno del otro, y en comunicacion respectivamente con el conductor y almohadillas de la máquina eléctrica, colocando sobre cada uno de dichos cuerpos un péndulo eléctrico, compuesto de una bolita de sauco suspendida por medio de un hilo metálico de un pié tambien de metal, se verá que los péndulos se desvian tanto más de la vertical, cuanto mayor número de vueltas se dan al disco hasta un límite que depende del grado de tension eléctrica positiva y negativa que la máquina puede producir, tensiones que podemos representar, la del cuerpo *A* por $+a$ y la del *B* por $-a$. Si ahora vamos aproximando estos cuerpos, se observará que los péndulos van bajando á medida que aquellos se acercan, volviendo á su posicion primitiva si los cuerpos se retiran de nuevo y se colocan á la distancia conveniente para que no ejerzan influencia sensible el uno sobre el otro; lo cual demuestra que cuando dos cuerpos diversamente electrizados se hallan en presencia y cerca el uno del otro, sus respectivas tensiones

disminuyen más ó ménos, recobrando su primitivo valor cuando se alejan. Además, como de este hecho puede deducirse, si estando próximos los cuerpos *A* y *B*, ponemos uno de ellos en comunicacion directa con la tierra, la tension de este se reduce á cero y la del otro, hallándose libre de su influencia, adquiere instantáneamente todo su valor; todo lo cual indican los respectivos péndulos, bajando el uno á cero y subiendo el otro á la altura primitiva.

Descarga eléctrica.—La electricidad acumulada ó condensada en un cuerpo *aislado*, se halla retenida por la resistencia del aire y más ó ménos dispuesta segun el grado de tension que recibió de la fuerza electro-motriz, á pasar á otros cuerpos que se hallan en el estado neutro ó diversamente cargados de fluido eléctrico. Si estando electrizado el cuerpo *A* se aproxima suficientemente el cuerpo *B*, llegará á suceder que venciendo la tension la resistencia del aire interpuesto, la electricidad que se halla en exceso en el primer cuerpo, pase al segundo, dando lugar á una *chispa eléctrica* y constituyendo lo que se llama una *descarga disruptiva, explosiva ó instantánea*. Si se unen los dos cuerpos por medio de un alambre largo y delgado ó por un hilo de algodón corto y humedecido, la descarga se verificará igualmente; pero no ya de un modo instantáneo, sino en un tiempo más ó ménos

largo, sin luz y sin chasquido, resultando lo que se designa con el nombre de *descarga conductiva* ó de *corriente eléctrica*.

Se supone que la descarga instantánea ó la corriente se verifican siempre en la direccion del cuerpo de más alta tension al de tension más baja, y que la tension de la tierra es siempre cero, como sucede con el calor respecto de la temperatura del hielo fundente que se toma como cero del termómetro y con el nivel del mar respecto de las alturas, y como en sentido algebraico, toda cantidad positiva es mayor, y toda cantidad negativa menor que cero, resulta que toda tension positiva es mayor y toda tension negativa menor que la de la tierra.

Por lo tanto, si un cuerpo cargado de electricidad positiva y dotado por consiguiente de una tension positiva y por lo mismo mayor que cero, se pone en comunicacion con la tierra por medio de un conductor, resultará una corriente que marchará del cuerpo á la tierra; pero si este cuerpo se hallase cargado de electricidad negativa, su tension sería tambien negativa y menor que cero, y entónces la corriente pasaria de la tierra al cuerpo. La primera corriente se llama *positiva* y la segunda *negativa*.

Una cosa semejante sucede con la corriente de los gases. Si suponemos un tubo vertical ó inclinado, y en la parte superior se ejerce una

presion sobre el aire que contiene, se establecerá una corriente de este flúido que marchará de arriba á abajo; pero si la presion se ejerce en el extremo inferior, la corriente tendrá lugar de abajo á arriba.

Lo mismo acontece con los líquidos, verificándose siempre el movimiento en el sentido de la mayor á la ménor presion, y por lo tanto, es natural suponer que el movimiento eléctrico tiene siempre lugar en el sentido de la mayor á la menor tension, la cual puede considerarse como una presion, de donde resulta que entre dos cuerpos ó dos puntos de igual tension no puede haber movimiento ó corriente eléctrica, como ya hemos indicado.

Fuerza electro-motriz y tension de las pilas.
—Consideremos ahora un elemento voltáico, figura 2.^a lámina 1.^a, compuesto de un vaso de vidrio, una lámina de zinc *Z* con su apéndice de cobre, otra de còbre *c'* y por líquido excitador una disolucion de ácido sulfúrico. La fuerza electro-motriz que enjendra la accion química que dicho ácido ejerce sobre el zinc, produce un desarrollo de electricidad, acumulándose la positiva en la lámina de cobre y la negativa en la unida al zinc, cuyas respectivas tensiones son iguales y de signo contrario, y es evidente, que hallándose la una en presencia de la otra, tienden á reunirse con una fuerza igual á la dife-

rencia de dichas tensiones y que si esto no se verifica es porque existe en el sistema una fuerza que lo impide y mantiene el estado eléctrico; pero si unimos las extremidades libres de las láminas de cobre por medio de un alambre, ó, como suele decirse, por medio de un *arco interpolar*, la neutralizacion tendrá efecto por descarga conductiva, la cual, renovándose sin cesar por la accion química, constituirá una corriente eléctrica continua, que partiendo del zinc, donde tiene origen, pasa por el líquido á la lámina de cobre y de ésta al zinc por el arco interpolar, de manera que la fuerza electro-motriz produce y lanza continuamente al traves del circuito una cierta cantidad de electricidad, y esta fuerza, que se opone y equilibra las dos tensiones y comunica á la electricidad, una energía de propagacion igual á dicha suma absoluta, ó sea, á la diferencia algebraica de las mismas. De manera que si la tension del polo positivo es $+a$ y la del negativo $-a$, la fuerza electro-motriz del elemento será: $+a - (-a) = 2a$.

Si ponemos el zinc de dicho elemento en comunicacion directa con la tierra, segun indica la figura 3.^a lámina 1.^a la tension de este polo, se reducirá á cero y la del otro, libre ya de la atraccion que sobre ella ejercia el primero, adquirirá un valor doble mayor y será, por lo tanto, igual á $2a$, ó sea igual á la fuerza electro-motriz de este elemento.

Colocando otro elemento idéntico al lado del primero unidos por el *arco cojuntivo* $c z'$, este arco y la lámina z' que entra en el segundo vaso, adquirirán una tension igual á $2a$, la cual seria tambien la del cobre c' si este segundo elemento fuese inactivo, pero como su fuerza electro-motriz desarrolla en él una tension igual á $2a$, la tension definitiva de esta lámina de cobre será $4a$. Del mismo modo esta tension pasará al cobre c'' donde aumentada con $2a$ que desarrolla el tercer elemento, se convertirá en $6a$ y así sucesivamente. De manera que la tension de un polo de una pila, cuando el otro comunica con la tierra, es proporcional al número de elementos de que la pila se compone; y como en este caso la fuerza electro-motriz es igual á esta tension, puesto que la del otro polo es cero, podemos tambien decir que la fuerza electro-motriz de una pila, cuando uno de sus polos comunica con la tierra, es proporcional al número de elementos de que la pila se compone.

Si á un lado y otro de un elemento fuésemos añadiendo otros de la misma naturaleza, veríamos que las tensiones van aumentando á derecha é izquierda, las unas positiva y las otras negativamente y en proporcion al número de elementos de cada lado, de manera que la diferencia de las tensiones polares es como ántes igual á la fuerza electro-motriz de toda la pila.

Conviene tener muy presente que cada elemento tiene su fuerza electro-motriz especial, igual en todos los de la misma naturaleza, representada por la diferencia de tension de los polos del elemento ó por la de uno de ellos si el otro comunica con la tierra y que la fuerza electro-motriz de una pila compuesta de cierto número de elementos es igual á la diferencia de tension en los polos, ó á la de uno de estos si el otro comunica con la tierra y por último igual á la suma de las fuerzas electro-motrices de los elementos que la componen, ó á la de uno de ellos multiplicado por su número, si su fuerza electro-motriz especial es igual en todos, y que cuando uno de los polos de la pila comunica con la tierra, la tension del otro polo y la fuerza electro-motriz tienen el mismo valor.

Cantidad, intensidad ó fuerza de la corriente.
—Supongamos un elemento P cuyos polos se hallan en comunicacion con la tierra, el uno directamente y el otro al traves de un conductor de una resistancia considerable en el cual se halla intercalado un galvanómetro G convenientemente graduado, figura 4.^a lámina 1.^a La corriente de este elemento desviará la aguja y marcará por ejemplo 10° . Si se agrega otro elemento uniendo su polo negativo al positivo del primero, la aguja marcará 20° , y si fueran tres los elementos unidos de este modo, marcaria 30° y

asi sucesivamente, de manera que el número de grados sería proporcional al de elementos, ó lo que es lo mismo, á la fuerza electro-motriz de la pila.

Si permaneciendo constante el número de elementos de la pila, hacemos dos veces mayor la longitud del conductor y por consiguiente su resistencia, el número de grados que marque la aguja se reducirá á la mitad, y si triplicamos aquella longitud á la tercera parte, y así sucesivamente, de donde se deducirá que la desviacion del galvanómetro está en razon inversa de la resistencia del conductor ó circuito exterior.

Por otra parte las desviaciones del galvanómetro son proporcionales á la *cantidad* de electricidad que pasa por sus carretes, y por consiguiente por el circuito en que está intercalado, de donde se deduce que dicha cantidad está en razon directa de la fuerza electro-motriz y en razon inversa de la resistencia del circuito, y es evidente que la cantidad de electricidad que pasa por un conductor en un tiempo dado, es además proporcional á ese tiempo, puesto que la corriente se considera constante y uniforme, resultando de lo expuesto que si representamos por E la fuerza electro-motriz, por R la resistencia, y por T el tiempo, la cantidad de electricidad F que pasa por el conductor que constituye el circuito ó que suministra una pila cu-

ya fuerza electro-motriz es E al traves de un circuito cuya resistencia es R en un tiempo T , estará representada por la fórmula:

$$Y = \frac{E}{R} \times T \dots \dots (1)$$

Otra pila cuya fuerza electro-motriz fuese E' con un circuito de resistencia R' daría en el mismo tiempo una cantidad de electricidad,

$$Y' = \frac{E'}{R'} + T,$$

y comparando tendremos:

$$Y : Y' :: \frac{E}{R} : \frac{E'}{R'}$$

lo que indica que el valor, la magnitud, la fuerza de estas corrientes está representada por las cantidades á que es proporcional,

$$\frac{E}{R} \text{ y } \frac{E'}{R'}$$

ó lo que es lo mismo, la fuerza de una corriente está representada por la cantidad de electricidad que puede suministrar ó que pasa por un conductor en un tiempo dado, lo mismo que una corriente de agua se mide por la cantidad de este líquido que suministra en un tiempo determinado, cuyo tiempo es naturalmente la unidad.

Así, haciendo $T=1$ en la fórmula (1), la ecuacion,

$$Y = \frac{E}{R} \dots\dots\dots (2),$$

representará la cantidad de electricidad que procedente de una pila cualquiera cuya fuerza electro-motriz es E , pasa por un conductor cuya resistencia es R en la unidad de tiempo, en un segundo por ejemplo. y representará ó será la *fuerza* de la corriente.

La resistencia del circuito se compone de la resistencia de la pila y de la resistencia del conductor ó arco interpolar, de manera que si llamamos r' la primera R' la segunda, tendremos $R=r'+R'$ y sustituyendo en la fórmula (2) resultará:

$$Y = \frac{E}{r' + R'}.$$

Si representamos por r y e la resistencia y la fuerza electro-motriz de un elemento y por n el número de estos, la resistencia de la pila será nr , la fuerza electro-motriz, ne y la fórmula anterior se convertirá en la siguiente:

$$Y = \frac{ne}{nr + R'} \dots\dots\dots (3)$$

Cuando la resistencia exterior es muy pequeña se puede despreciar R' en esta última fórmula y tendremos:

$$F = \frac{ne}{nr} = \frac{e}{r},$$

Lo que nos dice que cuando la pila está *cerrada sobre sí misma*, cuando la resistencia del arco interpolar es muy pequeña ó nula, ó cuando se halla, como suele decirse, en *corto circuito* la fuerza de la corriente de toda la pila es igual á la de uno solo de los elementos que la componen, lo cual sin embargo debe entenderse únicamente en el caso de que las fuerzas se midan separadamente, porque si las colocamos en oposicion como indica la figura 5.^a lámina 1.^a aunque la resistencia de los arcos interpolares sea muy reducida, como el circuito para ambas es el mismo, la fuerza de las corrientes de las pilas P y P' serán:

$$F = \frac{2e}{3r}; F' = \frac{e}{3r}.$$

es decir la fuerza de la primera dos veces mayor que la fuerza de la segunda. Si la resistencia del circuito comun fuese más ó menos considerable, las fuerzas de las corrientes serían menores; pero siempre resultaría mayor la de la pila de mayor número de elementos, cuando como aquí sucede, se coloquen en oposicion.

La misma fórmula (3) nos enseña que cuando el circuito exterior es de mucha resistencia, como por lo regular sucede en las líneas

telegráficas, no resulta gran ventaja de disminuir la resistencia de la pila para que disminuyendo el denominador, aumente la fuerza de la corriente, porque siendo grande el término R' el valor del quebrado aumenta poco disminuyendo el otro término nr , no sucediendo lo mismo cuando aumenta e que se halla multiplicando en el numerador.

Si se unen dos elementos por los polos del mismo nombre, ó si como suele decirse con más ó menos propiedad, se disponen en *cantidad*, equivalen, como es sabido, á un solo elemento de doble superficie y por consiguiente de la mitad de resistencia, por lo cual, cerrando la pila así dispuesta en corto circuito, dará una corriente de doble fuerza que la de cada elemento medida con separacion. En efecto, como la fuerza electro-motriz es la misma, puesto que no varía con las dimensiones de los elementos, la fuerza de la corriente de esta pila estará dada por la ecuacion:

$$F = \frac{e}{r} = \frac{2e}{\frac{r}{2}}, \text{ que es doble de } \frac{e}{r}.$$

Si la pila dispuesta de este modo se compusiera de 3. 4 & elementos, la fuerza de la corriente sería tambien 3, 4 & veces mayor que en la de un solo elemento; pero téngase presente que si la resis-

tencia del circuito exterior fuese muy considerable, esta ley no sería ya cierta, porque entonces la resistencia de la pila pudiera hasta depreciarse en comparacion de la del circuito exterior y para que la fuerza de la corriente aumentase en dicha proporcion, sería preciso unir los elementos por sus polos contrarios ó sea disponerlos en *tension*, ó en *serie lineal*.

Oponiendo un solo elemento á los dos dispuestos en cantidad pudiera creerse que la fuerza ó *intensidad* de la corriente suministrada por estos, era doble ó por lo menos mayor que la de aquel; pero no sucede así. Si á la pila P compuesta de dos elementos en cantidad, se opone un solo elemento como indica la figura 6.^a lámina 1.^a, observaremos que la resistencia del circuito se compone para ambas de la resistencia r del ele-

mento, mas la de la pila P que es $\frac{r}{2}$ — mas la del

circuito exterior formado por los hilos de relacion ó que sirven para establecer las comunicaciones y que representaremos por R ; de manera

que la resistencia total será, $r + \frac{r}{2} + R$. La fuerza

electro-motriz es la misma para las dos pilas y como venimos haciendo la llamaremos e . Desde luego se comprende que siendo la misma la resistencia del circuito é igual la fuerza electro-

motriz la fuerza de la corriente ha de ser la misma para ambas pilas, y en efecto para una y otra está representada por

$$\frac{e}{r + \frac{r}{2} + R}.$$

Otro tanto sucedería si fuesen varios, muchos ó pocos, los elementos dispuestos en cantidad, puesto que siempre seria la misma la fuerza electro-motriz de las dos pilas y la resistencia del circuito comun.

Ley de distribucion de la tension en un conductor.—Supongamos que uno de los polos de la pila figura 7.^a lámina 1.^a por ejemplo el negativo, comunica *directamente* con la tierra, es decir que está unido á ella por medio de un buen conductor corto y grueso que no presenta resistencia alguna al paso de la corriente, y que el otro polo, el positivo, se halla unido á un conductor homogéneo, de igual seccion en todos sus puntos, delgado y de longitud considerable, de manera que ofrezca una notable resistencia al paso de la corriente. Segun hemos dicho, la tension en el polo negativo será cero como la de la tierra, y la del polo positivo será igual á la fuerza electro-motriz de la pila, y si el conductor *ae* está perfectamente aislado en toda su longitud todos sus puntos presentarán esa misma tension. Pero si

la extremidad e de dicho conductor se pone en perfecta comunicacion con la tierra, la tension va disminuyendo uniformemente á partir de la pila, hasta reducirse á cero en dicha extremidad; de manera que si en el polo a de la pila y en otros puntos cualesquiera del conductor ae levantamos las perpendiculares ah , bm , cn do.... cuyas magnitudes representen la respectiva tension en dichos puntos, las extremidades m , n y o se hallarán en la línea he , segun la geometría nos enseña, y á esta línea, que es el *lugar geométrico* de las extremidades de las que representan las tensiones en los diversos puntos del conductor ae , se le dá el nombre de *línea de las tensiones*.

Por otra parte, como los triángulos hae , mbe , etc., son semejantes, los lados ha , mb , nc , y od , son proporcionales á los ae , be , ce y de , de donde se deduce que la tension en cada punto del conductor ae es proporcional á la distancia del mismo punto á la extremidad del conductor que comunica con la tierra, y como el conductor es homogéneo y de igual seccion, las resistencias de estas partes del conductor son proporcionales á sus respectivas longitudes, resultando en último término, *que las tensiones en los diversos puntos de un conductor, cuya extremidad se halla en perfecta comunicacion con la tierra, son proporcionales á las resistencias eléctricas de las partes*

del mismo conductor, comprendidas entre cada punto y el de comunicacion con la tierra, lo cual es tambien cierto para toda clase de conductores, puesto que lo que aquí interesa son las resistencias. De manera que si con un electrómetro medimos la tension en los puntos a , b , c , d , encontraremos que los números de grados dados por este aparato en cada punto son proporcionales á las resistencias de las partes ae , be , ce y de .

Esta propiedad de las tensiones nos permite determinar la de un punto cualquiera de un conductor, cuando se conoce la fuerza electro-motriz de la pila ó la tension en el polo, la resistencia eléctrica del conductor y la resistencia de la parte comprendida entre el punto que se considera y el de comunicacion con la tierra. En efecto, los triángulos semejantes ahe y bme , por ejemplo, dan la proporcion: $ae: be:: ah: bm$, de

$$ah \times be$$

donde se deduce: $bm = \frac{ah \times be}{ae}$.

$$ae$$

Esta fórmula nos da el valor de la tension en el punto b , y de la misma manera pudiera hallarse el de otro cualquiera como c ó d y en general, considerando que ae representa la resistencia de todo el circuito, compuesta de la resistencia de la pila que llamaremos r más la de la parte ab que representaremos por R' más la de

la parte *be* que designaremos por *R* y que *ah* es la tension polar *E* de la pila, la tension *x* de un punto cualquiera de un conductor estará dada por la ecuacion.

$$x = \frac{R \times E}{r + R + R'}$$

que es la fórmula general de la tension.

Igualdad de la intensidad ó fuerza de la corriente en todas las secciones de un mismo circuito perfectamente aislado.—La fuerza de la corriente en el punto *a* figura 7, láminal.^a es igual á la fuerza electro-motriz *ah*, dividida por la resistencia del conductor representado por la longitud *ae*, es decir á

$$\frac{ah}{ae} = \text{Tang. } aeh$$

puesto que el triángulo *ahe* es rectángulo. En los punto *b*, *c* y *d*, la fuerza electro-motriz se reduce respectivamente á *bm*, *cn* y *do*, de manera que la fuerza de la corriente en cada uno de ellos será

$$\frac{bm}{be}, \quad \frac{cn}{ce}, \quad \frac{do}{de},$$

cuyas expresiones son tambien iguales á las tangentes del ángulo expresado y por lo tanto iguales entre sí y á la primera, y como lo mismo su-

cedería en todos los puntos del conductor, resulta que, la intensidad ó fuerza de la corriente eléctrica es la misma en todas las secciones del circuito. Si este no se halla perfectamente aislado, se perderá una parte más ó menos considerable de la corriente que sale de la pila dejando de ser de igual intensidad en todo el trayecto, y la cuestion se hace más complicada y entra en la teoría de las *corrientes derivadas*, de que nos ocuparemos oportunamente.

La proposicion anterior, puede demostrarse por otras consideraciones que no carecen de interés ni de aplicacion en el estudio de las corrientes eléctricas. Hemos dicho al principio que la energía con que la electricidad tiende á pasar de un punto á otro, era igual á la diferencia de tension de estos mismos puntos, y por consiguiente si en la figura 7 tiramos las líneas pm , qn , ro , paralelas á ae , la parte ph representará la diferencia de tension entre los puntos a y b , mq entre los b y c , y od entre los d y e . Si ahora suponemos que las partes ab , bc , cd y de son iguales y por consiguiente las pm , qn , y ro , tambien lo serán las ph , qm , rn y do , de donde resulta que la electricidad procedente de la pila tiende á pasar con la misma fuerza ó energía de uno á otro de dichos puntos, y como esta diferencia de tension es la fuerza electro-motriz en cada uno de ellos, y la resistencia de los partes ab , bc , cd

y *de* es la misma, la fuerza de la corriente representada por

$$\frac{ph}{ab}, \quad \frac{qm}{bc}, \quad \frac{rn}{cd} \text{ y } \frac{do}{de}$$

es igual en todas las partes, y como estas pueden ser tan pequeñas como se quiera, resulta que la fuerza de la corriente es igual en todos los puntos ó secciones de un circuito perfectamente aislado, lo cual se reconoce fácilmente interponiendo en el circuito varios galvanómetros *iguales*, en cuyo caso se verá que todos marcan el mismo número de grados.

Esto, sin embargo, no es absolutamente cierto, especialmente en el primer momento, porque á causa de la resistencia que el conductor opone al paso de la corriente, la fuerza de esta va aumentando sucesivamente en los diversos puntos del circuito durante un tiempo más ó menos apreciable, segun la longitud y resistencia del mismo, y cuyo tiempo se designa con el nombre de *periodo variable*, hasta que al fin llega á su máximo de intensidad ó sea al *periodo estable*, en el cual conserva sensiblemente la misma fuerza; y decimos sensiblemente porque en realidad continúa aumentando indefinidamente con suma lentitud, de manera que la propagacion de la corriente eléctrica viene á estar representada por una curva *asintótica*, como la del calor al traves

de una barra metálica, lo que establece una relacion más entre la electricidad y los llamados *flúidos imponderables*.

Como la propagacion de la electricidad de un punto á otro se verifica en virtud de la diferencia de tension que existe entre ellos, así como la diferencia de nivel ó de presion determina el movimiento de los flúidos, algunos fisicos suelen llamar *pendiente, caída ó salto*, á dicha diferencia de tension eléctrica, de la misma manera que se dice *pendiente, caída ó salto*, de agua, de donde resulta que designando por H y h las respectivas tensiones de los dos puntos que se consideran y por R la resistencia del conductor que los une, la fuerza de la corriente eléctrica entre ellos puede representarse por la ecuacion:

$$Y = \frac{H - h}{R}$$

puesto que dicha fuerza está en razon directa de la expresada diferencia de tension ó sea de la fuerza electro-motriz, y en razon inversa de la resistencia.

Hemos considerado el caso en que el polo negativo se halla en comunicacion directa ó perfecta con la tierra, y el positivo al traves de un conductor de una resistencia más ó ménos considerable; pero lo mismo sucedería en el caso contrario, es decir si el polo positivo comunicase di-

rectamente con la tierra sin interposicion de resistencia alguna, y el negativo lo verificase al traves de un conductor más ó ménos resistente al paso del flúido eléctrico. El valor absoluto de las tensiones iría disminuyendo uniformemente á partir del polo negativo hasta reducirse á cero en el punto de *perfecta* comunicacion con la tierra, sin más diferencia que el considerarlo como negativo, ó precedido del signo —.

La figura 8, lámina 1.^a, representa una pila cuyos dos polos comunican con la tierra al traves de un conductor de más ó ménos resistencia. Si la del conductor ae es igual á la del $a'e'$, la tension ah del polo positivo será igual en valor absoluto á la $a'h'$ del conductor $a'e'$; pero la figuramos hácia abajo por ser negativa, y si tiramos las líneas he y $h'e'$ la primera será la línea de las tensiones positivas y la segunda la de las negativas.

Si la resistencia de los conductores ae y $a'e'$ son diferentes, las tensiones ah y $a'h'$ serán tambien distintas y proporcionales á estas resistencias de manera que resultará la proporcion $ah : a'h' :: R : R'$, llamando R y R' las resistencias de ae y de $a'e'$ respectivamente. Si R y R' son cero, igualmente lo serán ah y $a'h'$, lo que está conforme con lo que se ha dicho respecto de que la tension en el polo de una pila que comunica directa y perfectamente con la tierra

es cero, como debe suceder con el que en las estaciones telegráficas, comunica con la plancha de tierra; y es evidente que si presenta alguna tension, lo que se puede reconocer aplicando un electrómetro, es señal de que la plancha no está bien establecida.

El mismo aparato indica tambien que cuando las resistencias de los conductores ae y $a'e'$ son iguales, lo son las tensiones ah y $a'h'$, y que cuando dichas resistencias son distintas, las tensiones son proporcionales á estas resistencias.

Cuando los respectivos extremos de los conductores ae y $a'e'$ están en perfecta comunicacion con la tierra y por lo tanto pasa por ellos una corriente continua, contienen una carga de electricidad que se supone proporcional en cada punto á la tension del mismo punto, por lo cual se representa por el área de los triángulos ahc y $a'h'e'$. Si los expresados conductores están completamente aislados y sin comunicacion alguna con la tierra, entónces no hay corriente eléctrica y todos los puntos adquieren una tension igual á la tension polar y una carga eléctrica proporcional á ella, que se representa por el área de los rectángulos $ahfe$ para el primero y $a'h'f'e'$ para el segundo conductor, triángulos y rectángulos que pueden ser iguales ó diferentes, segun sean las resistencias de dichos conductores y por consiguiente la respectiva

tension polar. La primera carga, que procede de la electricidad en movimiento, se llama *dinámica*; y la segunda, debida á la electricidad en reposo, recibe el nombre de *estática*, la cual es el doble de aquella, puesto que el área de los triángulos mencionados es la mitad del área de los respectivos rectángulos.

Potencial.—Esta palabra, introducida hace algunos años por Mr. Geen en el estudio de la electricidad, expresa, segun Mr. Fleming Jenkin, una idea sencillísima; pero muchas veces mal comprendida.

Para dar á conocer lo que se entiende por *potencial eléctrico* es conveniente explicar ántes el sentido de la palabra *energía*, y al efecto consideramos muy á propósito copiar algunos párrafos de un notable artículo escrito en inglés por los astrónomos Norman Lockyer y Balfour Stewart, traducido como él sabe hacerlo y publicado en el *Anuario del Observatorio de Madrid*, correspondiente al año de 1876, por el distinguido astrónomo del mismo Observatorio, D. Miguel Merino:

«*Energía*, en el mundo social es palabra muy comun y corriente, y sobre cuyo verdadero significado estamos acordes todos. Cuando un hombre procedente de clase muy humilde, y privado por de pronto de apoyo y de recursos, se abre paso entre los demás, y bulle, y crece y se eleva,

y asciende en la escala social, sin que nada le detenga, ni obstáculo alguno le amilane, y esto por su propia virtud, sin auxilio generoso de nadie, á fuerza de fuerzas, con el sudor de su rostro y angustia de su mente, aquel hombre, clamamos sin pensar, es muy *enérgico*. Por *energía* en este caso, entendemos la facultad del hombre para superar obstáculos y contrariedades en el áspero camino de la vida, y la suma de su energía procuramos medirla ó apreciarla por el conjunto de obstáculos superados, de dificultades vencidas, de trabajo de cualquier especie verificado. El hombre verdaderamente *enérgico*, se nos representa y procede como bala de cañon social; y así como la bala de plomo despedida con furia por enorme cantidad de pólvora inflamada, penetra en la apiñada muchedumbre de un ejército ó desportilla el muro de granito; así, merced á su *energía de carácter*, atropella aquel hombre por la multitud de sus contrarios y derrumba los baluartes para contenerle y dominarle por ellos erigidos.

»Pero, extraño fenómeno! El mismo hombre singular, triunfador en tantas lides, tropieza de pronto con un adversario que ni la décima parte de su energía personal posee, y que, sin embargo, le vence y subyuga sin dificultad y de un modo irresistible. ¿Cómo se explica tamaña contradicción?—Por la *posicion elevada* que en la esca-

la ó jerarquía social el enemigo ocupa: por la *energía heredada* de que á falta de la *personal*, dispone. En una lucha á pedradas entre dos mozos, robusto y diestro el uno, de menguados brios el otro, pero situado aquél en medio de la calle, y el segundo en lo alto de un edificio, junto al borde de la azotea; mal lo pasaria el más arrogante y animoso.

Y ¡cosa más sorprendente! Esta *energía de posicion ó heredada* es la misma *energía personal*, considerada bajo distinto aspecto ó desde otro punto de vista distinto de aquel donde por de pronto nos colocamos para contemplarla y apreciarla: *energía personal*, sí; pero en accion ó trabajo en tiempos anteriores, y como adormecida ahora ó trasformada en *algo* equivalente. La familia que en la actualidad ocupa y disfruta una elevada posicion social, sin merecimientos propios, de seguro cuenta entre sus antepasados alguno de grande *energía personal*, superior á la de muchos de sus contemporáneos. El fundador de la casa desapareció, y con él se desvaneció mucho tiempo há la energía creadora, y hasta su nombre yace sepultado en las tinieblas del olvido; pero algo queda y conserva la familia como recuerdo ó testimonio de su existencia fecunda y tránsito glorioso por el mundo: quédale y continúa disfrutando el resultado de su actividad, de sus esfuerzos, de la

lucha tenaz que debió sostener para encumbrarse y dominar lo que ántes á él le avasallaba.— En el *mundo social* hay, pues, en suma, que distinguir dos clases de energía: *actual* ó personal en movimiento ó accion; *heredada* ó inherente á la posicion y jerarquía de cada individuo.

«Pues una cosa parecida sucede y se advierte en el *mundo físico*. Para subir en él y sobresalir un poco por cima de los demás objetos que nos rodean hay que desplegar gran dosis de *energía* en contra de la fuerza de la gravedad, que, como la pereza y la desidia, de continuo nos impele y precipita hácia lo bajo y rastrero. *Energía actual* considerable, decimos, que posee la piedra despedida hácia lo alto con grande ímpetu, porque á semejanza del hombre enérgico que se burla de los obstáculos interpuestos en su camino, así el proyectil desafía entónces y vence la resistencia que la gravedad opone á su movimiento de ascension. Y como el hombre de más indómita voluntad se fatiga en la lucha poco á poco, y cede y sucumbe al fin ante otra fuerza de orden ó índole superior, así el proyectil, provisto de energía limitada, cede al impulso y como llamamiento incesante de la gravedad, sube cada vez más despacio y se para, por último, á cierta y determinada altura, precisamente, supongamos en el borde de la azotea ó donde desde la calle fué lanzado.

«Y hele desde entónces allí, en completo reposo, vencido y acobardado, sin la menor tendencia á continuar subiendo. ¿Qué fué de su anterior *energía*? ¿Desapareció del universo, sin dejar rastro ni huella de su paso, ni cosa alguna equivalente ó capaz de producir análogos efectos? ¿Por ventura se perdió para siempre y enteramente se consumió?—No, en verdad: la *energía actual* en cuya virtud comenzó la piedra á remontarse hácia lo alto, así desaparece del conjunto ó *universo de la energía*, como el carbon que arde, y en la apariencia se *consume* en nuestros hogares, desaparece del *universo material*. Lo que hace es trasformarse, desaparecer como *energía* de movimiento en actividad, despues de conquistar para la piedra una posición ventajosa, y convertirse en energía *latente*, capaz de producir, operando en sentido contrario, los mismos efectos que la energía primitiva. Cuando, por cualquier evento, la piedra se desprende del borde de la azotea, su *energía de posición* instantáneamente se transfigura y convierte en *energía actual*; el movimiento se acelera, y la piedra llega al punto de donde en otro tiempo se remontó con la velocidad primitiva, con la misma energía activa de que nos pareció animada en la primera parte de su escursión. En ámbos mundos, *físico* y *social*, debemos, pues, distinguir, como medio de precisar las ideas y el len-

guaje, dos clases de energía, *activa* ó en ejercicio actual; y de *posicion*, potencial ó latente. La diferencia entre ámbos se advierte únicamente cuando se trata de apreciar con exactitud ó de *medir* la *energía*: cosa difícilísima, si no absolutamente imposible, por falta de término de comparacion, en el mundo social, y asequible con grado de aproximacion indefinido en el físico; porque en éste la energía vale tanto como *capacidad para el trabajo*, facultad ó virtud para realizar ó ejecutar una obra determinada; y el trabajo, no hay para qué demostrarlo en el siglo de las máquinas, se estima, valúa y paga como algo perfectamente definido y susceptible de muy delicada apreciacion.

»Lo que en el mundo ó universo físico denominamos *energía*, y hemos procurado definir, puede revestir muy variadas apariencias, y semejante á Proteo, transformarse sin cesar: de donde procede la confusion, durante muchos siglos reinante, sobre el verdadero significado de aquella palabra é índole, traviesa y juguetona, de la entidad que representa. Tiempo, y paciencia, y perspicacia suma se han necesitado para burlar los mil ardides por ella discurridos y desplegados en su afan de huir de quienes con mayor tenacidad y entusiasmo la perseguian, empeñados en comprender y profundizar el misterio de su existencia. Presentemos algunos ejem-

plos de estas tan múltiples clases de *energía*, unos en otros convertibles con grandísima facilidad, y que á cada momento cambian de aspecto y revisten una de las dos formas finales características: la de *energía* de movimiento *actual*, y la de *posicion* ó *latente*.

»Energía *activa* es la del tren, impulsado á todo vapor, que con rapidez vertiginosa salva enormes distancias; la del viento desencadenado, que encrespa las olas del mar, y silba furioso al estrellarse contra la impasible roca; y la del torrente que se precipita rugiendo y atropellando cuanto delante se le opone, desde la cumbre y por los flancos de la montaña. Y tambien lo es, bajo de apariencia mucho más humilde, la que poseen las moléculas componentes de los cuerpos, en continuo y como febril estado de movimiento. Lo que llamamos *calor* procede de la energía en actividad de las moléculas de los cuerpos *calientes*, violentamente dislocadas por cualquier causa, y en revolucion espantosa unas en torno de otras. En un *rayo de luz* se nos revela otro género de energía más sutil, procedente de la dislocacion rítmica y movimiento vibratorio del *éter*, que inunda el espacio universal y en el cual se hallan sumidos y como flotantes todos los cuerpos. Y algo parecido, en el fondo idéntico tal vez, advertimos en el paso de una *corriente eléctrica* por el mis-

terioso conducto del alambre telegráfico. La *electricidad* en movimiento posee, ó representa, la especie de energía más silenciosa é hipócrita de cuantas pueden imaginarse: hipócrita, sí; porque de repente puede cambiar y cambia de carácter ó aspecto; se acumula bramando en un lugar determinado; ó se lanza furiosa y con estrépito atronador convertida en inmensa ráfaga de fuego irresistible, desde una region á otra muy distante.

«Como ejemplos de la *energía de posicion*, sonlo muy notables la que artificialmente, y luchando en contra de la fuerza de la gravedad, se ha comunicado á la piedra colocada en lo alto de un edificio; y la que posee el agua, caída de las nubes, y represada en la cumbre de un monte próxima á despeñarse. Y, prescindiendo de estos ejemplos, aunque vulgares, muy significativos y elocuentes, no son ménos dignos de citarse y considerarse el de un reloj de bolsillo, al cual se acaba de dar cuerda y cuyo muelle comienza á desbandarse poco á poco, trocando así su *energía potencial*, en *activa* ó de movimiento; y el del arco atirantado, á punto ya casi de estallar, y que en el acto de dispararse, comunica á la flecha la energía latente que en el último momento poseía, convertida en energía activa, muy perceptible y destructora.»

No desagradaría al lector que continuáramos

copiando tan interesante artículo; pero los párrafos que preceden son suficientes para comprender lo que se entiende por *energía eléctrica*, porque así como al dar cuerda al reloj y al estirar el arco, el muelle de aquel y la cuerda de éste van adquiriendo sucesivamente mayor suma de energía potencial ó latente, del mismo modo al dar vueltas al disco de una máquina eléctrica, y al aumentar el número de elementos de una pila, va creciendo la energía potencial ó latente de la electricidad para convertirse en energía activa, de movimiento ó cinética, cuando al conductor de la primera se aplica un hilo metálico que comunique con la tierra y se unen los polos de la segunda por medio de otro alambre ó se ponen en comunicacion con la tierra.

La energía potencial ó la fuerza motriz de un cuerpo colocado en una altura se representa en mecánica por el peso del cuerpo, por el producto de su masa por la fuerza de la gravedad, ó sea por Mg ; la energía de los gases por el producto de su volúmen, por la presión y semejantemente, la energía potencial de la electricidad por el producto de la *cantidad* de electricidad por su *potencial*. De manera que el *potencial* eléctrico no es la energía potencial de la electricidad, sino uno de sus factores.

El potencial es para la electricidad lo que

la presión para los gases y la altura para los cuerpos graves; y así como cuanto mayor sea la presión á que estén sujetos los primeros y mayor la altura de que caigan los segundos, tanto mayor será la energía desarrollada y el trabajo mecánico ejecutado; cuanto mayor ó más alto sea el potencial eléctrico, tanto mayor será el efecto producido por una cantidad dada de electricidad en movimiento, el trabajo ejecutado ó la resistencia vencida.

Como las alturas no son absolutas, al decir por ejemplo que la de una montaña es de 2,000 metros, se entiende que esta distancia es la diferencia entre la altura de la cima y la de un punto ó la de una superficie determinada, que por lo regular es el nivel del mar; y una cosa análoga sucede con el potencial eléctrico. Cuando se dice que un punto ó un cuerpo tiene ó está á tal ó cual potencial, debe entenderse que se hace referencia á la diferencia que existe entre el potencial ó estado eléctrico del punto ó cuerpo que se considera, y el potencial de la tierra que se toma como cero, como el nivel del mar se toma como cero para las alturas. Por lo tanto, la diferencia de potencial entre dos puntos ó cuerpos, viene á ser la diferencia entre los respectivos potenciales de estos puntos ó cuerpos y el de la tierra.

Lo que determina el movimiento de un cuer-

po sujeto á la accion de la gravedad, es la diferencia de nivel, y lo que produce el movimiento de la electricidad es la diferencia de potencial, ó sea la *fuerza electro-motriz*. Así como un cuerpo no pasa de un punto á otro que esté á la misma altura, tampoco pasa la electricidad de un punto ó cuerpo á otro que esté al mismo potencial, y en este caso no hay desarrollo de energía ni produccion de trabajo.

Si se ponen en comunicacion por medio de un tubo, dos depósitos de agua cuyos fondos se hallen en el mismo plano horizontal y el agua á distinto nivel, el agua correrá del depósito en que el nivel sea más alto al que lo tiene más bajo hasta ponerse en ámbos al mismo nivel, despues de lo cual dejará de correr, y lo mismo sucede con la electricidad. Del cuerpo de más alto potencial al de potencial más bajo, no pasará más cantidad de electricidad que la correspondiente á la diferencia de potencial.

Todos los puntos de un cuerpo cargado de electricidad en reposo se hallan ó tienen precisamente el mismo potencial, porque de otro modo el reposo no podria existir, puesto que la electricidad pasaria del punto de más alto al de más bajo potencial; de donde se deduce que en un cuerpo hueco electrizado, todos los puntos de la superficie interior tienen el mismo potencial que los de la superficie exterior, aunque

en aquella no existe electricidad alguna, y que si bien la *densidad* eléctrica es distinta en las diversas partes de un cuerpo que presenta ángulos, puntos y aristas, el potencial es igual en todas ellas, cuando la electricidad se halla en reposo. Parece extraño que exista el potencial en puntos donde no hay electricidad; pero como aquel es independiente de la cantidad de electricidad, fácilmente se comprende que ésta puede ser muy reducida y hasta nula y bastante ó muy grande el potencial, así como la altura de un punto en el espacio puede ser muy considerable sin que haya en él ningun cuerpo material.

La energía de un cuerpo que se halla á una altura H y por lo tanto el trabajo que puede producir, está representado por el producto de su peso por dicha altura, ó sea por $P \times H$, y, análogamente, la energía de la electricidad dotada de un potencial E puede representarse por el producto de la cantidad de electricidad Q por dicho potencial ó lo que es lo mismo por $Q \times E$.

En las atracciones y repulsiones eléctricas se ve desde luego que existe consumo de energía y produccion de trabajo mecánico ó resistencia vencida; pero cuando una corriente atraviesa simplemente un hilo metálico, el trabajo no aparece con tanta claridad; pero si se advierte que el hilo se calienta y que el calor desarrollado equivale á la correspondiente cantidad de

trabajo mecánico, no se puede poner en duda que la electricidad *trabaja* siempre al pasar de un punto á otro, ó que vence una resistencia.

Hemos dicho que el potencial es para la electricidad lo que el nivel para los cuerpos y la presión para los gases; y en efecto, según sea la diferencia de nivel, ó la altura á que se halla un cuerpo de un peso determinado, respecto de la tierra, así es su energía y el trabajo que al caer produce; y según sea la presión de una cantidad de gas determinada, respecto de la presión atmosférica, así será su energía y el trabajo que puede producir. De manera que la altura del cuerpo, ó sea su diferencia de nivel respecto de la tierra, es el potencial de la gravedad y la presión del gas respecto de la presión atmosférica es el potencial del gas.

Y análogamente el estado eléctrico, la *excitación* eléctrica ó la *condición* eléctrica de un cuerpo ó de un punto respecto del estado, excitación ó condición eléctrica de la tierra es lo que se llama potencial eléctrico.

Por lo tanto pudiera decirse que *potencial eléctrico de un cuerpo ó de un punto es el estado eléctrico de este cuerpo ó de este punto respecto del estado eléctrico de la tierra tomado como cero, y en virtud del cual la electricidad positiva pasa del cuerpo ó punto á la tierra, ó al contrario, produciendo un trabajo mecánico, como los cuerpos*

cuando caen, y como el gas ó el vapor cuando actúan sobre el piston de una máquina.

La mayor parte de los electricistas notables han admitido la palabra *potencial*; pero hay algunos que la rechazan y continúan usando la de *tension*, mientras que otros emplean indistintamente estas dos palabras, considerándolas como equivalentes ó sinónimas.

Capacidad.—La cantidad de electricidad que un conductor puede recibir de un origen determinado depende de sus dimensiones y de su posición respecto á los cuerpos que le rodean y de la tension ó potencial del origen. La facultad pues de recibir una carga más ó menos considerable es lo que se llama capacidad de un cuerpo conductor, y es evidente que esta carga será tanto mayor cuanto mayores sean la capacidad y el potencial. Por lo tanto si llamamos q á la carga, s á la capacidad y e al potencial, tendremos la ecuación: $q=se$.

Densidad eléctrica.—Es lo que se llama *condensacion, acumulacion ó espesor de la capa eléctrica* ó sea la cantidad de electricidad por unidad de superficie, por centímetro cuadrado por ejemplo. Asi es que si se representa la densidad por d , la cantidad de electricidad que contiene un cuerpo por q y su área por a , resultará:

$$d = \frac{q}{a}.$$

Unidades electro-estáticas absolutas.—La experiencia demuestra que la fuerza con que se atraen ó se repelen dos *péndulos eléctricos* es proporcional al producto de las respectivas cargas de estos péndulos y recíprocamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Por lo tanto si representamos la fuerza por f , por q y q' las respectivas cargas y por l la distancia resultará la ecuacion:

$$f = \frac{q \times q'}{l^2}; \text{ ó } f = \frac{q^2}{l^2} \dots\dots (1)$$

si fuese $q = q'$.

Segun hemos dicho, la energía de una cantidad determinada de electricidad ó el trabajo que puede producir al pasar de un punto á otro es igual á dicha cantidad multiplicada por la diferencia de potencial de los mismos puntos ó sea por la fuerza electro-motriz, y si llamamos n el trabajo, q la cantidad de electricidad que se mueve y e la fuerza electro-motriz tendremos: $w = q \times e$; de donde se deduce,

$$e = \frac{n}{q} \dots\dots (2)$$

La cantidad q de electricidad que puede suministrar una corriente cuya intensidad es y en el tiempo t , está dada por la ecuacion: $q = yt$; de la cual, despejando y , resulta:

$$y = \frac{q}{t} \dots\dots (3)$$

Y por último de la fórmula de Ohm,

$$y = \frac{e}{r} \text{ se deduce: } r = \frac{e}{y} \dots\dots (4)$$

De la ecuacion (1) se deduce el valor de q en funcion de la fuerza y de la longitud; de la (2) el valor de la fuerza electro-motriz en funcion del trabajo y de la cantidad q de electricidad ó sea en funcion de las unidades de longitud, de masa y de tiempo; de la (3) la fuerza ó intensidad de la corriente en las mismas unidades y de la (4) resistencia en funcion tambien de dichas unidades.

Además si se toma por unidad de electricidad la cantidad de electricidad que produce la unidad de fuerza atractiva ó repulsiva sobre otra cantidad igual colocada á la unidad de distancia, la fórmula (1) dará el valor de esta unidad de cantidad eléctrica, y sustituyéndolo en la ecuacion (2) y poniendo en esta misma en vez de w la unidad de trabajo resultará la unidad de fuerza electro-motriz.

La unidad de corriente se obtiene de la ecuacion (3) poniendo en vez de q el valor de la unidad de cantidad y en vez de t la unidad de tiempo; y por último la unidad de resistencia resulta de la ecuacion (4) sustituyendo y por la

unidad de corriente y e por la de la fuerza electromotriz.

Todas estas unidades están basadas en las de masa, tiempo y espacio, por lo cual se llaman *absolutas* y su respectiva magnitud depende de las unidades de fuerza y de longitud que se adopten. Si se adopta por unidad de fuerza la que hace recorrer á un gramo la distancia de un metro en un segundo, resultarán las unidades *electro-estáticas absolutas, metro-gramo-segundo*, si se toma por unidad de fuerza la que hace recorrer á un gramo el espacio de un centímetro en un segundo, resultarían las unidades *electro-estáticas, centímetro-gramo-segundo*, y si en vez del gramo la unidad de peso fuere el milígramo se tendrían las unidades, *metro ó centímetro-milígramo-segundo*, y así sucesivamente.

Tomando por unidad de longitud el metro y por unidad de fuerza la que imprime á un gramo la velocidad de un metro por segundo des-

pues de otro segundo de actuacion y que es $\frac{1}{9,808}$

de la gavedad, en la fórmula (1) sería

$$l=1 \text{ y } f = \frac{1}{9,808} = 0,10195;$$

y despejando q^2 , tendríamos:

$$q^2 = 0,10195; \text{ y } q = \sqrt{0,10195} = 0,3193.$$

cuya cantidad representa en este caso la unidad de cantidad de electricidad.

Sustituyendo este valor de q en la ecuacion (2) y poniendo en vez de w la unidad de trabajo ó sea un metro-gramo, ó lo que es lo mismo 9,808 unidades absolutas de fuerza, resultará otra cantidad que será la unidad de fuerza electro-motriz.

Así pues, en este sistema de unidades *electro-estáticas absolutas*, la unidad de cantidad es la cantidad de electricidad que ejerce la unidad de fuerza sobre otra cantidad igual de electricidad á la distancia de un metro.

La unidad de fuerza electro-motriz resulta cuando la unidad de cantidad produce la unidad de trabajo al pasar de un punto á otro. La resistencia de un conductor será la unidad cuando solo pasa por él una unidad de cantidad de electricidad por segundo con la unidad de fuerza electro-motriz.

La unidad de corriente es la corriente que produce la unidad de cantidad de electricidad en un segundo, ó sea la que se obtiene con la unidad de fuerza electro-motriz al traves de la unidad de resistencia en dicho tiempo.

Las unidades de capacidad y de densidad se obtienen de las ecuaciones,

$$s = \frac{q}{e} \text{ y } d = \frac{q}{a}$$

Este sistema de unidades es muy á propósito para los cálculos á que da lugar el estudio de los fenómenos debidos á la electricidad en reposo ó electricidad *estática*; pero no cuando se trata de las corrientes y de los imanes; y si nos hemos ocupado de ellas, solo ha sido por la relacion que tienen con las unidades *electro-magnéticas absolutas* y con las que derivadas de estas se emplean en la práctica y de las cuales trataremos más adelante.

Induccion electro-estática.— Supongamos dos discos metálicos *A* y *B*, figura 9, lámina 1.^a, separados por una capa de aire, ó por otro disco *CD* de una sustancia aisladora como el vidrio, la resina, el azufre, la mica y otras várias. Si damos al disco *A* una carga cualquiera de electricidad positiva, el equilibrio eléctrico del disco *B* que se supone aislado, se alterará al instante afluendo la electricidad negativa á la cara superior de este disco y la positiva á la cara inferior del mismo. Si la carga del primer disco fuese negativa, sucederia precisamente lo contrario, esto es, que la electricidad positiva se acumularia en la cara superior del segundo y la negativa en la cara inferior.

Si tocamos con la mano el disco *B*, ó lo que es lo mismo, lo ponemos en comunicacion con la tierra, la electricidad acumulada en la cara inferior, que es del mismo signo que la del disco *A*,

quedará neutralizada y en el disco *B* no permanecerá más electricidad que la acumulada en la cara superior, atraída y retenida por la del disco *A*, que es de distinto nombre, y la tension del disco inferior será igual á la de la tierra, con la cual está en comunicacion.

La cantidad de electricidad desarrollada por induccion en el disco *B* depende, entre otras cosas, de la sustancia interpuesta entre los discos metálicos. Si suponemos el disco *CD* compuesto de varios sectores iguales y del mismo grueso, el uno de vidrio, el otro de azufre, el otro de mica, etc., sucede que la electricidad desarrollada por induccion es mayor en la parte correspondiente al sector de mica que en la correspondiente al de azufre y en esta mayor que en la del vidrio. Así, pues, cada sustancia aisladora ó *dieléctrica*, tiene una virtud ó facultad especial para desarrollar la electricidad por influencia, á lo cual se llama:

Capacidad específica de induccion, poder inductivo, poder condensante, etc.—La induccion disminuye aumentando el espesor de la sustancia aisladora, puesto que aumenta la distancia entre los discos metálicos. Si se pone el disco *A* en comunicacion con los conductores de una máquina eléctrica ó con el polo positivo de una pila, comunicando las almohadillas de aquélla ó el polo negativo de ésta con la tierra, así como

tambien el disco *B*, estos discos adquieren una carga cada vez mayor, acumulándose la electricidad positiva en el disco *A* y la negativa en el disco *B*, hasta que resulta equilibrio entre la tension del primer disco y el origen de electricidad, lo que se explica suponiendo que la electricidad positiva de dicho origen destruye el reposo eléctrico del disco *A* y neutraliza su electricidad negativa, y quedando libre la positiva, obra por induccion sobre el disco *B* atrayendo y reteniendo la electricidad negativa del mismo, mientras que la positiva pasa á la tierra. La tension de la electricidad del disco *A* queda rebajada por la atraccion de la negativa del disco *B*, por cuya razon afluirá del origen una nueva cantidad de electricidad positiva que causará los mismos efectos que la primera, repitiéndose lo mismo hasta que las tensiones del origen y del disco sean iguales, en cuyo caso cesará todo movimiento eléctrico. Este aparato se llama *condensador*, por cuanto acumula ó condensa la electricidad. La cantidad de electricidad así acumulada constituye lo que se llama la *carga máxima* de un condensador, la cual depende de la extension de las superficies expuestas á la induccion, del espesor y del poder inductivo de la sustancia aisladora que las separa y de la tension del origen que produce la carga; siendo tanto mayor cuanto mayores son dichas superficies y la tension del origen, y tanto me-

nor cuanto mayor es el espesor de la capa aisladora que las separa. Así es que diversos condensadores de distintas dimensiones ó de diferentes sustancias aisladoras ó *dieléctricas*, cargados con una misma pila de tension constante, acumularán ó condensarán distintas cantidades de electricidad, lo que se expresa diciendo que tienen diferente *capacidad*.

Si dos condensadores cualesquiera se cargan de la misma manera con un elemento Daniell, y el uno adquiere una carga doble que el otro, se dice que la capacidad del primero es doble que la del segundo.

Llámanse, por lo tanto, capacidad electrostática ó inductiva de un condensador, la facultad que tiene de acumular una cantidad más ó ménos considerable de electricidad con la unidad de tension ó sea de un volta; y como la carga que recibiría de una pila cualquiera sería proporcional á la que recibiese con un elemento Daniell, ó, lo que es casi lo mismo, con la tension de un volta, tambien puede decirse que la capacidad de un condensador es la facultad que tiene de acumular una cantidad más ó ménos considerable de electricidad con una pila determinada.

Si ponemos en comunicacion los dos discos del condensador, se neutralizarán inmediatamente las electricidades acumuladas, y lo mismo sucederá, si estando el disco *B* en comunicacion

con la tierra, se pone en comunicacion con ella el disco *A*, y si en ámbos casos se interpone un galvanómetro en el el circuito, la aguja desviará más ó ménos segun sea la carga que haya recibido el condensador.

Un hilo telegráfico aéreo puede considerarse como un condensador formado por el hilo mismo, por la tierra y cuerpos cercanos en comunicacion con ella y por la capa de aire interpuesta. Así es que al ponerlo en comunicacion con la pila, el primer efecto de la corriente, será el de condensar sobre la superficie del conductor una cantidad determinada de electricidad positiva que atraerá la negativa de la tierra y cuerpos inmediatos en comunicacion con ella y únicamente cuando se haya establecido el equilibrio, esto es, cuando la carga estática del conductor haya llegado á su máximo, será cuando la corriente podrá continuar libremente su camino y ejercer la accion que corresponda en la extremidad del conductor.

Si en este momento suprimimos la comunicacion con la pila y la establecemos con la tierra, se verificará la descarga como cuando las dos armaduras de un condensador comunican con la tierra.

Debemos observar que en un conductor de esta especie existen dos tensiones, una de la electricidad acumulada en la superficie á causa

de la induccion que ejercen la tierra y cuerpos inmediatos, y la otra la de la corriente, en virtud de la cual, esta se propaga á lo largo del conductor, y para distinguirlas se ha llamado á la primera *tension exterior*.

Tardando, pues, los conductores telegráficos, un tiempo más ó ménos apreciable en adquirir el máximum de tension ó carga exterior, y luego en perder esta carga, es evidente que por este motivo ha de sufrir algun retardo la propagacion de la electricidad.

Cuando los conductores son de poca extension, la carga y la descarga de que hablamos se verifica instantáneamente, de tal manera que verificadas una y otra al traves de un galvanómetro, la aguja de este permanece en reposo, lo que prueba que la corriente ha pasado ántes de que el galvanómetro se haya podido poner en movimiento; pero en los largos conductores, la duracion de una y otra es apreciable y al pasar por un galvanómetro ó por un receptor, la aguja se desvía ó la palanca se mueve con más ó ménos fuerza.

Cuando el hilo está aislado en su extremidad, al enviar la corriente, todos los puntos del conductor adquieren una tension igual á la de la pila, y suprimiendo la comunicacion con esta y estableciéndola con la tierra, se verificará la descarga, por medio de una corriente que se lla-

ma de *retroceso*, la cual es de mayor ó menor intensidad para una misma pila, segun sea la distancia á que se halla el punto de aislamiento ó de interrupcion del conductor.

Un cable subterráneo y un cable submarino, son verdaderos condensadores, en general de gran superficie, y en ellos por lo tanto los fenómenos de induccion pueden tomar proporciones considerables. Una de las superficies, que podemos llamar la interior, está formada por el conductor que suele ser un hilo ó un cordon de cobre; la otra ó sea la exterior está constituida por la armadura metálica protectriz del cable, y si esta no existe, por la tierra ó el agua que le rodea. El dieléctrico intermedio lo forman las sustancias que envuelven y aíslan el conductor del cable.

Induccion dindmica.—Cuando dos hilos se hallan próximos y colocados en circunstancias convenientes, si por uno de ellos enviamos una corriente, se desarrolla en el otro otra corriente en sentido contrario á la del primero, al tiempo de cerrar el cicuito, y una corriente en el mismo sentido en el momento de abrirlo ó de suprimir la comunicacion con la pila. Las corrientes inducidas en el segundo hilo son instantáneas y se llaman: *inversa* la que se propaga en sentido contrario, y *directa* la que tiene lugar en el mismo sentido que la corriente inductora, y sucede

que siempre que esta aumenta ó se aproximan los hilos, se desarrolla una nueva corriente inversa en el segundo hilo; y siempre que disminuye ó se separan los hilos, aparece una corriente directa en el mismo hilo. La corriente inductora desarrolla además en el mismo hilo que recorre una corriente inversa en el momento de cerrar el circuito y siempre que estando cerrado y pasando la corriente, esta aumenta de intensidad, y una corriente directa, siempre que disminuye la intensidad ó cesa repentinamente la corriente inductora. Es indudable que la corriente inversa ha de disminuir la fuerza de la corriente inductora y aumentarla la corriente directa, de donde se deduce que el efecto de la una y de la otra es el de prolongar el estado variable, y de retardar por consiguiente la propagacion de la corriente eléctrica.

Identidad de la electricidad de los distintos orígenes.—De los principios expuestos en este capítulo se deduce que la electricidad es la misma, cualquiera que sea su origen, diferenciándose únicamente en la cantidad y en el grado de tension.

Una máquina eléctrica, aunque se establezca la comunicacion entre los conductores y las almohadillas por medio de un hilo metálico, difícilmente produce la cantidad necesaria de electricidad para que resulte una corriente aprecia-

ble; pero en cambio la tension es muy alta, y por el contrario, un elemento por pequeño que sea produce la cantidad suficiente para mantener una corriente notable, aún al traves de un conductor de poca resistencia; pero la tension de la electricidad así desarrollada es relativamente muy baja.

Segun Faraday, un elemento formado por un hilo de platino y otro de cobre de 1 m/m de diámetro sumergidos en la longitud de 16 m/m en una disolucion de una gota de ácido en unos 100 gramos de agua, produce en tres segundos una cantidad de electricidad, igual á la que se podría obtener con 30 vueltas en una máquina eléctrica, cuyo disco fuese de un metro y treinta centímetros de diámetro. La electricidad de las pilas puede compararse al vapor que se desprende lentamente de una caldera abierta al aire libre y la electricidad desarrollada por frotamiento al vapor encerrado á una alta presion en la caldera de una máquina de vapor. (*Culley.*)

Los primeros ensayos de telegrafía hechos con la máquina eléctrica, no dieron resultado, segun Mr. Culley, porque merced á la alta tension de la electricidad desarrollada por frotamiento, se perdía con facilidad por los apoyos y por el aire, y no era posible aislar suficientemente los hilos.

En general puede decirse que la magnitud de

los efectos causados por la electricidad, depende más bien de la cantidad de este agente que de su tension: una chispa eléctrica de 12 á 15 centímetros puede sacarse impunemente de una máquina eléctrica con el dedo, porque si bien su tension es considerable, contiene una pequeña cantidad de electricidad; pero la descarga de una botella de Leiden de regulares dimensiones, cargada con esta misma máquina podría causar una sacudida respetable y peligrosa, aunque la tension seria la misma que la de la chispa sacada de la máquina. La diferencia está en que la cantidad acumulada en la botella es mucho mayor que la que constituye la carga de los conductores de la máquina.

Aunque al lado de su lenguaje expresivo y animado parezca el nuestro desmayado y frio, oigamos lo que sobre el particular dice D. Miguel Merino, astrónomo del Observatorio de Madrid, en un escrito titulado, *Electricidad*, publicado en el semanario enciclopédico, *Los conocimientos útiles* y en el *Anuario* de dicho Observatorio correspondiente al año de 1869:

«Insignificantes ó poco dignos de cautivar su atencion podrian parecer á nuestros lectores los fenómenos eléctricos que acabamos de reseñar, otros muchos parecidos y dependientes ó variantes de los anteriores, que por brevedad omitimos, y cuantos á renglon seguido han de

ocuparnos, si no nos apresurásemos á manifestar que la intensidad y magnificencia de los efectos que la electricidad puede producir dependen del grado ó de la cantidad disponible ó agente de esta fuerza; y que semejante grado es indeterminado y creciente sin límite conocido, ni fácil de asignar.—Pasando la mano por cima del lustroso lomo de un gato, óyese apenas el *chisporroteo* que la electricidad así excitada produce; el *chasquido* consiguiente al desprendimiento de una chispa del *conductor* de una máquina eléctrica ordinaria, es ya muy claramente perceptible; más elevado, seco y estridente el que proviene de la recomposicion súbita de los dos flúidos contenidos en una botella de Leiden; comparable al de un látigo sacudido con violencia por robusto y ejercitado brazo, el derivado de la descarga de una batería compuesta de doce ó veinte botellas del mismo nombre; y á la detonacion de una pequeña arma de fuego, cuando la batería consta de 100 y de 200 botellas de Leiden de dos piés de extension superficial cada una como la que Van Marum poseia y conseguia cargar á *saturacion*, con auxilio de la gigantesca máquina de doble disco de cristal poco ántes mencionada.—Artificialmente apenas puede en este camino avanzarse un poco más; pero la naturaleza dispone de materiales y procedimientos más abundantes y de orden superior, que en va-

no procura el hombre robarla é imitar; y cuando una nube tempestuosa, especie de batería eléctrica flotante de colosal superficie, estalla y despide contra otra nube ó hácia el suelo, la enorme cantidad de flúido eléctrico de uno ú otro signo, que en su seno encerraba y poco ántes retenia aprisionado, el estrépito resultante de brevísima duracion unas veces, ó prolongado y reforzado por el eco, supera á cuantos ruidos y detonaciones, de distinta procedencia, es dable producir.—Y lo propio que con la conmocion del aire, causa inmediata del sonido, sucede con los demás fenómenos eléctricos en las precedentes líneas reseñados.—Con auxilio de una simple botella de Leiden, taládrase fácilmente una hoja de papel; un cristal por medio de una batería de regulares dimensiones; y, desde la primera hasta la última, un libro de 400 páginas, si contra él se descarga una batería compuesta de un centenar de botellas; pero de este punto es muy difícil pasar. La descarga eléctrica de una nube, el *rayo*, en una palabra, no se detiene ante obstáculos tan pequeños y miserables; y, cuando á taladrar se pone, con asombrosa facilidad agujerea los gruesos y casi titánicos muros de la catedral cristiana; arranca sin que el resto de la fábrica se resienta, el enorme peñasco que á su propagacion del exterior al interior del edificio se oponia; y como pelota de goma con la

cual juguetea un niño, lo lanza contra el muro opuesto,»

Lartimer Clark dice en su tratado de las mediciones eléctricas que segun Faraday, el *relámpago*, ó el *rayo*, como se dice cuando la descarga eléctrica de una nube cae sobre la tierra, contiene una cantidad tan pequeña de electricidad que probablemente no sería suficiente para descomponer más de una gota de agua. Su tension sin embargo es enorme y no hay egemplo de otra superior como no sea la de la *aurora boreal*; pero el exceso de tension sobre la que se necesita para descomponer el agua, se resolvería únicamente en calor y sería completamente inútil para el objeto indicado.

Suponiendo que la tension del rayo fuese igual á la de un millon de elementos, y que uno de estos bastase para descomponer el agua, el mismo efecto se obtendría haciendo pasar por un solo vaso de agua la corriente de uno de estos elementos que la de una pila compuesta de un millon de los mismos dispuestos en *série lineal*; pero si colocamos en el circuito un millon de vasos de agua, la corriente de un elemento no produciría descomposicion alguna, pero la de un millon de elementos descompondría una gota de agua, por ejemplo, en cada vaso, y en total un millon de gotas.

En el primer caso, el aumento de resistencia

del circuito debilitaría de tal modo la corriente que no sería suficiente para descomponer el agua, y en el segundo la tension, venciendo esta resistencia, llevaría á cada vaso la cantidad de electricidad necesaria para descomponer una gota de agua en cada vaso.

La tension no influye en efecto directamente en la descomposicion del agua, puesto que siendo diferente en cada vaso, segun la ley de su distribucion, la cantidad de agua descompuesta es la misma en cada uno de aquellos; pero esa tension es indispensable para vencer la resistencia, á fin de que llegue á todos los vasos la cantidad de electricidad necesaria para descomponer el agua. Así, pues, el rayo que atendiendo á la cantidad de electricidad que contiene, tal vez no podría descomponer más que una gota del agua contenida en un vaso, en virtud de la altísima tension de que se halla dotado, es capaz de descomponer un millon de gotas, si en el circuito se intercalan un millon de vasos.

Tres ó cuatro elementos Daniell son suficientes para hacer funcionar un receptor Morse, *en local*, ó sea sin más circuito que el de sus bobinas; pero si ese receptor se hallase al extremo de un hilo telegráfico de 500 kilómetros de longitud, dicho número de elementos no sería suficiente para ponerlo en movimiento, porque la electricidad que suministran carece de la ten-

sión necesaria para vencer la resistencia del conductor y para llegar á su extremo en cantidad bastante para dicho objeto.

El rayo no podria atravesar las capas de la atmósfera, saltar de una á otra nube, ni de estas á la tierra, hendir los edificios ni rajar los árboles, si no se hallase dotado de tan alta tension.

La cantidad es por consiguiente lo que determina la magnitud y la importancia de los principales fenómenos eléctricos; pero la tension es indispensable para conducir la electricidad al punto donde han de producirse, atravesando y destrozando á veces los malos conductores.

Aunque el rayo contenga una pequeña cantidad de electricidad es muy considerable la que desarrolla una nube tempestuosa, porque son muchos los relámpagos que despide en su larga y á veces devastadora carrera.

Electricidad, estática y dinámica.—Segun hemos dicho, la electricidad es la misma, cualquiera que sea la causa y la manera de su desarrollo; pero puede considerarse en estado de reposo y entónces se llama *Estática*, ó en el estado de movimiento, y en ese caso se llama *Dinámica*.

Estas denominaciones no se refieren al modo de *ser*, sino al modo de *estar* de la electricidad. La debida al frotamiento, lo mismo que la pro-

ducida por las pilas, y á la cual suele dársele el nombre de *Voltáica* y aun de *Galvánica*, puede ser estática ó dinámica, segun que esté en reposo ó en movimiento. Esto no obstante, como la electricidad de frotamiento se estudia y considera por lo regular en reposo y disfruta de una alta tension, algunos suelen llamarla *estática* ó de tension, así como dan con frecuencia el nombre de *dinámica* á la electricidad de las pilas, por considerarse generalmente en movimiento ó en forma de corriente y ser su tension tan débil, que solo por medio de un condensador puede manifestar los fenómenos de atraccion y repulsion. Esto no obstante, la tension aumenta con el número de elementos, y en una pila de 500 bien aislados ya se pueden obtener dichos efectos sin el intermedio de un condensador, y aumentándolos en número suficiente, y cuidando de aislarlos con esmero, la diferencia de tension puede aumentar hasta el punto de adquirir la fuerza necesaria para vencer la resistencia del aire y producir una crispa eléctrica al abrir y cerrar el circuito, lo que demuestra la identidad de la electricidad de la pila y la producida por la máquina eléctrica.

MAGNETISMO.—Una barra de acero, que ha adquirido la propiedad de atraer á sus extremidades el hierro, como algunos minerales de este metal, es lo que en física se llama *iman*, y

las extremidades en que parece estar reconcentrada la fuerza atractiva, reciben el nombre de *polos*, los cuales se consideran como centros de fuerza, aunque esto no sea enteramente exacto más que en un iman largo y muy delgado. La línea que pasa por los polos se llama *eje magnético*.

La tierra es un iman cuyos polos se suponen en las extremidades de un diámetro próximo al eje de aquella, y sucede que suspendido un iman de manera que pueda girar libremente, uno de sus polos se dirige siempre al polo magnético de la tierra que se halla en el hemisferio norte y el otro al que se halla en el hemisferio sur, dándose al primero el nombre de *polo norte* y al segundo el de *polo sur* del iman. La fuerza en virtud de la cual, un iman toma la dirección Norte-Sur, se llama *fuerza directriz de la tierra ó del globo*.

Cuando dos imanes se hallan próximos, se repelen los polos del mismo nombre y se atraen los de nombre contrario. Colocando una hoja de papel sobre un iman y espolvorizando sobre ella limaduras de hierro, se reúnen éstas formando curvas que parten del uno al otro polo. La figura 10 lámina 1.^a, representa estas curvas, para un iman largo y delgado, en cuyo caso cada polo es un punto.

Estas curvas á las cuales se les dá el nombre

de *líneas de fuerza*, rodean y envuelven todo el iman, es decir que no se hallan todas en el mismo plano, de manera que la figura debe considerarse como la seccion del sistema por un plano horizontal; y por consiguiente, se supone que por un punto cualquiera del espacio que rodea al iman, pasa una línea de fuerza. La forma de estas líneas depende de la accion simultánea de los dos polos, y si pudiera obtenerse un solo polo aislado, sus líneas de fuerza serían líneas rectas divergentes que saldrian del polo como radios que parten de un punto.

El espacio que rodea á un iman se llama *campo magnético* y en él se consideran trazadas las líneas de fuerza. Una pequeña aguja imantada situada en un punto cualquiera del campo magnético, toma siempre la direccion de la línea de fuerza que pasa por aquel punto, si puede moverse libremente, y dirige al polo más próximo del iman fijo el polo de nombre contrario; de donde resulta que en general, la aguja que se considera, tomará una posicion inclinada respecto del eje del iman, y únicamente en los puntos en que las tangentes á las líneas de fuerza sean paralelas al eje del mismo, es donde la aguja puede quedar paralela á dicho eje.

Obsérvese que las líneas de fuerza están más juntas en las inmediaciones de los polos y que despues se van separando cada vez más á partir

del eje del iman, lo que indica que la intensidad ó fuerza magnética no es la misma en todos los puntos de un campo magnético.

Cuando el polo de un iman atrae ó repele el polo de otro iman ejecuta un trabajo, y por lo tanto existe el *potencial magnético* como hay potencial eléctrico, aunque la palabra *potencial* aplicada al magnetismo, no es de un uso tan frecuente como aplicada á la electricidad.

Magnetismo terrestre.—Así como el eje magnético de la tierra no coincide con el eje de rotacion de la misma, tampoco las líneas de fuerza magnética se hallan en los planos meridianos del globo, sino que la de cada punto está situada en un plano que forma por lo regular con el del meridiano terrestre que pasa por el mismo punto, un ángulo de más ó menos consideracion, que constituye lo que se llama *declinacion magnética*. El plano que contiene la línea de fuerza de un punto, se llama *meridiano magnético* de aquel punto; de manera que dicha declinacion es el ángulo formado por los planos meridianos, magnético y terrestre de un punto. La declinacion es *oriental* ú *occidental*, segun que el polo norte de una aguja magnética situada en el punto que se considera, se inclina al Este ó al Oeste.

Una aguja magnética suspendida por su centro de gravedad, de manera que pueda girar

libremente en todos sentidos, se coloca en direccion de la línea de fuerza que pasa por dicho centro, y por lo tanto inclinada respecto del eje de la tierra, excepto en los puntos en que las tangentes á dichas líneas son horizontales como sucede cerca del Ecuador. El ángulo que forman las líneas de fuerza, ó la aguja magnética, con el horizonte, se llama *inclinacion magnética*.

Atendiendo á la distancia á que se hallan los polos magnéticos del globo, las líneas de fuerza son sensiblemente paralelas, por cuya razon se considera como uniforme, ó sea de igual intensidad magnética, el espacio en que se haga una observacion. La fuerza magnética del globo, la declinacion y la inclinacion, no son constantes, sino que sufren variaciones periódicas en un mismo punto, lo cual es necesario tener presente en experimentos que requieran mucha precision.

La direccion de la fuerza magnética de la tierra es la de la aguja de inclinacion, y su magnitud ó intensidad se determina por la componente horizontal de dicha fuerza. Es evidente que esta fuerza y su componente horizontal comprenden el ángulo de inclinacion y forman un triángulo rectángulo cuya hipotenusa es la expresada fuerza; y si la representamos por F , por H la componente horizontal y por a el án-

gulo que forman, se tendrá: $H = F \cos. a$, y

$$F = \frac{H}{\cos. a}.$$

En las brújulas ó galvanómetros horizontales, la aguja imantada no puede obedecer á la inclinacion, y sí únicamente á la fuerza directriz de la tierra, que la lleva al meridiano magnético, por cuanto el polo norte de la tierra atrae el polo norte de la aguja y repele el polo sur de la misma, miéntras que el polo sur de la tierra atrae el polo sur de la aguja y repele el otro, contribuyendo todas estas fuerzas al mismo objeto con intensidad igual en ámbos polos de la aguja y resultando, á causa del paralelismo de las líneas de fuerza, lo que se llama en mecánica un par de fuerzas, cuyo valor, representando por m la fuerza magnética de los polos de la aguja, por l la distancia de uno á otro y por H la intensidad de la componente horizontal del magnetismo terrestre, resultará, segun los principios de dicha ciencia, para el valor buscado, que llamaremos P , la expresion: $P = m l H$. Si la aguja estuviera enteramente libre, tomaria la direccion de la línea de fuerza y entónces H representaría la intensidad del campo en la direccion de dicha línea y P seria el valor del par debido á la fuerza magnética total de la tierra. El producto $m l$ se llama *momento magnético* del iman.

Induccion magnética.—Así como un cuerpo electrizado desarrolla la electricidad ó produce una diferencia de potencial en otro cuerpo conductor aislado y próximo al primero, así un iman desarrolla el magnetismo en una barra de hierro ó de acero que se halla en su campo magnético, resultando que si dicha barra puede moverse libremente, toma la direccion de la línea de fuerza en que se halla y adquiere todas las propiedades de un iman, presentando al polo más próximo del iman inductor un polo de nombre contrario, como indica la figura 10, suponiendo que las pequeñas barras que aparecen entre las líneas de fuerza, sean de hierro ó de acero. Este conserva el magnetismo y la polarizacion que recibe; pero el hierro lo pierde en cuanto se retira del campo magnético, si bien no, en géneroal, de una manera instantánea, sino despues de un tiempo más ó ménos apreciable, así como tambien tarda más ó ménos en adquirir toda la fuerza magnética de que es susceptible, y uno y otro se dice que es debido á la *fuerza coercitiva* del hierro. El magnetismo que queda en este, despues de retirado de un camgo magnético ó despues de haber desaparecido este, se llama *magnetismo remanente*.

La facultad inductiva de los imanes permite obtener imanes permanentes, frotando convenientemente una barra ó una aguja de acero con

un imán, operación que se llama *magnetización*. El medio más sencillo de magnetizar la aguja de un galvanómetro es el colocarla entre los polos de un fuerte imán en forma de herradura, teniendo presente que cada polo del imán engendra en la aguja un polo de nombre contrario, y frotar la aguja con el imán dos ó tres veces en el sentido del eje de aquella y siempre en la misma dirección.

Electro-magnetismo.—Un alambre, por el cual pasa una corriente eléctrica, adquiere algunas propiedades de los imanes, así es que atrae las limaduras de hierro, y atrae ó repele otro alambre por el cual pasa otra corriente. Se atraen dos corrientes paralelas cuando van en el mismo sentido, y se repelen cuando marchan en sentido contrario. Cuando dos corrientes rectilíneas forman un ángulo, se atraen cuando ámbas se acercan ó se separan del vértice, y se repelen si una se dirige al vértice y la otra se separa de él. De aquí se deduce, y en física se demuestra por medio de un sencillo experimento, que un rectángulo formado por un alambre, por el cual pasa una corriente, tiende á ponerse paralelo á otro alambre por el cual pase otra corriente, que, colocando un rectángulo dentro de otro, ámbos de esta especie, estando el primero fijo y vertical, y pudiendo girar el segundo sobre un eje vertical, este último tiende á ponerse paralelo al

primero, y que lo mismo sucede si cada hilo forma un círculo ó un carrete. En este último caso, si el carrete de mayor diámetro se halla en el plano del meridiano magnético, y si el del carrete pequeño es perpendicular á dicho meridiano y lleva en el centro un iman perpendicular al plano de este carrete; cuando pase una corriente por los dos carretes, estando fijo el de mayor diámetro, el más pequeño tenderá á ponerse paralelo al otro, á lo que se opondrá la fuerza directriz del globo que obra sobre el iman; y cuando resulte equilibrio, y el iman ó aguja haya girado la cantidad necesaria al efecto, podrá determinarse la fuerza de la corriente ó la del magnetismo terrestre. Este aparato constituye en principio el *dinamómetro-eléctrico* de Weber.

Igualmente se demuestra que disponiendo un alambre rectilíneo cerca y paralelo al eje de un iman, y haciendo pasar por el primero una corriente eléctrica, un polo del iman tiende á girar en un sentido alrededor del alambre, y el otro polo en sentido contrario; de manera que si el iman estuviese montado por su centro en un eje vertical, el efecto de la corriente seria el de atraer un polo y rechazar el otro, hasta que el iman quede perpendicular á la corriente. Si se supone que el alambre pasa por encima del iman y luego se dobla y se le hace pasar por debajo del mismo, esta parte inferior de la corriente

obra en el mismo sentido que la superior y el efecto sobre el iman será doble, y en general proporcional al número de vueltas que dé el hilo á lo largo del iman, con tal que estas vueltas ó *espiras*, estén las unas aisladas de las otras. Si el iman fuese lo que se llama una aguja y ésta y el carrete formado por el hilo, se colocan en la direccion del meridiano magnético, la fuerza de la corriente separará la aguja de esta posición, á lo cual se opondrá la fuerza directriz del globo hasta que resulte equilibrio entre estas dos fuerzas, en cuyo caso la aguja marcará un ángulo que depende de la fuerza de la corriente, puesto que la fuerza directriz del globo se supone constante. El aparato que así resulta se llama *brújula*, *galvanómetro* ó *reómetro* y sirve para medir ó apreciar la fuerza de las corrientes eléctricas.

Electroimanes.—Un hilo arrollado en hélice de manera que las espiras no se toquen, adquiere las propiedades de un iman, cuando pasa por él una corriente eléctrica. Si el hilo está arrollado de izquierda á derecha, como la rosca de los tornillos ordinarios, se forma un polo sur en el extremo de la hélice que comunica con el polo positivo de la pila y un polo norte en el otro extremo, sucediendo lo contrario si el hilo está arrollado de derecha á izquierda. A esta hélice suele dársele el nombre de *solenóide*.

Si el hilo se arrolla á un cilindro de hierro dulce templado, este cilindro se convierte en un iman por todo el tiempo que pasa la corriente dejando de serlo en cuanto esta cesa, salvo el magnetismo remanente. Arrollando un largo alambre de cobre cubierto de seda, y por consiguiente aislado, á un cilindro de hierro de las condiciones expresadas, resulta un *electroiman*, ó iman *pasajero* puesto que sólo lo es mientras la corriente circula por el hilo. Si el hilo se arrolla á una barra de acero, ésta conserva el magnetismo y se convierte en un iman artificial permanente,

Unidades electro-magnéticas absolutas.—Dos polos magnéticos de dos distintos imanes, se atraen ó se repelen evidentemente con una fuerza proporcional á la accion que ejerce el uno sobre el otro y además, está demostrado, que dicha accion se halla en razon inversa del cuadrado de la distancia que media entre los dos polos. Por consiguiente, si representamos por f dicha fuerza, por m y m' la intensidad respectiva de los dos polos y por d la distancia que los separa, tendremos la ecuacion:

$$f = \frac{m m'}{d^2} \dots \dots \dots (1)$$

Si en esta ecuacion se sustituyen f y d por la unidad de fuerza y por la unidad de distancia,

el producto $m m'$ será tambien la unidad, ó sea $m m' = 1$, y para que esto suceda es preciso que sea $m = 1$ y $m' = 1$; de donde se deduce que la unidad de intensidad magnética de un polo, ó como suele decirse, el *polo unidad*, es el que atrae ó repele á la unidad de distancia y con la unidad de fuerza, á un polo de igual intensidad.

Colocando uno de los polos de un iman en el centro de un conductor circular, la fuerza que ejerce una corriente que pasa por este conductor sobre dicho polo, es proporcional á la longitud del conductor puesto que por estar todos sus elementos á igual distancia del polo, todos ejercerán sobre él la misma fuerza, á la intensidad del polo y á la fuerza de la corriente, y estará en razon inversa del cuadrado de la distancia de la corriente al polo que es igual para todos los puntos. De manera que representando por f la fuerza que la corriente ejerce sobre el polo, por P la intensidad de dicha corriente, por m la intensidad magnética del polo, por d la distancia de este al conductor ó sea el radio del círculo ó del arco de círculo que forma el conductor y por L la longitud de este, se tendrá la ecuacion:

$$f = \frac{P L m}{d^2} \dots \dots \dots (2)$$

de la cual se deduce:

$$Y = \frac{f d^2}{L m} \dots\dots\dots (3)$$

Si en esta ecuacion se pone en vez de m la intensidad del polo unidad deducida de la ecuacion (1) del modo que se ha dicho, en vez de f la unidad de fuerza, que tambien se ha dicho cual es su valor, y en vez de L y de d la unidad de longitud, el valor que resulte para Y será la unidad de fuerza de la corriente, llamada electromagnética absoluta, porque procede de la accion que las corrientes ejercen sobre los imanes y de las unidades absolutas del tiempo, del espacio y de la masa de un gramo.

Ahora, si representamos por Q , E , R y S , la cantidad de electricidad, la fuerza electromotriz, la resistencia y la capacidad en dicha clase de unidades, resultarán las siguientes ecuaciones:

$$Q = F t \dots\dots\dots (4)$$

$$E = \frac{W}{Q} \dots\dots\dots (5)$$

$$R = \frac{E}{Y} \dots\dots\dots (6)$$

$$S = \frac{Q}{E} \dots\dots\dots (7)$$

las cuales completarán la série de unidades electro-magnéticas, semejante á la série de unidades electro-estáticas de la página 52. En efecto, si en la ecuacion (4) se hace $t = 1$ y se sustituye F por la unidad de intensidad deducida de la ecuacion (3) se tendrá la unidad electro-magnética de cantidad, puesto que siendo t ó F la unidad, tambien Q tiene que serlo, y de un modo análogo se determinan las unidades electro-magnéticas de fuerza electro-motriz, resistencia y capacidad por medio de las correspondientes ecuaciones. Obsérvese que segun la manera de determinar el valor de la unidad de corriente por medio de la fórmula (3), puede definirse esta unidad diciendo que es la fuerza de una corriente circular de la unidad de longitud y de la unidad de radio, que ejerce la unidad de fuerza sobre un polo unidad situado en su centro, ó sea á la unidad de distancia.

Análogamente, la ecuacion (4) nos dice que la unidad electro-magnética de cantidad, es la cantidad de electricidad que produce la unidad electro-magnética de intensidad en la unidad de tiempo; la (5), que dicha unidad de fuerza electro-motriz, es la que resulta cuando la unidad de cantidad produce la unidad de trabajo; la (6) que la de resistencia es la resistencia de un conductor que produce la unidad de intensidad ó de fuerza de corriente con la unidad de

fuerza electro-motriz; y por último, de la (7) se deduce que la de capacidad es la capacidad de un cuerpo ó de un condensador que recibe una unidad electro-magnética de cantidad de electricidad, con la unidad electro-magnética de detención. Se vé, pues, que la unidad de corriente es otra corriente, la de cantidad, otra cantidad y así de las demás; como la unidad de longitud es otra longitud, la de peso, otro peso y lo mismo las demás unidades de uso ordinario.

La magnitud de las unidades electro-magnéticas, varía con las unidades fundamentales de espacio, masa y tiempo que se adopten para determinarlas. Si se adopta el metro, el gramo y el segundo, resultará una série de unidades electro-magnéticas llamadas *Metro-gramo-segundo* que algunos expresan de este modo:

$$\frac{\text{Metro}}{\text{Gramo}}$$

Si la unidad fundamental fuese el centímetro, se tendría la série *Centímetro-gramo-segundo* ó

$$\frac{\text{Centímetro}}{\text{Gramo}}$$

y así de las demás, sobreentendiéndose el segundo.

La experiencia ha demostrado que entre las unidades electro-estáticas y electro-magnéticas

centimetro-gramo-segundo de corriente, existe la relacion.

$$\frac{y}{F} = 28,800,000,000 = v,$$

representando por v esta cantidad, lo que permite expresar la última serie de unidades, en los valores respectivos de la primera. En efecto, de dicha relacion se deduce: $F = \frac{y}{v}$, y sustituyendo este valor de F en la ecuacion (4) se tendrá:

$Q = \frac{yt}{v}$; pero como yt es igual á q , segun la ecuacion (3) de la página 53, resulta: $Q = \frac{q}{v}$. De la

misma manera, sustituyendo estos valores de F y Q en las ecuaciones (5), (6) y (7), y teniendo presente las de la página citada, se obtendrán los de E , R y S , resultando la serie siguiente:

$$F = \frac{y}{v}; \quad Q = \frac{q}{v}; \quad E = ev; \quad R = ev^2; \quad S = \frac{s}{v^2},$$

que puede servir para convertir unas unidades en otras, y demuestra que las electro-magnéticas de corriente, cantidad y capacidad, son mucho más pequeñas que las electro-estáticas correspondientes, sucediendo lo contrario con las de fuerza electro-motriz y resistencia.

— CAPÍTULO II.

**Unidades usuales.—Conductibilidad.
—Resistencia.—Aislamiento.—Cor-
rientes derivadas.**

UNIDADES USUALES.—No es operacion tan sencilla como pudiera creerse, la determinacion de las unidades electro-magnéticas absolutas; pero una vez determinadas, como lo ha hecho la Asociacion Británica para el adelanto de las ciencias, por medio de aparatos y experimentos delicados, pudieran servir para la medicion de las magnitudes eléctricas, la fuerza de la corriente, la cantidad eléctrica, la tension, la resistencia y la capacidad.

La fuerza de la corriente pudiera obtenerse haciéndola pasar por un conductor circular, y determinando la fuerza que ejerce sobre el polo de un iman de intensidad conocida, porque entonces lo serian todas las cantidades que componen el segundo miembro de la ecuacion (4) de la série anterior y por lo tanto el valor de F , el

cual dividido por el valor de la unidad de corriente daría el número de unidades electro-magnéticas que constituyen la fuerza de dicha corriente. Este resultado puede obtenerse por medio de un dinamómetro eléctrico.

La fuerza electro-motriz ó el potencial de una pila resultaría de la ecuacion (5) midiendo el calor desarrollado por la pila y convirtiéndolo en unidades de trabajo, teniendo presente que cada unidad de calor, ó sea el calor necesario para elevar en un grado la temperatura de un gramo de agua pura á su máximo de densidad, equivale á 423,8 metrógramos, ó á 4156,63 unidades absolutas ó naturales de fuerza ó de trabajo. Cada una de estas últimas unidades es igual á $\frac{1}{9,808}$ de la fuerza de la gravedad en

París. (1) En vez de medir directamente el calor desarrollado por la pila, puede calcularse por la fórmula de Joule: $H=I^2Rt$, conociendo la in-

(1) Adoptando por unidad absoluta de fuerza la fuerza necesaria para hacer recorrer á un cuerpo del peso de un gramo la distancia de un metro en un segundo, despues de otro segundo de actuacion, obsérvese que la fuerza de la gravedad en París haría recorrer al mismo cuerpo en el mismo tiempo y en idénticas circunstancias 9,808 metros, y que por lo tanto dicha unidad de fuerza es 9,808 veces menor que la de la gravedad en dicho punto. Además, como el trabajo de una fuerza es el producto de dicha fuerza expresada en kilogramos por la distancia recorrida expresada en metros, siendo en este caso la distancia una unidad de longitud ó sea un metro, el producto, que será la unidad absoluta de trabajo, resultará igual en valor nu-

tensidad de la corriente y la resistencia del circuito.

Obtenida de este modo la fuerza de la corriente y la del potencial de una pila, expresadas en unidades absolutas de fuerza, fácilmente se determinan las otras magnitudes eléctricas por medio de las ecuaciones correspondientes de la série citada.

El valor numérico de estas unidades electro-

mérico á la unidad de fuerza; sólo que en esta representa una fracción de kilógramo y en aquella una fracción de kilográmetro. Lo mismo sucede con las unidades derivadas. El kilográmetro, que es una unidad usual de trabajo y representa el trabajo de un cuerpo del peso de un kilógramo elevado á un metro de altura en un segundo, es igual en valor numérico al peso de este cuerpo, y lo mismo sucede con el metrógrafo, que es la milésima parte del kilográmetro, ó sea el trabajo hecho al elevar un cuerpo del peso de un gramo á la altura también de un metro en un segundo, y naturalmente ha de ser 1000 menor, puesto que lo es uno de sus factores. Una fuerza igual á la de la gravedad, si ésta dejase de obrar en aquel momento, elevaría un cuerpo del peso de un gramo á la altura de 9,808 metros en un segundo en París; mientras que la unidad de fuerza, que es 9,808 veces menor, solo lo elevaría á un metro; pero como la gravedad actúa en sentido contrario con una fuerza representada por 9,808, sólo podrá elevar á un me-

tro de altura $\frac{1}{9.808}$ de gramo, y para elevar un gramo á un metro de altura en un segundo, se necesita una fuerza 9,808 veces mayor: y como en este caso resulta un metrógrafo, se deduce que esta unidad de trabajo es igual á 9,808 unidades absolutas de fuerza. Para elevar un kilógramo á un metro de altura, se necesita una fuerza 1000 veces mayor, y por lo tanto, el kilográmetro se compone de 1000 metrógramos. *El caballo de vapor equivale á 75 kilográmetros.*

magnéticas no es á propósito para la práctica, porque unas son más grandes y otras más pequeñas de lo que conviene; por lo cual, la citada Asociacion Británica formó otra série de unidades dando á cada una de éstas una fraccion ó un número determinado de unidades electro-magnéticas. «Metro-gramo-segundo», de la especie correspondiente.

VOLTA.—La Asociacion asignó 100,000 ó sea 10^5 unidadeseléctro-magnéticas. «Metro-gramo-segundo» á la nueva unidad electro-magnética de fuerza electro-motriz y le dió el nombre de *Volta*.

OHM.—A la unidad de resistencia le dió 10.000,000 ó sea 10^7 unidades electro-magnéticas de resistencia y la llamó *Ohmad*, habiendo recibido despues el nombre de *Ohm*.

FARADIA.—La unidad de cantidad resulta, como hemos dicho, cuando una corriente recorre un circuito de la unidad de resistencia con la unidad de tension ó de fuerza electro-motriz durante la unidad de tiempo; de manera que si en la ecuacion $Q = \frac{E}{R} \times t$, ponemos en lugar de E el valor de un Volta y de R el de un Ohm, y hacemos $t=1$ resultará que la nueva unidad de cantidad será:

$$\frac{10^5}{10^7} = \frac{1}{100} = 10^{-2}$$

de la unidad absoluta, ó electro-magnética absoluta, de cantidad eléctrica. La referida Asociacion dió el nombre de *Farad* á esta unidad, á la cual algunos llaman *Fara*, y nosotros por lo regular *Faradia*, como proponen los Sres. Araujo y Fiol en su *Memoria sobre el tendido del primer cable de Baleares*.

WEBER.—La fuerza de la corriente es proporcional á la cantidad de electricidad que suministra la pila que la produce en un tiempo determinado, y puede medirse por esta cantidad, de manera que la unidad de corriente será la cantidad suministrada en la unidad de tiempo ó sea en un segundo, y por lo tanto es 10^{-2} , una *Faradia por segundo*, ó un *Weber*, nombre dado por Mr. Lartimer Clark á esta unidad.

LA UNIDAD DE CAPACIDAD se deduce de la fórmula $S = \frac{Q}{E}$ poniendo en vez de Q la unidad de cantidad y por E la unidad de tension y será igual á

$$\frac{10^{-2}}{10^{-5}} = \frac{1}{10^{-7}} = 10$$

tambien se le da el nombre de *Faradia*. Como en la expresada fórmula para que S sea la unidad es preciso que Q y E lo sean tambien, resulta que la unidad de capacidad es la *capacidad* ó el *espacio* ó la superficie que contiene la uni-

dad de cantidad con la unidad de tension. Es por ejemplo un condensador que aplicado á una pila, cuya tension ó fuerza electro-motriz sea de un Volta, adquiere la carga de una Faradia.

Vemos, pues, que hay tres faradias, lo cual ha sido origen de gran confusion hasta para personas versadas en la ciencia de la electricidad; pero en nuestro humilde concepto no hay seguramente motivo para ello, porque lo mismo sucede con todas las medidas llamadas de capacidad ó de cabida.

A una vasija de un decímetro cúbico de volumen interior, se le da el nombre de *litro*, y es la unidad de capacidad ó de cabida. Si esta vasija se llena de agua, donde quiera que se eche este líquido, tendremos un litro de agua, unidad de cantidad para medir el agua, los demás líquidos y los áridos. Si aplicamos la vasija-litro al caño de una fuente, podremos saber cuántas veces se llena en un tiempo determinado, por ejemplo en un segundo, y diremos que el caño suministra tantos ó cuantos litros de agua por segundo, y resulta el litro unidad para medir la corriente de un líquido, cuya medicion puede hacerse recogiendo en un depósito el líquido que suministra en un segundo, y viendo despues el número de litros que este contiene.

Pues una cosa análoga, y tan sencilla como esta, sucede con la Faradia. Una *vasija* metálica

de las dimensiones de $\frac{1}{10^{-7}}$ ó de $\frac{1}{10000000}$ de la unidad electro-magnética absoluta de capacidad eléctrica, seria una Faradia, *unidad de capacidad ó de cabida* para la electricidad. Aplicada esta medida á una pila ó á otro origen cuya tension ó fuerza electro-motriz fuese de un Volta se *llenaria* con una unidad de electricidad y resultaria la Faradia, *unidad de cantidad* eléctrica. *Recogiendo* en un *depósito*, en un condensador, la cantidad de electricidad suministrada por una pila en un segundo, y averiguando, lo que es fácil, cuántas faradias de cantidad habia en este condensador, se sabria cuántas *faradias por segundo* daba la corriente de esta pila, de manera que la unidad para medir esta corriente viene á ser una *Faradia por segundo*, ó un Weber. Los que no admiten esta denominacion, suelen decir simplemente que una corriente es de tantas ó cuantas faradias, y se sobreentiende que es por segundo de tiempo.

En realidad la Faradia es una, como el litro es uno, pero como puede aplicarse á tres objetos diferentes, tambien puede admitirse, y así lo hacen algunos, como tres distintas Faradias. Otros admiten dos y otros solo una, la de cantidad, aplicada á la medida de la electricidad acumulada en los condensadores ó en los cables, que es lo que más ordinariamente ocurre, y entónces

la fuerza de las corrientes no se expresa en Webers, aunque es lo más natural, sino en *grados* ó en valor de otra corriente, y en vez de llamar *Faradia* á un condensador que *hace*, digámoslo así, una unidad de electricidad, como se llama litro una vasija de un decímetro cúbico, se dice un condensador de una Faradia. De esta divergencia de pareceres, hijas muchas veces del amor propio ó del orgullo nacional, nace principalmente la confusion y el embrollo de este asunto tan sencillo, supuesta ya la determinacion de las unidades electro-magnéticas, confusion que crece de punto, á causa de que unos electricistas adoptan la *série* electro-magnética «*Metro-gramo-segundo*» y otros la «*Centímetro-gramo-segundo*,» la «*Milímetro-gramo-segundo*» ú otra semejante, de donde resultan espresiones ó fórmulas diferentes para el Volta, el Ohm y demás unidades usuales, por más que el valor sea el mismo, como dos duros equivalen á diez pesetas, pues todo depende del valor de la unidad.

Así es que el Volta, por ejemplo, que se compone de 10^5 unidades absolutas «*Metro-gramo-segundo*» de tension, consta de 10^8 unidades absolutas «*Centímetro-gramo-segundo*,» tambien de tension ó fuerza electro-motriz, lo que depende de que para determinar las primeras se ha supuesto que la unidad de fuerza era la fuerza que hacia recorrer á un gramo el espacio de un metro en un

segundo, y para determinar las segundas la unidad de fuerza era solamente la necesaria para hacer recorrer al mismo gramo el espacio de un centimetro en el mismo tiempo, y evidentemente esta unidad de fuerza es menor que la primera, y la misma relacion habrá de existir, como es consiguiente, entre las unidades absolutas «*Metro-gramo-segundo*» y «*Centímetro-gramo-segundo*,» y siendo estas menores, se necesitará un número mayor para componer la misma cantidad.

Hemos dicho que la unidad de tension lo es tambien de fuerza electro-motriz, y en efecto, esta fuerza es una diferencia de tension ó de potencial que naturalmente ha de ser de la misma especie, un trabajo hecho ó una resistencia vencida, ó que es susceptible de hacer ó de vencer, y que en unidades electro-magnéticas absolutas de cualquiera série, resulta espresada en metró-gramos.

Patrones ó tipos.—Con estas nuevas unidades electro-magnéticas Volta, Ohm y Faradia, triple, doble ó sencilla, solo se ha conseguido regularizar la série, poniéndola más en armonía con el valor de las magnitudes eléctricas, que por lo regular ocurre apreciar y medir; pero esto por sí solo no facilitaría en gran manera dichas operaciones. En la práctica es conveniente medir las magnitudes eléctricas como se miden las

longitudes, las superficies y los volúmenes, esto es, por medio de tipos ó patrones de la misma especie que se toman por unidad.

La Asociacion Británica construyó diez patrones, procurando dar á cada uno una unidad Ohm de resistencia; pero habiendo resultado con alguna diferencia, adoptó un término medio para dicha unidad. De estos diez patrones dos son de platino, dos de mercurio y los demás de varias ligas metálicas. Por lo demás resulta que el Ohm es la resistencia de un prisma de mercurio puro á 0° centígrados, de un milímetro de seccion y de 1,0486 metros de longitud.

Hasta el presente no hay patron conveniente de fuerza electro-motriz; pero un elemento puro, Daniell, tiene próximamente la fuerza electro-motriz de un Volta y puede servir de tipo en la práctica, lo mismo que la de sulfato de mercurio de Mr. Lartimer Clark, cuya fuerza electro-motriz es de 1.457 voltas.

Los condensadores son tipos de capacidad y se construyen de la capacidad de diferentes fracciones de Faradia.

De esta manera las mediciones eléctricas se reducen á una simple comparacion, como las mediciones ordinarias, y como ocurre medir magnitudes muy distintas, se han formado múltiplos y sub-múltiplos de las unidades principales, á los cuales se ha dado un nombre particular.

Un millon de <i>voltas</i> se llama	<i>Megarolta.</i>
Un millon de <i>Ohms</i> »	<i>Megohom.</i>
Un millon de <i>Faradias</i> . »	<i>Megafaradia.</i>
La millonésima parte de	
un <i>Volta</i> »	<i>Microvolta.</i>
La de una <i>Faradia</i> »	<i>Microfaradia.</i>
La de un <i>Ohm</i> »	<i>Microhom.</i>
La milésima parte de un	
<i>Weber</i> »	<i>Miliweber.</i>

El Ohm suele representarse por las iniciales B. A. que quieren decir: «*Unidad de la Asociacion Británica,*» y por la letra griega ω y el megohom por la misma letra mayúscula Ω . Mr. Preece propone que la Faradia se represente por Φ y la microfaradia por ϕ , el Weber por Γ y el miliweber por γ . Para completar la série, debia representarse el Volta por β y el microvolta por ϵ .

Diferentes unidades eléctricas.—Un elemento termo-eléctrico bismuto-cobre con una temperatura de 0° en una soldadura y de 100 en la otra, ó un elemento Daniell, han servido por lo regular de término de comparacion para determinar las fuerzas electro-motrices, y uno de estos ó el de Lartimer Clark, sobre todo, servirán en lo sucesivo para este objeto hasta que se encuentre un tipo más á propósito fundado tal vez en otro origen de fuerza electro-motriz.

En la unidad de resistencia ha existido ma-

yor variedad. En Francia se adoptó por tipo la resistencia de un kilómetro de alambre de hierro de 4 milímetros de diámetro, y en Inglaterra la de Varley que es la resistencia á 15, 5° centígrados de una milla de un alambre de cobre puro recocido, de $\frac{1}{16}$ de pulgada inglesa de seccion.

La unidad Siemens, que disputa la preferencia al Ohm, es la resistencia á 0° centígrados de un prisma de mercurio puro, de un milímetro cuadrado de seccion y de un metro de altura, y ha sido adoptada por las naciones del convenio telegráfico.

La unidad Ohm contiene 1,0456 unidades Siemens, y una de éstas 0,9564 Ohms; de manera que 100 unidades Siemens equivalen próximamente á 95 unidades Ohm y 100 de éstas á 105 de aquéllas, de donde resulta que cuando no se necesite mucha exactitud, se puede convertir un número dado de unidades Ohm en unidades Siemens añadiendo el 5 por 100 á dicho número y un número de las segundas en otro de las primeras, rebajando la misma cantidad.

Hemos procurado explicar con la mayor claridad y precision que nos ha sido posible, el origen y el valor de las unidades eléctricas de la Asociacion Británica, que es cuanto podia hacer, si bien lo ha hecho y no ha cometido algunos lamentables errores, el autor de este libro, modes-

to obrero de la ciencia telegráfica; y si alguno desea conocer á fondo este importante asunto, preciso será que se tome la molestia de estudiar con detenimiento las obras y las publicaciones de la ilustre pléyade de electricistas ingleses formada por los Sres. Clark, Culley, Faraday, Fleming, Joule, Matthiessen, Maxwell, Siemens, Thonson, Varley y otros, que al resolver el gran problema de la telegrafía submarina, han creado una nueva ciencia de la electricidad llamada: «*De los Electricistas prácticos.*»

CONDUCTIBILIDAD.—En las cátedras de Física suele hacerse un experimento que patentiza y pone de manifiesto á los sentidos, la diversa conductibilidad calorífica ó poder conductor del calor, de los cuerpos metálicos. En una de las extremidades de varias varillas de diferentes metales, pero de la misma longitud y del mismo diámetro, se coloca una bola de cera, y las otras extremidades de estas varillas se introducen en un foco de calor. Las bolas de cera no caen al mismo tiempo, sino unas despues de otras, lo que demuestra la diversa conductibilidad de los metales.

Si de un modo análogo, ponemos en comunicacion con una pila varios alambres de la misma longitud y del mismo diámetro, pero de diferentes metales, colocando un galvanómetro en cada circuito, cada galvanómetro marcará un

número distinto de grados, lo que demuestra que unos metales conducen mejor y en más abundancia que otros el *fluido* eléctrico. Se supone, como es consiguiente, que todos los galvanómetros son iguales, esto es, que todos marcarían el mismo número de grados, con la misma pila y con un circuito de la misma resistencia.

Las intensidades de las corrientes de una misma pila, al traves de estos hilos metálicos de la misma longitud y de igual diámetro, pero de distinta naturaleza, medidas con un mismo galvanómetro, representan la conductibilidad ó el poder conductor de los respectivos metales. Dos hilos de cobre igualmente puro, de la misma longitud y del mismodiámetro y por consiguiente de la misma seccion, darán corrientes de la misma intensidad y tendrán la misma conductibilidad. Pero si un hilo fuese de cobre y el otro de hierro, las intensidades de las corrientes serian distintas y mucho mayor para el cobre que para el hierro, lo que demostraria que el poder conductor del cobre es mayor que el del hierro.

La conductibilidad de los metales de la misma naturaleza varía tambien con el grado de pureza y con la disposicion de sus moléculas. El cobre puro es mejor conductor que el del comercio, y la conductibilidad del cobre recocido es mayor que la del batido. Lo mismo sucede con todos los metales, y como al pasarlos por la hi-

lera sufren los alambres un verdadero batido, es conveniente recocer los hilos telegráficos después de pasados por aquella, á fin de darles toda la conductibilidad de que son susceptibles según su naturaleza.

El poder conductor de los cuerpos varía extraordinariamente: por unos se propaga con bastante facilidad el movimiento eléctrico, mientras que otros oponen á su paso una resistencia de más ó ménos consideracion, por cuyo motivo los físicos los han dividido en *conductores*, *cohibentes* ó *aneléctricos* y en *aisladores* ó *dieléctricos*; pero como no hay cuerpos que sean conductores ó aisladores en absoluto, puesto que todos conducen la electricidad en mayor ó menor grado, es más exacto considerarlos divididos en *buenos* y *malos conductores* del *fluido* eléctrico.

Debemos advertir que en un principio, cuando se creia que unos cuerpos eran susceptibles de electrizarse por frotamiento y que otros no gozaban de esta propiedad, se dió á los primeros el nombre de *dieléctricos* y á los segundos el de *aneléctricos*. Los dieléctricos eran los malos conductores, como el vidrio, la resina, el azufre y el lacre; y los aneléctricos, los buenos conductores, como los metales.

No es posible establecer una perfecta division entre los cuerpos buenos y malos conductores, pero se puede decir que pertenecen al primer gru-

po los que como los metales pueden en circunstancias ordinarias, propagar la electricidad en forma de corriente; y al segundo aquellos al traves de los cuales, no puede propagarse este agente, con la intensidad necesaria para actuar sobre la aguja de un galvanómetro, por sensible que este sea. El que una corriente pueda pasar al traves de un cuerpo aislador ó mal conductor, depende del espesor y longitud de este y de la fuerza electro-motriz de la pila; pero es indudable que la corriente de una pila de las que comunmente se emplean en la telegrafía, no pasaría al traves de un trozo de resina, de guttapercha ó de azufre de algunos centímetros de espesor ó de longitud, y por lo tanto diremos que esas sustancias son aisladoras, malas conductoras, dieléctricas ó cohibentes.

En un conductor cilíndrico homogéneo, la conductibilidad es proporcional á la seccion del conductor, y recíprocamente proporcional á la longitud del mismo. En efecto, la esperiencia demuestra que la cantidad de electricidad que pasa por un conductor, aumenta con la seccion de este y disminuye con su longitud, lo que prueba que la electricidad se propaga mejor y en más abundancia cuanto mayores dicha seccion, sucediendo lo contrario á medida que aumenta la longitud del circuito. Además como la electricidad se propaga por la masa, y ésta, á

igualdad de longitud, es tanto mayor cuanto mayor es la seccion, resulta que la conductibilidad debe aumentar en proporcion de la seccion.

Como la intensidad de la corriente, ó sea la cantidad de electricidad que pasa en la unidad de tiempo por cada seccion del circuito, depende evidentemente de la conductibilidad de éste y de la fuerza electro-motriz, representando por S la seccion del conductor y por L en longitud tendremos:

$$V = \frac{S E}{L}$$

y en general para un conductor cilíndrico de una naturaleza cualquiera, segun ha demostrado Mr. Gaugain, experimentalmente:

$$V = \gamma \frac{S E}{L}, \text{ ó } V = \gamma \frac{S}{L} h$$

siendo h la diferencia de tension de los extremos de una parte del conductor y γ un coeficiente constante para todos los conductores de la misma naturaleza y que varía para los de naturaleza diferente. Como fácilmente se comprende, γ no puede ser otra cosa que la conductibilidad específica de la cual depende la conductibilidad total ó real de cada conductor.

La conductibilidad específica es la cantidad de electricidad que pasa en la unidad de tiempo con la unidad de tension, por un conductor cuya

sección y cuya longitud son iguales á la unidad, ó sea el valor que resulta para F en la fórmula anterior, haciendo, S , E y L iguales á la unidad. En efecto entónces la ecuacion anterior dá:

$$F=\gamma.$$

De aquí resulta que para determinar la conductibilidad específica de varios cuerpos, bastaría formar un prisma ó un cilindro de cada uno de ellos de la unidad de base y de la unidad de altura, y determinar la intensidad de la corriente de un elemento Daniell al traves de estos prismas ó cilindros. Estas intensidades representarían las respectivas conductibilidades específicas. Las longitudes de los conductores de estas condiciones que produjesen corrientes de la misma intensidad, estarían en razon inversa de la conductibilidad específica de cada uno de ellos, y servirían por consiguiente para determinarla. Suele tomarse por resistencia específica de una sustancia, la que existe entre dos caras paralelas de un centímetro cúbico de esta sustancia, y determinada de este modo la resistencia específica, lo recíproco sería la conductibilidad específica. La resistencia de un centímetro cúbico de cobre, es 1,616 microhoms, y por lo tanto la conductibilidad específica del cobre puro será el recíproco $\frac{1}{1,616}$. La del hierro puro es $\frac{1}{9,825}$.

El poder conductor de los metales disminuye

con la temperatura, pero no en la misma proporcion en todos ellos, ni en relacion constante con la diferencia de calor, como aparece en la tabla al final. Es digno de observarse que los mejores conductores del calórico lo son tambien, en general, de la electricidad.

El calor aumenta la conductibilidad del carbon y de los cuerpos sólidos malos conductores. Pero hay que advertir que cuando se calientan, parece al principio que aislan mejor, pero luego se observa que en último resultado aumenta la conductibilidad. Como en la superficie de estas sustancias existe por lo regular una capa de humedad que da paso á una cantidad más ó menos apreciable de electricidad, al secarse con el calor aumenta momentáneamente el aislamiento, para disminuir despues con la elevacion de temperatura. El vidrio, el hielo y otras sustancias aisladoras en el estado sólido, pueden dar paso á una corriente eléctrica cuando están fundidas. Otros, como el azufre y el fósforo, no gozan de esta propiedad.

Igualmente aumenta con la temperatura el poder conductor de los líquidos y de los gases. La conductibilidad de las disoluciones salinas aumenta con la densidad hasta cierto punto, pasado el cual disminuye. Lo mismo sucede con las disoluciones de los ácidos, como el sulfúrico, nítrico y clorhídrico; con la circunstancia de

que la disolucion á que corresponde el máximum de conductibilidad, es la que ataca con más energía los metales oxidables como el zinc y el hierro. En las disoluciones de ácido sulfúrico es más notable la diferencia de conductibilidad que en los demás. Varias sustancias aisladoras adquieren un grado de conductibilidad más ó ménos notable cuando están disueltas en el agua; pero en este caso la conduccion de la electricidad va acompañada de la descomposicion química ó *electrolisis*.

Creian algunos físicos que la electricidad estaba retenida por la presion atmosférica en la superficie de los cuerpos aislados; pero eso seria suponer que la electricidad estaba dotada de cierta fuerza de expansion como los flúidos elásticos, lo que no sucede. Además, colocado un cuerpo electrizado en el vacío, debia perder instantáneamente su carga eléctrica, lo que tampoco se verifica, segun han observado varios físicos eminentes. La propagacion de la electricidad en el vacío no tiene lugar por conduccion, sino á distancia, y se comprende sin esfuerzo que este modo de propagacion sea más fácil en el vacío que al traves del aire, que presenta una gran resistencia.

El aire, pues, obra únicamente como un cuerpo aislador. Si fuese buen conductor, no seria posible mantener un cuerpo electrizado en con-

tacto con la atmósfera, y habria que forrar los hilos telegráficos aéreos con una sustancia aisladora como los que han de enterrarse ó sumergirse. El aire, sin embargo, no aísla perfectamente y aunque esté seco, posee algun poder conductor que da lugar á una disminucion más ó ménos considerable en la carga eléctrica de los cuerpos, cuya pérdida aumenta con la temperatura, con la cantidad de vapor de agua contenido en el aire y con la proximidad de los cuerpos circunvecinos y es independiente de la agitacion del aire cuando está seco.

RESISTENCIA.—Cualquiera que sea la naturaleza de la electricidad y la manera de propagarse, es indudable que todos los cuerpos presentan, como ya hemos indicado, más ó menos resistencia al paso de la corriente eléctrica, áun los mejores conductores, lo cual no es de extrañar si se tiene en cuenta que todo movimiento y todas las manifestaciones de este flúido, van acompañadas de fenómenos químicos, físicos, fisiológicos ó mecánicos, que revelan la existencia de fuerzas de más ó ménos consideracion, una trasformacion de energíá, un trabajo hecho, ó una resistencia vencida.

La resistencia eléctrica de los cuerpos depende de su naturaleza y de su constitucion molecular, y segun sea aquella y la disposicion y distanciamiento de sus moléculas, así es la resistencia

sente que en este caso los cuadrados de los diámetros, han de estar en razon inversa de las respectivas conductibilidades específicas C y C' y que por lo tanto tendremos la siguiente relacion:

$$\frac{x^2}{d^2} = \frac{c}{c'}, \text{ de donde: } x = d \sqrt{\frac{c}{c'}}.$$

Si por ejemplo se quisiera determinador el diámetro de un alambre de cobre que á igualdad de longitud tuviese la misma conductibilidad que uno de hierro de cinco milímetros de diámetro, teniendo presente que siendola conductibilidad del cobre seis veces mayor que la del hierro, representando la de éste por 1, la del cobre sería 6, podemos establecer la siguiente proporcion, representando por x el diámetro que se busca: $x^2 : 5^2 :: 1 : 6$, de donde se deduce:

$$x^2 = \frac{5^2}{6} \text{ y } x = \frac{5}{\sqrt{6}} = \frac{5}{2,44} = 2,04$$

Determinacion de la resistencia que ha de tener un conductor para que pueda sustituir á otros varios entre los cuales se divide una corriente, sin que alteren las condiciones del circuito. Supongamos que sean dos los conductores cuya respectiva resistencia representaremos por R y r . Segun lo que ántes hemos dicho la conductibilidad del primero sería $\frac{1}{R}$ y la del segundo

$\frac{1}{r}$ y como la conductibilidad del que los sustituya ha de ser igual á la suma de estas conductibilidades, si la designamos por C tendremos:

$$C = \frac{1}{R} + \frac{1}{r'} \text{ ó sumando los quebrados: } C = \frac{R+r}{R r},$$

Pero como lo que se busca es la resistencia que llamaremos x , la cual es lo recíproco de la conductibilidad ó sea la unidad dividida por esta conductibilidad resultará:

$$x = \frac{1}{C} = \frac{1}{\frac{R+r}{R r}}, \text{ y por último: } x = \frac{R r}{R+r}.$$

Si los conductores fueren tres y sus respectivas resistencias R , r y r' , la conductibilidad del que los sustituyera sería:

$$C = \frac{1}{R} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} = \frac{Rr+Rr'+rr'}{R \times r \times r'} \text{ y } x = \frac{R+r+r'}{Rr+Rr'+rr'}$$

De manera que para determinar la resistencia de un conductor que pueda sustituir á otros varios sin que alteren las condiciones del circuito no hay más que sumar las respectivas conductibilidades de éstos conductores y dividir la unidad por esta suma, y el cociente será la resistencia que se busca.

Supongamos por ejemplo que la corriente se

divide entre dos conductores cuyas resistencias sean 20 y 30 *Ohms* respectivamente, sería

$$C = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{50}{600} = \frac{5}{60}$$

y la resistencia que se busca:

$$x = \frac{60}{5} = 12.$$

Si los conductores fueren cuatro y las respectivas resistencias, 16, 40, 70 y 100 tendríamos:

$$C = \frac{1}{16} + \frac{1}{40} + \frac{1}{70} + \frac{1}{100},$$

$$y \quad x = \frac{4.480,000}{500,800} = \frac{44,800}{5,008} = 8,94.$$

Estas fórmulas sólo son exactas para los conductores sólidos como los metales, porque en el caso de que uno ó más fuesen líquidos, la cuestion varia á causa de la resistencia llamada de *pase*, que se presenta al pasar la corriente de un metal á un líquido ó al revés, y que es independiente de la que corresponde á estos cuerpos. Créese que en esto no hay aumento de resistencia sino disminucion en la fuerza de la corriente, la cual invierte parte de su energía en descomponer el líquido que atraviesa.

Determinacion de la conductibilidad del cobre

ordinario siendo 100 la del cobre puro.—Supongamos un hilo de cobre del comercio de L kilómetros de longitud y cuyo peso sea de P kilogramos por kilómetro: representemos su resistencia real por R y por r la resistencia de un kilómetro de cobre puro que pese un kilogramo.

La resistencia de un hilo de cobre puro de la longitud de L kilómetros y del peso de P kilogramos por kilómetro, será: $\frac{Lr}{P}$, porque la resistencia de un conductor rectilíneo y homogéneo como el hilo de que se trata, está en razón directa de la longitud é inversa del peso, puesto que cuanto mayor sea el peso, mayor será la masa y por tanto la conductibilidad. Tenemos, pues:

Resistencia del hilo ordinario de cobre.. R

Idem de un hilo igual de cobre puro.... $\frac{Lr}{P}$

Y como las conductibilidades están en razón inversa de las resistencias, si llamamos x la conductibilidad buscada y recordamos que la del cobre puro es 100 tendremos la siguiente proporción:

$$\frac{x}{100} = \frac{P}{R} = \frac{Lr}{P R} \text{ de donde: } x = \frac{Lr \times 100}{P R}.$$

Cuando el hilo es de corta longitud puede seguirse con ventaja otro método. Según Mat-

thiessen, la resistencia de un hilo de cobre puro de un metro de largo y del peso de un gramo es de 0,1440 *Ohms*, á la temperatura de 0° centígrados ó sean 32 de Fohrenheit, de donde se deduce que la resistencia de otro hilo tambien de cobre puro de la longitud de L metros y del peso de P gramos, será;

$$\frac{0,1440 \text{ Ohms} \times L^2}{P}$$

En efecto, si estiramos el hilo hasta hacerlo de doble longitud sin alterar su peso de un gramo, la resistencia se hará doble una vez por ser doble la longitud, y otra vez por reducirse la seccion ó la mitad como tiene que suceder puesto que el peso no varía. El hilo así estirado tendría una resistencia cuatro veces mayor que ántes. Si lo hiciéramos de triple longitud conservando el mismo peso, la resistencia sería nueve veces mayor; de manera que en hilos del mismo peso y de la misma especie, la resistencia es proporcional al cuadrado de la longitud, puesto que á una longitud como 2 corresponde una resistencia como 4, y á una como 3 una resistencia como 9.

Por otra parte, si la longitud permanece la misma y el peso se hace doble, la resistencia se reducirá á la mitad, puesto que á doble peso corresponde doble masa y por lo tanto doble seccion. Es como si tuviéramos dos hilos enteramente

iguales al primitivo. Así, pues, á igualdad de longitud, la resistencia está en razon inversa del peso, con los hilos indicados, y en general, la resistencia de un hilo homogéneo y de seccion constante, está en razon directa del cuadrado de la longitud y en razon inversa del peso.

De aquí se deduce que conociendo la resistencia de un hilo de una longitud y de un peso dados, podemos hallar la resistencia de otro hilo de la misma naturaleza de diferente longitud y de distinto peso. Si representamos por R' , L' y P' la resistencia, longitud y peso del hilo conocido, y por R , L y P las cantidades análogas

del otro tendremos: $R : R' :: \frac{L^2}{P} : \frac{L'^2}{P'}$. Si su-

ponemos que uno de los hilos es de un metro de longitud y de un gramo de peso, su resistencia será: 0,1440, y sustituyendo en la proporcion

anterior se convertirá en $R : 0,1440 :: \frac{L^2}{P} : \frac{1^2}{1}$

de donde:

$$R = \frac{0,1440 \times L^2}{P}$$

Mediante esta fórmula podemos hallar la resistencia de un hilo de cobre puro de la misma longitud y del mismo peso que el hilo de que se trata, y del mismo modo que en el caso anterior podemos hallar el tanto por ciento de conductibilidad específica de este hilo, respecto á la del cobre puro.

AISLAMIENTO. — Cuando un cuerpo electrizado se halla sobre un apoyo de vidrio, de lacre, de azufre ó de cualquiera otra sustancia de las que ofrecen una gran resistencia al paso de la electricidad, y sin más comunicacion que con el aire, y un conductor que sólo se apoya en sustancias de la misma clase, se dice que están aislados.

Como no existe ningun cuerpo que impida en absoluto el paso de la electricidad, resulta que el aislamiento nunca puede ser completo. Un cuerpo ó un conductor, perderán constantemente una parte de su carga eléctrica por el aire, si con él están en contacto y por los apoyos, y la pérdida será tanto menor cuanto mayor sea la resistencia de aquél y de éstos. Por lo tanto el aislamiento es proporcional á la resistencia de los cuerpos por los cuales se pierde ó pasa á la tierra una parte más ó menos considerable de una corriente ó de una carga eléctrica, y esta resistencia será la medida exacta del aislamiento.

Si en la figura 12, suponemos que la resistencia del conductor *C E G* es de 800 unidades *Ohms*, diremos tambien que el aislamiento de dicho conductor, suponiendo que en él no exista ninguna otra derivacion, es de 800 *Ohms*.

El aislamiento disminuye con la longitud del conductor, y si las derivaciones ó pérdidas de corriente se hallan uniformemente repartidas en

toda su extension, el aislamiento está en razon inversa dedicha longitud. Es evidente que en dos kilómetros de hilo habrá más pérdida de electricidad por el aire y por los apoyos que en uno solo, y que esta pérdida aumentará con la longitud. Si el conductor fuese un cable enterrado ó sumergido en el agua, en cada kilómetro existirá una pérdida determinada de electricidad y la pérdida total aumentará con la longitud del cable.

Si las derivaciones estuviesen uniformemente repartidas en toda la longitud del conductor, en cada kilómetro, por ejemplo, tendria lugar una pérdida igual y por lo tanto la pérdida total sería igual á la de un kilómetro multiplicada por el número de kilómetros, ó sea proporcional á la longitud, y por consiguiente el aislamiento, que es lo recíproco de esta pérdida, estará en razon inversa de la longitud del conductor.

De aquí se deduce que si la longitud y el aislamiento de un conductor que se halla en las expresadas circunstancias, fuesen respectivamente l y a , el aislamiento de la unidad de longitud será $a \times e$. Si el conductor tiene una longitud de n kilómetros, el aislamiento por kilómetro será $a \times n$. Esto es evidente, puesto que á una longitud n veces menor, como es un kilómetro respecto de n kilómetros, corresponderá un aislamiento n veces mayor.

Si en el conductor CE figura 12, lámina 1.^a las derivaciones se hallan uniformemente repartidos, como puede suponerse en un hilo telegráfico en el cual no exista ninguna derivacion accidental, representamos por r la resistencia de todo el conductor y por R la resistencia de aislamiento de la parte CD , podemos determinar el aislamiento de la parte DE .

En efecto, todas las derivaciones de CD pueden considerarse reunidas en un punto tal como m y representadas por un conductor mt cuya resistencia sea R , y las del trozo DE en otro punto n y reemplazadas por otro conductor nt' de resistencia x por ser lo que se busca.

Segun hemos demostrado, los dos conductores pueden sustituirse, sin que varien las condiciones del problema, por un solo conductor cuya

resistencia sea: $\frac{Rx}{R+x}$ y como esta resistencia representa la del aislamiento de todo el conductor CE que hemos llamado r , tendremos:

$\frac{Rx}{R+x} = r$; de donde se deduce sucesivamente:

$Rx = Rr + rx$; $(R-r)x = Rr$, y por último:

$$x = \frac{Rr}{R-r}$$

DERIVACIONES Ó CORRIENTES DERIVADAS.—
Cuando se unen dos puntos cualesquiera F y D

de un circuito por medio de un conductor tal como $F r' D$, figura 11 lámina 1.^a, se dice que se establece una *derivacion*. Los dos puntos F y D se llaman *puntos de derivacion*, el conductor $F r' D$ *hilo de derivacion* y la parte $F r D$, *circuito parcial*. La corriente que pasaba por el circuito $Z C D r F Z$ ántes de establecer la derivacion se llama *corriente primitiva*; la que pasa por todo el sistema despues de establecida la derivacion, *corriente principal*; la parte de corriente que pasa por el hilo de derivacion, *corriente derivada*; y la que pasa por el circuito parcial, *corriente parcial*. Es de advertir que la corriente principal es siempre mayor ó de más fuerza que la primitiva, porque con la adición del hilo $F r' D$ se disminuye la resistencia del circuito primitivo.

En la figura 12, prescindiendo de las líneas mt y nt' que sirvieron para otro objeto, el circuito está formado en parte por la tierra y el hilo de derivacion $D F$, el circuito parcial $D E G F$ y el circuito primitivo $Z E G H Z$.

Es de la mayor importancia la determinacion de los valores de las corrientes principal, parcial y derivada, lo que puede hacerse por medio de las leyes de Kirchoff, que son los siguientes:

1.^a *La suma de las corrientes que pasan por un punto, considerando como positivas las que se acercan y como negativas las que se alejan, ó al contrario, es igual á cero.*

2.^a *La suma de las fuerzas electro-motrices que actúan en un circuito, es igual á la suma de los productos de la intensidad de cada corriente por la resistencia de la parte de circuito que recorre.*

La exactitud de la primera ley se reconoce desde luego inspeccionando la figura 13 lámina 1.^a en la cual tres corrientes distintas pasan por el punto P , como puede suceder si los conductores están cubiertos de una sustancia aisladora, y es evidente, que considerando como positivas las corrientes a , b' y c que se dirigen á dicho punto y las a' , b y c' que se alejan de él como negativas, la suma ha de ser cero. Si se reuniesen dos corrientes, como a y c , por ejemplo, la corriente resultante sería igual á la suma de las a' y c' .

Para demostrar la segunda ley, supónganse, figura 14 lámina 1.^a, tres pilas intercaladas en un mismo circuito, formado por los tres alambres r , r' r'' que las unen. Si representamos por H y h la tensión respectiva en las extremidades del trozo r , por H' y h' en las del r' , por H'' y h'' en las del r'' , y por F , F' , F'' las intensidades de la corriente en cada uno de dichos trozos,

tendremos para el primero: $F = \frac{H-h}{r}$; para el

segundo: $F' = \frac{H'-h'}{r'}$ y para el tercero:

$F'' = \frac{H'' - h''}{r''}$; de los cuales se deduce: $H - h = F r$; $H' - h' = F' r'$; $H'' - h'' = F'' r''$; y sumando estas ecuaciones resulta: $H - h + H' - h' + H'' - h'' = F r + F' r' + F'' r''$, ó lo que es lo mismo: $(H - h'') + (H' - h) + (H'' - h') = F r + F' r' + F'' r''$; pero como $H - h''$ es la diferencia de tension polar de la pila H , $H' - h$ de la H' y $H'' - h'$ de la H'' , es evidente que estas diferencias no son otra cosa que las respectivas fuerzas electro-motrices de estas pilas; de manera que si las representamos por E , E' y E'' tendremos la siguiente ecuacion que demuestra la ley enunciada: $E + E' + E'' = F r + F' r' + F'' r''$.

Si una de las pilas, por ejemplo, la H' actuase en sentido contrario al de las otras dos, E' sería negativa y lo mismo F' , por lo cual la ecuacion anterior sería ahora: $E - E' + E'' = F r - F' r' + F'' r''$; y si además no existiese la pila H'' , por ejemplo, se tendría: $E'' = 0$; y esta última ecuacion quedaría reducida á $E - E' = F r - F' r' + F'' r''$, donde los términos del segundo miembro tendrían distinto valor que anteriormente.

Demostradas estas leyes segun lo verifica Mr. Jenkin en su excelente tratado: *Electricidad y Magnetismo*, pasaremos á determinar los valores de las corrientes principal, parcial y derivada, en el sistema de la figura 11 lámina 1.^a

Ya hemos dicho que se llama corriente prin-

cial, la que circula por todo el sistema, y es evidente que pasa reunida por el trozo $FZCD$, cuya resistencia, inclusa la de la pila, representaremos por R . En el punto D , se divide esta corriente en dos: una que recorre el hilo de derivacion $D r' F$, cuya resistencia llamaremos r' y otra que sigue por el circuito parcial $D r F$ cuya resistencia designaremos por r . Segun hemos demostrado oportunamente, los dos hilos, el de derivacion y el que constituye el circuito parcial, pueden sustituirse por uno solo cuya resistencia sea $\frac{r r'}{r + r'}$; de manera que la resistencia total del circuito que recorre la corriente principal, es

$$R + \frac{r r'}{r + r'}$$

y si representamos por F la fuerza de esta corriente y por E la fuerza electro-motriz de la pila, resultará segun la fórmula de Ohm:

$$F = \frac{E}{R + \frac{r r'}{r + r'}}$$

ó lo que es lo mismo:

$$F = \frac{E (r + r')}{R (r + r') + r r'} \dots \dots (1)$$

Representando por y la intensidad de la corriente parcial y por y' la de la derivada, obser-

varemos que en la parte $DrFr'D$, del circuito total, no existe ninguna pila ni otra alguna fuerza electro-motriz y que como además las expresadas corrientes marchan á encontrarse en sentido opuesto en el punto F , considerando la primera como positiva, la segunda será negativa, por lo cual, segun la segunda de las expresadas leyes, se tendrá la ecuacion: $yr - y'r' = 0$, ó $yr = y'r'$, de la cual se deduce la proporcion: $y : y' :: r' : r$; y de esta las siguientes:

$$\begin{aligned} y + y' : y :: r + r' : r' \\ y + y' : y' :: r + r' : r; \end{aligned}$$

que dan respectivamente:

$$y = \frac{r' (y + y')}{r + r'} \dots\dots (a)$$

$$y' = \frac{r (y + y')}{r + r'} \dots\dots (b)$$

Por otra parte la intensidad de la corriente principal, que por dirigirse al punto D consideramos como positiva, sumada con las intensidades de las corrientes parcial y derivada, que por separarse de dicho punto se considerarán como negativas, dará un resultado igual á cero segun la primera ley de Kirchhoff y se tendrá la ecuacion; $F - (y + y') = 0$; de donde se deduce, $y + y' = F$.

Sustituyendo en las ecuaciones (a) y (b), la

suma $y + y'$ por el valor de F dado por la fórmula (1) resultará:

$$y = \frac{Er'(r+r')}{R(r+r') + rr'}; \quad y' = \frac{Er(r+r')}{R(r+r') + rr'}$$

y por último suprimiendo el factor comun $r + r'$

$$y = \frac{Er'}{R(r+r') + rr'} \dots\dots\dots (2).$$

$$y' = \frac{Er}{R(r+r') + rr'} \dots\dots\dots (3)$$

Para poder reproducir con facilidad estas fórmulas conviene observar que el denominador es igual en las tres, estando formado por el producto de la resistencia de la parte del circuito que recorre reunida la corriente principal, por la suma de las resistencias del hilo de derivacion y del circuito parcial, más el producto de estas dos últimas resistencias, y que los numeradores son: para la corriente principal, la fuerza electromotriz multiplicada por la suma de las resistencias de los circuitos parcial y derivado; para la corriente parcial, la misma fuerza multiplicada por la resistencia de la derivacion, y para la corriente derivada, por la resistencia de la parte que constituye lo que hemos llamado circuito parcial.

Si hubiese dos hilos de derivacion, pueden re-

ducirse á uno por medio de la fórmula $\frac{Rr}{R+r}$, y el

mismo procedimiento se sigue cuando dichos hilos sean en mayor número, y así, en último término, se vendría á tener un sólo hilo de derivacion y un circuito parcial, y por medio de las tres ecuaciones anteriores se obtendría el valor de la corriente principal, el de cada una de las derivadas y el de la corriente parcial.

CAPÍTULO III,

Aparatos.

ELECTRÓSCOPOS.—Son unos aparatos que sirven para reconocer la presencia y la naturaleza de la electricidad. Es muy variada la forma y la disposición de los electróscopos, de los cuales el más sencillo es el *péndulo eléctrico* de que ya hemos hablado. Cargado este péndulo de electricidad positiva, por ejemplo, si lo aproximamos á un cuerpo, será rechazado si contiene electricidad del mismo nombre y atraído si es de nombre contrario, de manera que en todos los casos nos acusará la presencia y la especie de electricidad. Otra disposición muy común es la de dos bolas de médula de sauco ó de dos pajas ó laminillas de oro unidas á una varilla metálica. Comunicando á este sistema una ú otra especie de electricidad y aproximando un cuerpo electrizado, aumentará la divergencia de las bolas ó

láminas si es de la misma especie, y disminuirá si es de nombre contrario.

ELECTRÓMETROS. —Electrómetro quiere decir *medidor* de la electricidad. Estos aparatos no sólo sirven para reconocer la presencia y la naturaleza de la electricidad, sino que nos permiten apreciar su tension. Añadiendo al péndulo eléctrico y á los electróscopos de bolas de médula de sauco, de pajas ó de hojuelas de oro un semicírculo graduado convenientemente dispuesto, se convertirán estos aparatos en electrómetros, puesto que de este modo podremos medir la separacion del péndulo, de las bolas ó de las hojuelas, cuya separacion es proporcional á la cantidad de electricidad y á la tension. La balanza eléctrica de Coulomb es un verdadero electrómetro.

Electrómetro de Peltier. —La parte principal de este aparato consiste en un hilo de aluminio suspendido sobre un pivote y cuyas extremidades *a* y *b*, fig.^a 15, lám. 1, se hallan en el estado de reposo, en contacto con las esferas terminales de dos varillas de laton *c d* y *e f*. El hilo de aluminio está acodado y suspendido por su centro de gravedad en el centro de un anillo montado sobre un zócalo de laton, al cual están unidas las dos varillas antes espresadas, y otra varilla del mismo metal se levanta de la parte superior de este anillo y atravesando la cam-

pana de cristal que cubre el aparato, termina en una esfera como en los electrómetros ordinarios. En el centro del hilo de aluminio, y perpendicularmente á su plano, se halla un pequeño iman que lo hace volver á su posicion inicial cuando ha desaparecido la carga eléctrica, y para evitar la induccion externa, ó mejor dicho, para que la carga sea mayor, se cubre todo el aparato con una alambreira que se pone en comunicacion con la tierra.

Es evidente que si estando orientado el aparato, y el hilo de aluminio en contacto con las esferas *c* y *f*, tocamos la esfera exterior con un cuerpo electrizado ó con el reóforo de una fuerte pila, el hilo y las varillas *c d* y *e f* se cargarán de la misma especie de electricidad, por cuya razon el hilo *ab*, que puede girar libremente, será rechazado, fijándose, por ejemplo, en la posicion *a' b'*, despues de oscilar más ó ménos tiempo, y formando un ángulo de más ó ménos amplitud, segun la magnitud y la tension de la carga que ha recibido, ángulo que se aprecia en el círculo graduado que recorren las extremidades del hilo, y para leerlo con más exactitud, el fondo de la caja es un espejo; así es que colocando el ojo de manera que el hilo se vea sobre su imágen, se reconocerá el punto exacto que señala en el círculo graduado.

Electrómetros de Thomson.—Son dos, uno

transportable sin inconveniente y que pudiera llamarse *de campaña*, y el otro de reflexion que es más delicado, pero más exacto y de más importancia; por lo cual trataremos de describirlo con alguna extension. Una aguja ó un hilo de aluminio que lleva un espejo y una pequeña aguja imantada como el anterior y con el propio objeto, se halla suspendido por medio de un hilo entre cuatro cuadrantes metálicos huecos *A, B, C, D*, figura 16 lámina 2.^a, que comunican con los respectivos tornillos que aparecen en el exterior. El hilo ó chapa de aluminio, se pone en comunicacion con el interior de una botella de Leiden que contiene ácido sulfúrico concentrado, que sirve de armadura interior y mantiene seco el recinto de la botella, la cual, además, debe estar perfectamente aislada; y para arreglar la sensibilidad del hilo movable, se hallan colocados fuera del aparato uno ó dos imanes que segun su posicion anulan en mayor ó menor escala el magnetismo terrestre, como se explicará al tratar de los galvanómetros. Cargado de electricidad el hilo de aluminio, si los cuatro cuadrantes están igualmente electrizados, el hilo permanecerá en reposo; pero si los *A* y *C* por ejemplo lo están negativa y los otros dos positivamente, el hilo girará á uno ú otro lado, segun la especie de electricidad que contenga, y en ámbos casos la desviacion del rayo

de luz reflejado por el espejo indicará la diferencia de potencial. Como fácilmente se comprende, para que los resultados sean exactos y comparables, es indispensable que la tension de la aguja de aluminio no varíe, lo que se consigue manteniendo constante la carga de la botella de Leiden á cuyo efecto lleva ésta un aparato especial, y además para los experimentos en que hay que tener en cuenta la distancia, uno de los cuadrantes se puede alejar y acercar al centro por medio de un tornillo micrométrico.

Electrómetros capilares. — Mr. Lippman ha construido un electrómetro fundado en la alteracion que experimenta la capilaridad con la variacion del estado eléctrico de la superficie de separacion del mercurio y del ácido sulfúrico. Este aparato se compone de un tubo de vidrio estirado en su parte inferior en un cono de punta muy delgada y lleno de mercurio, que se sumerge en el ácido sulfúrico que se halla sobre el mercurio contenido en un vaso. El cuerpo ó el conductor cuyo potencial se quiere determinar, se pone en comunicacion con el mercurio del tubo y se observa con un microscopio la variacion del cono de mercurio en la punta de dicho tubo. M. Marey ha modificado este aparato colocando el tubo horizontal para facilitar la observacion.

M. Dewar ha modificado tambien, pero de una

manera más radical, el electrómetro de Lippman, formándolo de dos vasos que contienen mercurio reunidos por un tubo horizontal en cuyo punto medio hay una gota de ácido sulfúrico, resultando un aparato muy semejante en la forma al termómetro diferencial. Si se comunica á los dos vasos la misma tension eléctrica, la gota de ácido sulfúrico permanecerá en reposo, pero si es diferente, se correrá á uno ú otro lado y la distancia recorrida que se observa con un microscopio micrométrico, dará la diferencia de potencial. Mr. Dewar asegura que con su electrómetro ha podido apreciar hasta una diez milésima de la fuerza electro-motriz de un elemento Daniell; pero algunos creen que el de Lippman es el más sensible de todos, y no se explican como el de Dewar puede ser más delicado. El de Thomson de reflexion solo aprecia hasta un centésimo de la fuerza del mismo elemento, y además de ser mucho más complicado está sujeto á varios errores, aunque no sean de mucha consideracion. Su mayor inconveniente está en su elevado precio y en la dificultad de su transporte, lo que, segun Lartimer Clark, impide que se generalice su empleo.

CONDENSADORES.—Ya hemos indicado lo que es un condensador. Los que se emplean en el servicio de telégrafos presentan bastante superficie y se componen de hojas de estaño y de mica ó de papel de cartas del más delgado y satinado.

Segun Mr. Culley, con 37 hojas de 18 por 15 centímetros de este papel impregnado de parafina ó de ozokerita, sustancia semejante á la anterior, se puede construir un condensador de la capacidad de una microfaradia. Las hojas de estaño y de papel así preparado se colocan alternamente las unas encima de las otras de manera que comuniquen entre sí las de estaño que ocupan un lugar par, y lo mismo las que ocupen un lugar impar, como indica la figura 17 lámina 2.^a en la cual *e* son las hojas de estaño y *p* las de papel. Estas se colocan dobles para impedir que á causa de las imperfecciones de la pasta puedan ponerse en comunicacion las hojas metálicas de una série con las de otra, y aún así, durante la construccion debe observarse si el aislamiento es perfecto, por medio de un galvanómetro sensible y una pila de 15 ó 20 elementos, poniendo un polo en comunicacion con una de las séries de hojas de estaño y el otro con la otra série de las mismas hojas. Fácilmente se comprende que si en la figura aparecen separadas las hojas, es para que se vea mejor su disposicion; pero que en el condensador están las unas en contacto con las otras, y para que este contacto sea uniforme y constante, se coloca el sistema entre dos placas de madera sujetas por medio de tornillos tambien de madera, que mantienen una presion constante y se encierra en una

caja con dos tornillos metálicos, cada uno de los cuales corresponde á la respectiva série de hojas metálicas y sirven para establecer las comunicaciones. Si resultase el condensador con mayor ó menor capacidad que la deseada, se quitan ó se aumentan algunas hojas hasta obtener el resultado que se busca.

Si el condensador fuese de mica, se necesitan ménos hojas de las mismas dimensiones, porque la capacidad específica inductiva de esta sustancia es mayor que la del papel parafinado, y además, como la mica es elástica, la capacidad de los condensadores contruidos con ella varía con la presión que se ejerce con los tornillos de madera de que ántes hemos hablado.

Para determinar la capacidad, supongamos que *C*, fig. 18, lám. 2.^a, es un condensador de la capacidad de la mitad de una microfaradia y pongámoslo en comunicacion por espacio de medio minuto con una pila *P* de 50 elementos Daniell, colocando la lengüeta del conmutador *t* en *m*, y traslademos inmediatamente despues dicha lengüeta al punto *n*. La electricidad acumulada en el condensador pasará á la tierra al través del galvanómetro *g* de Thomson ú otro, cuya aguja describirá una oscilacion de una amplitud por ejemplo de 200 divisiones y repitamos la operacion con el condensador contruido ó cuya capacidad queremos determinar. Es evidente que si

este condensador nos dá una desviacion doble ó triple que el anterior, su capacidad será igualmente doble ó triple que la del primero, puesto que la desviacion de la aguja es proporcional á la cantidad de electricidad que pasa por los carretes, y la carga de los condensadores procedente de la misma pila supuesta constante como la de Daniell, lo es á la capacidad de los mismos. Si la desviacion fuese la mitad ó la tercera parte, la capacidad de este condensador sería la mitad ó la tercera parte que la del condensador que tomamos como tipo, y aumentando ó disminuyendo el número de hojas de estaño y de papel ó de mica, y por medio de repetidos ensayos, podremos conseguir que las desviaciones estén en la misma relacion que deseamos para las capacidades.

Electrómetro y electróscopo condensador.— Combinando un electrómetro ó un electróscopo con un condensador, resulta un aparato mediante el cual se puede acumular ó condensar la electricidad que por su débil tension no podría apreciarse ni áun reconocerse su existencia por medio de aquellos instrumentos. La figura 19 lámina 2.^a representa lo que Volta llamó electrómetro condensador y que es más bien un electróscopo, comparado con los que después se han imaginado. La varilla de las hojuelas está unida al disco metálico inferior del condensador que

descansa sobre la campana de cristal y el dieléctrico es una ligera capa de barniz dada sobre la cara superior de dicho disco. Si se pone el disco superior en comunicacion con el polo positivo de un elemento p y despues se toca con el dedo el platillo inferior, resultará éste cargado de electricidad negativa puesto que la positiva la neutraliza la tierra, y si habiendo retirado el dedo levantamos el disco superior tomándolo por el mango de vidrio m , esta electricidad negativa estendiéndose por la varilla producirá la separacion de las pajas.

Electróforo.—Este sencillo aparato es tan á propósito para procurarse la electricidad necesaria para las experiencias eléctricas, incluso las que se refieren á la telegrafía, que creeríamos cometer una falta imperdonable si nó dedicáramos algunos renglones á recordar su construccion y su uso. Una caja redonda de unos 20 ó 24 centímetros de diámetro y sobre 2 de altura, llena de azufre fundido y un disco de madera de 18 á 19 centímetros de diámetro con una hoja de estaño pegada á una de sus caras y que lleva en la otra un mango de vidrio ó de *ebonita*, constituyen el electróforo. Frotando fuertemente el azufre con un paño de lana, calentando antes uno y otro para privarlos de la humedad, el azufre se carga de electricidad negativa y colocando encima el disco, esta electricidad atraerá la posi-

tiva del mismo, mientras que la negativa pasará á la tierra tocando con la mano la hoja de estaño que recubre la cara inferior del disco; y levantando este, tomándolo por el mango, resultará cargado de electricidad positiva, la cual se puede comunicar á la barra de un electrómetro, y aún repitiendo la operacion cuantas veces sea necesario, se puede dar á un condensador una carga considerable. Si la caja es metálica y se coloca sobre el azufre una tira de papel de estaño de modo que toque al borde de la caja, no es menester tocar el disco con la mano, porque entónces en cuanto se coloca sobre el azufre pasa á la tierra la electricidad negativa en él desarrollada por la accion inductiva del azufre, pudiendo levantarse desde luego el disco, lo que facilita la operacion cuando es menester repetirla muchas veces seguidas. La electricidad del azufre no pasa á la tierra, porque el azufre es uno de los cuerpos que ofrecen mayor resistencia á la propagacion de la electricidad; así es que sin volver á frotarlo se puede cargar muchas veces el disco. En lugar del azufre se puede emplear con ventaja un disco de ebonita, la cual es más á propósito y produce electricidad de mayor tension y por lo tanto desarrolla en el disco mayor cantidad de electricidad, puesto que la induccion es proporcional á la tension de la electricidad que la origina.

Fácilmente podría construirse una máquina que levantase y bajase mecánicamente el disco y con su auxilio podría obtenerse, como dice Culley, una cantidad grande de electricidad con una muy pequeña en su origen.

GALVANÓMETROS Ó REÓMETROS.—La acción que ejercen las corrientes sobre una aguja imantada suspendida por su centro, al rededor del cual puede girar libremente, ha permitido construir estos aparatos que, como su nombre lo indica, sirven para medir la intensidad ó cantidad de dichas corrientes. Una aguja de las expresadas condiciones se fija y permanece en la dirección norte-sur, en virtud del magnetismo terrestre; pero si cerca de ella y paralela á su eje pasa una corriente eléctrica, la aguja gira al rededor de su centro desviándose más ó ménos del plano del meridiano magnético, segun sea la intensidad de la corriente; y si el conductor que esta recorre, despues de pasar por encima, se dobla y viene á pasar por debajo á la misma distancia, el efecto sería doble y mucho mayor si el conductor diese varias vueltas al rededor de la aguja. Un hilo de cobre cubierto de seda y arrollado en un carrete en cuyo centro se halla una aguja imantada en las condiciones que hemos dicho, es lo que constituye un galvanómetro.

Si suponemos que en la lámina segunda, figura 20, *S' N* representa el carrete, al pasar por

este la corriente, la aguja imantada tomará una posicion tal como ab , en la cual se equilibran las dos fuerzas á que se halla sometida y que son: la del magnetismo terrestre, que tiende á volverla al meridiano magnético en el que suponemos el carrete, y la accion de la corriente que tiende á colocarla en la posicion df perpendicular á la direccion de la misma corriente. La primera procede de los polos magnéticos del globo terrestre cada uno de los cuales obra sobre el de nombre contrario de la aguja con fuerzas iguales aq , bq' y que en atencion á la distancia á que actúan, se suponen paralelas y constantes, cualquiera que sea la posicion de la aguja, miéntras que la accion de la corriente representada por ar , disminuye evidentemente á medida que la aguja se separa del carrete, puesto que aumenta de un modo notable la distancia entre la corriente eléctrica y los polos de la aguja, sobre los cuales ejerce aquella su accion. Siendo constante la fuerza directriz de la tierra, la desviacion de la aguja dependerá únicamente de la intensidad de la corriente que pasa por el carrete y del número de vueltas del hilo que lo rodea, de manera que dividiendo en grados el círculo que recorre uno de las puntas de la aguja, los grados que esta marque al pasar sucesivamente por el carrete varias corrientes, serán proporcionales á las intensidades de estas corrientes si la accion de es-

tas sobre la aguja fuese constante y no disminuyese con la desviacion. De aquí resulta que para que las indicaciones de un galvanómetro de esta especie puedan ser algo exactas, es necesario graduarlo por comparacion con otro galvanómetro exacto, ó por medio de las leyes de las corrientes. Las intensidades de estas son proporcionales á las desviaciones de la aguja cuando no pasan de 15° ó 20° ; de manera que desde luego se pueden señalar los 10 primeros grados del galvanómetro que se trata de graduar, y en seguida se hace pasar por él una corriente que marque este número de grados, lo que se consigue fácilmente por medio de un *reostato* que permita aumentar ó disminuir la resistencia del circuito. Si ahora se reduce la resistencia á la mitad, la intensidad de la corriente será doble, y en el punto que indique la aguja se pone 20° . Disminuyendo en una mitad la resistencia de este último circuito, la corriente resultará de doble intensidad y al punto en que se fije la aguja corresponderán 40° y así sucesivamente. Los intervalos se dividen en 10 partes iguales, y de este modo el galvanómetro quedará graduado con una exactitud suficiente para las necesidades ordinarias.

Como la aguja queda oculta debajo del carrete cuando el galvanómetro está *orientado*, no sería posible ver cuando coincide con el cero si es-

te se colocase en el punto N, por lo cual se fija á la aguja imantada otra $a' b'$ de laton en ángulo recto con la primera y se sitúa el cero de la escala en el punto d .

El carrete y la aguja pueden colocarse en posicion vertical, en cuyo caso tendremos lo que se llama un galvanómetro *vertical* en contraposicion del anterior que es horizontal.

En los galvanómetros verticales, la parte inferior de la aguja ha de ser más pesada que la parte superior, á fin de que vuelva á su posicion normal despues de haber sido desviada por la corriente. Cuanto menor es la diferencia de peso de estas partes, tanto más sensible es la aguja; pero si esta diferencia es muy pequeña, la aguja permanecerá inclinada á no ser que se coloque el aparato mirando al Norte ó al Sur, en cuyo caso no puede tener lugar la *inclinacion* de la aguja magnética.

Como esta aguja se halla dentro del carrete, ó más bien de los carretes, puesto que generalmente son dos que obran en el mismo sentido, se coloca otra no magnética paralela á la primera y montada sobre el mismo eje, la cual aparece al exterior y marca en un arco graduado la intensidad de las corrientes. El cero se halla en la vertical, y para que la aguja coincida con él cuando está en reposo, es necesario nivelar el aparato, y como en los de esta clase lo que se

opone á la desviacion de la aguja es el peso de ésta, ó sea la gravedad, que es constante, la desviacion para una misma corriente depende del grado de imantacion de la aguja, el cual disminuye con el tiempo, y para que sus indicaciones sean exactas, es indispensable imantar de nuevo la aguja cuando haya perdido ó haya disminuido notablemente su magnetismo. En un galvanómetro horizontal, por el contrario, el grado de imantacion de la aguja no influye en sus indicaciones, puesto que la accion directriz de la tierra y de la corriente eléctrica que pasa por el carrete, aumentan ó disminuyen ámbas en la misma proporcion, cuando aumenta ó disminuye el magnetismo de la aguja, y como obran en sentido contrario, la desviacion de esta es independiente de su fuerza magnética, y por lo tanto una misma corriente marcará siempre el mismo número de grados en un mismo galvanómetro horizontal, cualquiera que sea el grado de magnetizacion de la aguja, y únicamente sus oscilaciones serán tanto más lentas, cuanto menor sea su magnetismo; y aún pudiera suceder que el rozamiento sobre el pivote fuese suficiente para impedir su movimiento.

El galvanómetro horizontal es más sensible que el vertical, porque en aquel es menor el rozamiento en los puntos de apoyo de la aguja y no es preciso aumentar el peso de la misma;

pero el segundo es muy á propósito para observar con frecuencia la fuerza de las pilas, como debe hacerse en las estaciones telegráficas, y puede convertirse fácilmente en receptor, sustituyendo el arco graduado por dos toques, uno á cada lado de la extremidad superior de la aguja exterior, y de este modo se emplea en nuestras estaciones con el nombre de *Aguja Wheatsthone*. Un galvanómetro vertical sin escala graduada, es más bien un *galvanóscopo* ó *indicador* de la corriente eléctrica.

La sensibilidad de un galvanómetro horizontal puede aumentarse suspendiendo la aguja imantada por medio de un hilo sin torsion, empleando una aguja *astática* ó por medio de un fuerte iman que acercándose más ó ménos y segun sea la posicion de sus polos respecto de la aguja del galvanómetro, neutralice ó aumente hasta el punto que convenga la accion del magnetismo terrestre. Una aguja *astática* se compone de dos agujas imantadas montadas paralelamente en un eje vertical á corta distancia la una de la otra y con los polos invertidos, á fin de que la accion que el magnetismo terrestre ejerce sobre una de ellas, contraresta la que ejerce sobre la otra. Es indispensable que exista alguna diferencia entre el grado de imantacion de las dos agujas, porque de lo contrario el sistema *astático* se colocaria siempre perpendicu-

lar al carrete, cualquiera que fuese la intensidad de la corriente y no volvería al cero al abrir el circuito.

Cuando se emplea un iman, si éste se coloca de manera que sus polos se hallen en presencia de los del mismo nombre de la aguja del galvanómetro, el iman obra en el mismo sentido que la corriente y en sentido contrario que el magnetismo terrestre, de manera que la aguja se hace más sensible; pero si el iman se coloca con los polos opuestos á los de la misma aguja, como en un sistema astático, el iman la atrae y se opone juntamente con la accion de la tierra á la desviacion que la corriente imprime á la aguja, haciéndola ménos sensible. El iman puede colocarse en una varilla vertical que pase por su centro, de manera que pueda correr por ella y girar en sentido horizontal, ó sobre la peana del galvanómetro en la direccion norte-sur. De esta manera se puede regular la sensibilidad del galvanómetro afinándola despues con un iman de poca fuerza. El máximum de sensibilidad se obtiene cuando coincidiendo la aguja con el cero, la más pequeña aproximacion del iman la hace recorrer toda la amplitud de la escala.

Puede apreciarse la sensibilidad de un galvanómetro, teniendo presente que segun las leyes del péndulo aplicables á este caso, las fuerzas que actúan sobre una aguja magnética ho-

rizontal, están en razon inversa de los cuadrados de los tiempos que emplea la aguja en ejecutar, bajo la respectiva influencia de dichas fuerzas, el mismo número de oscilaciones, cuando ha sido separada de su posicion de reposo. Sea F la intensidad magnética de una aguja, cuya sensibilidad conocemos, para determinar la fuerza magnética f , y por consiguiente la sensibilidad de un galvanómetro determinado, hagamos oscilar ambas agujas y supongamos que la primera ha empleado 3 segundos y la segunda 6 en verificar un mismo número de oscilaciones, 15 por ejemplo. Segun la relacion antes expresada, tendremos la proporcion.

$$\frac{f}{F} = \frac{3^2}{6^2} = \frac{9}{36} = \frac{1}{4}; \text{ de donde } f = \frac{1}{4}F$$

Siendo la fuerza f de la aguja del galvanómetro cuatro veces menor que F intensidad magnética de la otra aguja, la sensibilidad de la primera será cuatro veces mayor que la sensibilidad de la segunda, puesto que la accion directriz de la tierra, que se opone á la desviacion, obrará sobre aquella con una fuerza cuatro veces menor que sobre esta última. En efecto, el magnetismo terrestre es una fuerza que puede suponerse constante, y el esfuerzo con que tiende á traer la aguja á la direccion norte-sur, ó sea al meridiano magnético, depende del grado de imantacion ó fuerza magnética de dicha aguja

y cuanto mayor sea aquella, tanto mayor es dicho esfuerzo y tanto más rápidas son las oscilaciones de la aguja que preceden á su reposo; y por el contrario, cuanto menor sea la fuerza magnética de una aguja, tanto más lentas serán sus oscilaciones. Así es que por esta rapidez ó lentitud podremos juzgar de la sensibilidad de un galvanómetro horizontal.

Resistencia del galvanómetro.—La longitud y el diámetro del hilo que forma el carrete, influye naturalmente en las indicaciones del galvanómetro, tanto por lo que puede alterar la resistencia del circuito de que forma parte, como por el número de vueltas que puede dar al rededor de aquel, multiplicando así el efecto de la corriente.

Supongamos que el carrete se componga de de 10 vueltas de hilo de cobre de 1 $\frac{1}{2}$ milímetros de diámetro y pongámoslo en el circuito de un solo elemento, Daniell, cuya resistencia sea de dos unidades *Ohm*. La resistencia total del circuito, será la del elemento, puesto que por ser muy pequeña podemos despreciar la del galvanómetro, y no hay circuito exterior. La fuerza electro-motriz es 1 Volta. Por lo tanto, tendremos

para la fuerza de la corriente: $\frac{E}{R} = \frac{1}{2}$ Weber, y

para el efecto sobre la aguja: $\frac{1}{2} \times 10 = \frac{10}{2} = 5$;

puesto que el hilo del carrete da 10 vueltas, ca-

da una de las cuales obra sobre la aguja con una fuerza igual á $\frac{1}{2}$.

Si empleamos 100 elementos, la fuerza electro-motriz y la resistencia serán 100 veces mayores y la fuerza de la corriente se expresará del modo siguiente:

$$\frac{100 E}{200 R} = \frac{E}{R} = \frac{1}{2},$$

y como el galvanómetro es el mismo, el efecto sobre la aguja será tambien 5.

Si en vez de este galvanómetro de hilo corto y grueso, empleamos otro de hilo mucho más delgado de la resistencia de 5000 *Ohms*, que dé, por ejemplo, 1000 vueltas en el carrete, la resistencia total del circuito será con el mismo elemento Daniell, 5002 y la fuerza de la corriente:

$$\frac{E}{R} = \frac{1}{5002} \text{ y el efecto sobre la aguja: } \frac{1000}{5002} = \frac{1}{5}$$

próximamente; pero con 100 elementos iguales al anterior, la fuerza de la corriente será:

$$\frac{E \cdot 100}{R} = \frac{1}{5200} = \frac{1}{52}; \text{ y el efecto sobre el galvanómetro}$$

$$\frac{1000}{52} = 20.$$

Es evidente que ahora la fuerza electro-motriz es 100 veces mayor y la resistencia igual á la del hilo del carrete, que en este caso no pue-

de despreciarse, más la de la pila, que es de 2 *Ohms* por elemento, ó sea en total 5200.

De estos ejemplos se deduce, que cuando el circuito es de poca resistencia conviene emplear un galvanómetro tambien de poca resistencia, esto es, de hilo corto y grueso, que no se gana nada en este caso con emplear una pila de muchos elementos, y que, por el contrario, cuando el circuito es de mucha resistencia, es ventajoso y á veces indispensable, hacer uso de una pila de muchos elementos y de un galvanómetro de hilo muy delgado y largo que dé muchas vueltas en el carrete, porque entónces el poder multiplicante del carrete sobrepuja á la resistencia y es mayor el efecto sobre la aguja.

En algunos galvanómetros se divide el hilo en dos partes que se arrollan al carrete y haciendo pasar la corriente por las dos á la vez, por una sola de ellas ó por las dos una despues de otra como si formasen un solo hilo, se consigue variar la resistencia del galvanómetro segun convenga; y en otros, sobre el carrete ya formado de hilo delgado, se arrolla otro grueso y corto independiente del primero y se consigue el mismo objeto.

Segun Culley, para las necesidades ordinarias del servicio, como la determinacion de la resistencia de los aparatos y de las líneas y el aislamiento de estas, es muy conveniente un

galvanómetro horizontal con una aguja de 4 á 5 centímetros de longitud colocada entre dos carretes compuestos de hilo de cobre del diámetro de 0,106 milímetros, y que presenten entre ámbos una resistencia de 1500 unidades *Ohm*.

Caja de derivaciones.—Algunas veces es necesario establecer en un galvanómetro una derivacion de resistencia conocida, como veremos más adelante, y al efecto los hilos de derivacion, formando una bobina ó carrete, se hallan colocados de una manera fija y permanente en el mismo aparato, ó en una pequeña caja rectangular que se adapta al galvanómetro cuando conviene y á la cual damos el nombre de *Caja de derivaciones*, aunque se va generalizando la palabra «*shunt*», «*atajo*», con que designan los ingleses esta especie de derivaciones que como los atajos, respecto de la carretera, presentan un camino más breve á las corrientes.

Supongamos un galvanómetro *G*, figura 21, lámina 2.^a, en el circuito de la pila *P*, y pongámoslo en comunicacion como se indica, con un sistema compuesto de tres piezas metálicas *a*, *b* y *c*, de las cuales las dos primeras se comunican únicamente por la bobina *B* y la *c* está completamente aislada de la *b*, de manera que en este estado toda la corriente pasará por el galvanómetro; pero si se coloca una clavija metálica entre *b* y *c* quedará establecida la derivacion y la

corriente de la pila P se dividirá entre el galvanómetro y la derivacion. Si suponemos que la resistencia de la bobina B es $\frac{1}{9}$ de la resistencia del galvanómetro, no pasará por este más que la décima parte de la corriente. En efecto, considerando esta dividida en 10 partes iguales, se repartirán en razon inversa de las resistencias, y siendo estas como 1 y 9, por la derivacion, cuya resistencia es 1, irán 9 partes de la corriente, y 1 por el galvanómetro cuya resistencia es 9. Si la resistencia de la derivacion fuese $\frac{1}{99}$ de la del galvanómetro, solo pasaria por este la centésima parte de la corriente, y una milésima parte si dicha resistencia fuese $\frac{1}{999}$ de la del galvanómetro. Estas tres derivaciones son las que generalmente se emplean, y para mayor facilidad se colocan las tres bobinas en una caja de la misma manera que se halla la B , y para hacer uso de una ú otra derivacion basta poner la clavija en el agujero correspondiente.

El efecto de estas derivaciones es reducir las indicaciones del galvanómetro á la décima, centésima ó milésima parte, segun la derivacion que se emplee. Si un galvanómetro marca, por ejemplo, 40° sin derivacion, con la de $\frac{1}{9}$ de re-

sistencia marcará solo 4° porque la fuerza de la corriente, siendo la décima parte, el número de grados que ahora indique el galvanómetro será 10 veces menor. Con una derivacion de una resistencia igual á la del galvanómetro, marcaria este la mitad de grados, puesto que la corriente se divide en dos iguales, de mitad de fuerza; y en general con una derivacion cuya resistencia sea $\frac{1}{n-1}$ de la del galvanómetro, el número de

grados que este marque se reducirá á $\frac{1}{n}$; y es

como si en el circuito, sin derivacion, se introdujese una resistencia n veces mayor. Llamando d la resistencia de la derivacion y g la del galvanómetro, tendremos: $d = \frac{g}{n-1}$; de donde se deduce:

$n = \frac{g+d}{d}$, que es el *poder multiplicante* ó

multiplicador de la derivacion, ó sea la cantidad por la cual es necesario multiplicar la resistencia hallada con la derivacion, para que resulte la que se obtendria sin establecer la derivacion, y que es la verdadera. Si la resistencia del galvanómetro es de 99 unidades y la de la derivacion

$\frac{1}{9}$, que es 11, tendremos: $g=99$; $d=11$

y $n = \frac{99+11}{11} = 10$, como antes hemos dicho.

Galvanómetro ó brújula de Senos.—Hemos dicho que las desviaciones de la aguja en un galvanómetro ordinario no correspondian ó no eran proporcionales á la fuerza de las corrientes, porque la accion de estas disminuye á medida que la aguja se acerca á la posicion normal ó perpendicular al carrete, en cuya posicion dicha accion es nula. Es evidente que si el carrete fuese movable y pudiera acompañar á la aguja en su movimiento, la corriente obraria siempre sobre la aguja con la misma intensidad, quedando obviado el inconveniente de que hablamos.

Sea fig.^a 22, lám.^a 2.^a, un galvanómetro por el cual pasa una corriente y hagamos girar el carrete *S N* en el mismo sentido que la aguja hasta que esta quede en reposo en una posicion tal como *ab*. Es evidente que para que esto suceda es indispensable que la componente *ap* de la accion del magnetismo terrestre y la fuerza repulsiva *ap'* de la corriente sean iguales, en cuyo caso el triángulo rectángulo *apq* nos da:

$$ap = a q \cos. qap \dots (1)$$

y como la tangente *pp'* es perpendicular al radio *ce*, el ángulo *eap* es recto y por lo tanto el *eaq* es complemento de *qap*, y el coseno del segundo es igual al seno del primero, y por consiguiente, $\cos.qap = \sin.eaq = \sin.acN$, puesto que estos dos ángulos son iguales por corres-

pondientes. Sustituyendo en la ecuación (I) $\text{sen.}acN$ en vez de $\text{cos.}qap$ tendremos:

$$ap = a q \text{ sen. } acN$$

La fuerza ap' es proporcional á la intensidad de la corriente y por lo tanto estará con ella en una relacion constante y si representamos por m esta relacion. tendremos:

$$\frac{ap'}{Y} = m; \text{ de donde: } ap' = Ym$$

y como $ap = ap'$, será

$$Ym = aq \text{ sen.}acN; \text{ de donde: } Y = \frac{aq}{m} \text{ sen.}acN, \text{ y}$$

como aq y m son constantes, la fuerza Y de la corriente sólo dependerá del valor de $\text{sen.}acN$, de tal manera que si este es doble ó triple, mitad ó tercera parte, lo mismo será dicha fuerza, y por consiguiente en un galvanómetro de esta especie, la fuerza de las corrientes es proporcional al seno del ángulo de desviacion de la aguja.

Como hemos indicado, en estos galvanómetros que se llaman de senos, los carretes pueden girar en sentido horizontal juntamente con el círculo graduado al cual se hallan fijos. Al pasar la corriente por el carrete SN la aguja se desvia hácia el punto d por ejemplo, y entónces se hace girar el carrete y el círculo graduado, puesto que están unidos, hasta que la aguja se fije en un punto tal como a . El cero de la gra-

duacion habrá pasado á d' y la aguja indicadora habrá tomado la posicion $c d'$ y marcará cero como ántes de pasar la corriente, de manera que dicha aguja vuelve al cero cuando la accion del globo y de la corriente, sobre la aguja, se han equilibrado. El ángulo de desviacion se lee por medio de un *nonius* situado en el punto d , cerca del limbo del círculo graduado, y en efecto el ángulo dcd' que describe el cero, es igual al ángulo de desviacion de la aguja magnética $a c N$, puesto que sus lados son perpendiculares.

En algunos galvanómetros de senos, el carrete está constituido por un aro metálico al cual está arrollado el hilo recubierto de seda. $ABDD$, figura 23 lámina 2.^a es el aro; AC el círculo graduado y sn la aguja imantada. El aro gira alrededor de su eje vertical y el arco descrito se lee en un círculo graduado situado en la parte inferior del pié del instrumento, y los senos que corresponden á estos ángulos se buscan en una tabla de senos naturales.

Pudieran tambien marcarse en el círculo escala del instrumento, los senos en vez de los ángulos, lo que evitaría el tener que buscar aquellos en las tablas, para lo cual bastaría dividir el diámetro AB figura 24, lámina 2.^a, en 200 partes iguales, ó lo que es lo mismo, el radio en 100 y levantar perpendiculares en los puntos de division poniendo en los puntos en que corten

la circunferencia, el número de partes del radio que correspondan á los arcos que resulten. Así al arco *oa* por ejemplo, tiene por seno la línea *ap*, que es igual á *Cq*, que comprende 50 partes del radio, por lo cual pondremos el número 50 en el punto *a*.

Dividiendo el radio en mil partes en vez de 100, un galvanómetro de senos así graduado, daría para los senos el mismo valor que las tablas; pero para las necesidades ordinarias del servicio es suficiente que el radio esté dividido en 100.

Cuando la acción de la corriente es mayor que la componente del magnetismo terrestre en cualquiera posición del carrete dentro de un cuadrante, no es posible medir la fuerza de dicha corriente con un galvanómetro de senos, en cuyo caso es necesario emplear otro instrumento ó establecer una derivación que disminuya dicha fuerza, á fin de que la desviación de la aguja no llegue á 90° á cuyo ángulo corresponde el mayor seno que es el radio.

Galvanómetro ó brújula de tangentes.—Cuando el diámetro del aro ó carrete es mucho mayor que la longitud de la aguja, la acción de la corriente sobre aquella es casi constante á causa de que la distancia de dicha corriente á los polos de la aguja es con corta diferencia la misma, cualquiera que sea la posición de la aguja, y entonces la fuerza de la corriente es propor-

cional á la tangente del ángulo de desviacion.

En efecto, cuando la aguja quede en reposo en el punto *a*, figura 25 lámina 2.^a, las componentes *ap* y *ap'* de la accion del magnetismo terrestre y de la corriente sobre la tangente *pp'* son iguales. En el triángulo *ap'q'*, *ap'* es igual á *aq' cos. p' a q'*, ó lo que es lo mismo, *ap' = aq' × cos. a c N* en atencion á que los ángulos *p' a q'* y *acN* son iguales por tener sus lados perpendiculares. Por otra parte *aq'* que representa la accion de la corriente sobre la aguja, es igual á *mF*, segun hemos visto ántes al tratar del galvanómetro de senos, y *ap* es igual á *aq sen. a c N*, como tambien hemos demostrado entónces, de manera que tendremos:

$$ap' = mF \cos. acN; ap = aq \sin. acN;$$

de donde: $mF \cos. acN = aq \sin. acN$; y despejando:

$$F = \frac{aq}{m} \times \frac{\sin. acN}{\cos. acN} = \frac{aq}{m} \tan. acN,$$

y como *aq* es siempre constante y *m* tambien lo es para un mismo galvanómetro, resulta que el valor de *F* sólo depende de *tan. acN*, ó que las intensidades de las corrientes que pasan por un galvanómetro de las circunstancias expresadas son proporcionales á las tangentes de los ángulos de desviacion de la aguja.

Una brújula de tangentes es semejante á la de senos, figura 21, con la diferencia de que la aguja *sn* es muy corta y su longitud no excede

por lo regular de $\frac{1}{6}$ del diámetro del aro ó bastidor circular que forma el carrete compuesto de dos hilos iguales del diámetro de milímetros 0,216 ó 0,355 que corresponden á los números 35 y 30, teniendo cada uno de ellos la resistencia de unas 25 unidades *Ohm*, y encima de estos hilos otro de 1,274 milímetros de diámetro ó sea del número 18, el cual es muy á propósito para apreciar la fuerza de las pilas. El fondo de la caja donde se halla la aguja es un espejo, á fin de poder observar con más exactitud las indicaciones de la misma aguja.

Una brújula de estas condiciones es muy conveniente para el uso ordinario porque, además de ser bastante exacta, permite emplear juntos ó separados los dos primeros hilos ó solamente el tercero segun los casos.

El semicírculo que recorre la aguja está dividido en grados y acudiendo á una tabla de tangentes naturales, se halla la que corresponde al número de grados que marque la aguja en cada caso, y estas tangentes dan la relacion de las fuerzas de las corrientes que han producido las respectivas desviaciones.

Como en la brújula de senos, pueden marcarse las tangentes en el círculo que recorre la aguja en vez de los grados, con lo cual se evita el tener que acudir á la tabla de tangentes. Sea

sn , fig.^a 26 lám.^a 2.^a la aguja imantada y ab la indicadora. Si la tangente ad se dividiera en partes iguales y la aguja ab llegara á ella, estaria indicando en su movimiento las tangentes de los ángulos de desviacion; pero aunque esto no es imposible, es más conveniente referir las tangentes á la circunferencia.

Si dividimos el radio del círculo en 100 partes iguales y las llevamos sobre la tangente ad á partir de a y tiramos las *secantes* correspondientes á los puntos de division, la circunferencia quedará dividida en partes que corresponderán á las respectivas tangentes. La parte ar que es igual al radio comprenderá 100 partes, y pondremos 100 en el punto de intercesion del radio cr con la circunferencia. La mitad de ar comprenderá 50 partes y pondremos 50 en el punto en que el radio C 50, corta la circunferencia. Si as es doble de ar , comprenderá 200 partes y pondremos 200 en la estremidad del radio correspondiente.

La brújula de tangentes puede medir todas las corrientes cualquiera que sea su fuerza, puesto que las tangentes de un cuadrante crecen desde cero al infinito; pero la mayor exactitud corresponde á los 45° , de manera que cuando se trate de determinar la fuerza relativa de dos corrientes, se debe procurar que la una marque poco más y la otra poco menos de 45° , siendo el exceso igual al defecto.

Galvanómetro ó brújula de tangentes de Mr. Gaugain.—Segun Mr. De la Rive, varios fisicos han tratado de modificar los galvanómetros con el fin de que las tangentes de los ángulos de desviacion fuesen exactamente proporcionales á la fuerza de las corrientes; pero únicamente Mr. Gaugain ha logrado conseguirlo de una manera sencilla, disponiendo el carrete circular del galvanómetro de tangentes de modo que pudiera moverse paralelamente á sí mismo y colocarse á diferentes distancias del centro de la aguja, obteniendo por resultado, que cuando el carrete se halla á una distancia de dicho centro igual á la cuarta parte de su diámetro, existe la expresada proporcionalidad, al menos para dos casos particulares, y despues Mr. Bravais, fundándose en las leyes de Ampere, halló por el cálculo que el resultado de Mr. Gaugain era general y exacto, consignándolo en el siguiente teorema: «Some-
tiendo una aguja imantada á la accion de una corriente circular situada en el plano del meridiano magnético de manera que forme la base de un cóno cuyo vértice esté en el centro de la aguja y cuya altura sea igual á la cuarta parte del diámetro de la base, la fuerza de esta corriente es casi exactamente proporcional á la tangente del ángulo de desviacion que produce en la aguja.

Si *S N*, fig.^a 27, lám. 2.^a, es la aguja magnética y *A B* un bastidor circular colocado á la dis-

tancia $CC = \frac{1}{4} AB$, las tangentes de los ángulos que marque la aguja indicadora CO , cuando pasen sucesivamente varias corrientes por el hilo arrollado al bastidor, serán proporcionales á las intensidades de dichas corrientes. Por lo regular se coloca otro carrete circular al lado opuesto, con lo cual se corrige el defecto de longitud y de excentricidad de la aguja.

Multiplicador tangencial.— Si se prolongan las generatrices del cono ACB hasta el plano ED paralelo á AB resultará un tronco de cono $ABED$, y arrollando en él un hilo recubierto, todas las espiras ó vueltas gozarán de la misma propiedad que la primera AB , puesto que cada una de ellas puede considerarse como la base de un cono cuyo diámetro es igual al cuádruplo de la altura, de manera que el multiplicador cónico que así resulta, tendrá la propiedad de que las intensidades de las corrientes que pasen por él serán proporcionales á las tangentes de los ángulos de desviacion de la aguja. Este aparato, debido tambien á Mr. Gaugain es muy sencillo y el más exacto de todos los galvanómetros hasta el presente conocidos.

Galvanómetro de Thomson.— Se compone de dos pequeños imanes m y n figura 28 lámina 2.^a montados en un hilo de platino m n formando un sistema astático suspendido por una hebra de

seda tal como sale del capullo, del tornillo ó más bien punzon *a* colocado en la parte superior de la placa de laton *a a'*, de manera que puede subir y bajar tirando de él ú oprimiéndolo suavemente y con el mayor cuidado á fin de que no se rompa el hilo de suspension.

En la cara anterior de la placa *a a'* hay dos carretes *b* y *b'* á los cuales corresponden otros dos en la cara posterior como se ve en la figura 29 lámina 2.^a, y á los cilindros huecos que constituyen dichos carretes, corresponden dos agujeros en la placa, en los cuales se mueven los imanes *m* y *n*, suspendidos por el hilo mixto *an* que pasa por una canal practicada en dicha placa, y todo este sistema se cubre con una campana de cristal *P L* que lleva en el centro de la cara superior una varilla *C D* con un iman *A B* que puede bajar y subir, y girar en sentido horizontal, primero á la mano y despues, cuando se halla cerca del punto en que ha de fijarse, por medio del tornillo de aproximacion *E*; y por último el aparato se halla montado sobre una placa de ebonita *F G* provista de tres tornillos *F G H* para nivelarlo por medio de dos niveles que se colocan sobre la placa en ángulo recto.

Cuatro tornillos 1, 2, 3 y 4 que se hallan en comunicacion con los carretes de la manera que indica la figura 29, donde se han puesto aquellos á un costado del aparato para mayor clari-

dad, sirven para establecer las comunicaciones exteriores. La placa $a a'$ de la figura anterior está representada en la figura 29 por las mismas letras; a es el punzon que sostiene el sistema astático que se halla entre los cuatro carretes $b b$ y $b' b'$; $F G$ es la placa de ebonita. Estableciendo la comunicacion entre los dos tornillos 2 y 3 por medio de un *punte* que lleva uno de ellos, los cuatro carretes se hallan en el circuito de una pila P cuyos polos están unidos respectivamente á los tornillos 1 y 4. La corriente pasa del tornillo 4 al carrete b , al b' de la derecha por el hilo $c d$, á los tornillos 3 y 2, al carrete b' , de la izquierda, al b del mismo lado por el hilo ef y por último al tornillo 1. El hilo de los carretes está arrollado de manera que la corriente que pasa por ellos tiende á desviar el sistema astático en el mismo sentido, esto es, en direccion contraria que en el primero, en el segundo sistema de carretes.

Suprimiendo la comunicacion entre los tornillos 2 y 3, y estableciéndola entre el 1 y 3, y entre el 2 y 4 separadamente, la resistencia del galvanómetro se reduce á la cuarta parte con relacion al caso anterior en que la corriente recorria, uno despues de otro, los cuatro carretes. En efecto, ahora la corriente se divide entre dos hilos, que aunque fueran de la misma longitud, presentarian la mitad de la resistencia, y como

la longitud es la mitad que antes, la resistencia se reduce otra vez á la mitad, ó sea á la cuarta parte. El pequeño iman m , figura 28, del sistema astático, lleva un espejo circular de un diámetro igual á la longitud de dicho iman, cuyo espejo, reflejando un rayo luminoso procedente de una lámpara situada enfrente, puede medir la desviacion de la aguja del galvanómetro. La escala puede ser circular, con ventaja, y en este caso, el centro del círculo que la forma debe coincidir con el del espejo, ó estar en su eje vertical.

Sea m m , figura 30, lámina 2.^a, el espejo y L una lámpara que al traves de un agujero, rendija ó ventanilla practicado en una pantalla, envia un rayo de luz ó una cinta luminosa al centro del espejo. Cuando este tome una posicion tal como $m' m'$, el rayo reflejado $P B$, marcará en una regla dividida $C B$ paralela á la posicion primitiva del espejo, un cierto número de divisiones, cuyo número aumentará ó disminuirá segun que aumente ó disminuya la desviacion de la aguja del galvanómetro y por consiguiente del espejo, debiendo advertir que el ángulo que forman los rayos reflejados con el de incidencia $L P$ es siempre doble del que el espejo y la aguja forman con su posicion primitiva, puesto que si se tira la normal $n P$ el ángulo de incidencia $L P n$ será igual al de reflexion $n P B$ y por lo tan-

to $LPB = LPn + nPB$, y como estos dos ángulos son iguales al mPm' por tener sus lados perpendiculares, resultará: $LPB = 2mPm'$.

Es evidente que siendo la escala circular, si las intensidades de las corrientes son proporcionales á los ángulos de desviacion del espejo, tambien lo serán á los ángulos formados por los rayos reflejados y por lo tanto al número de grados ó de partes que estos rayos intercepten en la escala; pero además está demostrado que dando á los carretes y al espacio en que gira el espejo ciertas dimensiones, modificando convenientemente en cada caso la resistencia del galvanómetro y colocando la escala á unos 60 centímetros de distancia, las intensidades de las corrientes son sensiblemente proporcionales al número de divisiones interceptadas en la escala por los rayos reflejados, sea esta circular ó recta, siendo preferible la forma cilíndrica porque en ella se distingue mucho mejor el punto que señala el rayo reflejado. Por lo demás, si está bien construido, siempre resulta un galvanómetro muy exacto y más sensible que otro alguno.

La ventanilla, que por lo regular está practicada en el centro de la escala debajo del cero, debe ser bastante estrecha para que la cinta luminosa marque con exactitud la division correspondiente, y para dar á dicha ventanilla la anchura

conveniente se emplea una corredera que permite aumentarla ó disminuirla segun convenga. Es sin embargo preferible que la abertura sea circular, del diámetro de $1\frac{1}{2}$ centímetros con un retículo que pase por su centro y cuya sombra marcará las divisiones, y para mayor claridad, se interpone una lente que envia al espejo y este refleja sobre la escala, un círculo ó una eclipse luminosa atravesada por una línea oscura debida al hilo de platino que forma el retículo.

Preparacion del galvanómetro.—Este instrumento debe colocarse en una habitacion del piso bajo, cuyo pavimento descansa directamente sobre la tierra, porque en un piso alto, la más pequeña vibracion del suelo haría oscilar la cinta luminosa ó la raya oscura impidiendo la lectura de la escala. En las fábricas de cables, donde se hacen frecuentes experimentos, se coloca este aparato sobre un zócalo de mampostería fundado sobre el terreno. Fuera de estos casos se sitúa sobre una mesa á propósito la cual debe ser maciza, firme y sin ningun movimiento, y aunque ya el galvanómetro está montado sobre una placa de ebonita, debe establecerse sobre otra gran placa de la misma sustancia ó de guttapercha, despues de limpiar y secar la del aparato á fin de evitar toda pérdida de corriente. En la mesa ó en la gran placa aisladora, se traza una línea

en la direccion norte-sur y se hace coincidir con ella los dos tornillos anteriores de los tres que sirven para la nivelacion del instrumento colocados sobre prismas de ebonita á falta de dicha placa y de manera que este mire al oeste, y en seguida se procede á la nivelacion. Conseguido esto, se quita la campana de vidrio y se sube el boton que sostiene el sistema astático con el espejo apoyando los dedos entre la placa de laton, á la cual están fijos los carretes, y la cara inferior del boton á fin de que este suba con suavidad y no se rompa la hebra de seda, y en cuanto dicho sistema quede en disposicion de girar libremente y sin tocar á los carretes, se repone la campana y la varilla del iman regulador y se baja este hasta la mitad de la varilla, disponiendo sus polos de manera que tiendan á conservar el sistema astático en la direccion del meridiano magnético, como ya se ha dicho. Entonces se colocan la escala y la lámpara á la distancia de 60 centímetros á un metro y aquella paralela al frente del galvanómetro y de manera que el rayo reflejado venga al cero de la escala y la raya luminosa ó la raya oscura aparezca clara y distinta sobre la escala, á fin de que se pueda apreciar con exactitud el número de divisiones que indique, lo que se consigue alejando ó aproximando la lámpara. Para dar la conveniente sensibilidad al galvanómetro, se sube el

iman regulador y se le dá media vuelta para que estando los polos en direccion contraria á la anterior, tiendan á hacer girar el sistema astático, separándolo del meridiano magnético, y se baja el iman hasta que neutralice por completo la accion del magnetismo terrestre, en cuyo caso dicho sistema permanecerá en cualquiera posicion, y subiendo ahora el iman unos dos ó tres centímetros, la accion del magnetismo terrestre será la suficiente para mantener el sistema astático en la direccion del meridiano magnético, bastando, sin embargo, la fuerza más pequeña para desviarlo de esta posicion. El galvanómetro habrá adquirido entónces su mayor sensibilidad y si el rayo luminoso no coincide con el cero de la escala, se hace girar horizontalmente el iman regulador por medio del tornillo de aproximacion hasta obtener dicha coincidencia.

La disposicion de la regla debe ser tal que estando paralela á la placa de los carretes, la perpendicular levantada en el punto cero pase por la ventanilla ó agujero de la pantalla y por el centro del espejo, y para conseguir este objeto es necesario subir ó bajar convenientemente la escala; y si entónces el rayo reflejado no coincide con el cero, consiste en que el iman regulador mantiene separado el sistema astático, y por consiguiente el espejo, del meridiano magnético, y para traerlo á él es necesario hacer girar el iman

por medio del tornillo antes indicado, pudiendo tambien conseguirse el mismo resultado por medio de otro iman situado en la peana, perpendicular al meridiano magnético.

Los objetos de hierro que se hallen más ó ménos cerca del galvanómetro no ejercen influencia sobre él mientras no se muevan del sitio donde se hallan, despues que se haya fijado la posicion definitiva del iman regulador, posicion que depende en parte de la accion de dichos objetos; pero es conveniente que el observador, que naturalmente ha de cambiar de sitio á cada instante, no lleve consigo ninguno de estos objetos aunque sea una llave ó un cortaplumas.

Terminados los experimentos, debe bajarse el boton que sostiene el sistema astático, para que descanse sobre los carretes y lo mismo debe hacerse cuando haya que trasportar el instrumento, á fin de que no se rompa la hebra de seda, y si esto sucede por cualquier accidente, se coloca otra desmontando uno de los carretes, la cual, como hemos dicho, ha de ser sencilla y sin torsion, tal como sale del capullo de seda y de las más finas, casi invisible, en la inteligencia de que si para darle más fuerza se uniesen aunque no fuese más que dos hebras, disminuirla bastante la sensibilidad del galvanómetro. Despues de pasada la hebra por los agujeros del espejo y del boton se pone en cada uno de ellos

una gota de goma laca disuelta en espíritu de vino, para que no se salga.

Acompañan á este galvanómetro, una caja de derivaciones, un manipulador ó interruptor de corrientes, otro idem inversor de polos, un conmutador tambien inversor de corrientes, un condensador y un descargador, de cuyos accesorios nos ocuparemos en breve.

Este aparato suele recibir distintas formas de los diversos constructores, pero la más común es la que acabamos de describir.

Galvanómetro marino.—Si en tierra es necesario tomar las precauciones que hemos indicado para poder hacer uso del galvanómetro anterior, fácilmente se comprende que será de todo punto imposible emplearlo en las pruebas de á bordo durante la inmersión de un cable, puesto que la marcha y los movimientos del buque han de tener al rayo luminoso en continua agitación. Mr. Thomson ha modificado, pues, su galvanómetro para que pueda aplicarse en estos casos fijando tanto en la parte inferior como en la superior por medio de un hilo de seda sin torsión, el pequeño iman que lleva el espejo cuidando de suspenderlo por su centro de gravedad. Este pequeño iman que forma por decirlo así, la aguja del galvanómetro se halla en presencia de los polos de otro fuerte iman de herradura, que mantiene al primero en una posición fija y libre de la

accion del magnetismo terrestre, de manera que formando un todo los dos imanes, los carretes, la escala y la lámpara, cualquiera que sea la marcha y los movimientos del buque, la posicion relativa de las partes de este todo, no varía, y el aparato funcionará como en tierra, y para evitar toda accion exterior se coloca en una caja cilíndrica de hierro con una ventana cerrada con un cristal para el paso del rayo de luz.

Galvanómetro diferencial.—Se distingue de los demás en que son dos los hilos arrollados al carrete, despues de haberlos trenzado para que su situacion sea lo más idéntica posible y ejerzan igual influencia sobre la aguja magnética. Estos hilos han de ser del mismo diámetro, de la misma longitud y de la misma resistencia, perfectamente aislados por medio de una capa de seda delgada bañada en parafina fundida. Por mucho que sea el esmero con que se construya un carrete de estas condiciones, es muy difícil que los dos hilos produzcan una desviacion igual en la aguja, y entónces se añaden algunas vueltas al que resulte con menos fuerza, y al otro una cantidad igual de hilo arrollado en otro carrete, la mitad en un sentido y la mitad en el opuesto, para que este carrete no ejerza influencia sobre la aguja y queden los dos hilos con la misma resistencia.

Cada una de las extremidades de los hilos,

comunica con su correspondiente tornillo como indica la figura 31, lámina 2.^a. Sean a y a' las extremidades de un hilo y b y b' las del otro y hagamos pasar por el primero la corriente de una pila en el sentido de a' hacia a y la de otra pila por el hilo $b b'$ en direccion contraria. Si estas corrientes son de la misma fuerza, la aguja permanecerá en el cero; pero si son de fuerza diferente, el galvanómetro indicará una desviación que será proporcional á la diferencia que exista entre la fuerza de las corrientes. De la misma manera, si hacemos pasar la corriente de una misma pila por los dos hilos del galvanómetro, y en sentido contrario, la aguja permanecerá en reposo si es igual la resistencia de los dos circuitos exteriores, y se desviará en el caso contrario.

Como en el de Thomson, puede variarse la resistencia de este galvanómetro por medio de los cuatro tornillos. Uniendo los a' y b , la corriente que entre por a ó por b' y salga por el otro, recorrerá sucesivamente los dos hilos. Si se une a con b y a' con b' , la corriente recorrerá los dos hilos á la vez en el mismo sentido, y será lo mismo que si recorriese un solo hilo de doble sección y mitad de longitud, y, por último, empleando únicamente los tornillos a y a' ó los b y b' tendremos un galvanómetro ordinario con un solo hilo.

Galvanómetro diferencial de Clark.—Las extremidades de los dos hilos están unidas á las piezas metálicas *A, B, C, D*, figura 32, delante de las cuales hay una placa tambien metálica *E H* con un apéndice *L M* que comunica con el manipulador *m* y con el tornillo *n*. Entre las piezas metálicas *C* y *d* hay un hilo de derivacion cuya resistencia es $\frac{1}{99}$ de la del hilo correspondiente del galvanómetro y otro igual entre las piezas *B* y *d'*.

Puestas las clavijas en *B* y en *C*, una corriente que entre por *A* ó por *D*, recorrerá sucesivamente los dos hilos del galvanómetro; pero si entra por *L* se dividirá en dos corrientes, una que recorrerá el hilo *B A* y la otra el *C D* en sentido contrario quedando la aguja en reposo. Si á estos hilos se añaden resistencias exteriores iguales, la aguja permanecerá en el cero, pero si son diferentes se desviará en el sentido del hilo á que corresponda la menor resistencia.

Uniendo las piezas *B* y *C*, despues de quitar las clavijas, por medio de un hilo auxiliar y el tornillo *n* á la pieza *A* por medio de otro hilo, queda el aparato en disposicion de enviar y de recibir una corriente de la línea unida al manipulador *m*. En efecto, uniendo la pila al tornillo *L*, la corriente pasará por la comunicacion fija *p m* al manipulador y bajando este á la línea, y

la corriente que venga de esta pasará del manipulador á la pieza *LM*, al tornillo *n*, á la pieza *A*, y recorriendo los dos hilos del galvanómetro, á la pieza *D* puesta previamente en comunicacion con la tierra. Se comprende fácilmente que en esta disposicion el aparato puede servir de receptor, colocando dos topes que limiten las oscilaciones de la aguja.

Para establecer las derivaciones basta colocar una clavija en el agujero *d* ó en el *d'* ó en ámbos, si las dos son necesarias.

Este galvanómetro no es de los más exactos, segun dice Mr. Clark; pero es cómodo, poco delicado y muy suficiente para todas las pruebas que ocurren en el servicio de telégrafos, especialmente para determinar la resistencia y el aislamiento de las líneas y para reconocer la fuerza de las pilas, operaciones que deben hacerse con frecuencia. Para esto último, se establecen las dos derivaciones, se colocan las clavijas *B* y *C* y los polos de la pila, uno en *A* y otro en *D*.

Galvanómetro de Bramao.—El distinguido ingeniero de telégrafos de la Administracion portuguesa, inventor del receptor que tan dignamente figuraba en la última exposicion universal de París, ha imaginado un galvanómetro que se diferencia notablemente de los hasta el presente conocidos, fundado en las propiedades magnéticas de los solenoides.

Consiste este aparato en dos solenoides verticales colocados sobre una peana á la distancia de uno ó dos centímetros uno de otro, entre los cuales se halla suspendida una aguja magnética, por medio de un hilo de seda sin torsion situado en el plano vertical que pasa por los ejes de los solenoides y á igual distancia de estos; de manera que al orientar la aguja queda perpendicular á dicho plano. Al pasar una corriente por uno de los solenoides, este se convierte en un iman, y á no ser que la aguja se halle en el plano horizontal que pasa por el centro del solenoide, en el cual la accion de este es nula ó más bien se equilibra, por lo que se llama *plano neutro*, la aguja ha de desviar más ó ménos á la derecha ó á la izquierda, segun sea la fuerza de la corriente y la distancia entre dicho plano neutro y el de oscilacion de la aguja.

En este caso funciona el aparato como un simple galvanómetro; pero haciendo pasar la corriente por los dos solenoides á un tiempo de manera que desarrolle polos del mismo nombre en las extremidades superiores, y por lo tanto en las inferiores iguales tambien entre sí y contrarios á aquellos, la aguja quedará en reposo cualquiera que sea la fuerza igual de estas corrientes, siempre que los planos neutros de los solenoides se hallen á la misma altura, y si ahora se introduce una resistencia en el circuito de

uno de los solenoides, disminuirá en él la fuerza de la corriente y por consiguiente la de imantación, por lo cual haciéndose preponderante la del otro, la aguja desviará á uno ú otro lado, Retirando este solenoide de más fuerza, se puede conseguir, sin embargo, que la aguja vuelva al cero, y por la distancia á que haya sido preciso retirarlo para conseguirlo, se calcula el valor de la resistencia introducida, que puede ser un conductor telegráfico ú otra cualquiera, funcionando entónces el galvanómetro como diferencial.

Galvanómetros varios.—Son muchas las modificaciones introducidas en estos aparatos, y en la imposibilidad de hablar de todas ellas nos limitaremos á indicar que M. Barker emplea una linterna mágica para proyectar sobre una pantalla vertical la imagen luminosa del círculo graduado y de la aguja, lo que permite agrandar dicha imagen cuanto sea necesario para leer con toda comodidad y exactitud.

Mr. Sprague gradua en Webers su galvanómetro de mediciones directas. La fuerza electromotriz de un elemento Daniell es segun Thomson de 1,079 voltas y si damos á un galvanómetro de tangentes una resistencia de 1,079 *ohms* y hacemos pasar por él la corriente de dicho elemento, resultará una corriente de la fuerza de un Weber y el punto del círculo en que se fije la

aguja, indicará la primera division que repetida servirá para graduarlo en Webers.

Mr. Bradley ha imaginado una brújula de tangentes sustituyendo la aguja magnética por un disco imantado, hallándose el carrete inmediatamente debajo y resultando un aparato que si no dá mucha exactitud, es de fácil manejo y no está sugeto á frecuentes descomposiciones.

Mrs. Weber y Biecke proponen la forma de un elipsoide para los carretes de los galvanómetros á fin de que la sensibilidad sea constante en todas las posiciones de la aguja, y el segundo de dichos señores, ha hallado por el cálculo que lo más conveniente para el caso es un elipsoide de revolucion en que el eje más corto sea vertical.

Voltámetro.—Segun hemos indicado al hablar de la conductibilidad de los líquidos, la propagacion de la electricidad al traves de los mismos va siempre acompañada de la separacion de sus elementos, cuando los líquidos son compuestos. El aparato que sirve para estas descomposiciones se llama *Voltámetro* que quiere decir *medidor* de la corriente eléctrica ó voltáica, y se compone de un vaso *AB*, figura 33, lámina 2.^a, por cuyo fondo penetran dos hilos ó dos láminas de platino bastante próximas, que se ponen en comunicacion con los polos de la pila. Si el vaso contiene agua, esta se descompone al pasar la corriente.

apareciendo el hidrógeno en el polo ó electrodo negativo y el oxígeno en el positivo, donde pueden recogerse por medio de dos probetas llenas de agua, ó de una sola probeta *C* cuando no sea preciso obtener separadamente los dos gases. La cantidad de gases recogidos de esta manera en el mismo tiempo, es proporcional á la fuerza de la corriente. Si una corriente produce doble ó triple cantidad de gases que otra en un minuto, la fuerza de la primera corriente será dos ó tres veces mayor que la fuerza de la segunda, lo que nos dará un medio muy exacto de determinar la fuerza ó cantidad relativa de las corrientes.

Es necesario que los electrodos sean de platino cuando se trata de la descomposicion del agua, porque de otro modo el oxígeno se combinaria con el que formase el polo positivo; tambien es conveniente echar en el agua algunas gotas de ácido sulfúrico para aumentar la conductibilidad y facilitar la descomposicion.

De la misma manera que el agua, puede descomponerse una sal cualquiera, como por ejemplo, el sulfato de cobre, introduciendo en una dissolution de esta sal dos láminas de cobre que formarán los electrodos en comunicacion con los polos de la pila. Al pasar la corriente, el sulfato se descompone pasando el cobre al electrodo negativo sobre el cual se deposita, y el oxígeno y el ácido al electrodo positivo con el cual se combi-

nan formando otra vez sulfato de cobre. Resulta, pues, que una placa aumenta de peso y la otra disminuye en la misma cantidad, y que este aumento ó esta disminucion de peso, representa la fuerza de la corriente. Intercalando varios voltámetros de la misma especie en el mismo circuito, es evidente que en cada uno de ellos se descompone la misma cantidad de agua ó de sal, puesto que la fuerza de la corriente es la misma en todos los puntos del circuito, y sucede además, que si los voltámetros contienen sustancias diferentes, como por ejemplo, el uno agua, el otro sulfato de cobre, el otro sulfato de zinc, los pesos del hidrógeno, del cobre y del zinc descompuestos, son proporcionales á los equivalentes químicos de estos cuerpos, que con relacion al oxígeno son 12-50, 395-60 y 406-60 respectivamente.

Un elemento de pila es un verdadero voltámetro y por lo tanto, en los casos que hemos considerado, la cantidad de hidrógeno descompuesta por esta pila en el voltámetro de agua, estará con la del cobre y la del zinc descompuesta en cada elemento de la misma, en la relacion de los respectivos equivalentes químicos de estos cuerpos; y la cantidad de cobre descompuesta en el voltámetro de sulfato de cobre, será igual á la descompuesta en cada elemento de la pila, suponiendo esta de sulfato de cobre. De aquí se de-

duce que el trabajo exterior de la pila es igual al trabajo interior, y si esto no es completamente exacto consiste en lo que se llama *accion local*, esto es, en las corrientes que se desarrollan en el interior de la pila sin pasar al circuito exterior. Dedúcese tambien de lo expuesto, que en todos los elementos de la pila, suponiendo que sean perfectamente iguales, se deposita la misma cantidad de zinc, que la fuerza de la corriente es proporcional á esta cantidad de cobre ó á esta cantidad de zinc y que el consumo total de zinc y de sulfato de cobre en una pila, es proporcional á las dimensiones y al número de elementos de que se compone.

Para descomponer el agua se necesita la tension de 1,75 voltas, es decir dos elementos Daniell por lo ménos.

Balanza electro-magnética de Becquerel.—Es una balanza muy sensible de cuyos platillos penden dos cilindros de acero de unos tres milímetros de diámetro y ocho centímetros de longitud, imantados hasta la saturacion, con el polo norte hácia abajo á fin de que conserven mejor su magnetismo. La sensibilidad de la balanza debe ser tal que hallándose en equilibrio con los imanes puestos en su lugar, un peso de ménos de medio gramo sea suficiente para hacerla correr. Cada uno de estos dos imanes entra en una bobina hueca que se halla debajo colocada sobre

un pié, el cual puede hacerse correr en dos direcciones perpendiculares por medio de dos tornillos á fin de que el eje de cada iman coincida con el eje de la bobina correspondiente. Si se hace pasar una corriente por una de las bobinas, atraerá ó rechazará el iman que le sirve de eje, y el peso que sea preciso colocar en uno de los platillos, indicará la fuerza de la corriente. Con el objeto de duplicar el efecto sobre la balanza, se hace pasar la corriente por las dos bobinas de manera que atraiga uno de los imanes y rechace el otro. La relacion que exista entre los pesos necesarios para restablecer el equilibrio haciendo pasar una despues de otra dos corrientes por las bobinas, será igual á la que existe entre las fuerzas de las dos corrientes. Si las dos bobinas fuesen idénticas y los imanes de la misma fuerza, la balanza podia servir de galvanómetro diferencial.

Por último, la fuerza de las corrientes puede medirse por la fuerza magnética que comuniquen á un electroiman ó por los pesos que este pueda sostener, y por el número de oscilaciones que ejecute una aguja magnética cuando esta ha tomado la posicion normal á la corriente que actúa sobre ella.

Pudiéramos ocuparnos de otros galvanómetros notables bajo varios aspectos, pero consideramos suficientes los que hemos descrito, y aún

suprimiríamos alguno, si no tuviéramos presente la consideracion de que no pudiendo elegirse siempre un determinado instrumento, conviene conocer, aunque sólo sea aproximadamente, el mayor número posible.

*Puente, paralelógramo ó Balanza de Wheats-
tone.*—Supongamos dos conductores cilíndricos homogéneos y de igual diámetro, LM y $L'M'$, en comunicacion inmediata con una pila, figura 34 lámina 3.^a y representemos por LH y $L'H'$ las tensiones en L y en L' , las cuales son evidentemente iguales. La tension en un punto cualquiera p del conductor LM es la perpendicular Ph , puesto que $H M$ es la línea de las tensiones. Si en el punto M' levantamos la perpendicular $M'n = ph$, tiramos nh' paralela á $L'M'$ y bajamos la perpendicular $h'p'$, esta perpendicular será igual tambien á ph y por lo tanto la tension en el punto p' es igual á la del punto p . Esto supuesto vamos á demostrar que siendo $p'h' = ph$, ó lo que es lo mismo, iguales las tensiones en los puntos p y p' , las partes Lp y pM del conductor LM son proporcionales á las partes $L'p'$ y $p'M'$ en que resulta dividido el conductor $L'M'$.

En efecto representando estas partes por $A'B'C'$ y D' respectivamente, los triángulos semejantes Mph y MLH nos dan la relaeion:

$$\frac{LH}{ph} = \frac{A'}{B'}$$

De la misma manera se deduce de los triángulos $M'p'h'$ y $M'L'H'$ que:

$$\frac{L'H'}{p'h'} = \frac{C'}{D'}$$

Los primeros miembros de estas dos ecuaciones son iguales y por lo tanto tendremos, como se queria demostrar:

$$\frac{A'}{B'} = \frac{C'}{D'};$$

y como las resistencias en conductores de estas condiciones son proporcionales á las longitudes, si representamos por A, B, C y D las respectivas resistencias de las partes A', B', C' y D' , tendremos igualmente:

$$\frac{A}{B} = \frac{C}{D}.$$

Lo que demuestra que las resistencias de las partes en que quedan divididos dos conductores homogéneos y de igual seccion por los puntos de igual tension, son proporcionales. Además debemos recordar que aunque se unan los puntos p y p' por un conductor, no pasará por este corriente alguna, de manera que un galvanómetro intercalado en él, permanecerá en reposo.

Si con las cuatro líneas $A' B' C'$ y D' formamos un cuadrilatero, figura 35, lámina 3.^a, aplicamos la pila al vértice a y ponemos el opuesto d en comunicacion con la tierra, las circunstan-

cías serán las mismas y entre las resistencias de sus lados existirá la relacion:

$$\frac{A}{B} = \frac{C}{D}; \text{ de donde: } AD=BC,$$

lo que nos dice que, *cuando el potencial es el mismo en los vértices c y b, el producto de las resistencias de dos lados opuestos del cuadrilátero es igual al producto de las resistencias de los otros dos.* Este cuadrilátero con un galvanómetro sensible *G*, colocado como indica la figura, ó sea *en cruz con la pila*, es lo que constituye el *punte, balanza ó paralelógramo* de Wheatsthone, por medio del cual se puede determinar la resistencia eléctrica de los cuerpos. Supongamos que la resistencia *A* del lado *ab* es 10, la *C* del lado *ac* es 100 y que variando la del lado *bd* hasta que la aguja del galvanómetro *G* quede fija en el cero, lo conseguimos con una resistencia de 500. Es evidente que en este caso, no pasa corriente alguna por el galvanómetro, puesto que la aguja permanece en el cero y que por lo tanto la tension del vértice *b* es igual á la del vértice *c* por lo cual se verificará entre los lados del cuadrilátero, la relacion $AD=BC$; de donde: $D=\frac{BC}{A}$, y si en vez de *A, B* y *C* ponemos sus valores, tendremos:

$$D=\frac{500 \times 100}{10}=5000.$$

Así, pues, para hallar la resistencia de un conductor por medio de este puente, basta suponer que forma el lado D del cuadrilátero, dar resistencias conocidas á los lados A y C y variar la del lado B hasta que la aguja del galvanómetro quede fija en el cero. Entónces por medio de la fórmula anterior se halla la resistencia buscada.

En la figura 35 hemos puesto el polo positivo al puente, y á tierra el negativo y el vértice d ; pero fácilmente se comprende que lo mismo puede aplicarse el negativo, y aún suprimir por completo la tierra, como indica la figura 36, cuando esto último sea posible, lo que no siempre sucede como en el caso de la figura 37, en que la extremidad de la resistencia D no se halla á nuestro alcance, siendo forzoso emplear la tierra y establecer las comunicaciones como indica la figura, en la cual se supone que D es un hilo telegráfico.

La forma de cuadrilátero ó de paralelógramo es muy conveniente para la explicacion y para establecer con facilidad las comunicaciones necesarias, y por esta razon debe conservarse en la memoria; pero la del puente de Wheatsthone es por lo regular la que representa la figura 38, lámina 3.^a Cada uno de los lados A y C se compone de tres bobinas de la resistencia de 10, 100 y 1000 unidades Ohm y el B de 16 bobinas cuyas

resistencias tambien se indican. Estos tres lados son los que constituyen el aparato. El lado *D* lo forma la resistencia que se trata de determinar y que se coloca entre los tornillos *c* y *d*. Si se compara esta figura con la 36, se verá que las comunicaciones se hallan establecidas de la misma manera.

Estando colocadas todas las clavijas, los tres lados fijos del puente no presentan ninguna resistencia; pero si quitamos la clavija de la bobina 10 del lado *A* y la 1000 del lado *C* estableceremos entre estos lados la relacion de 10 á 1000, y si para que el galvanómetro marque cero es preciso que el lado *B* tenga una resistencia de 8000 unidades, lo que se consigue quitando las clavijas de las bobinas necesarias para componer este número, el valor de la resistencia *D* será

igual á $\frac{8000 \times 1000}{10} = 800000$. Si desde luego se

comprende que la resistencia que se busca ha de ser menor que las 11.000 unidades de que consta el lado *B*, se dan resistencias iguales á los lados *A* y *C* quitando en ámbos la clavija 10, la 100 ó 1,000, segun los casos, y entónces la resistencia del lado *B* con que se logre fijar la aguja en el cero, será igual á la que se busca, y si esta fuese menor que una unidad Ohm se da más resistencia al lado *A* que al lado *C*.

Como se habrá notado, la relacion entre los

lados A y C es constante para cada experimento y variando la resistencia del lado B , logramos que la relacion entre esta y la que se busca sea igual á la que establecemos entre los dos primeros lados, por cuya razon este puente suele llamarse *de relacion constante*.

Puente de Wheatsthone de relacion variable.—En vez de establecer una relacion determinada entre los lados A y C , se puede dar al lado B una resistencia fija en cada experimento, con lo cual quedará constante la relacion entre este lado y el D que se busca, y la cuestion queda reducida á variar la resistencia de uno de los lados A ó C , ó la de ámbos, hasta que la relacion entre ellas sea igual á la que existe entre las resistencias de los B y D , lo que se verificará cuando la aguja del galvanómetro se fije en cero.

Puente de Wheatsthone lineal ó de metro dividido.—Está representado en la figura 39, lámina 3.^a, y se compone de un hilo de platino-iridio HP situado cerca y paralelamente á una regla de madera de un metro de longitud, dividida en partes iguales. En la disposicion de la figura, X es la resistencia que se trata de medir, R una resistencia conocida, y los otros dos lados del puente están formados por las dos partes Hm y mP en que queda dividido el hilo metálico por la corredera m . Para emplear este aparato se establecen las comunicaciones como indica dicha fi-

gura y se corre la pieza m á lo largo del hilo metálico, apretando un boton que lleva en la parte superior, con lo cual se establece la comunicacion con la pila, y cuando el galvanómetro se fije en cero. se tendrá la proporcion:

$$\frac{X}{R} = \frac{mP}{Hm}, \text{ de donde: } X = \frac{mP}{Hm} \times R.$$

Si al fijarse la aguja en cero, la corredera m marca 75 en la escala, será $Hm=75$ y $mP=25$, y por lo tanto: $X = \frac{25}{75} \times R$, puesto que las resistencias de las partes Hm y mP son proporcionales á sus longitudes.

Por lo regular se introduce una resistencia entre el extremo P del hilo y la resistencia X y otra igual entre el extremo H del mismo hilo y la resistencia R , próximamente del mismo valor que se calcule podrá tener la que se busca, y entónces se hacen dos observaciones, agregando sucesivamente á X cada una de estas resistencias auxiliares, lo que se consigue fácilmente por medio de un conmutador, y se toma el término medio; pero como ni aún así se puede esperar una gran exactitud con este aparato, creemos que es preferible emplearlo tal como indica la figura, para medir pequeñas resistencias, procurando que R guarde relacion con X .

Galvanómetro universal de Siemens.—Es una combinacion del puente de Wheatsthone de rela-

cion variable con un galvanómetro de senos. La aguja de este galvanómetro se halla suspendida sobre un círculo dividido figura 40 lámina 3.^a, debajo del cual se hallan los carretes, montados sobre un disco de pizarra tambien graduado *prq* en cuyo canto se halla colocado el hilo de platino que forma los lados variables *A* y *C* del puente. Las piezas metálicas *ef* que corresponden á las tres bobinas que constituyen el lado *B* están igualmente sobre el disco de pizarra. El rodillo de platino *r* se halla en una pieza metálica vertical unida á una palanca horizontal que gira al rededor del eje del instrumento, á cuyo efecto está provista de un boton de marfil á fin de que al cogerla con la mano para moverla, no se establezca una derivacion á tierra por medio del observador. La palanca termina en un tornillo donde se aplica, cuando conviene, uno de los polos de la pila. Los tornillos para las comunicaciones exteriores son cinco, señalados con el número correspondiente, y comunican interiormente: el número 1 con el eje del aparato y por lo tanto con el rodillo *r*, el 2 con el lado izquierdo del galvanómetro al traves de las bobinas de resistencia ó de las piezas metálicas *ef* cuando están puestas las clavijas, el 3 con el extremo *q* del hilo de platino, el 4 con el lado derecho del galvanómetro y el 5 está aislado; pero por medio del resorte *K* se puede poner en comunicacion

con el 2, así como los 3 y 4 entre sí por medio de una clavija. El otro extremo del hilo de platino p comunica con la pieza e . Todas las partes del aparato que acabamos de describir, ménos la palanca, se hallan montadas sobre una placa de madera, la cual, con todo lo que contiene, puede girar horizontalmente al rededor de una espiga metálica que atraviesa la peana del instrumento y se sujeta por debajo con una tuerca. La palanca se halla entre la placa y la peana, y esta última descansa sobre tres tornillos que sirven para nivelar el galvanómetro.

Habiéndose hecho cargo de la disposicion del mismo, se comprende que colocando las clavijas de las bobinas 10, 100 y 1000, quitando la que establece la comunicacion entre los tornillos 3 y 4, llevando un polo de la pila al tornillo 2 y el otro polo al 4, el galvanómetro funciona como ordinario, ó como de senos á voluntad del observador.

Para emplearlo como puente de Wheatsthone, se lleva un polo de la pila P al tornillo 1, ó directamente al de la palanca y el otro polo al tornillo 5, la resistencia R que se quiere medir, se coloca entre los tornillos 2 y 4, se pone la clavija entre los 3 y 4, se quita la clavija de una de las bobinas de resistencia, la 10, 100 ó 1000, segun se calcule que puede ser el valor de la resistencia que se busca y por último, se baja el

resorte K que está encima de los tornillos, aunque para mayor claridad lo figuramos delante de los mismos.

Comparando esta figura con la anterior, se comprende desde luego la analogía que existe entre ellas. Al hilo rectilíneo HP corresponde el circular prq , á la corredera m el rodillo r , á la resistencia conocida R , la de una de las bobinas ef y á la resistencia x que se busca, la R situada entre los tornillos 2 y 4 de la segunda figura. Únicamente están cambiados los puntos de aplicacion de la pila y del galvanómetro lo que no influye en el resultado.

La corriente de la pila pasa del tornillo 1 al eje del galvanómetro y de este á la palanca, ó directamente al extremo de esta si en el se fija el reóforo de la pila y de todos modos al rodillo r donde se divide en dos, una que marcha por la parte rp del hilo de platino alojado en el canto del disco de pizarra, al sistema de bobinas ef y al tornillo 2 que corresponde al polo negativo de la pila, y la otra que, por la otra mitad rq del mismo hilo de platino pasa al tornillo 3 y de este al 4 por la clavija, y por la resistencia R que se busca, al mismo tornillo 2, que por el resorte K se pone en comunicacion con el polo negativo de la pila, quedando así cerrados los dos circuitos que forman el puente y hallándose entre ellos el galvanómetro unido á los vértices p y q .

Haciendo girar la palanca tomándola por el boton de marfil, la aguja del galvanómetro se fijará en cero al llegar el rodillo r á un punto tal como n y entónces el lado C del puente será nrq , el A estará representado por np , el B por la bobina cuya clavija se ha quitado que supondremos es la de 100, y el D por la resistencia R ; y substituyendo en la fórmula,

$$D = \frac{C \times B}{A}, \text{ tendremos: } R = \frac{nrq \times 100}{np} = \frac{nrq}{np} \times 100$$

El disco de pizarra se halla dividido en grados á partir del punto medio, donde se halla el cero, comprendiendo 150° cada uno de los arcos rp y $r\hat{q}$; de manera que si representamos por a el arco rn , será: $nrq = 150 + a$; $np = 150 - a$, y substituyendo en la fórmula anterior resultará:

$$R = \frac{150 + a}{150 - a} \times 100.$$

Si la resistencia R es pequeña y en general menor que 10 unidades Siemens, el lado A del puente tiene que ser mayor que el C porque de lo contrario no sería posible que el producto de dos lados opuestos fuese igual al de los otros dos, y para que la aguja del galvanómetro se fije en cero es necesario mover la palanca hácia la derecha ó sea hácia la letra B que se halla sobre el disco de pizarra, y entónces, si al fijarse el galvanómetro en cero, se halla el rodillo r , en el punto n' , el arco a será rn' , el lado C del puente

será evidentemente $n'q=150-a$ y el $A=prn'=150+a$, por lo cual la fórmula anterior se convertirá en la siguiente:

$$R=\frac{150-a}{150+a}\times 100.$$

Para cada caso particular, es preciso, pues, hallar los valores que corresponden á $150+a$ y á $150-a$ y dividir el primero por el segundo ó al contrario y multiplicar el cociente por la resistencia introducida en cada caso en el sistema *ef*, lo cual sería pesado y engorroso en la práctica, cuando hubiera que hacer muchas observaciones, y para evitar este inconveniente Mr. Siemens ha calculado unas tablas con tres columnas figurando en la primera los valores de a de medio en medio grado, en la segunda el del cociente

$$\frac{150+a}{150-a} \text{ y en la tercera el del cociente } \frac{150-a}{150+a}$$

correspondientes á cada valor de a . La segunda columna está encabezada con la letra A y la tercera con la letra B , cuyas letras se hallan sobre el disco de pizarra.

Si para que la aguja quede en cero es preciso llevar el rodillo á la izquierda ó sea hácia el lado A , se busca en la tabla el valor del arco a y en frente, en la columna A , se hallará el cociente, por el cual se ha de multiplicar la resistencia que hayamos introducido ó dejado en el sistema *ef*, para hallar la resistencia que se busca; y si

el rodillo se ha llevado á la derecha ó hácia el lado *B*, se buscará dicho cociente en la columna *B*. Al final de este libro se halla dicha tabla tomada de la descripción de este galvanómetro por el mismo Mr. Siemens, ó sea de su folleto n.º 13.

La figura 41, lámina 3.^a, representa la proyección vertical de este aparato:

a es la tuerca que sujeta el eje del galvanómetro.

b, b, b, los tornillos que sirven para la nivelación.

E, la peana de madera.

D, la palanca que lleva el rodillo *r* sobre la pieza *d* montada sobre otra *e* de manera que puede girar en un plano vertical y que el resorte *s* oprime contra el disco de pizarra, á fin de que el contacto entre el rodillo y el hilo de platino sea lo más perfecto posible.

g es el botón ó manecilla de marfil para hacer girar la palanca.

z, un nonius para apreciar fracciones de grado.

C, la placa de madera sobre la cual se hallan los tornillos 1, 2, 3, 4 y 5 y los hilos de las bobinas de resistencia, arrollados á *B, B*.

k el resorte que pone en comunicación el tornillo 2 con el 5.

P, P, el disco graduado de pizarra con el hilo de platino.

F las piezas metálicas correspondientes á las bobinas de resistencia.

G el carrete.

L, L, el círculo graduado que recorre la aguja constituida por un sistema astático.

M, M, un puente sobre el cual se aplica la aguja por medio del tornillo *m*, cuando no se hace uso del aparato.

H, el hilo de suspension de la aguja, que es de seda sin torsion.

h el sistema de suspension que es un tornillo que sube ó baja con lentitud haciendo girar horizontalmente en uno ó en otro sentido una esfera que el tornillo atraviesa.

N, N, dos columnas que sostienen el aparato de suspension.

R, R, un cilindro de cristal con su tapadera *T, T*, con un agujero en el centro para el referido aparato de suspension *h*.

La resistencia de este galvanómetro, al ménos del que tenemos á la vista, es de unas 100 unidades Siemens que equivalen á 95 ohms. La nivelacion puede hacerse por medio de uno ó dos niveles, pero en general puede considerarse suficientemente nivelado el galvanómetro cuando el hilo de suspension pase sensiblemente por el centro del agujero que hay en el puente *M M* para dar paso á dicho hilo. Lo que sí es indispensable, como fácilmente se comprende, es que el

hilo y el rodillo de platino estén perfectamente limpios y las clavijas muy apretadas.

Acompañan á este galvanómetro una caja de derivaciones y un conmutador de pila de que nos ocuparemos en breve.

Determinacion de la resistencia del circuito que con un elemento Daniell produce en un galvanómetro un ángulo de desviacion de la amplitud de un grado.—Atendiendo á que las desviaciones de un galvanómetro están en razon inversa de las resistencias del circuito cuando la pila es la misma, como en este caso sucede, el problema es de fácil solucion, puesto que tomando el ángulo de desviacion para una resistencia R , por medio de una proporcion se hallaria la resistencia necesaria para reducir á un grado la desviacion. Supongamos que con dicha resistencia el galvanómetro da una desviacion de 40° . Para hallar la resistencia que produciria un grado bastaria establecer la proporcion: $x : R :: 40^\circ : 1^\circ$, de donde resulta: $x = 40R$, como se debia suponer puesto que si á la resistencia R corresponden 40° para reducir esta amplitud á un grado se necesitaria una resistencia 40 veces mayor,

Para resolver el problema de un modo general se debe tener presente que para que sean más exactas las indicaciones galvanométricas, deben estar comprendidas entre ciertos límites, que para que guarden relacion con la resistencia del

circuito, es necesario que esta sea de alguna consideracion; y por último, que es preciso contar con la resistencia del galvanómetro y de la pila.

Así, pues, empezaremos por establecer el circuito del elemento Daniell al través del galvanómetro y de una resistencia por lo ménos de 5000 *Ohms*, y por medio de una derivacion introducida en el galvanómetro conseguiremos que nos marque un número conveniente de grados. Representando por R la resistencia introducida en el circuito por medio del reostato, por g la resistencia del galvanómetro, por r la de la pila y por d la resistencia de la expresada derivacion, la resistencia total del circuito se compondrá de la resistencia R , más la resistencia r de la pila, más la del galvanómetro con la derivacion que será $\frac{dg}{d+g}$, multiplicado todo por el po-

der multiplicante de la derivacion que es $\frac{d+g}{d}$ y por último, si representamos por a la desviacion correspondiente á este circuito, la resistencia x que produce un grado de desviacion será:

$$x = a \times \frac{d+g}{d} \left(R + r + \frac{dg}{d+g} \right) \text{ ohms ó Siemens,}$$

segun que las resistencias estén expresadas en una ú otra clase de unidades.

Esta expresion se considera como la *fórmula*

de mérito de un galvanómetro y para hacerla aplicable al de reflexion de Thomson es necesario reducir á grados de arco la desviacion apreciada en la escala, lo que se consigue advirtiendo que esta desviacion es un cateto del triángulo rectángulo formado por la perpendicular tirada desde el centro del espejo á la escala y por el rayo reflejado que marca la desviacion, por lo cual, representando por l la longitud de dicha perpendicular, ó sea la distancia del espejo á la escala, y por a' el ángulo de desviacion del espejo tendremos:

$$\frac{a}{l} = \text{Tang. } 2a',$$

de cuya expresion se deduce el valor del ángulo a' que sustituido en la ecuacion anterior nos dará la resistencia del circuito que en un galvanómetro Thomson produce la desviacion de un *grado*.

Ya hemos dicho que los galvanómetros, aunque sean de la misma especie, no dan idénticos resultados; pero por medio de la fórmula de mérito, pueden hacerse comparables dos galvanómetros semejantes, como por ejemplo los de Thomson, puesto que la relacion entre las resistencias necesarias para que marquen un *grado* será la que exista entre los resultados obtenidos por uno y otro galvanómetro.

Hallar la resistencia del circuito que con una

pila determinada produce una desviacion igual á la unidad.—Este problema es semejante al anterior y se resuelve de una manera análoga. La cuestion está reducida á determinar la resistencia que ha de darse al circuito de una pila para que un galvanómetro de senos marque 90° , uno de tangentes 45° y uno de reflexion de Thomson una division de la escala, puesto que como es sabido, el seno de 90° y la tangente de 45° son iguales al radio que se toma por unidad. Así, pues, estableceremos el circuito al traves del galvanómetro con una derivacion de $\frac{1}{999}$ y de una resistencia de unas 10,000 Ohms y variaremos esta resistencia hasta obtener una desviacion conveniente que como ántes representaremos por a . La resistencia del circuito se compondrá de la resistencia R introducida, más la resistencia r de la pila, más la del galvanómetro con la derivacion, multiplicado todo esto por el poder de la derivacion que en este caso es 1000. Hecho esto, como las indicaciones galvanométricas están en razon inversa de las resistencias, si representamos por C la resistencia del circuito, tendremos respectivamente para los galvanómetros de senos, de tangentes y de Thomson las proporciones siguientes:

$$\begin{aligned} x:C::\text{sen. } a:\text{sen. } 90^\circ; \text{ de donde: } x &= C \text{ sen. } a. \\ x:C::\text{tang. } a:\text{tang. } 45^\circ; \text{ de donde: } x &= C \text{ tang. } a. \\ x:C::a:1; \text{ de donde } &\dots x = C a. \end{aligned}$$

La fórmula general poniendo en vez de C su valor será:

$$x = a \times 1000 (R + r + g) - \text{Ohms},$$

Si las resistencias están expresadas en esta clase de unidades, y en ella es necesario poner *sen. a* en vez de a , para los galvanómetros de senos, *tang. a* para los de tangentes y el número de divisiones que marque el rayo de luz en la escala, para el de Thomson,

Para obtener el valor de x en megohms, bastará dividir por un millon ó sea por 10^6 y entónces la fórmula anterior se convertirá en la siguiente:

$$x = \frac{1000}{1000000} \times a(R + r + g) = \frac{a}{1000} (R + r + g); \text{ ó}$$

$$x = 0,001 a (R + r + g), \text{ megohms.}$$

Esta fórmula puede escribirse de esta manera;

$$x = a \times \frac{1000 (R + r + g)}{1000000},$$

y como determinadas r y g , ó sean, la resistencia de la pila y la del galvanómetro con la derivacion, por uno de los métodos esplicados en el lugar correspondiente, se puede dar á R , que es arbitraria, un valor tal que resulte el numerador igual al denominador, dicha fórmula se puede reducir aún á la siguiente:

$$x = a \text{ megohms},$$

es decir, que un galvanómetro de senos marcaria entónces 90° , uno de tangentes 45 y uno de

Thomson una division, con una resistencia de tantos megohms como unidades indicase en cada caso la desviacion galvanométrica.

Como veremos más adelante, esta fórmula tiene aplicacion para hallar la capacidad electrostática de un cable ó de un condensador sin necesidad de otro condensador.

Determinar la desviacion que produce en un galvanómetro dado, un elemento de pila al traves de una resistencia de un megohm.—Este problema se resuelve por medio de una proporcion como los dos anteriores, de los cuales solo se diferencia en que la incógnita es una desviacion ó indicacion galvanométrica en vez de una resistencia.

Establecido el circuito del elemento en cuestion, al traves del galvanómetro, con una derivacion que por variar supondremos que es de $\frac{1}{99}$

y de una resistencia R , resultará una desviacion que como ántes representaremos por a y entónces podemos formar la siguiente proporcion: Si con este circuito se obtiene una desviacion a , qué desviacion se obtendrá con un circuito cuya resistencia sea de un megohm ó de 10^6 ohms, proporcion que, segun lo que hemos dicho, y representando R , r y g las mismas resistencias y x la desviacion buscada, se puede expresar así:

$10^6:100 (R+r+g)::a:x$; de donde se deduce:

$$x=a \times \frac{100 (R+r+g)}{1000000},$$

y si, como ántes hemos indicado, damos á R un valor tal que el numerador sea igual al denominador, resultará:

$$x=a.. \text{grados ó divisiones.}$$

Aparatos auxiliares.—Para medir las fuerzas y las resistencias eléctricas, por modio de los aparatos que acabamos de describir ó de otros análogos, ó para facilitar las operaciones necesarias al efecto, se emplean otros aparatos como los reostatos, conmutadores, interruptores, cajas de derivacion y descargadores, de algunos de los cuales creemos oportuno dar una ligera explicacion.

Reostato de Wheatsthone.—Se compone de dos cilindros, metálico el uno y de madera, ebonita ó de otra sustancia aisladora á propósito, el otro, montados sobre una peana, de manera que haciéndolos girar por medio de un manubrio, un hilo metálico desnudo, que está arrollado á uno de ellos, se vaya arrollando en el otro. El hilo suele ser de cobre bastante delgado, aunque es preferible uno de *metal blanco* porque la resistencia de este varía mucho menos con la temperatura. Estando arrollado el hilo al cilindro metálico, no presenta resistencia alguna al paso de la corriente; pero no sucederá lo mismo cuando

se enrolle al otro cilindro con tal que las espiras queden aisladas las unas de las otras, lo que se consigue fácilmente por cuanto el hilo se va colocando por sí mismo en una hélice abierta en dicho cilindro. La resistencia de cada espira es conocida, y como además, por un *contador* que lleva el aparato, se sabe el número de vueltas dadas á los cilindros, es evidente que siempre se puede conocer la resistencia de la parte del hilo que ha pasado del cilindro metálico al cilindro aislador.

Reostatos de bobinas.—El que se emplea con más frecuencia es el que representa la figura 42, lámina 3.^a, y consiste en una série de bobinas *b, b, b* cuyos extremos comunican con las piezas metálicas separadas *a, a, a* colocadas sobre una placa de ebonita. Una extremidad de la primera bobina comunica con la primera pieza, y la otra extremidad con la segunda, á la cual está unido tambien un extremo de la segunda bobina mientras que el otro comunica con la tercera pieza y así sucesivamente. La comunicacion entre las piezas metálicas se establece por medio de clavijas *c, c, c*. La del centro se vé de costado y las demás de frente. Estando colocadas todas las clavijas, el reostato no presenta más resistencia que la de las piezas metálicas y de las clavijas que es inapreciable; pero quitando una ó más de estas, se introduce en el circuito una resistencia

gual á la suma de las resistencias de las bobinas correspondientes á las clavijas que se han quitado, puesto que la corriente tiene que pasar forzosamente por estas bobinas. Es preciso tener el cuidado de apretar bien las clavijas, sin más límite que el necesario para no romper la placa de ebonita que les sirve de mango ó agar-radero, pues de otro modo, parte de la corriente pasaria por alguna de las bobinas, aunque esté puesta la clavija. La esquisita limpieza de los agujeros, de las clavijas y de todos los contactos estambien condicion indispensable, y á poco que se manejen estos aparatos, la práctica enseña bien pronto la influencia que ejercen en los resultados la firmeza y la limpieza de los contactos.

Reostato circular.—Las bobinas y las piezas metálicas pueden disponerse en círculo, estableciendo las comunicaciones como en el caso anterior, ó de la manera que indica la figura 43, lámīna 4.^a A cada bobina corresponden tres piezas metálicas y las extremidades de las bobinas comunican con las piezas extremas y la pieza del medio con la primera de la bobina siguiente. En virtud de esta disposicion, colocada la clavija en uno de los agujeros *a*, la bobina correspondiente queda excluida del circuito; pero si se coloca en uno de los agujeros *b*, sucede lo contrario.

Otro reostato circular. — A veces conviene hacer uso del reostato, figura 44, compuesto de dos séries de bobinas dispuestas en semicírculo formado el uno por las bobinas de mayor, y el otro por las de menor resistencia. Los contactos se establecen por medio de dos manecillas montadas como las de un reloj sobre un eje central. En la posicion que indica la figura, la corriente pasa por las bobinas B, B', B'' , por la manecilla M , por la m y por las bobinas b y b' de la otra série; de manera que la resistencia en este caso está dada por la suma de las resistencias de estas cinco bobinas.

Reostato de Thomson con nonius ó vernier. — Supongamos un reostato lineal compuesto de 100 bobinas de igual resistencia, por ejemplo, de 100 Ohms cada una, cuyos extremos comunican el uno con la tierra y el otro con el polo positivo de una pila, estando el negativo á tierra. Segun la ley de distribucion de la tension ó potencial, en un circuito de esta especie, esto es, compuesto de un hilo cilíndrico homogéneo y de igual diámetro, la tension disminuirá uniformemente desde el extremo del reostato que se halla en contacto con la pila, hasta el otro extremo en que será cero, puesto que se halla en perfecta comunicacion con la tierra; de manera que si representamos por 100 el potencial en el primer extremo, entre la primera y segunda bobina será

99, entre la segunda y tercera 98, y así sucesivamente irá disminuyendo un centésimo de una á otra bobina, resultando así distribuido en el reostato, de centésimo en centésimo, todo el potencial de la pila; y si quisiéramos, por ejemplo, cargar un condensador con un potencial de $\frac{60}{100}$ del de la pila, bastaría aplicarlo entre las bobinas 60 y 61 á contar de cero.

Si entre dos bobinas cualesquiera intercalamos otro reostato de 100 bobinas de igual resistencia, el centésimo de potencial que hay de diferencia entre dos bobinas del primero, se distribuirá entre las 100 del segundo, disminuyendo en $\frac{1}{100}$ de $\frac{1}{100}$, ó sea, en $\frac{1}{10000}$ de cada una á la siguiente, y por lo tanto, si intercalamos dicho segundo reostato entre las bobinas 64 y 65 del primero, el potencial entre las bobinas 32 y 33 de aquel, será 64 centésimas más 32 diezmilesimas, ó 0,6432 del de la pila. Este segundo reostato viene á ser como un *nonius* respecto del segundo, y permite dividir un potencial en 10000 partes iguales con 200 bobinas, mientras que con uno solo, se necesitarían 10000 para conseguir el mismo objeto.

Si el reostato no constase más que de 10 bobinas, representando por 100 como ántes el potencial de la pila, el del punto comprendido en-

tre la primera y segunda bobina seria 90, y así continuaria disminuyendo de 10 en 10 centésimos hasta convertirse en cero en el otro extremo del reostato, como indica la figura 45. De esta manera no se puede apreciar ó tomar un potencial con más aproximación que 10 centésimos; pero agregando un nonius *CD* de otras 10 bobinas, la aproximación es de un centésimo. El nonius constituye un circuito derivado que abraza dos bobinas del reostato *AB*. En la disposición que indica la figura, los potenciales 60 y 40 de los puntos de derivación, se transmiten á los extremos del nonius y su diferencia que son 20 centésimos, se distribuye entre las 10 bobinas del mismo; de manera que la diferencia de potencial entre una cualquiera y la anterior ó posterior, será de $\frac{2}{10}$ de $\frac{20}{100} = \frac{1}{100}$; de manera que en el caso de la figura, el potencial en el punto 7 del nonius será 47 centésimos.

Si el nonius abrazase tres bobinas, apreciaria también centésimas, puesto que entonces la diferencia de tensión entre los puntos de derivación seria 30 centésimos y la que existiría entre dos bobinas consecutivas del nonius, $\frac{3}{10}$ de $\frac{30}{100} = \frac{1}{100}$. Así, pues, cualquiera que sea el número de bobinas que abraza el nonius, el resultado es el mismo.

El extremo de cada bobina, tanto en el reostato principal como en el que constituye el nonius, se une al de la siguiente por medio de un contacto metálico que aparece al exterior y la derivacion se establece por medio de una corredera $m n$ compuesta de una sustancia aisladora, como la ebonita, con una pieza metálica en cada extremo donde se fijan los hilos de derivacion.

El nonius lleva otra corredera q á la cual se une el hilo que trasmite la tension que se quiere apreciar.

Para medir, por ejemplo, el potencial de la pila P' , pondriamos su polo negativo en comunicacion con la tierra y el positivo con la corredera q llevándola al cero ó extremidad C del nonius, interponiendo un galvanómetro sensible G . Estando la corredera $m n$ tambien en cero, el galvanómetro desviará por ejemplo á la derecha hasta que llevando dicha corredera en la direccion de A á B se llegue á un punto en que la aguja desvíe al otro lado; y si suponemos que esto sucede cuando el punto de derivacion m se halla en 50, el potencial buscado se hallará comprendido entre 40 y 50, y entónces fijando la corredera $m n$ en la posicion que se indica, se hace avanzar la del nonius hasta que el galvanómetro marque cero, y si esto se verifica cuando esta última corredera se halle en 7, el potencial de la pila P' será 47 siendo 100 el de la pila P . Obsérvese que el reos-

tato AB consta de 11 bobinas, lo que depende de que para que el nonius abrace dos bobinas, cuando se trate de apreciar un potencial comprendido entre 90 y 100, se necesita una bobina más, de lo cual se deduce que no es precisamente el potencial de la pila P el que sirve de término de comparacion, sino el que corresponde al punto medio entre la primera y segunda bobina inmediata á la misma, y aún sucede que entre dicha pila y el reostato se interpone una resistencia que se hace variar convenientemente á fin de que permanezca constante la desviacion de un galvanómetro que tambien se introduce en el circuito, y no varíe la tension en aquel como es necesario para que los resultados sean comparables.

La resistencia de cada una de las bobinas del reostato AB suele ser de 100 Ohms, y de 20 Ohms la de cada bobina del nonius, de manera que la resistencia total de este es igual á la resistencia de las dos bobinas que abraza en el primero. Los reostatos de esta especie empleados durante la inmersión del cable tras-atlántico francés, se componían de 100 bobinas de 100 Ohms de resistencia cada una, con un nonius tambien de 100 bobinas de 2 Ohms de resistencia cada una, y por consiguiente tambien la resistencia total del nonius era igual á la resistencia de las dos bobinas que abrazaba, y como fácilmente se comprende apreciaba diezmilésimas.

Conmutadores.—El conmutador suizo de tiras cruzadas colocado en la mesa de pruebas, es el más conveniente para tener á la mano los hilos de línea y de pila, y para establecer las comunicaciones necesarias, y los conmutadores circulares pueden emplearse á veces con ventaja.

La figura 46 representa un conmutador de pila y la 47 otro, inversor de polos. El primero acompaña al galvanómetro universal de Siemens, y el segundo al de Thomson.

Interruptores ó reotomos.—Sirven para interrumpir y establecer la corriente, y bajo este concepto los manipuladores y conmutadores son verdaderos interruptores.

La figura 48 representa la proyeccion vertical de una especie de manipulador que en su posicion normal envia una corriente continua por medio de un resorte *r*, que estando fijo en *B* por un extremo, el otro extremo oprime contra un contacto de platino *p*, pero que bajando este resorte, apoya sobre un contacto de ebonita quedando abierto el circuito, y para mantenerlo en este estado, se introduce entre el resorte y el contacto de platino un cuerpo aislador cualquiera.

Un sistema de dos manipuladores semejantes al anterior convenientemente dispuestos, pueden constituir un inversor de polos ó de corrientes, empleando dos llaves excéntricas para bajar los resortes.

Manipulador inversor de polos.—Existen de varias formas, pero la más usada actualmente en la trasmision, es la que se representa en *M'*, figura 88, lámina 7. Este manipulador se compone de dos resortes, *a* y *b*, que en la posición de reposo se apoyan en un puente *c* que se halla en comunicacion con uno de los polos de la pila que para fijar las ideas, supondremos que es el negativo. El positivo está unido á una placa *d*, en la cual se encuentran los yanques ó contactos de trasmision, y de los dos resortes, el uno comunica con la línea y el otro con la tierra. En la disposición de la figura, al bajar el resorte *b*, la corriente positiva pasa á la línea, y la negativa á tierra, sucediendo lo contrario si se baja el resorte *a*.

En realidad, este aparato se compone de dos manipuladores Morse, de los cuales el uno envia una corriente positiva y el otro una negativa, en virtud de la disposición especial de sus palancas y de la manera de establecer las comunicaciones.

Caja de derivaciones.—Ya hemos indicado la disposición de esta caja. La figura 49 representa la del galvanómetro universal de Siemens. *A* y *B* son dos hilos gruesos de cobre que terminan en una lámina delgada del mismo metal y sirven para sujetar la caja á los tornillos 2 y 4 del galvanómetro. Estos hilos de cobre se hallan en comunicacion con las chapas metálicas *cd* y *ef*,

sobre las cuales se hallan los tornillos *g* y *h* á los que se unen los polos de la pila. Es evidente que colocando la clavija en *m*, se cierra el circuito sin pasar por el galvanómetro, por medio de las láminas *cd* y *ef* que constituyen un circuito *cor-*
to, ó sin resistencia sensible. Si la clavija se co-
loca en *n*, nueve décimas partes de la corriente pasarán por la derivacion $\frac{1}{9}$ y una décima par-
te por el galvanómetro, si se coloca en *p* pasará por este la centésima parte, y la milésima si se coloca en *q*. Si un polo de la pila comunica con la tierra, se pone en comunicacion con la misma uno de los tornillos de la caja.

Descargadores.—Nos referimos únicamente á los aparatos que se emplean para descargar un condensador ó un cable, con el fin de determinar su capacidad electrostática ó inductiva. Un manipulador Morse ordinario, y mucho mejor el de la figura 48, pueden servir para este objeto, como tambien un conmutador; pero cuando se requiera bastante exactitud, conviene emplear el aparato que representa la figura 50. Sobre una placa circular aisladora se hallan las palancas *DC* y *EF* con los mangos de ebonita, y dos tornillos *A* y *B* que comunican, el primero con un galvanómetro *G*, y el segundo con una pila. El resorte *r* tiende á traer y á mantener la palanca *DC* que gira al rededor del punto *C*, en contacto

con la punta del tornillo A ; pero si se aplica con la mano sobre el tornillo B , la palanca EF impulsada por el muelle r' la mantendrá en esta posicion, en la cual el condensador ó cable H , recibirá una carga determinada. Si ahora se levanta la palanca EF , la AC se aplicará rápidamente sobre el tornillo A en virtud de la accion del resorte R , y el condensador se descargará al traves del galvanómetro cuya aguja oscilará con más ó menos fuerza.

CAPÍTULO IV,

MEDICIONES.

Determinacion de la resistencia y del aislamiento.

Para medir la resistencia de un conductor se pueden seguir varios métodos y emplear diversos instrumentos, segun los casos y las circunstancias; pero cualquiera que sean los aparatos de que se haga uso, cuando las pruebas se han de hacer diariamente ó por lo menos con alguna frecuencia, conviene colocarlos de un modo estable sobre una mesa especial situada cerca de la entrada de los hilos, si se trata de las líneas telegráficas. En esta mesa debe haber un conmutador suizo ó el número suficiente de tornillos, para establecer las comunicaciones necesarias con los hilos de línea, con la pila y con la tierra. Todos los hilos de relacion, ó sea los que sirven para enlazar los conductores, las pilas, la tierra y los diversos aparatos deben estar per-

fectamente aislados y recubiertos de guttapercha, debiendo desecharse los simplemente cubiertos de algodón que se emplean para el montaje de nuestras estaciones, porque siempre producen alguna pérdida de corriente que se hace sensible al galvanómetro con solo cogerlos con la mano, y deben ser suficientemente gruesos para que se pueda despreciar su resistencia. Todos los contactos han de estar bien limpios, como igualmente la mesa y todos los aparatos. Es conveniente que no haya cerca de la mesa de pruebas ningún objeto de hierro y mucho menos electro-ímanes que alternativamente se imanten y desimanten; y cuando esto no pueda evitarse, se colocará el galvanómetro dentro de una caja de hierro ó encima de una plancha del mismo metal, la cual neutraliza los efectos que aquellos objetos pudieran producir sobre la aguja; y por último, todos los contactos deben establecerse con firmeza, apretando bien las clavijas y en todos los experimentos debe procederse con la mayor actividad, unas veces por la influencia que ejerce la variación que experimenta la fuerza de la pila, y en todos los casos, porque la corriente calienta los hilos de los reómetros y de los reostatos, con lo cual aumenta su resistencia de una manera apreciable, aunque sean de una liga de plata y platino ó de metal blanco, que son las aleaciones cuya resistencia eléctrica

varia en menor escala con las diferencias de temperatura que la de otros metales que pudieran emplearse para este objeto.

Método de sustitucion. — El método que naturalmente ocurre para determinar la resistencia de un conductor, es el que algunos llaman de

sustitucion, deducido de la fórmula $V = \frac{E}{R}$ y consiste en establecer sucesivamente dos circuitos con una misma pila y un mismo galvanómetro, formando el primero el conductor cuya resistencia X se busca, y el segundo con un reostato, cuya resistencia se varía hasta que el galvanómetro señale el mismo número de grados que en el caso anterior, y entónces es evidente que las fuerzas de las dos corrientes serán iguales y se

tendrá: $\frac{E}{X} = \frac{E}{R}$; de donde $X = R$, siendo R la resistencia que acuse el reostato.

El experimento se puede disponer como indica la figura 51, lámina 4.^a El polo positivo de la pila comunica con uno de los tornillos de un galvanómetro ordinario, G ; el otro tornillo de este aparato con el conmutador C de donde parten dos comunicaciones, una al reostato R y la otra al conductor $m D P$, cuya resistencia se quiere medir; y por último, el otro extremo de este conductor y el otro tornillo del reostato se unen al polo negativo de la pila. Hecho esto,

se coloca la lengüeta del conmutador en m y se observa y anota el número de grados que marca el galvanómetro, y en seguida se traslada dicha lengüeta al contacto n y se van quitando clavijas del reostato hasta que el galvanómetro marque el mismo número de grados que ántes, y la resistencia de las bobinas cuyas clavijas se han quitado para conseguir este objeto, es la resistencia del conductor. En realidad, lo que se ha hecho es sustituir el conductor por el reostato, y de aquí sin duda el nombre dado á este método.

Cuando no se pueda disponer de uno de los extremos del conductor se establecen las comunicaciones como indica la figura 52 lámina 4.^a, y se manda poner á tierra el extremo lejano.

Si con el reostato no se puede conseguir que el galvanómetro marque exactamente el mismo número de grados, se añade otro reostato ordinario ó sea de cilindros en el cual se hará pasar al cilindro aislador, el número de espiras necesario al efecto. Se supone que la resistencia que se busca es menor que la resistencia total del reostato, y si así no sucede, cuando se haga pasar la corriente por el reostato, se puede introducir en el galvanómetro una derivacion de $\frac{1}{9}$ y la resistencia que resulte en el reostato multiplicada por 10, nos dará la que buscamos. Si no es suficiente la derivacion $\frac{1}{9}$, se pone la de

$\frac{1}{99}$ ó de $\frac{1}{999}$ y se multiplica por 100 ó por 1000.

Cuando la resistencia que se busca es muy pequeña, es más exacto añadirle una resistencia conocida. Sea x la resistencia buscada y supongamos que añadiéndola una bobina, por ejemplo de 200 unidades, obtengamos una resistencia total de 205. Es evidente que esas 5 unidades corresponden á la resistencia x .

Método de comparacion.—Formando dos circuitos con una misma pila y con un mismo galvanómetro, pero con resistencias exteriores diferentes, sabemos que las indicaciones del galvanómetro están en razon inversa de dichas resistencias, y por consiguiente conociendo una de ellas, se puede determinar la otra por una simple proporcion, lo que equivale á comparar una cantidad desconocida con otra que se conoce, por lo cual sin duda se ha dado á este procedimiento el nombre de método de comparacion.

El experimento se dispone de la misma manera que el anterior sustituyendo el reostato por una bobina de la resistencia de 1000 unidades *Ohm*, por ejemplo, y aún puede servir el mismo reostato, quitando únicamente las clavijas que den esta resistencia y dejando puestas todas las demás. Pongamos el conmutador C figura 53 lámina 4.^a en el contacto m , en cuyo caso la corriente pasará al hilo de línea L que comunica

con la tierra en la estacion en que termina, y trasladando en seguida el conmutador al punto n , la corriente pasará por la bobina B . Supongamos que el galvanómetro marca 12° en el primer caso y 43 en el segundo, y llamando x la resistencia del conductor L , tendremos:

$$\frac{x}{1000} = \frac{43^\circ}{12^\circ} \text{ de donde } x = \frac{43}{12} \times 1000 = 3583,33$$

de manera que la resistencia del conductor L es de 3583,33 unidades *Ohm*.

Aislando la extremidad del conductor L en vez de ponerlo á tierra en la estacion en que termina, se obtendrá la resistencia de las derivaciones de este conductor ó sea su aislamiento. Supongamos que la desviacion del galvanómetro sea de 5° cuando la corriente pasa por el conductor aislado en su extremo, y de 43° como ántes, cuando pasa por la bobina, y tendremos:

$$\frac{x}{1000} = \frac{43^\circ}{5^\circ}; \text{ de donde: } x = \frac{43}{5} \times 1000 = 8,600 \text{ Ohms.}$$

Si se emplea un galvanómetro de senos ó de tangentes con el círculo dividido en grados, el número de estos se sustituirá por el seno ó por la tangente que corresponda, de manera que si a y b son los grados que marca el galvanómetro de senos y a' y b' el de tangentes, cuando la corriente pasa por la bobina tipo y por el conductor; cuando se emplea el galvanómetro de senos tendremos:

$$x = \frac{\text{sen.} a}{\text{sen.} b} \times 1000$$

y cuando se hace uso del galvanómetro de tangentes:

$$x = \frac{\text{tg.} a'}{\text{tg.} b'} \times 1000.$$

Los valores de estos senos ó de estas tangentes se buscan en la tabla de senos y tangentes naturales que se halla al final de este libro, y se sustituyen en las fórmulas anteriores. Cuando los ángulos de desviacion son pequeños, los senos y las tangentes se confunden con los arcos y venimos á parar al caso de un galvanómetro ordinario, y entónces es:

$$x = \frac{a}{b} \times 1000; \text{ o' } x = \frac{a'}{b'} \times 1000.$$

Si los galvanómetros estuviesen divididos como se ha explicado en las páginas 153 y 157, como en este caso las divisiones del círculo indican ya los valores de los senos ó de las tangentes, no hay necesidad de buscarlos en las tablas, lo cual es más cómodo y más breve. Lo mismo sucede empleando el galvanómetro de reflexion de Thomson, en el cual la relacion entre dos números de divisiones marcadas en la escala por los rayos luminosos reflejados, es igual á la relacion entre las fuerzas de las corrientes, y por lo tanto, si las divisiones marcadas en la escala fuesen m y n , pasando la corriente por la

bobina tipo y por el conductor, el valor de x sería:

$$x = \frac{m}{n} \times 1000.$$

Para las necesidades ordinarias del servicio de telégrafos puede muy bien emplearse este método con una bobina de 1000 unidades *Ohm* ó Siemens de resistencia y una brújula de tangentes que dé desde luego los valores de estas, á fin de evitar la molestia de buscarlos en la tabla. El hilo del carrete de la brújula debe estar dividido en dos partes iguales para tomar solamente una de estas partes cuando las corrientes sean bastante fuertes, como sucede cuando se trata de medir la resistencia de un conductor telegráfico, y el hilo entero cuando se quiera medir el aislamiento, en cuyo caso la corriente ha de ser por lo regular más débil. Cuando la corriente pasa por la mitad del hilo, dá la mitad de vueltas al rededor del carrete, de manera que el efecto sobre la aguja es tambien la mitad del que produce la misma corriente cuando pasa por todo el hilo; así es que el resultado obtenido con esta mitad debe multiplicarse por 2 para que resulte el verdadero. De otro modo las tangentes de las desviaciones cuando se hace pasar la corriente por la bobina tipo y por el conductor, no serian oomparables, como procedentes, en realidad, de galvanómetros distintos. Si representa-

mos por F la fuerza de la corriente de la pila, y suponemos que la mitad del hilo da n vueltas al rededor del carrete, la accion sobre la aguja será debida á una fuerza n veces mayor que la de dicha corriente, cuando esta pasa únicamente por la expresada mitad; pero si pasa por todo el carrete la accion sobre la aguja se deberá á una fuerza $2n$ veces mayor, y la tangente del ángulo de desviacion en este último caso será doble que en el primero, puesto que las tangentes de los ángulos de desviacion, son proporcionales á las fuerzas que actúan sobre la aguja. El hacer uso de la mitad del carrete, en los casos indicados, tiene por objeto reducir los ángulos de desviacion y establecer una relacion conveniente entre la resistencia que se mide y la del galvanómetro, á fin de que las indicaciones de este sean más exactas.

La marcha, pues, que debe seguirse en las pruebas de las líneas telegráficas cuando se emplea un galvanómetro de esta especie, es el siguiente: Se hace pasar la corriente por el galvanómetro y por la bobina tipo, y se anota el número de divisiones que indica la aguja; supongamos que son 40.

Despues se manda poner á tierra la extremidad lejana del conductor que se experimenta, y se hace pasar la corriente por este y por la mitad del carrete del galvanómetro y se anota el nú-

mero de divisiones que marque la aguja, que podrán ser, por ejemplo, 10, y en seguida se manda aislar la extremidad del mismo conductor, se hace pasar la corriente por todo el carrete y se anota la desviacion de la aguja que supondremos sea de 4 divisiones,

La misma operacion se ejecuta con todos los hilos de la estacion y los resultados se inscriben en un registro semejante al que se halla al fin de este libro, y despues se hacen los cálculos necesarios para obtener la resisteneia y el aislamiento de cada hilo, y se consignan en otro registro, cuyo modelo aparece á continuacion del primero.

Empleando, como es natural, la misma pila, el número de divisiones ó sea la tangente que marque el galvanómetro cuando la corriente pasa por la bobina tipo, será tambien la misma, esto es, *constante* para las pruebas de todos los hilos, por cuya razon al hallar la desviacion que produce la bobina tipo, suele decirse que se *toma la constante* del galvanómetro. Esto, no obstante, como la fuerza de la pila puede variar, y varia en efecto más ó ménos de uno á otro dia y aún de una á otra hora, principalmente á causa de la *polarizacion*, es necesario tomarla constante al empezar cada série de pruebas.

El número de elementos de la pila debe estar en relacion con la resistencia que se quiere me-

dir. Para resistencias muy pequeñas podrán ser suficientes dos ó tres elementos, para las pruebas de las líneas aéreas, puede emplearse una pila de 50 elementos Daniell ó Callaud, y para determinar el aislamiento de un cable ó la resistencia de un aislador serán necesarios de 200 á 250 elementos de la misma especie.

Se comprende que no es necesario que la pila sea siempre la misma para que los resultados sean comparables; pero si es indispensable que en cada caso particular, la constante y las resistencias se tomen con una misma pila, y por último, como ya hemos indicado y como no nos cansaremos de repetir, los contactos han de estar limpios, firmes y bien establecidos en ambas estaciones y para que no haya dudas, ni se pierda el tiempo, las órdenes y las contestaciones han de darse siempre por *servicio*, en esta forma: «*Aisle el directo núm. 3 por cuatro minutos.*» Contestacion: «*Aislado el directo núm. 3 por cuatro minutos.*»

INFLUENCIA DE LAS CORRIENTES NATURALES.

—Se supone que el potencial de la tierra es cero, ó por lo ménos que es constante é igual en todos los puntos del globo terrestre, y que no varía como no altera el nivel del mar con las crecidas de los rios; pero esto no es absolutamente cierto, por cuanto á veces, entre puntos no muy lejanos de la tierra, existe una diferencia de tension sufi-

ciente para que una corriente de más ó ménos fuerza circule por los hilos telegráficos, y llegue en algunos casos hasta á perturbar el servicio de trasmision. Estas corrientes debidas á causas más ó ménos estudiadas y conocidas, reciben el nombre de *naturales*, *terrestres* ó *telúricas*, y son distintas de las *atmosféricas* y de las que, como diremos más adelante, pueden provenir de las *planchas de tierra*.

Es evidente que si existiendo una corriente terrestre en un conductor telegráfico, enviamos por este la de una pila, estas dos corrientes se sumarán si marchan en el mismo sentido y se restarán si la una es positiva y la otra negativa, y en ámbos casos, las indicaciones de un galvanómetro introducido en el circuito, no son las que corresponden exclusivamente á la corriente de la pila, como es indispensable que suceda cuando se trata de las pruebas de que nos ocupamos. Este inconveniente puede remediarse de varios modos entre los cuales, los más sencillos son: 1.^o poner á tierra los dos extremos del conductor intercalando el galvanómetro y tomar por cero la desviacion que este acuse de esta manera; 2.^o traer la aguja al cero por medio de un iman y fijar éste en el punto en que se halle cuando se ha conseguido dicho objeto; 3.^o hacer dos observaciones, una con corriente positiva y otra con corriente negativa y tomar el término medio de

las resistencias halladas en uno y otro caso, ó, lo que es más exacto, extraer la raíz cuadrada de su producto. Si llamamos R y r á estas resistencias y x á la verdadera, tendremos en el pri-

mer caso: $x = \frac{R+r}{2}$ y en el segundo $x = \sqrt{Rr}$; 4.º

emplear cuando sea posible el siguiente procedimiento.

MÉTODO DEL ANILLO.—Cuando la línea consta de tres ó más hilos, puede determinarse la resistencia de cada uno de ellos eliminando la tierra, y por consiguiente las corrientes naturales, para lo cual se empalma en la estación lejana el primer hilo con el segundo, suprimiendo toda comunicación con la tierra. De esta manera los dos hilos forman un conductor continuo cuyas dos extremidades se hallan en manos del observador, el cual puede establecer las comunicaciones como indica la figura 54 lámina 4.ª, y hallar la resistencia de los dos hilos así reunidos, tomando primero la constante por medio de la bobina B y haciendo pasar después la corriente por dichos hilos. Del mismo modo se determina la resistencia del primero y del tercero, y por último la de este y del segundo, con lo cual tendremos los datos suficientes para calcular la resistencia de cada uno de ellos.

Para esto representemos por x la resistencia del primer hilo, por y la del segundo, por z la

del tercero, por A la resistencia del primero y segundo, por B la del primero y tercero, y por C la del segundo y tercero, y tendremos las ecuaciones siguientes:

$$x+y=A$$

$$x+z=B$$

$$y+z=C$$

de los cuales se obtiene el valor de x sumando la primera con la segunda y restando la tercera, el de y sumando la primera con la tercera y restando la segunda, y el de z sumando la segunda con la tercera y restando la primera. Estos valores, son:

$$x=\frac{A+B-C}{2}$$

$$y=\frac{A+C-B}{2}$$

$$z=\frac{B+C-A}{2}.$$

Si los hilos son en mayor número, se combinan de tres en tres y se sigue el mismo procedimiento, y si resulta alguno sobrante se empalma con cualquiera de los anteriores cuya resistencia es ya conocida, y restándola de la que dé el anillo, se obtiene la que se busca. Por lo demás, siempre se pueden formar tantas ecuaciones como incógnitas y hallar el valor de cada una de ellas, aunque es más sencillo determinar la resistencia de tres hilos de la manera indica-

da y formar despues el anillo con uno de estos y con los restantes. Supongamos que sean cinco: hallaremos la resistencia de los tres primeros y combinaremos el primero con el cuarto y restando del resultado que se obtenga, la resistencia ya conocida de aquel, tendremos la del cuarto, y del mismo modo se determina la del quinto combinándolo con cualquiera de los anteriores.

Respecto del aislamiento, como para determinarla es indispensable aislar el extremo del conductor, no se puede prescindir de poner uno de los polos de la pila en comunicacion con la tierra para cerrar el circuito. Así es que en general no resulta ventaja del empleo del anillo; pero como en algunos casos pudiera ser conveniente

acudir á este método, la fórmula $\frac{Rx}{R+r} = r$ de la página 118 permite su aplicacion.

Recordaremos que para hallar esta fórmula suponíamos dividido el conductor en dos partes, siendo R el aislamiento de la primera parte, x el de la segunda y r el de todo el conductor, tomada directamente, y si fijamos la atencion en ella, veremos que, *el producto de los aislamientos de las dos partes, dividido por la suma de los mismos es igual al aislamiento de todo el conductor.*

De manera que formando el anillo con dos hilos de la línea, y determinando el aislamiento

del conductor total que resulta, poniendo uno de sus extremos en comunicacion con la pila al traves del galvanómetro y aislando el otro, el aislamiento así obtenido será igual al producto de los aislamientos de los dos hilos tomados separadamente, dividido por la suma de los mismos. Si representamos por A el aislamiento del anillo, por x el de un hilo y por y el del otro, tendremos la ecuacion.

$$\frac{xy}{x+y}=A$$

combinando el primer hilo con el tercero y llamando B al aislamiento del anillo y z al del tercer hilo, resulta á la ecuacion:

$$\frac{xz}{x+z}=B,$$

y del mismo modo, formando el anillo con el segundo y tercero y llamando C al aislamiento total:

$$\frac{yz}{y+z}=C.$$

Estas ecuaciones son de 2.º grado con tres incógnitas, y aunque su resolucion no presente grandes dificultades, en el caso de querer emplear el método del anillo para determinar el aislamiento de varios conductores, es preferible el procedimiento siguiente: Primeramente se forma el anillo con dos hilos y se determina el aislamiento total del conductor que así resulta y lo

representamos por A . Despues se empalman los tres hilos como indica la figura 55, lámina 4.^a, y se determina el aislamiento total del conductor continuo formado por dichos tres hilos, aislamiento que llamaremos B . Este conductor se compone de dos partes, siendo una de ellas el anillo formado por los dos primeros hilos y la otra el tercer hilo. Conocemos el aislamiento del conductor total que es B y el de una de sus partes que es A , y por lo tanto, si llamamos x el aislamiento de la otra parte, que es el tercer hilo, tendremos la ecuacion:

$$\frac{Ax}{A+x} = B: \text{ de donde } x = \frac{AB}{A-B}$$

Formando el anillo con los hilos primero y tercero y empalmando despues los tres dejando libre una extremidad del segundo, hallaremos el aislamiento de este y de una manera análoga el del primero y de todos los que sea necesario.

La fórmula $\frac{Rx}{R+x} = r$ es evidentemente útil cuando se quiera determinar desde una estacion el aislamiento de un conductor comprendido entre las dos siguientes, para lo cual basta tomar el aislamiento entre la primera y la segunda estacion que será R y despues entre la primera tambien y la tercera, que nos dará el valor de r y por la citada fórmula obtendremos el de x que es lo que se busca.

Del mismo modo se puede determinar el aislamiento de una parte de un conductor comprendido entre dos estaciones sin tener que salir á la línea más que un funcionario que ejecute los cortes y los empalmes necesarios. Sea en efecto CD , figura 56, lámina 4.^a, la parte del conductor comprendido entre las estaciones A y B y tratemos de hallar su aislamiento desde la estación A . Tomando el de la parte AD , cortando el hilo en D y dejando aislado el extremo izquierdo, tendremos el valor de r y hallando el de AC , cortando en C y aislando el extremo de AC tendremos el de R y por lo tanto el de CD será:

$$x = \frac{R r}{R - r}.$$

Igualmente podemos obtener la resistencia de CD , advirtiéndole que es igual á la de AD , menos la de AC , las cuales se determinan cortando sucesivamente en D y en C , y poniendo las extremidades en comunicacion perfecta con la tierra, por medio de una buena plancha bien establecida.

Otro método de comparacion.—Segun hemos dicho en el lugar correspondiente, cuando la resistencia exterior de un circuito es muy considerable respecto de la resistencia de la pila y hacemos variar el número de elementos de que esta se compone, las indicaciones de un galvanómetro interpuesto en el circuito son proporcio-

nales al número de elementos empleados en cada caso, de donde se deduce que si en dos circuitos de resistencia diferente, marcasse un galvanómetro el mismo número de grados ó de divisiones, las expresadas resistencias serán proporcionales á los números de los elementos empleados para producir la misma desviacion en los dos circuitos. Por lo tanto, si en cualquiera de los ejemplos de las figuras 51, 52 y 53, al determinar la constante con la bobina *B* marca el galvanómetro 10° y al enviar la corriente por el conductor cuya resistencia se busca aumentamos el número de elementos de la pila hasta que el galvanómetro señale 10 grados como ántes, tendremos la proporcion: *El número de elementos empleado para tomar la constante, es al empleado para determinar la resistencia del conductor, como 1000, resistencia de la bobina tipo, es á la resistencia que se busca*, Supongamos que en un caso particular se ha determinado la constante con 5 elementos y que han sido necesarios 30 para que el galvanómetro marque el mismo número de grados cuando se envía la corriente por el conductor cuya resistencia representaremos por *x*, tendremos:

$$\frac{x}{1000} = \frac{30}{5}; \text{ y } x = 6000.$$

Con el objeto de evitar la division y á fin de establecer una mayor relacion entre la resisten-

cia tipo y la que se busca, lo que nos permitirá determinar resistencias más considerables con un número determinado de elementos. se toma la constante con un solo elemento, y entónces no hay más que multiplicar la resistencia de la bobina tipo por el número de elementos que ha sido preciso emplear para obtener la misma indicacion galvanométrica, para que resulte la resistencia que se busca. En efecto, si al tomar la constante con un elemento, el galvanómetro marca 8° y son necesarios 72 elementos para que la corriente enviada por el conductor marque el mismo número de grados, tendremos la siguiente proporcion:

$$\frac{x}{1000} = \frac{72}{1}; \text{ de donde } x = 72 \times 1000.$$

Se supone que todos los elementos son exactamente iguales, y por lo tanto de igual resistencia y de la misma fuerza electro-motriz, y que las indicaciones galvanométricas son proporcionales al número de elementos para una misma resistencia, circunstancias que no siempre concurren en una pila, por lo cual este método es en general poco exacto y no debe emplearse sino cuando sea absolutamente preciso y se trate de grandes resistencias.

Método diferencial.—Si se ponen en comunicacion con el polo libre de una pila las extremidades a y a' , figura 57, lámina 4.^a, de los dos car-

retes de un galvanómetro diferencial y las otras dos extremidades b y b' una con un conductor telegráfico cuyo extremo comunica con la tierra y la otra con un reostato R , cuya resistencia total sea mayor que la del conductor, quitando las clavijas necesarias, podemos conseguir que la aguja vuelva y se fije en el cero, y entónces es evidente que la resistencia del conductor L es igual á la que marque el reostato. El aislamiento se determina de la misma manera, aislando el extremo del conductor. En este caso puede suceder que la resistencia del aislamiento sea mayor que la total del reostato, y entónces se establece una derivacion entre los tornillos a' y b' colocando una clavija en d , ó se hace uso de la caja de derivaciones, si la que lleva el galvanómetro no es suficiente ó carece de ella. Empleando, pues, una conveniente derivacion, podemos conseguir siempre que la corriente que pase por el conductor, predomine sobre la que pase por el reostato, y entónces quitando clavijas en este podemos igualarlas y hacer que la aguja se fije en el cero, y como ya hemos indicado, la resistencia que se busca será en este caso la que dé el reostato multiplicada por 10, 100 ó 1000, segun que la resistencia de la derivacion introducida sea $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$ ó $\frac{1}{999}$ de la resistencia del galvanómetro. Creemos excusado advertir que una

misma caja de derivaciones no sirve para todos los galvanómetros, puesto que no todos estos tienen la misma resistencia; así es que cada uno necesita la suya construida de manera que la resistencia de cada derivacion sea una fraccion determinada de la resistencia del galvanómetro. En la figura se supone que el polo positivo de la pila comunica con el aparato, y si se repite la prueba con la corriente negativa, tendremos dos resistencias R y r y por medio de la fórmula $x = \sqrt{R \times r}$ se halla la verdadera. Para el método del anillo, y en general cuando se tienen á la mano los dos extremos del conductor cuya resistencia se quiere determinar, se disponen las comunicaciones como indica la figura 58, lám. 5.^a

En algunos galvanómetros de esta especie, uno de los carretes tiene menor número de vueltas que el otro, por ejemplo, la décima parte, y poniéndolo en comunicacion con el reostato es lo mismo que si este tuviera una resistencia 10 veces mayor, lo cual equivale á establecer una derivacion de $\frac{1}{9}$; pero como en la práctica ocurre medir resistencias muy variables y á veces de mucha consideracion, es preferible una caja de derivaciones fija en el galvanómetro ó separada de él, lo cual tiene además la ventaja de evitar el empleo de bobinas de mucha resistencia, en las cuales el hilo es naturalmente muy largo, y más

notable, por lo tanto, la falta de homogeneidad y de igualdad de resistencia en todas sus partes, además de que no siempre es posible disponer de las bobinas necesarias.—El galvanómetro diferencial es muy á propósito tambien para medir las pequeñas resistencias, como las de muestras de hilo de cobre, de hierro, etc., y para esto se establece un circuito con la derivacion y la resistencia que se quiere determinar, y el otro con un reostato cuya resistencia se varia hasta que la aguja quede en cero, en cuyo caso, si la derivacion es de $\frac{1}{99}$, tendremos: $100x=R$; de donde:

$$x=\frac{R}{100}.$$

Los galvanómetros diferenciales dan resultados más exactos que los de senos y tangentes. porque las variaciones que siempre sufre la fuerza de la pila durante los experimentos, no ejerce influencia sobre aquellos, porque cualquiera que sea dicha fuerza, siempre se repartirá entre los dos hilos del aparato en razon inversa de las resistencias afectas á cada uno de ellos, y cuando estas resistencias sean iguales, tambien lo serán las corrientes que pasan por los hilos del galvanómetro y mantendrán la aguja en el cero.

Con el puente de Wheatstone.—Ya hemos indicado al describirlo, de qué manera se pueden medir las resistencias y el aislamiento, con

el auxilio de este aparato, lo cual era indispensable para explicarlo y para hacer comprender la diferencia que existe entre el puente de relacion constante y el de relacion variable; y lo que entónces digimos, permite ahora que nos limitemos á agregar algunas observaciones que deben tenerse presentes al manejarlo.

Como la corriente no debe pasar á los aparatos hasta que todo esté dispuesto y el hilo cuya resistencia se trata de apreciar, á tierra ó aislado, conviene colocar un interruptor junto á la pila y otro además, para reducir el número y amplitud de las oscilaciones de la aguja, entre el galvanómetro y uno de los tornillos del puente á que está unido, cuidando de establecer primero la comunicacion en el interruptor de la pila, que puede ser de clavija, y cerrar y abrir con bastante rapidez el del galvanómetro á medida que se van quitando clavijas, con lo cual, la aguja se separa poco de lero y se ve á qué lado tiende á moverse, lo que no sería fácil sin prolongar la duracion de las pruebas, si se mantuviera el contacto el tiempo suficiente para que las desviaciones fuesen considerables.

La resistencia que se dé á los lados *A* y *C* ha de guardar cierta relacion con la que se quiere determinar. Cuando se trata de medir la resistencia de un hilo telegráfico, la cual, se debe suponer que se halla comprendida dentro de la resis-

tencia, total del lado B , se dejará una resistencia de 1000 unidades en cada uno de aquellos lados y lo mismo se hará cuando se determina el aislamiento, si se comprende que este no escede tampoco de aquella resistencia; pero en el caso contrario, se da una resistencia de 100 al lado A y una de 1000 al C . Si la resistencia que se busca es menor que la unidad, se dejan 100 en A y 10 en C , y se procura ejecutar la operacion con rapidez, porque siendo las resistencias pequeñas, las corrientes son más fuertes y pueden calentar los hilos de las bobinas y alterar su resistencia, y en todos los casos los contactos han de estar limpios y las clavijas bastante apretadas, si bien no tanto que puedan romperse.

La figura 59 lámina 5.^a indica las comunicaciones cuando se emplea el método del anillo. El interruptor de la pila es n , y el del galvanómetro, que puede ser un manipulador Morse ordinario, es m . En los lados A y C faltan las clavijas de las bobinas 100, lo que indica que en cada uno de estos se ha introducido esta resistencia.

Atendiendo al principio en que se funda el puente de Wheatstone, se comprende desde luego que los resultados obtenidos por medio de su empleo son independientes, tambien, de la fuerza de la pila. La resistencia de los lados A y B es en general muy diferente de la resis-

tencia de los C y D , y por lo tanto la fuerza de la corriente que pasa por los primeros, es muy distinta de la que pasa por los segundos, lo cual no impide que cuando se verifique la condicion $A \times D = B \times C$, el potencial en los vértices á que está unido el galvanómetro sea el mismo y la aguja permanezca en cero. Únicamente cuando A y C son de la misma resistencia, se verifica que $A + B = C + D$, y la corriente que pasa por los primeros lados es igual á la que pasa por los dos segundos.

Otra de las ventajas del puente, es que no necesita un galvanómetro especial. Puede emplearse uno ordinario con tal que sea muy sensible y no es preciso que esté graduado. La sensibilidad de la aguja es sin embargo una condicion indispensable para que se desvíe con la más ligera diferencia de tension en los extremos del galvanómetro, y aún así, para cerciorarse de que la aguja permanece en el cero, se debe bajar y subir el manipulador, por decirlo así, á compás con los movimientos de la aguja, á manera de ayudarlos y de aumentar la amplitud de las oscilaciones. Cuando la aguja está próxima á fijarse en el cero, un solo contacto del manipulador no seria suficiente para comunicarle un movimiento apreciable, pero repitiéndolo varias veces del modo indicado, se obtiene una desviacion considerable.

El número de elementos de la pila debe estar tambien en relacion con la resistencia que se trata de medir, y por consiguiente con las que se introducen en el puente. Cuanto mayor es la resistencia, menor es la fuerza de la corriente, y cuando ya la diferencia de tension en los extremos del galvanómetro es muy pequeña, puede suceder que la corriente derivada, que pasa por este, no sea bastante para mover la aguja. Conviene, pues, que con una pequeña diferencia de tension en dichos extremos pueda pasar por el galvanómetro una corriente de alguna fuerza, lo que depende de la fuerza de la pila. Para las pruebas de resistencia y aislamiento de las líneas telegráficas puede emplearse una pila de unos 50 elementos Daniell ó Callaud.

El puente que hemos descrito es el que se emplea en las pruebas telegráficas, pero para determinar las pequeñas resistencias es preferible hacer uso de otro aparato en el cual los lados *A* y *C* son dos hilos de igual resistencia, perfectamente aislados y arrollados en un carrete formando una bobina, y el lado variable *B* se compone de una série de bobinas de resistencia. El *D* lo forma, como es sabido, la resistencia que se trata de determinar.

Con el puente puede hallarse la resistencia de un conductor con una diferencia que no llega á una unidad Ohm que tiene la bobina menor

del lado *B*, y si se hace uso de un galvanómetro graduado, se puede determinar la fracción que completa dicha resistencia. Supongamos que con 200 unidades en el lado *B* la aguja marca 3° á la izquierda y con 201, dos á la derecha, la resistencia se halla comprendida entre 200 y 201 unidades y es igual á $200 + \frac{3}{3+2} = 200,6$.

Con el galvanómetro universal de Siemens.— Al describirlo hemos dicho cómo se determina una resistencia de cuyos extremos se puede disponer. Para hallar la resistencia de un hilo telegráfico, se establecen las comunicaciones de la manera que indica la figura 60, lámina 5.^a, esto es, la pila entre los tornillos 1 y 5, el tornillo 2 á tierra y el conductor al 4. Se coloca la clavija entre este y el 3, y se quita la de la bobina 1000 de resistencia, dejando las otras dos.

Para el aislamiento, se disponen las comunicaciones del mismo modo, y se dejan las mismas clavijas, no habiendo más diferencia en el procedimiento, que el aislar la extremidad lejana del conductor en vez de ponerla á tierra como es necesario para determinar la resistencia.

La figura 61, lámina 5.^a, demuestra cómo se dispone el experimento cuando se trata de hallar la resistencia por el método del anillo. Si se quiere determinar el aislamiento, no hay más que aislar el extremo del anillo que entra en el tornillo 2.

Para determinar pequeñas resistencias puede bastar un elemento; pero si son de alguna consideracion, como cuando se trata de las pruebas de las líneas aéreas, se necesitan por lo ménos 15 ó 20 elementos.

Las resistencias del sistema de bobinas, del carrete y de la caja de derivaciones de este galvanómetro, están expresadas en unidades Siemens, y por consiguiente las resistencias que con él se determinen, están expresadas en las mismas unidades.

Observaciones.—La resistencia de los conductores telegráficos puede pues determinarse de distintas maneras y con el auxilio de diversos instrumentos, lo que permitirá apreciar el estado de aquellos, atender oportunamente á su reparacion ó sustitucion y aumentar ó disminuir segun convenga el número de elementos de las pilas para obtener una buena trasmision con la mayor economía posible.

Debe exigirse que la resistencia de los alambres de hierro de 4 milímetros de diámetro no exceda de 8 unidades *Ohm* ó de $8\frac{1}{2}$ *Siemens*, y cuanto más se aproxime á esta cantidad la resistencia por kilómetro de un conductor telegráfico de dicho diámetro, tanto más perfecto será su estado. Si es mucho mayor, indica que hay empalmes sin soldar ó mal soldados, rotura ó

mala comunicacion con tierra en las estaciones, y si por el contrario, es mucho menor, hay falta de aislamiento, derivaciones á tierra ó rotura del hilo y contacto con el suelo. La resistencia que corresponde á otro alambre de diferente diámetro, se determina con facilidad teniendo presente que las resistencias se hallan en razon inversa de los cuadrados de los radios ó de los diámetros, y comparando con ella la que se obtenga en un momento dado, podemos juzgar del estado del conductor.

Como en las líneas telegráficas se emplean hilos de distintos diámetros y longitudes, para apreciar la resistencia de cada uno de ellos, pueden referirse todos á la resistencia de un hilo determinado, por ejemplo, al de 5 milímetros. Supongamos que un conductor telegráfico de 4. milímetros de diámetro y de 110 kilómetros de longitud, tiene una resistencia de 1605 *Ohms*. La longitud del hilo de 5 milímetros que tenga la misma resistencia que dicho conductor, es decir 1605 *Ohms*, se halla por la consideracion de que para que dos hilos de la misma naturaleza tengan la misma resistencia, es preciso que sus longitudes estén en razon directa de las secciones, y por lo tanto de los cuadrados de los radios ó de los diámetros, si la seccion es circular, y en el caso actual, segun este principio, y llamando x la longitud que se busca:

tendremos la siguiente proporcion:

$$\frac{x}{110} = \frac{25}{16}; \text{ de donde; } x = \frac{110 \times 25}{16} = 172 \text{ } klm.$$

Resulta que 172 kilómetros de hilo de 5 *m/m* tendrían una resistencia de 1605 *Ohms*, y si suponemos que la resistencia real del kilómetro de este alambre de hierro es de 5 *Ohms*, la resistencia que corresponde á los 172 kilómetros es de 860 *Ohms*, y por lo tanto, en el conductor de 4 *m/m* hay un exceso de resistencia, sobre la que tendría, si fuese continuo y homogéneo y estuviese perfectamente aislado y en perfecta comunicacion con la tierra en su extremidad.

Del mismo modo podíamos hallar la longitud del hilo de 5 *m/m* que tuviese la misma resistencia que otro de 3, de 2, de 6 ó de cualquiera número de milímetros de diámetro y determinar su estado respecto de la resistencia al paso de la corriente eléctrica. Esta longitud de un hilo determinado que tiene igual resistencia que otro de longitud tambien determinada, es lo que se llama,

LONGITUD REDUCIDA, y en el caso que hemos considerado, lo es al hilo de 5 *m/m*. En general se llama longitud reducida de un circuito, la longitud de un hilo determinado que presenta la misma resistencia que dicho circuito. Así es que cuando se determina la resistencia de un conductor telegráfico por el método de sustitucion, en realidad no se hace otra cosa que hallar la

longitud reducida de dicho conductor, puesto que su resistencia resulta expresada en la del hilo del reostato que al efecto se emplea.

Segun lo que hemos dicho, la resistencia de los conductores telegráficos varía considerablemente segun el tiempo, el grado de aislamiento y otras circunstancias de que nos ocuparemos más adelante; pero lo que ejerce más influencia, son las derivaciones á tierra, ó sean las pérdidas de corriente, y las que tienen lugar de unos á otros hilos cuando estos se hallan sobre los mismos postes, y se comprende muy bien que cuando estos defectos se presentan, lo que suele suceder cuando llueve ó hay nieblas, la resistencia de las líneas ha de disminuir de un modo muy notable porque entónces en cada apoyo existe una pérdida, la fuerza de la corriente disminuye continuamente, y puede suceder que no llegue á su destino. En este caso faltan los principios en que se funda la determinacion de la resistencia y del aislamiento y los resultados no pueden ser exactos.

En buen tiempo y en hilos bien aislados y con buenas planchas de tierra bien establecidas, si se forma el anillo resultará que la resistencia de este es casi igual á la suma de las resistencias de los dos hilos que lo constituyen, y lo mismo sucede respecto de las resistencias de las derivaciones que miden el aislamiento; pero en

mal tiempo, las últimas partes del conductor se experimentan con corrientes tanto más débiles, cuanto mayor es la longitud del conductor y el efecto es mayor en el anillo que cuando se experimenta cada hilo separadamente, en cuyo caso las pérdidas y las derivaciones de uno á otro hilo no influyen tanto en los resultados.

Tambien conviene observar que hallándose dos hilos de diferente diámetro colgados en los mismos postes y aislados de la misma manera, el de mayor diámetro dará un aislamiento menor que el más delgado á causa de que, segun generalmente se cree, la superficie de contacto con los aisladores es mayor en el primero que en el segundo, dando lugar á una mayor pérdida de corriente por los apoyos, lo que pudiera inducir á creer que el aislamiento era defectuoso, ó que deberian preferirse los hilos delgados á los gruesos, lo que no es exacto, ántes al contrario, el aumento de conductibilidad debido á la mayor seccion de estos últimos, compensa con exceso la disminucion del aislamiento, dando por resultado una velocidad y claridad mucho mayor en la trasmision, hasta el punto de que en parajes donde las derivaciones eran muy considerables, se han empleado barras de hierro sobre apoyos de madera, en vez de los alambres de 4 á 6 *m/m* de diámetro, que por lo regular constituyen los conductores telegráficos.

RESISTENCIA DE LAS PILAS.—Cuando la resistencia del circuito exterior es muy considerable, puede, en algunas ocasiones, despreciarse la de la pila sin error sensible, pero fuera de estos casos, es necesario contar con ella y determinarla, lo que se consigue por diferentes procedimientos.

Método de oposicion.—Colocando dos elementos en oposicion ó sea unidos por los polos del mismo nombre, resulta una pila inactiva, cuya resistencia puede determinarse como la de otro conductor cualquiera por uno de los medios antes explicados, y la mitad de la resistencia que resulte, será la de un elemento. En vez de dos pueden emplearse varios elementos de un mismo sistema, dispuestos unos en un sentido y los otros en sentido opuesto de manera que no resulte corriente, y dividiendo la resistencia total por el número de elementos se obtendrá la de uno de ellos.

Por medio de un galvanómetro.—Hagamos pasar la corriente de la pila por un galvanómetro de senos ó de tangentes y anotemos el seno ó la tangente correspondiente á la desviacion de la aguja. Si despues intercalamos en el circuito un reostato y hacemos variar la resistencia de este hasta obtener una desviacion cuyo seno ó cuya tangente sea la mitad que anteriormente, es indudable que la resistencia de este segundo cir-

cuito es doble que la del anterior y que por consiguiente, la resistencia de la pila, del galvanómetro y de los hilos auxiliares, que es lo que componia la resistencia del primer circuito, es igual á la resistencia introducida por medio del reostato; y por lo tanto, si de esta última resistencia se resta la del galvanómetro juntamente con la de dichos hilos, resulta la de la pila. En efecto, si llamamos x esta resistencia, r la del galvanómetro y de los hilos de relacion y R la del reostato, tendremos;

$$x+r=R; \text{ de donde: } x=R-r.$$

Otro método con el galvanómetro.—Formemos un circuito con la pila, el galvanómetros y un reostato y supongamos que dando á este una resistencia r , se obtiene una desviacion D . Aumentemos despues la resistencia del reostato y representémosla por R y por d la desviacion que resulte. La resistencia del primer circuito será $x+r$, siendo x la de la pila, y $x+R$ la del segundo circuito, y como las desviaciones de un mismo galvanómetro están en razon inversa de las resistencias, tendremos la siguiente proporcion:

$$\begin{aligned} \frac{D}{d} &= \frac{x+R}{x+r}; \text{ de donde:} \\ \frac{D-d}{d} &= \frac{x+R-(x+r)}{x+r} = \frac{R-r}{x+r}; \\ (D-d)(x+r) &= d(R-r); \quad x+r = \frac{d(R-r)}{D-d} \\ x &= \frac{d(R-r)}{D-d} - r, \text{ y por ultimo: } x = \frac{dR-Dr}{D-d} \end{aligned}$$

Si se regula la resistencia R de manera que d sea la mitad de D , en la primera de estas ecuaciones será: $2(x+r)=x+R$; de donde: $x=R-2r$. Para mayor exactitud, debe emplearse un galvanómetro en que las desviaciones sean proporcionales á la fuerza de las corrientes, como sucede en los de senos y en los de tangentes, especialmente en el de Gaugain, y es conveniente que las resistencias R y r sean tales que comprendan la del galvanómetro, la cual se supone pequeña. Si no lo fuese, las resistencias de los circuitos serian respectivamente $x+r+g$ y $x+R+g$, y siguiendo la misma marcha en los cálculos, obtendríamos por resultado:

$$x = \frac{d(R+g) - D(r+g)}{D - d},$$

fórmula que se convierte en la anterior haciendo $g=0$.

Método de Thomson.—Hagamos pasar la corriente de la pila por un galvanómetro y por un reostato con una resistencia determinada, anotando la desviacion, y despues, unamos los polos de la pila por medio de un hilo cuya resistencia sea conocida, con lo cual se establece una derivacion, y por último disminuyamos la resistencia del expresado reostato hasta que el galvanómetro marque la misma desviacion que ántes. Disponiendo el experimento como indica la figura 62 lámina 5.^a y representando por x la resis-

tencia de la pila, por g la del galvanómetro, por R la primera resistencia del reostato y por r la segunda, es evidente que la corriente *primitiva* ó sea la que pasa por el galvanómetro y por el reostato ántes de establecer la derivacion, tendrá por expresion:

$$\frac{E}{x+g+R},$$

y la corriente *parcial*, ó sea la que pasa por los mismos aparatos despues de establecida la derivacion, cuya resistencia representaremos por D , será:

$$\frac{ED}{x(g+r+D)+D(g+r)}.$$

Estas dos corrientes son iguales, puesto que el galvanómetro marca en ámbos casos la misma desviacion, y por lo tanto igualando estos valores tendremos la ecuacion:

$$\frac{E}{x+g+r} = \frac{ED}{x(g+r+D)+D(g+r)},$$

de la cual se deduce para el valor de la resistencia de la pila:

$$x = D \frac{R-r}{r+g}.$$

Método de Clark.—Se emplea un galvanómetro en que el hilo del carrete esté dividido en dos partes, segun hemos dicho en el lugar correspondiente, y se hace pasar la corriente de la pila sólo por una de dichas partes y se anota la des-

viacion. Despues se unen las dos mitades de dicho hilo de modo que la corriente las recorra sucesivamente pasando además por un reostato que se intercala en el circuito, y variando la resistencia de este aparato se hace que la desviacion sea igual á la anterior, en cuyo caso la resistencia que indique el reostato es igual á la de la pila. En efecto, cuando se emplea todo el hilo del carrete, el número de vueltas es doble que cuando sólo se hace uso de la mitad, y por lo tanto la accion de la corriente sobre la aguja será tambien dos veces mayor, y para que la desviacion de la aguja sea la misma, es indispensable que la resistencia en el primer caso sea doble que en el segundo. La resistencia del primer circuito, es la de la pila, que llamaremos x , y la del segundo la misma más la del reostato, que representaremos por R , y segun lo que hemos dicho tendremos: $2x = x + R$; y despejando: $x = R$. Como se ve, el resultado es independiente de la resistencia del galvanómetro, lo que se comprueba, determinando el valor de x teniendo en cuenta dicha resistencia. Para esto debemos recordar que las desviaciones que la corriente de una pila produce en un galvanómetro, están en razon directa del número de vueltas del hilo alrededor del carrete y en razon inversa de la resistencia del circuito, y como la de este, en el primer caso es $x + r$, y en el segundo $x + 2r + R$,

siendo r la resistencia de la mitad del carrete. si llamamos n el número de vueltas de esta mitad, las desviaciones estarán representadas respectivamente por $\frac{n}{x+r}$ y $\frac{2n}{x+2r+R}$, que como son

iguales darán la ecuacion: $\frac{2n}{x+2r+R} = \frac{n}{x+r}$ de la cual se deduce: $x=R$, como ántes.

El galvanómetro diferencial de Clark es muy á propósito para determinar la resistencia de una pila, haciendo pasar la corriente por uno de los hilos estableciendo la correspondiente derivacion, y despues por los dos sucesivamente introduciendo sus respectivas derivaciones y colocando el reostato en este segundo circuito. Por lo demás, conviene que el galvanómetro, cualquiera que sea, tenga poca resistencia, porque como se ha demostrado al hablar de estos aparatos, la resistencia de los mismos ha de estar en relacion con la que se trata de medir, y en general, con la del circuito, y la de un elemento de pila es siempre reducida. Además, es tambien conveniente introducir una derivacion y aun una resistencia determinada, cuando se emplea el reostato, para que las desviaciones de la aguja no excedan del límite dentro del cual son proporcionales á la fuerza de la corriente.

Por medio de la tension.—Estando aislado el polo A de la pila figura 63, lámina 5.^a, y el a en

comunicacion con la tierra al traves de un reostato, cuando estén puestas todas las clavijas de este no presentará ninguna resistencia y entonces la tension en el polo a será cero, y en el A igual á la fuerza electro-motriz de la pila. Si ahora vamos quitando clavijas empezando por las correspondientes á las bobinas de menor resistencia, la tension en a irá aumentando, puesto que es proporcional á la resistencia del conductor que lo pone en comunicacion con la tierra, y llegará á suceder que la tension en a , que representamos por ah , sea la mitad de la tension en A indicada por AH ; en cuyo caso, debiendo ser la resistencia de la pila más la del reostato doble que la de este, resultará que la resistencia de la pila será igual á la del reostato, de manera que si representamos por r la resistencia del reostato y por x la de la pila, cuando ah sea la mitad de AH , tendremos: $x+r=2r$, de donde resulta: $x=2r-r=r$.

Teniendo presente lo que hemos dicho respecto de la ley de distribucion de la tension en un conductor, se comprende la razon de este procedimiento; pero para mayor claridad podemos demostrarlo directamente. Supongamos desarrollado el hilo del reostato segun ac , que el extremo c comunica con la tierra y que representa un hilo de la misma naturaleza y diámetro que el del reostato y de una resisten-

cia igual á la de la pila: uniendo el punto H con el c , la línea Ac será la línea de las tensiones y de los triángulos AHc y ahc deduciremos la proporción: $AH:ah::Ac:ac$ y es evidente que cuando ah sea la mitad de AH , ac será la mitad de Ac , ó lo que es lo mismo: $Aa=ac$, ó $x=r$.

Por lo tanto, para determinar la resistencia de una pila por medio de la tensión, se aísla uno de sus polos y se pone el otro en comunicación con la tierra al través de un reostato, y además cada polo con su correspondiente electrómetro, según se indica en la figura, y cuando aumentando ó disminuyendo la resistencia del reostato, se consiga que el electrómetro unido al polo a , marque la mitad de grados que el del polo A , se tendrá que la resistencia que indique entonces el reostato, será la de la pila. Se comprende que los electrómetros E han de ser *iguales*, que basta uno tomando la tensión en A , y trasladándolo después á a y que tampoco es preciso que la tensión en a sea la mitad que en A .

Por medio del puente de Wheatstone.—Mr. Cully en su Manual de telegrafía, describe este método del modo siguiente: Sustitúyase el lado B por la pila; únanse los vértices que forman los lados A y C y los B y D , figura 64, lámina 5.^a, por medio de un hilo grueso interrumpido por un manipulador que permita cerrar y abrir el circuito; colóquese el galvanómetro en la posi-

cion ordinaria; dese á los lados C y D una resistencia determinada y hágase variar la del lado A , hasta que cerrando y abriendo el circuito con el manipulador, la aguja quede fija marcando la misma desviacion, en cuyo caso se tendrá la relacion: $BC=AD$, de la cual se deduce el valor de B , ó sea la resistencia de la pila. Este método, el más exacto de todos, puesto que es independiente de la variacion que pueda experimentar la fuerza de la pila durante la operacion, se funda sin duda alguna en la propiedad particular del puente de Wheatstone observada por Mr. Mixa, según la cual, *cuando en un lado cualquiera de dicho puente, ó en la diagonal que ocupa el galvanómetro existe una fuerza electromotriz, y el estado eléctrico de esta diagonal no se altera, variando la resistencia ó suprimiendo la otra diagonal; los productos de los lados opuestos son iguales.*

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE UN GALVANÓMETRO.—Pudiendo disponer de dos galvanómetros, es fácil medir la resistencia de uno de ellos sirviéndose del otro; pero cuando no hay más que uno, puede determinarse aquella por dos métodos.

1.º Cambiando la disposicion que ocupan la pila y el galvanómetro en el experimento anterior, esto es, colocando, la pila en la diagonal *ad* y el galvanómetro en el lado B y cuando la agu-

ja quede fija cerrando y abriendo el circuito con el manipulador, la resistencia buscada será: $\frac{AD}{C}$

2.º Se coloca el galvanómetro en circuito con un reostato, se establece una derivacion en aquel aparato, dándole una resistencia que produzca en el galvanómetro una desviacion conveniente. Despues se varia la resistencia de la derivacion y por medio del reostato se hace que la desviacion del galvanómetro sea la misma que ántes. La figura 65 lámina 5.ª, indica la disposicion del experimento.

Sean R y r , D y d las resistencias respectivas del reostato y de las derivaciones y x la del galvanómetro. Comparando esta figura con la 11, se observará, despreciando la resistencia de la pila, que R y r representan en cada caso la resistencia de la parte del circuito que no varía, que D y d equivalen á r' y x á r , de manera que la corriente parcial que es la que pasa por el galvanómetro tendrá por expresion en el primer caso:

$$\frac{D}{R(x+D)+Dx}; \text{ y en el segundo: } \frac{d}{r(x+d)+dx}$$

y como estas expresiones son iguales, puede formarse con ellas una ecuacion de la cual se deduce para el valor de la resistencia del galvanómetro.

$$x = \frac{Dd(R-r)}{Dr-dR}.$$

Teniendo en cuenta la resistencia de la pila y llamándola p , la resistencia de la parte del circuito que no varía, será en cada caso, $p+R$ y $p+r$, y la fórmula que dá el valor de la resistencia del galvanómetro es:

$$x = \frac{Dd(R-r)}{Dr-dR+p(D-d)}$$

Otro método.—Creemos que tambien se puede resolver este problema de la manera siguiente: Se coloca el galvanómetro en el circuito de una pila y se anota la desviacion. Despues se establece una derivacion en el galvanómetro por medio de un reostato y se varia la resistencia de éste hasta que la desviacion del galvanómetro sea la mitad que anteriormente, y entónces la resistencia del galvanómetro es igual á la del reostato. Puede suceder que el galvanómetro no dé una desviacion conveniente en la primera operacion, y en ese caso se establece en la pila una derivacion de resistencia suficiente para conseguir dicho objeto y conservándola en la segunda operacion no influye en el resultado.

Determinacion de la tension.

Método de oposicion.—La tension en los diversos puntos de un conductor, puede determinarse de la manera que indica la figura 66, lám.

na 5.^a AB es el conductor que comunica en A con una pila P y en B con la tierra. Disponiendo la pila P' de manera que su polo negativo comunique tambien con la tierra y el positivo con un galvanómetro sensible, llevando la extremidad del hilo GD sobre el conductor AB , se hallará un punto tal como D en que la aguja permanezca en cero, en cuyo caso, la tension de dicho punto estará representada por los cinco elementos de la pila P' . Añadiendo á éste uno ó más elementos y corriendo el hilo GD hácia la izquierda, encontraremos otro punto D' en que el galvanómetro marque cero, y la tension de este punto estará expresada por el número de elementos que tenga esta misma pila. Si por el contrario, en vez de aumentar, disminuimos el número de elementos de esta pila, corriendo el hilo GD á la derecha sucederá que en un punto tal como D'' , el galvanómetro marcará cero y la tension de este punto estará representada por el número de elementos que hayan quedado en la pila P' , y en general, la tension de un punto cualquiera del conductor AB , será proporcional al número de elementos que sea necesario dar á la pila P' para que el galvanómetro permanezca en cero cuando la extremidad del hilo GD toque en cada uno de dicho puntos.

Es evidente que una parte de la corriente de la pila P tiende á pasar por el hilo DG , por el gal-

vanómetro y por la pila P' pero como esta envía otra corriente en sentido contrario, en el circuito existirá una sola corriente que será la diferencia de las dos y que marchará en uno ó en otro sentido segun que la tension en el punto que se considera del conductor AB sea mayor ó menor que la del hilo GD , y cuando estas tensiones sean iguales, no pasará corriente alguna por el circuito $ADGP'$ y por lo tanto la aguja del galvanómetro permanecerá en el cero. Entónces la tension del punto D es igual á la del hilo GD que es próximamente la de la pila P' , que como sabemos, es proporcional al número de elementos.

Cuando es preciso determinar la tension de un punto determinado del conductor se fija en él la extremidad del hilo GD , y se aumenta ó disminuye el número de elementos de la pila P' segun el sentido de la desviacion que acusa el galvanómetro, hasta que la aguja permanezca en cero, y si esto no puede conseguirse, porque la adiccion de un elemento hace desviar la aguja al lado opuesto, puede determinarse la fraccion de elemento que corresponde, del modo siguiente: Suponiendo, por ejemplo, que con 8 elementos desvie la aguja 4° á un lado y con 9 elementos 6° al opuesto, el número de elementos, y por consiguiente, la tension del punto que se considera, será: $8 + \frac{4}{4+6} = 8 + \frac{4}{10} = 8,4$.

Este método es muy á propósito para determinar la tension en diferentes puntos de un conductor telegráfico y reconocer de esta manera su estado, puesto que la tension debe disminuir uniformemente desde la pila hasta la primera estacion en que el conductor comuniqua con la tierra, y cuando así no suceda, es señal de que existe algun defecto, cuya situacion puede hallarse por los procedimientos conocidos.

Por medio de un condensador.—La tension de una pila se determina cargando con ella un condensador y descargándolo *en seguida* al traves de un galvanómetro. La carga que puede recibir un condensador es proporcional á la tension de la pila empleada al efecto y la desviacion de la aguja del galvanómetro es proporcional á dicha carga y por lo tanto á la tension de la pila.

Así, pues, si cargamos un condensador con una pila P , y en seguida lo descargamos de la manera que ya se ha indicado, el galvanómetro nos dará una desviacion que representamos por a , y si cargamos despues el mismo condensador durante el mismo tiempo con otra pila P' y obramos de la misma manera, el galvanómetro nos dará otra desviacion que llamaremos a' , y, segun lo que hemos dicho, las tensiones de las pilas P y P' serán proporcionales á las desviaciones a y a' , y si las representamos por T y T' tendremos: $T:T':a:a'$.

Empleando primero un elemento, despues dos y luego tres y así sucesivamente, veriamos que las desviaciones, y por lo tanto las tensiones, son proporcionales al número de elementos.

Por medio de un elemento tipo del sistema Daniell ó del nuevo sistema de Lartimer Clark de mercurio y zinc, se puede determinar la tension de las distintas pilas cualquiera que sea el número de elementos de que se compongan. Supongamos que la descarga del condensador cargado con el elemento tipo por espacio de un minuto, produce en la aguja una desviacion que representaremos por a . Cargando despues el mismo condensador durante otro minuto con una pila compuesta de un número más ó ménos considerable de elementos, la carga puede ser y será en general bastante grande para que al pasar á tierra al través del galvanómetro, la desviacion de la aguja exceda de la graduacion del círculo, y para obtener una desviacion conveniente se introduce una derivacion en el galvanómetro y se multiplica la desviacion así obtenida por el denominador de la fraccion que expresa la resistencia de la derivacion más una unidad, y en general, por el valor $\frac{g+d}{d}$, como hemos dicho. Si representamos por T la tension del elemento tipo, por a la desviacion correspondiente al mismo, por X la tension de la pila y por

a' la desviacion correspondiente con la derivacion, tendremos: $X:T::\frac{g+d}{d}\times a':a$; de donde:

$X=\frac{a'}{a}\times\frac{g+d}{d}\times T$. Si damos á la derivacion una resistencia tal que resulta $a'=a$, entónces $\frac{a'}{a}=1$, y

$$X=\frac{g+d}{d}\times T.$$

De este modo se puede obtener la tension de todas las pilas que se desee en funcion de la tension del elemento tipo ó con relacion á ella.

Hemos supuesto que el galvanómetro empleado es el de reflexion de Thomson; pero si se hiciera uso de un galvanómetro ordinario dividido en grados, en vez de a y de a' , que entónces representarían ángulos, se pondrian en las anteriores proporciones $\text{sen}^1/2a$ y $\text{sen}^1/2a'$.

Por medio de los electrómetros.— Empleando uno tan sensible por lo menos como el de Peltier, puede determinarse la tension de una pila, poniendo el polo negativo en comunicacion con la tierra, y el positivo con la esfera del aparato, con lo cual el hilo de aluminio se separará de las barras de laton, fijándose, despues de oscilar más ó ménos tiempo, en un punto del círculo graduado marcando mayor ó menor número de grados, segun el potencial de la pila. Repitiendo la opera-

cion con varias pilas se obtendrian diversas desviaciones que indicarian la relacion de los potenciales. Por medio del de Thomson, se hallaria la diferencia de potencial uniendo el polo positivo á dos sectores opuestos y el negativo á los otros dos, y el potencial poniendo á tierra uno de los polos y dos sectores opuestos y el otro polo en comunicacion con los otros dos sectores, comunicando en ámbos casos la aguja con el interior de una botella de Leiden, ó con otra pila de 100 elementos. Estableciendo debidamente las comunicaciones en un electrómetro capilar, el cono ó el índice darian á conocer las tensiones de las pilas, conductores ó cuerpos electrizados sometidos al experimento.

Determinacion de la tension en voltas.—Es evidente que cualquiera que sea el método que se emplee, sólo podrá determinarse la tension relativa de las pilas, y de ningun modo la tension absoluta de cada una de ellas, y para que estas tensiones sean comparables es necesario determinarlas de la misma manera, es decir por medio de los mismos aparatos y por el mismo procedimiento, en cuyo caso puede tomarse por unidad la tension de una pila determinada y referir á ella las tensiones de las demás, y aún expresarlas en unidades volta. Hasta el presente se ha tomado por unidad de tension la tension de un elemento Daniell que se supone ser próximamen-

te de un volta. Para expresar en voltas la tension de un elemento, ó de una pila de otro sistema, no habria más que determinar por cualquiera de los métodos que preceden la tension del elemento tipo y la del elemento ó pila de que se trata, y si estas tensiones fuesen respectivamente 20 y 36, por ejemplo, tendríamos la proporcion:

20:36::1:X de donde, $X = \frac{36}{20} = 1,80$, represen-

tando X la tension en voltas de dicho elemento ó pila. Tomando por tipo la pila de Lartimer Clark y suponiendo que las desviaciones fuesen respectivamente 50 y 30, la proporcion sería: 50:30::1,457:X, puesto que la tension polar ó la fuerza electro-motriz de dicho elemento tipo es 1,457 voltas. Tanto en este caso como en el anterior, la tension es igual á la fuerza electro-motriz, porque uno de los polos de la pila comunica con la tierra. Cuando los dos polos están aislados el valor absoluto de la tension en cada uno de ellos es precisamente la mitad.

Determinacion de la fuerza electro-motriz.

La fuerza electro-motriz de una pila es igual á la diferencia de tension ó potencial de sus dos polos, cuando ámbos están aislados, ó á la tension absoluta de uno de ellos, cuando está tam-

bien aislado y el otro comunica con la tierra, de manera que los medios que acabamos de describir para determinar la tension de una pila, sirven igualmente para medir su fuerza electro-motriz.

Esta última fuerza puede determinarse, además, por diferentes métodos, entre los cuales los más generalmente empleados son los siguientes:

Por medio de un galvanómetro.—Sea E la fuerza electro-motriz de una pila P que se toma como tipo ó como término de comparacion y propongámonos determinar la fuerza electro-motriz X de otra pila cualquiera P' . Para esto, hagamos pasar la corriente de la pila P por un circuito de una resistencia conocida R , interponiendo un galvanómetro, y anotemos la desviacion de la aguja, y despues hagamos pasar la corriente de la pila P' por el mismo galvanómetro cuya aguja marcará en general una diferente desviacion; pero aumentando ó disminuyendo la resistencia de este segundo circuito, podremos conseguir que esta desviacion sea igual á la primera, en cuyo caso es evidente, segun los principios que dejamos sentados en el 1.º y 2.º capítulo, que las fuerzas electro-motrices de las dos pilas serán proporcionales á las resistencias de los respectivos circuitos y que representando la del segundo por R' tendremos la proporcion:

$$\frac{X}{E} = \frac{R'}{R}; \text{ de donde: } X = \frac{R'}{R} \times E.$$

Si la fuerza electro-motriz de la P' fuese mucho mayor que la de la pila P , habria que introducir una resistencia muy considerable en el circuito de aquella para que el galvanómetro dé la misma desviacion que el de la segunda, lo que tal vez no fuese posible por carecer de ella; dificultad que puede salvarse introduciendo una derivacion en el galvanómetro al formar el circuito con dicha pila, y entónces, como hemos dicho repetidas veces, habria que multiplicar la resistencia R' que da la misma desviacion, por el denominador de la fraccion que indica la resistencia de la derivacion, aumentado en una unidad. Es decir que si dicha resistencia fuese $\frac{1}{9}$, habria que multiplicar por 10, y si de $\frac{1}{99}$ por 100, y en general por $\frac{g+d'}{d'}$; de manera que el valor de la fuerza electro-motriz de la pila P' sería entónces:

$$X = \frac{R' \times \frac{g+d'}{d'}}{R} \times E$$

Las fuerzas electro-motrices de las dos pilas, podian ser tales que las dos desviaciones del galvanómetro no fuesen convenientes y entónces sería preciso introducir en el galvanómetro, una derivacion d para el primer circuito y otra deri-

vacion d' para el segundo, y la fórmula anterior se convertiría en la siguiente:

$$x = \frac{R' \times \frac{g+d'}{d'}}{R \times \frac{g+d}{d}} \times E.$$

Si el galvanómetro que se emplea fuese de senos ó de tangentes, especialmente el de Gauss, ó el de Thomson, no habria necesidad de que las dos desviaciones fuesen iguales, porque entónces las fuerzas electro-motrices de las dos pilas serian proporcionales á los productos de las resistencias multiplicadas por las desviaciones.

En efecto, de las fórmulas $F = \frac{E}{R}$; $F' = \frac{E'}{R'}$, se deduce: $E = F \times R$ y $E' = F' \times R'$, y de aquí la proporcion: $E' : E :: F' \times R' : F \times R$. Pero como en dichos galvanómetros, las intensidades de las corrientes son proporcionales á las desviaciones en el de Thomson y á los senos ó tangentes de los ángulos de desviacion en los otros, en la última proporcion en vez de F' y de F podemos poner a' y a ó sea las respectivas desviaciones ó sus senos ó sus tangentes, segun el galvanómetro de que se haga uso, y si además, reemplazamos E' que es la incógnita, por X , dicha proporcion se convertirá en la siguiente:

$$X : E :: R \times a' : R \times a; \text{ de donde: } X = \frac{R' \times a'}{R \times a} \times E.$$

Método de oposicion.—Si en la figura 5, lámina 1.^a, P es la pila tipo y P' aquella cuya fuerza electro-motriz tratamos de determinar, y aumentamos ó disminuimos el número de elementos de una ú otra, hasta que no pase corriente alguna por el circuito, lo que sucederá cuando el galvanómetro G , que debe ser muy sensible, permanezca en cero, es evidente que cuando esto tenga lugar, las fuerzas electro-motrices de las dos pilas se hallan en razon inversa del número de elementos de que cada una se compone. Suponiendo, por ejemplo, que cinco elementos de la pila P' contrarestan y anulan la corriente de tres de la pila P , tendremos la siguiente proporcion, llamando X la fuerza electro-motriz de la primera de dichas pilas: $X: E:: 3: 5$; de donde:

$$X = \frac{3}{5} E.$$

Método de Poggendorff.—Se dispone el circuito de las dos pilas como en el caso anterior, y se establece una derivacion con un reostato, segun indica la figura 67, lámina 5.^a Al llegar la corriente de la pila P al punto B , se divide en dos partes, una de las cuales atraviesa el reostato y la otra se dirige al galvanómetro G y á la pila P' . Del mismo modo la corriente de esta última pila, al llegar al mismo punto B , se divide en otras dos partes, una que atraviesa el

reostato y otra que se dirige á la pila P ; de manera que por el hilo $p''GB$, pasan dos corrientes en sentido contrario. La fuerza de estas corrientes depende de la resistencia que se dé al reostato, y se comprende que esta resistencia puede ser tal que las dos corrientes resulten iguales, en cuyo caso el galvanómetro permanecerá en cero.

La corriente de la pila P' en el hilo $P''GB$, es la que se llama principal en la teoría de las corrientes derivadas, y la corriente de la pila P en el mismo hilo, es la corriente parcial respecto de dicha pila, y si llamamos R la resistencia del reostato, ó sea del *hilo de derivación*, r la resistencia de la pila P y de los hilos auxiliares PA y PB , y por r' la resistencia de la pila P' , y de los hilos que la unen á los puntos A y B incluso el del galvanómetro, tendremos para la corriente principal de la pila P' , suponiendo que esta es la que actúa, y según la fórmula (1) de la página 122, la expresion:

$$\frac{X(R+r)}{r'(R+r)+Rr'}$$

en la cual X es la fuerza electro-motriz de la pila P' que buscamos. Considerando ahora que actúa la pila P , la expresion de la corriente parcial que procedente de dicha pila pasa por el mismo hilo $p'GB$ y en sentido contrario que la

expresada corriente principal será, segun la fórmula (2) de la página 124:

$$\frac{E R}{r(R+r') + Rr'}$$

Segun hemos indicado, cuando aumentando ó disminuyendo la resistencia del reostato hayamos podido conseguir que la aguja del galvanómetro se fije en el cero, estas dos corrientes serán de la misma fuerza ó intensidad, y por lo tanto, las dos expresiones anteriores serán iguales, y como si ejecutamos las multiplicaciones indicadas en los denominadores, veremos que son exactamente iguales, tambien lo serán los numeradores por lo cual tendremos la ecuacion:

$$X(R+r) = ER; \text{ de donde: } X = \frac{R}{R+r} E.$$

Con el galvanómetro universal de Siemens.— Se establecen las comunicaciones como indica la figura 68, lámina 5.^a, en la cual el polo positivo de la pila P' , cuya fuerza electro-motriz se quiere determinar, se fija al tornillo 1, ó directamente, al del extremo de la palanca, y el polo negativo al tornillo 4. El polo positivo de la pila tipo P se une al tornillo 3 y el negativo al 5. Se colocan las clavijas de las tres bobinas de resistencia, con lo cual quedarán todas fuera del circuito, y se quita la que une los tornillos 3 y 4. Con esta disposicion los respectivos circuitos de las

dos pilas serán Pb por el galvanómetro al tornillo 4 que es el polo negativo de la pila P' , y $b'p''pb$ por el reostato, al tornillo 2 y de aquí, por el resorte k , al tornillo 5, que es el polo negativo de la pila tipo P . Cuando, moviendo la palanca, y por lo tanto el rodillo p , hay equilibrio, ó lo que es lo mismo, el galvanómetro marca cero, las fuerzas electro-motrices x de la pila P' y E de la pila P , son proporcionales á las resistencias de los respectivos circuitos que son pb ó $150-a$ y $b'p''pb+r$, ó $300+r$, puesto que el hilo de platino está dividido en 300 partes, 150 de cada lado á partir de cero, y tendremos:

$$\frac{x}{E} = \frac{150-a}{300+r}; \text{ de donde: } x = \frac{150-a}{300+r} \times E, \dots (1)$$

siendo r la resistencia de la pila tipo P .

Si substituyendo la pila P' por otra P'' se obtiene el equilibrio cuando el rodillo está en el punto p' , llamando x' la fuerza electro-motriz de esta pila y a' al arco op' , resultará:

$$x' = \frac{150-a'}{300+r} \times E,$$

y, la relacion de las fuerzas electro-motrices de las pilas P' y P'' sería:

$$\frac{x}{x'} = \frac{150-a}{150-a'}; \text{ de donde: } x = \frac{150-a}{150-a'} x'.$$

Si el equilibrio con la pila P'' se obtuviese estando el rodillo en el punto p'' , esto es, á la derecha del cero, llamando a'' al arco op'' , la re-

sistencia del circuito de esta pila sería entonces $bo+op''$, ó sea $150+a''$ y tendríamos:

$$x' = \frac{150+a''}{300+r'} \cdot y \quad x' = \frac{150-a}{150+a''}$$

de manera que la relacion de las fuerzas electromotrices de varias pilas comparadas sucesivamente con la de una pila tipo, es la de los arcos $150-a$, $150-a'$, $150+a''$ &....

La disposicion dada al experimento por medio de este galvanómetro es equivalente á la anterior. Así es que la fórmula (1), concuerda con

la $E = \frac{R}{R+r}$, considerando que $150-a$, parte comun á los dos circuitos, como allí el reostato, es lo que hemos llamado R y que $300+r$, se compone de $(150-a)+(150+a)+r=R+(150+a+r)=R+r$, representando por r la parte diferente del circuito de la pila P como allí se hizo.

Con el Potenciómetro de Clark.—Consiste este aparato en un hilo de una liga de iridio y platino, de 10 metros de longitud con un diámetro de medio milímetro próximamente, arrollado á un cilindro de ebonita de modo que las espiras no se toquen. Los extremos de este hilo están respectivamente unidos á los del eje del cilindro el cual se halla montado sobre dos coginetes A y B , figura 69 lámina 5.^a, á los que concurren igualmente los polos del elemento tipo P y los de otra pila auxiliar P'' , estableciéndose los con-

tactos por medio del mercurio contenido en la cavidad practicada en cada uno de dichos coginetes.

Las dos pilas, en virtud de su disposicion, tienden á hacer pasar una corriente por el hilo arrollado al cilindro, y como la pila auxiliar puede y debe componerse de un número tal de elementos que su fuerza electro-motriz sea mayor que la del elemento P , la primera de dichas pilas enviará una corriente por el circuito $BPAP''$ en direccion contraria á la corriente de la segunda. Si ahora intercalamos un reostato R en el circuito de la pila P , aumentando ó disminuyendo la resistencia, podremos conseguir el equilibrio de estas dos corrientes opuestas, en cuyo caso un galvanómetro G situado en el circuito de la pila P , permanecerá en cero. Por otra parte, cuando esto suceda, es indudable que la tension en el punto A es igual para una y otra pila y que lo mismo se verifica en el punto B , pues de otro modo circularia una corriente por el circuito de las dos pilas y el galvanómetro indicaria la correspondiente desviacion. De aquí se deduce que la diferencia de potencial entre los puntos A y B , extremos del hilo arrollado al cilindro de ebonita, es igual á la diferencia de potencial entre los polos de la pila P , y por consiguiente á su fuerza electro-motriz, y que la tension en cada punto de dicho hilo es proporcional á la distan-

cia á que se halla del punto A ; de manera que si lo dividimos en partes iguales, por ejemplo en 100, y las numeramos correlativamente poniendo cero en A y 100 en B , la tension en cada punto estará representada por el número correspondiente, con relacion á la tension de la pila tipo que es 100.

Para determinar la fuerza electro-motriz de una pila cualquiera P' , se pone el polo negativo en comunicacion con el cojinete A , y el positivo, con el galvanómetro G' , y con el hilo h , que se corre á lo largo del cilindro de ebonita, tocando con su punta las diferentes espiras, hasta que el galvanómetro G' permanezca en cero, en cuyo caso el número correspondiente á la division que entónces toca el hilo de que se trata, indica la fuerza electro-motriz de la pila sometida al experimento, puesto que representa la diferencia de tension respecto del punto A , que es igual á la diferencia de tension entre los polos de dicha pila, ó sea, á su fuerza eléctrico-motriz.

Es condicion indispensable que la pila tipo sea de mayor fuerza electro-motriz que la pila que se experimenta, y si para conseguirlo no es suficiente un elemento, se aumenta en aquella uno ó más elementos.

En la práctica se coloca una regla dividida en partes iguales, entre los puntos A y B , y el hilo h se sujeta á una corredera que se lleva á

derecha é izquierda sobre la regla, con lo cual y con hacer girar al cilindro cuando sea necesario, se halla al fin el punto en que el galvanómetro marca cero. Para mayor exactitud, deben emplearse con el potenciómetro, dos galvanómetros Thomson de reflexion.

DETERMINACION DEL TANTO POR CIENTO DE LA FUERZA ELECTRO-MOTRIZ DE LAS PILAS.—Por los medios que dejamos indicados se obtiene la fuerza electro-motriz de una pila cualquiera en funcion de la fuerza electro-motriz de la pila tipo, que se supone conocida, y si la representamos por 100, tendremos el valor de la fuerza electro-motriz que se busca, suponiendo que la de la pila tipo sea 100. En el ejemplo del método de oposicion.

hemos supuesto que X era igual á $\frac{3}{5}$ de E , y si hacemos $E=100$, tendremos:

$$X = \frac{3}{5} \times 100 = \frac{300}{5} = 60;$$

de manera que si la fuerza electro-motriz de la pila P es 100, la de la pila P' es 60. Del mismo modo podemos hallar la fuerza electro-motriz de cuantas pilas se quiera y formar un cuadro ó estado de sus fuerzas electro-motrices, con relacion á una pila determinada tomada como tipo.

El potenciómetro de Clark, suponiendo que entre los puntos A y B haya 100 divisiones, dá desde luego estas cantidades, puesto que si al

tocar el hilo *h* la división 80, por ejemplo, el galvanómetro *G'* permanece en cero, la fuerza electro-motriz de la pila que se experimenta estará representada por 80, mientras que la de la pila tipo lo está por 100.

Generalmente se determina la fuerza electro-motriz de un elemento con relacion á la de otro elemento determinado, en atencion á que la de una pila de un número cualquiera de elementos, se calcula fácilmente, puesto que es proporcional al número de elementos de que se compone. Del mismo modo, conociendo la fuerza electro-motriz de una pila compuesta, se halla la de uno de sus elementos. dividiéndola por el número de ellos, suponiendo en ambos casos que los elementos son de la misma naturaleza.

En su consecuencia, si la pila tipo constase, por ejemplo, de dos elementos, y hubiese resultado el número 80 para el valor de la fuerza electro-motriz de la pila sometida al experimento, el verdadero valor de esta fuerza, respecto de la de un elemento de la pila tipo seria 120, esto es, el doble, y 240 ó sea el triple, si dicha pila se compusiese de tres elementos, y así sucesivamente.

DETERMINACION DE LA FUERZA ELECTRO-MOTRIZ EN VOLTAS.—Tomando por tipo una pila cuya fuerza electro-motriz expresada en unidades Volta fuese conocida, se puede obtener en

la misma clase de unidades la fuerza electro-motriz de otra pila cualquiera. Si por uno de los métodos anteriores resultase para X un valor tal como $\frac{2}{3}E$, habiendo tomado por tipo un elemento Daniell cuya fuerza electro-motriz es de

un Volta, haciendo $E=1$, tendríamos $X=\frac{2}{3} \times 1$

Volta=0,666 Voltas. Habiendo empleado para tipo un elemento Clark, cuya fuerza electro-

motriz es de 1,457 Voltas, sería: $X=\frac{2}{3} \times 1,457$

Voltas=0,971 Voltas, y en general si el valor de

X fuese $\frac{n}{m} \times E$, bastaria poner en vez de E su

valor en Voltas, para que resulte expresado el de X en la misma clase de unidades. Empleando el potenciómetro, no es necesario ejecutar cálculo alguno para obtener este mismo resultado.

Si la pila tipo es un elemento Daniell, se divide la regla de modo que los cojinetes comprendan 1000 divisiones, cada una de las cuales representará una milésima de Volta; si el tipo fuese un elemento Clark, los cojinetes deben comprender 1457 divisiones, para que cada una equivalga igualmente á una milésima de Volta, y en general ha de haber entre los cojinetes tantas divisiones como centésimas, milésimas ó diez-milésimas de Volta compongan la fuerza electro-

motriz de la pila tipo, segun el grado de aproximacion con que se quiera obtener el valor de X en unidades electro-magnéticas absolutas de esta especie.

La determinacion de la fuerza electro-motriz de la pila tipo en esta clase de unidades, puede verificarse por medio del dinamómetro eléctrico de Weber de que se sirvió la Comision de la Asociacion Británica para la determinacion de las unidades eléctricas y que inventó dicho físico en 1848 para demostrar experimentalmente la teoría de Ampere sobre el magnetismo. Este instrumento, que despues de dicha época ha sido notablemente perfeccionado, es uno de los más importantes y delicados que pueden emplearse en las esperiencias eléctricas; pero su uso requiere una práctica y una habilidad extremadas, y solo puede tener una conveniente aplicacion en casos como el indicado y cuando se trate de medir la fuerza electro-motriz de una pila que por sus circunstancias pueda considerarse como tipo ó patron, como la de Clark, de mercurio y zinc.

La descripcion y la instruccion detalladas de este aparato, no caben dentro de un tratado elemental como el presente, que sólo se ocupa de la medicion de las fuerzas eléctricas con relacion al servicio de telégrafos, por lo cual nos limitamos á indicar que los que lo deseen ó tengan ne-

cesidad de ello, pueden ver la descripción de este instrumento tal como lo inventó Weber, en el tomo primero del *Tratado de electricidad* de Mr. De La Rive, y más completo y modificado en las *Memorias* de la Comisión de la Asociación Británica y en el número XXI tomo VII del periódico de la *Sociedad de Ingenieros eléctricos* de Londres.

La parte principal de este dinamómetro consiste en un carrete fijo en medio del cual se halla suspendido, por medio de dos hilos metálicos muy finos, otro carrete compuesto como el primero de hilo de cobre recubierto de seda. Este carrete, por lo tanto, puede girar libremente dentro del primero, á cuyo efecto el diámetro de aquél es de una magnitud tal que permite este movimiento. Los dos carretes están dispuestos de manera que pueda pasar por ellos la corriente eléctrica de una pila, y cuando esto tenga lugar, el carrete fijo obrará sobre el móvil que en realidad es un solenoide y que por lo tanto goza de las propiedades de una aguja magnética.

La acción que ejerce el carrete fijo sobre el móvil depende de la disposición y de la distancia á que se hallan, resultando el máximo cuando coinciden los centros de los dos carretes y las corrientes del uno son perpendiculares á las del otro. La suspensión bifilar permite subir y bajar el carrete móvil y colocarlo á la distan-

cia conveniente del carrete fijo y el instrumento lleva su espejo, su anteojo y su escala para apreciar exactamente la desviación, y sus tornillos para nivelarlo, descansando el todo sobre un zócalo de mampostería fundado sobre el suelo, para evitar todo movimiento vibratorio, y si después de disponerlo convenientemente se hace pasar la corriente de la pila por los carretes, conociendo las dimensiones de las distintas partes del aparato y la resistencia del circuito, y teniendo presentes las leyes mecánicas y electro-dinámicas aplicables al caso, y las fórmulas indicadas en el capítulo primero, puede determinarse el valor de E en unidades absolutas electro-magnéticas.

El aparato no es seguramente de los más complicados, pero las operaciones que es necesario ejecutar para obtener el resultado indicado son sumamente delicadas y de un orden superior.

La fuerza electro-motriz de una pila puede también determinarse en unidades absolutas, por medio de un galvanómetro de senos y de la fórmula

$$E = \frac{K H R \sin \theta}{2\pi n},$$

en lo cual k es el radio medio del carrete, n el número de vueltas del hilo que lo forma, H el valor de la fuerza magnética del globo terrestre, θ el ángulo ó el número de grados que es nece-

sario hacer girar al carrete para que la aguja vuelva al cero ó sea al meridiano magnético y R la resistencia del circuito en *ohms*.

Mr. Clark ha empleado los dos medios para determinar la fuerza electro-motriz de su pila ya citada, habiendo obtenido por medio del dinamómetro eléctrico y como término medio de 18 observaciones, 1,45735, y por medio de un galvanómetro especial construido al efecto, 1,45621. cuyo término medio es 1,45674, ó 1,457 Voltas, que equivalen 145700 unidades electro-magnéticas absolutas. Por medio del galvanómetro de Bramão, puede obtenerse tambien la fuerza electro-motriz en esta clase de unidades.

Determinacion de la fuerza de las corrientes.

La fuerza de una corriente eléctrica depende de la cantidad de electricidad que pasa en la unidad de tiempo por una seccion cualquiera del circuito y es proporcional, como hemos demostrado, al ángulo de desviacion que imprime á la aguja de un galvanómetro, ó más bien al seno ó á la tangente de dicho ángulo, cuando el reómetro que se emplea es de senos ó de tangentes, resultando por lo tanto que esta desviacion es igualmente proporcional á la cantidad de elec-

tricidad que constituye la corriente, como lo ha demostrado Mr. Pouillet de una manera clara y concluyente, sirviéndose de un sencillo aparato compuesto de un disco de metal cuya circunferencia se halla dividida en partes iguales, alternativamente aisladoras y conductoras, sobre los cuales apoya un resorte metálico en comunicacion con uno de los polos de la pila al traves de un galvanómetro mientras que el otro polo se halla unido al eje del disco, que tambien es de metal. Permaneciendo apoyado el resorte sobre una de las partes metálicas de la circunferencia ó canto del disco, el galvanómetro marca constantemente una desviacion determinada; pero haciendo girar el disco lentamente por medio de un manubrio, la aguja oscila de un modo más ó ménos marcado, y cuando se imprime al disco una velocidad de cinco ó más vueltas por minuto, la aguja permanece estacionaria marcando una desviacion cuyo seno es la mitad del seno de la desviacion obtenida en el primer caso.

Cuando el resorte permanece durante un tiempo dado sobre una de las partes metálicas del disco, toda la corriente de la pila pasa constantemente por el circuito, y por lo tanto por el galvanómetro; pero cuando el disco gira, sólo pasa una cantidad mitad de electricidad que en el primer caso durante el mismo tiempo, puesto que una mitad del canto del disco es conductora

y la otra no, y como las indicaciones galvanométricas son igualmente la mitad la una de la otra, resulta que dichas indicaciones son proporcionales á la cantidad de electricidad que pasa por el galvanómetro, y en general por el circuito de la pila que la produce, y que la fuerza de una corriente, ó lo que algunos llaman su intensidad, no es otra cosa que dicha cantidad.

Por medio de un galvanómetro, puede determinarse la fuerza de la corriente de una pila, intercalándolo en el circuito de la misma, puesto que la desviacion producida en la aguja, ó el seno ó la tangente del ángulo de desviacion, segun el galvanómetro que se hace uso, representarán dicha fuerza. En experimentos delicados y que exijan bastante exactitud, debe emplearse el galvanómetro de reflexion de Thomson, el de tangentes ó el de senos de los sistemas que hemos descrito; pero cuando así no suceda es suficiente un galvanómetro ordinario.

Con estos aparatos, sin embargo, sólo puede medirse la fuerza relativa de las corrientes, si bien en la práctica de la telegrafía no presenta esta circunstancia ningun inconveniente, porque anotada la desviacion que en un galvanómetro dado produce la pila de una estacion reconocida en buenas condiciones, desde luego se comprende que si en un momento dado diese una desviacion bastante menor, es porque existe en ella

algun defecto que se puede buscar y corregir. Del mismo modo, cuando la fuerza de la corriente de salida es mucho mayor ó menor que la que corresponde al estado normal del conductor, es señal evidente de que existe en el circuito una derivacion ó una resistencia anormal, que por los procedimientos correspondientes puede medirse y localizarse.

Otros medios de determinar la fuerza de las corrientes. Puede conseguirse este objeto por medio del voltámetro y de la balanza electromagnética, como ya hemos indicado y tambien midiendo el calor desarrollado por el paso de la corriente por un hilo delgado; pero estos procedimientos, á pesar de su exactitud, son más convenientes para un gabinete de física que para las experiencias telegráficas.

DETERMINACION ABSOLUTA DE LA FUERZA DE LAS CORRIENTES.—Un galvanómetro como el de Sprague, del cual hemos hecho una ligera descripción en el capítulo 3.º da desde luego la fuerza absoluta de una corriente en unidades Weber, y como ya hemos indicado, puede obtenerse el mismo resultado determinando la fuerza electro-motriz de la pila en Voltas y la resistencia del circuito en *Ohms* y sustituyendo los respectivos valores en la fórmula:

$$I = \frac{E}{R},$$

pues así como $\frac{1 \text{ volta}}{1 \text{ ohm}}$, representa la cantidad de electricidad que con la fuerza electro-motriz de un Volta pasa por un circuito de la resistencia de *Ohm*, en un segundo, ó sea, un Weber,

$$\frac{E \text{ Voltas}}{R \text{ Ohms}}$$

representará la cantidad de electricidad que con la fuerza electro-motriz de *E* Voltas, pasa por un circuito de la resistencia de *R Ohms* en un segundo, ó sea el número de Webers que constituyen la fuerza de la corriente.

Tomando por tipo, ó por término de comparacion, una pila cuya fuerza electro-motriz en Voltas sea conocida, se puede determinar en Webers la fuerza de la corriente de otra pila cualquiera por medio de un galvanómetro. Para esto supongamos que la pila tipo es un elemento Daniell, ó de De la Rue de cloruro de plata, cuya fuerza electro-motriz es tambien próximamente de un Volta, y hagamos que la resistencia del circuito incluso el galvanómetro, sea de un *Ohm*, con lo cual la fuerza de la corriente será un Weber, y llamemos *a* la desviacion del galvanómetro. Interponiendo despues el mismo galvanómetro en el circuito de la otra pila tendremos otra desviacion que designaremos por *a'*, lo que nos permitirá establecer la proporcion: *x*, número Webers

que se busca: 1 Weber:: a' : a , de donde se deduce:

$$x = \frac{a'}{a} \text{ Webers.}$$

Empleando por término de comparacion un elemento Clark, seria preciso dar al circuito una resistencia de 1,457 *Ohms*, para que resultase una corriente de la fuerza de un Weber. En general, conociendo la fuerza de una corriente en Webers, puede hallarse la de otra corriente en la misma clase de unidades, interponiendo sucesivamente en ámbos circuitos un mismo galvanómetro, puesto que dichas fuerzas, y por lo tanto el número de Webers que las representan, son proporcionales á las desviaciones que producen en un mismo reómetro de esta especie. 

Para terminar este capítulo haremos observar que la fuerza de una corriente puede variar, variando la fuerza electro-motriz de la pila, ó la resistencia del circuito ó ámbas cosas á la vez. En el primer caso, aumentando ó disminuyendo el número de elementos de la pila, veriamos como su fuerza permanece sensiblemente constante cualquiera que sea el número de elementos cuando el circuito es *corto*, y como aumenta en proporcion al número de éstos, cuando la resistencia del circuito exterior es muy considerable con respecto á la de la pila, mientras que el segundo nos demostraría que la fuerza de la cor-

riente se halla en razon inversa de la resistencia del circuito. Además, estableciendo una corriente constante por un tiempo dado y variando en cada observacion la resistencia del circuito, podríamos apreciar los cambios que experimenta la fuerza electro-motriz de diversas pilas de distinta especie compuestas del mismo número de elementos, deduciendo así, las que conviene emplear en los circuitos cortos y las que pueden funcionar con más ventaja en los largos circuitos. Si por el contrario permanece constante la resistencia del circuito, y medimos la fuerza de las corrientes de dichas pilas, tendremos la relacion que existe entre sus fuerzas electro-motrices, y si la pila es la misma y constante la resistencia del circuito, la fuerza de las corrientes nos indicará la energía de la fuerza electro-motriz y por lo tanto el estado de la pila, deduciéndose de todo esto, que la determinacion de la fuerza de las corrientes representa un brillante papel en las experiencias eléctricas, incluso las que se refieren á la telegrafía eléctrica.

CAPÍTULO V.

APLICACIONES

Localizacion de averías.

La mayor parte de los tratados de telegrafía eléctrica se ocupan con bastante extension de la localizacion de averías, y en ellos puede hallar el funcionario de telégrafos cuanto necesite sobre este punto tan importante del servicio. Esto no obstante, creemos que un libro de la naturaleza del presente quedaría incompleto si por lo ménos no diese á conocer los medios más generalmente empleados para determinar la *distancia* de las averías puesto que, con muy pocas excepciones están reducidos á la medicion de resistencias; y ya que nos decidimos á tratar de este asunto, no será fuera de propósito el hacerlo con más extension, exponiendo la manera

de investigar las averías más importantes, tanto dentro como fuera de la estacion, convencidos como estamos de que por mucho que se hable de materias como esta, nunca será demasiado.

Falta ó escasez de circuito.—La falta absoluta de circuito puede provenir de la rotura de un hilo, de una falta de contacto, del agotamiento de un vaso de la pila, de la rotura del hilo de línea quedando aislado, de la oxidacion de los empalmes no soldados y de otras causas semejantes.

Para localizar la avería, se pone el hilo averiado, en comunicacion con la tierra en el tabloncillo de entrada, y si bajando el manipulador, se nota mucho circuito, el defecto se halla fuera, y si, por el contrario, continúa notándose la misma falta, es señal de que la avería se halla dentro de la estacion, en cuyo caso se empieza por reconocer la pila y sus hilos por medio de un galvanómetro para ver si hay alguna derivacion á tierra, solucion de continuidad ó algun elemento ó elementos defectuosos. Si la pila y sus hilos se hallan en buen estado, se toma un hilo auxiliar recubierto que se pone en comunicacion con la tierra, y con el otro extremo, á partir del tabloncillo de entrada, se va tocando en los diversos puntos del circuito, manteniendo bajo el manipulador, hasta que el galvanómetro acusa una fuerte corriente, lo que indica que se ha

pasado la avería y que esta se halla entre los dos últimos puntos tocados por el hilo auxiliar.

Cuando la avería está en la línea, se determina entre qué estaciones se halla y se hace salir al personal de vigilancia, y en el caso de que no aparezca á la vista, el defecto puede hallarse aislando el hilo en una de dichas estaciones y poniéndolo la otra en comunicacion constante con la pila, miéntras que un funcionario partiendo de una de ellas va observando por medio de un galvanómetro y de un hilo volante si pasa ó no corriente en los diversos puntos de la línea. Partiendo de la estacion que envíe la corriente se observará esta hasta pasar la avería; pero si se parte de la otra estacion no pasará corriente alguna por el galvanómetro hasta que el defecto haya quedado á la espalda, y de todos modos se llegará á determinar dos puntos próximos entre los cuales se halla.

Hemos indicado que por medio de un galvanómetro se determina el defecto que exista en una pila. Para esto se desprenden el hilo de tierra y el de aparatos dejando la pila aislada, y uno de los polos, por ejemplo el positivo, se une á uno de los tornillos del galvanómetro, por medio de un hilo recubierto y con la extremidad libre de otro hilo fijo al segundo tornillo del mismo aparato, se van tocando sucesivamente todos los

elementos á partir del primero hasta llegar al defectuoso que será indicado por la variación que experimente la desviación del galvanómetro. Retirado dicho elemento se enlaza la pila y se continúa de la misma manera hasta el otro polo, retirando ó sustituyendo todos los elementos que se hallen en mal estado.

Cuando en vez de falta absoluta de circuito, lo que se observa es escasez del mismo, esto es, que cuando se envia la corriente á la línea, el galvanómetro marca un número menor de grados que ordinariamente y cuando la línea se halla en su estado normal, se procede de la misma manera que para la avería anterior, teniendo sin embargo cuidado de no emplear para las pruebas, más que uno ó dos elementos, porque de emplear toda la pila, puede muy bien suceder que el defecto esté dentro de la estacion y no se advierta, porque la corriente de una pila de gran tensión y compuesta por lo tanto de muchos elementos, puede vencer resistencias de alguna consideración acusando una desviación notable en el galvanómetro, lo que no sucedería con una pila débil. Por esta razón se recomienda eficazmente que en todas las pruebas que tengan por objeto hallar el lugar de una resistencia anormal, que produzca una falta absoluta ó simplemente escasez de circuito, se emplee siempre una pila débil, compuesta de uno ó dos

elementos dentro de la estacion y de algunos más, si el defecto está en la línea.

La escasez de circuito, ó lo que es lo mismo el aumento de resistencia, puede provenir del agotamiento de algun elemento de la pila, de la flojedad, oxidacion ó falta de limpieza de algun contacto, ó de algun empalme mal soldado ó defectuoso que exista en la estacion ó en la línea.

En los paises cálidos obsérvase durante el estío, que la resistencia de los conductores, cuyos empalmes no están soldados, va aumentando desde cierta hora de la mañana hasta otra determinada de la tarde en que empieza á disminuir, lo que es debido ó la oxidacion de las superficies de contacto de los empalmes; pero estos, humedeciéndose con el rocío de la noche, dejan pasar la corriente mucho mejor que cuando con el sol se van secando, siendo frecuente el que la comunicacion quede completamente interrumpida.

Várias veces hemos observado como la aguja de un galvanómetro vertical intercalado en uno de estos circuitos, se va inclinando desde cierta hora de la tarde y como despues de haber llegado á un máximum de inclinacion, empieza á retroceder por la mañana, volviendo á la vertical á medida que aumenta la temperatura y el sol y aire secan los empalmes.

Determinado como se ha dicho el trozo donde se halla la avería, se puede reconocer cual es el empalme defectoso fijando á cada lado un hilo ó interponiendo un solo elemento de pila y un galvanómetro, con cuya disposicion la corriente pasará por el empalme y por el galvanómetro, y si la desviacion de este es menor que la que corresponde, es prueba de que el empalme presenta más ó menos resistencia al paso de la corriente, y se rehace y suelda en debida forma. Si se emplease una pila de varios elementos, pudiera suceder que la corriente venciese la resistencia del empalme y el galvanómetro no acusase una disminucion notable en la corriente y se diese por bueno el empalme, siendo en realidad defectuoso.

Para establecer el circuito sin tener que bajar el hilo, pueden emplearse dos ganchos de resorte montados en varas como las horquillas, con los cuales es fácil establecer un buen contacto, especialmente si la superficie interior de los ganchos es áspera y rayada como la boca de los alicates, porque entónces frotando el gancho contra el hilo se limpia este y queda brillante cual conviene para el mejor paso de la corriente.

Exceso de circuito.—Cuando un conducto comunica con la tierra en uno ó más pantos de la línea, el galvanómetro acusa una corriente

más fuerte que de ordinario, puesto que siendo la pila la misma, disminuye la resistencia del circuito, con lo cual aumenta la fuerza de la corriente en la estacion que la emite. A la estacion correspondiente llegará por el contrario más ó ménos disminuida, y no llegará nada si la comunicacion del conductor con la tierra es perfecta, esto es, si no presenta resistencia alguna.

Para localizar esta avería, se sigue un procedimiento análogo al anterior. Se aísla el hilo en el tablon de entrada ó en la mesa de pruebas si la hubiera, y se envia la corriente. Si esta se manifiesta en el galvanómetro, la avería se halla dentro de la estacion y se procede á aislar el hilo en diversos puntos del circuito interior, con lo cual no tardará en descubrirse el sitio de la avería.

Si por el contrario la aguja permanece en reposo, el defecto se halla en la línea exterior, y podrá consistir en que el hilo roto ó entero, toca en el suelo ó en un objeto en comunicacion con él, como una riostra, un árbol, un muro, un soporte, un poste, etc., y los celadores podrán remediarlo.

Cuando la causa no aparece á la vista, una de las estaciones entre las cuales se halla la avería, aísla el hilo y la otra envía por él una corriente continua, mientras un funcionario con un galvanómetro de una resistencia mayor que

la de la línea y un hilo volante observa el paso de la corriente en distintos puntos de la misma, teniendo presente que partiendo de la primera de dichas estaciones, el galvanómetro no acusará corriente ó será muy débil hasta pasar la avería, y que, por el contrario, partiendo de la segunda estacion, observará bastante circuito hasta dejarla á la espalda. Por lo demás, en uno ú otro caso siempre es posible estrechar el espacio en que el defecto se halla y hacerlo desaparecer.

Es conveniente que el hilo que forma el carrete del galvanómetro que se emplea en esta prueba, tenga una resistencia mayor que el hilo de línea comprendido entre las dos estaciones, porque de lo contrario, entre la avería y el extremo aislado de este hilo, acusará siempre el galvanómetro una corriente apreciable, que engañará al observador y le obligará á fatigarse inútilmente.

Esta avería puede provenir, en los aisladores de soporte de hierro, de que el hilo que descansa en la ranura del aislador tenga comunicacion eléctrica con la cabeza del soporte, sea por defecto de fabricacion de la porcelana ó porque una descarga atmosférica la haya taladrado, y en los de caja de hierro de que el gancho toque á la tapadera ó se halle en comunicacion con ella á favor del polvo y de otras materias que pue-

dan hallarse interpuestas y húmedas, lo mismo que el poste, por efecto de las lluvias. Si la porcelana es algo porosa, absorbe con el tiempo cierta cantidad de agua que disminuye su potencia aisladora, como lo prueba el que calentando los aisladores de esta clase de porcelana producen un aislamiento perfecto.

Los aisladores defectuosos, cuando lo son en cierto grado, pueden descubrirse en la línea por el mismo procedimiento que los malos empalmes, empleando una pila de campaña; pero cuando la falta de aislamiento provenga de la porosidad de la porcelana, como en este caso presentarian siempre una resistencia considerable al paso de la corriente aunque no la necesario, habria que emplear una pila de muchos elementos, lo que no es posible por la dificultad del transporte.

En la India se ha empleado al efecto una máquina de induccion que como es sabido bajo un peso y un volumen relativamente pequeños desarrolla corrientes de gran tension, y por lo tanto capaces de vencer resistencias considerables. Los aisladores de aquellas líneas son del sistema Siemens y para probarlos, despues de lavarlos cuidadosamente, se fijaba á la campana de hierro el extremo de un hilo recubierto y el otro extremo del mismo hilo á uno de los tornillos ó polos de la máquina de induccion, y el otro polo de

esta á un contacto ó boton de platino. Un segundo hilo recubierto unia el soporte del aislador con un segundo boton de platino situado cerca del primero, y colocando un dedo de la mano izquierda sobre cada uno de los botones de platino, y dando vueltas al manubrio de la máquina con la derecha, la corriente, si existía, pasaba por los dos dedos de la mano izquierda, sintiendo el observador las correspondientes sacudidas, lo que le indicaba desde luego que el aislador era defectuoso. Si no se sentia pasar corriente alguna por los dedos, aplicaba la lengua sobre el primer boton, manteniendo un dedo sobre el segundo, el cual está dispuesto de manera que oprimiendo más ó ménos se interrumpe ó se establece el circuito, lo que permitia apreciar las más débiles corrientes con la lengua, que es un galvanómetro muy sensible.

Mr. Schwendler, inventor de este procedimiento, lo ha aplicado á varios aisladores despues de medir cuidadosamente su resistencia, empleando una máquina electro-magnética en que el hilo de la bobina tenía una resistencia de 1577 unidades Siemens, resultando que cuando la resistencia de los aisladores era de unas 200 unidades, los dedos sentian una fuerte sacudida; con unas 750 la sacudida en los dedos era ya ligera; con 2300 no se sentia nada en los dedos, pero las sacudidas en la lengua eran bastante

fuertes; con 5700 no se sentian sacudidas en la lengua, pero si un fuerte sabor ácido con 7100; este sabor era ligero lo mismo que con 8200, y por último, con los aisladores cuya resistencia era de 82000 y más unidades Siemens, no se sentia nada.

Dice Mr. Schwendler que siendo más delgado y por consiguiente de más resistencia, el hilo de la bobina y aumentando el número de los imanes, pudieran llevarse las experiencias á un grado mayor de precision, es decir, que aisladores que con la máquina empleada sólo producian un sabor ácido en la lengua, con otra de las condiciones expresadas, pudieran sentirse en la misma, sacudidas de más ó ménos consideracion; pero que como un aislador que con la primera máquina desarrolla en la lengua un ligero sabor ácido, acusa una resistencia de 8000 ó más unidades, la cual en la práctica puede considerarse como infinita, no hay ventaja en emplear otra más delicada, que en realidad no haria más que complicar la cuestion.

Teniendo cuidado de limpiar los aisladores y de probar ántes con los dedos, no hay temor de desechar ningun aislador bueno, ni de recibir en la lengua ninguna sacudida dolorosa que pueda dañarla, resultando un procedimiento sencillo, económico y exacto, por cuanto, segun su inventor, el superintendente de los telégrafos de la In-

dia, la lengua es un galvanómetro sensible que no se descompone jamás, que acusa las corrientes casi instantáneas y el ménos costoso de cuantos se pueden emplear.

Efectos de una derivacion á tierra, segun la distancia á que se halla.—Sucede á veces que cuando existe una derivacion accidental entre dos estaciones la una recibe bien y la otra mal, cuya notable circunstancia nos proponemos explicar. Supongamos para esto que en el punto *D* del conductor *CE* de la figura 12 lámina 1.^a existe una derivacion *DF*. La corriente de la pila *ZC* al llegar al punto *D* se divide en dos, una que pasa por la derivacion y otra que continúa por el circuito parcial *DEGF*, que es la que llega á la estacion receptora y pone en movimiento su aparato. La intensidad ó fuerza de esta corriente parcial está dada por la ecuacion (2) de la página 124:

$$y = \frac{Er'}{R(r+r') + rr'},$$

en la cual, *E* es la fuerza electro-motriz de la pila, *r'* la resistencia de la derivacion, *R* la resistencia de la parte *ZCD*, y *r* la del circuito derivado, en la cual está comprendida la del receptor de la estacion situada en el extremo de la línea, así como lo está en *R*, la de la pila *ZC* de la estacion que trasmite.

Si la fuerza electro-			
motriz es	10000		$E=10000$
La resistencia de la			
pila	90		$R= 100$
La de la parte <i>CD</i> .	5	tendremos	
La de la parte <i>DE</i> .	110		$r= 130$
La del receptor. .	20		
La de la derivacion			
<i>DF</i>	100		$r'= 100$

y sustituyendo en dicha ecuacion resultará:

$$y = \frac{10000 \times 100}{100(130+100)+130 \times 100} = 27.$$

Cuando transmite la estacion que se supone en el extremo *E* de la línea, el circuito parcial es *DZH*, y su resistencia se compondrá de la resistencia del trozo *DC* más la del receptor, suma que en la fórmula está representada por *r*, y el valor de *R* se compondrá de la resistencia del trozo *DE* más la de la pila.

Suponiendo, pues, que la			
fuerza electro-motriz es	10000		$E=10000$
La resistencia de la pila			
igual á la anterior. . .	90		$R= 200$
La del trozo <i>DE</i>	100	será	
La del trozo <i>DC</i>	5		
La del receptor supuesto			
igual al anterior. . . .	20		$r= 25$
La de la derivacion <i>DF</i> ,			
como ántes.	100		$r'= 100$

y sustituyendo en la misma ecuacion, tendremos:

$$y = \frac{10000 \times 100}{200(25+100)+25 \times 100} = 36.$$

Obsérvese que en el caso que se considera, la derivacion se supone mucho más cerca de una estacion que de la otra, y que la pila presenta mayor resistencia que el receptor, toda vez que damos al trozo CD , 5 unidades de resistencia y 110 al DE , á la pila de una y otra estacion 90 y á cada uno de los respectivos receptores 20, de lo cual se deduce: *Que cuando la resistencia de la pila es mayor que la del receptor, la estacion más próxima á la derivacion recibe mejor que la más distante de la misma derivacion*, como lo prueba el que la fuerza de la corriente que actúa sobre el receptor de la primera es como 36, en el ejemplo propuesto, y solamente de 27 la que pasa por el receptor de la segunda.

Si la resistencia de la pila fuese menor que la del receptor, sucederia lo contrario, esto es, que la estacion más próxima á la derivacion recibiría peor que la más distante, y en efecto cambiando las resistencias de la pila y del receptor en los cálculos anteriores, resulta que la fuerza de la corriente que recibe la estacion más próxima está representada por 29, y la que llega á la más distante de la avería por 36. Esto es lo que sucede en España, donde las pilas tienen siempre una resistencia mucho menor que los receptores Morse que se emplean.

Si la derivacion se hallase en el punto medio de la linea, la corriente parcial, que es la que

actúa sobre el receptor, sería de la misma fuerza para las dos estaciones, porque entónces todas las cantidades que entran en la fórmula resultan iguales, y el efecto en una y otra estacion sería el mismo para ámbas, con la circunstancia de que el valor de y es en este caso un minimum, de manera que hallándose una derivacion en el centro de la línea, es cuando causa más perjuicio.

Hemos representado la fuerza electro-motriz de la pila por 10000 con el objeto de obtener los resultados en números enteros, y puede suponerse que esas 10000 unidades arbitrarias, son micro-voltas ó si se quiere *milivoltas*.

Cruzamiento.—Cuando dos hilos se tocan, la corriente enviada por uno de ellos, vuelve por el otro á la misma estacion, como si procediese de la inmediata ó de otra más distante, resultando lo que se llama *cruzamiento* ó *cruce* como por ser más breve suele decirse. Para localizarlo se sueltan los hilos en el tablon de entrada y si continúa la avería, es indudable que se halla dentro de la estacion, y si cesa es señal de que está fuera, y poniéndose en comunicacion sucesivamente con las demás estaciones, se determinan las dos entre las cuales está comprendida, y se dispone la salida de los celadores.

Si el defecto no aparece á la vista, se busca recorriendo la línea y cortando en varios puntos

el hilo que debe estar aislado en las dos estaciones, y observando por medio de un galvanómetro, que puede ser la mano ó la lengua, de qué parte viene la corriente que á favor del cruzamiento pasa del hilo que funciona al que se ha cortado, lo cual guiará la marcha del observador hasta encontrar dos puntos próximos en que en el uno venga la corriente de un lado y en el otro del opuesto, y entre ellos se hallará la avería.

Cuando el cruzamiento se halla cerca de una estacion, puede suceder que esta lo note únicamente y no su correspondiente, lo cual es cuestion de resistencias. Si la estacion más distante de la avería envía la corriente por un hilo, puede ocurrir, sobre todo cuando el cruzamiento no es muy fuerte, que en vez de volver una parte por el otro hilo, pase en totalidad por los dos hilos á la otra estacion que está más cerca y que le ofrece mucha menos resistencia, en lo cual puede influir mucho el poder conductor de las respectivas planchas de tierra. Por esta razon cuando se trata de reconocer la existencia de un cruzamiento no se deben poner á tierra los hilos más allá de la avería, y más bien, en caso de duda, debe mandarse que se aislen, pues de lo contrario, aunque exista, tal vez no lo note la estacion que hace las pruebas.

Derivaciones. — En las líneas imperfectamente aisladas, cuando llueve ó se presentan nieblas

blandas, las corrientes se pasan en parte de unos á otros hilos, semejando un cruzamiento general, aunque mucho menos fuerte que cuando existe entre ellos un contacto metálico. Se reconoce esta avería en que solo se presenta en tiempo húmedo y en que va acompañada de exceso de circuito, debido á la derivacion de la corriente que pasa á los otros hilos, á la atmósfera y por los postes á la misma tierra, llegando á veces el caso, en las líneas mal aisladas, de interrumpirse del todo la comunicacion entre las estaciones próximas.

Produciendo las derivaciones un verdadero cruzamiento, si bien en general, no tan fuerte y perfecto como el contacto metálico de los hilos, se comprende fácilmente que, segun hemos dicho en el párrafo anterior, se noten en una estacion y no en otra de la misma línea, más ó ménos distante de la primera, y cuyo estado atmosférico sea muy diferente, y así ha sucedido algunas veces, que hallándose Cádiz y su bahia envueltos en una espesa niebla, notábanse allí derivaciones en todos los hilos; pero no en Sevilla, donde el cielo estaba despejado y alumbrado por un sol brillante.

Falta de tierra.—Cuando el hilo de tierra está roto, ó mal soldado á la plancha ó seco el terreno que á esta rodea, siendo la misma para la pila y para los receptores, la corriente enviada

por uno de los hilos parece que vuelve por los otros á la misma estacion semejando un cruzamiento general, y es que la corriente negativa de la pila, encontrándose sin tierra en la estacion á que pertenece, va á buscarla en la estacion vecina, cuya plancha completa el circuito, con la circunstancia de que si tambien en esta estacion faltase la comunicacion con tierra, el efecto seria el mismo, porque la corriente volvería á la primera estacion por los otros hilos, cerrándose el circuito por los hilos de tierra de los aparatos y de la pila.

Son notables estos defectos en la comunicacion con tierra, porque si en la estacion donde existe, se aislan los hilos en el tablon de entrada, y se envia corriente por uno de ellos, no se notará cruzamiento y sí falta de circuito, lo que induciria á creer que la avería se hallaba en la línea y así lo confirmaría, al parecer, el que probando con la estacion inmediata, hallándose esta en posicion de recibir, se notaria el cruzamiento, el cual sin embargo desaparecería repitiendo las pruebas, aislando los hilos en esta estacion, dando lugar á que la primera se persuadiese de que la avería estaba dentro de su colateral, y si esta á su vez hiciera las mismas pruebas con aquella, llegaría á un resultado enteramente contrario y mutuamente se culparian de tenerla en su respectivo circuito interior.

Por lo general, una sola estacion es la que localiza las averías y así se esplica cómo algunas veces se ha buscado inútilmente en la línea un defecto que consistia en la rotura del hilo de tierra, ó que dependia de una mala comunicacion con ella.

De lo expuesto se deduce que cuando se presenta un cruzamiento general entre dos estaciones, no basta soltar los hilos en el tablon de entrada para cerciorarse de que no se halla dentro de la estacion, sino que es necesario, despues de cerciorarse de que tampoco existe en la línea exterior, repetir la prueba sin aislar los hilos en la estacion correspondiente; y si entónces aparece el cruzamiento, no hay duda de que proviene de rotura ó de exceso de resistencia del hilo ó plancha de tierra, en una de las dos estaciones.

Para apreciar la conductibilidad de dicha plancha y su hilo se manda poner á tierra uno de los hilos de la línea en la estacion más próxima, interponiendo en el circuito un galvanómetro sensible y se envia corriente por otro hilo, si es posible de diferente línea; y si el citado galvanómetro permanece en reposo, la comunicacion con tierra es buena. El primero de dichos hilos puede sustituirse por un circuito corto formado con el hilo de tierra que se experimenta y otra plancha pequeña con un hilo intermedia

en el cual se introduce el galvanómetro sensible.

El cruzamiento de que se trata pudiera confundirse con el producido por las derivaciones, cuando es de poca intensidad; pero debe tenerse presente que las derivaciones sólo tienen lugar en tiempo húmedo y lluvioso, precisamente cuando aumenta la conductibilidad de la plancha de tierra, la cual si presenta un exceso de resistencia es por lo regular cuando la tierra está seca.

El *Diario telegráfico* de Berna ha publicado un procedimiento de Mr. Kovacevie, secretario de la Direccion de telégrafos de Hungría, para determinar la resistencia de los hilos de tierra, fundado en que cuando los dos polos de una pila comunican con la tierra por medio de dos conductores, la tension en cada polo es proporcional á la resistencia del conductor correspondiente, de manera que si la resistencia del hilo de tierra es nula, la tension en el polo á que está unido será cero, y recíprocamente, si la tension en dicho polo ó en un punto cualquiera de dicho hilo es cero, la comunicacion con la tierra será perfecta. El procedimiento consiste por lo tanto en medir con un electrómetro la tension de un punto cualquiera del hilo de tierra ó del polo de la pila á que está empalmado; y si resulta sin tension alguna, diremos que la comunicacion con

la tierra es buena; pero si el electrómetro acusa tension, dicha comunicacion será más ó ménos imperfecta y entónces se determina la resistecia del hilo y plancha de tierra del modo siguiente:

Sea la pila ab figura 70 lámina 5.^a cuyos dos polos comunican con la tierra, el uno directamente por medio del hilo bT unido á la plancha T y el otro al traves del hilo de línea L y de la plancha de tierra T' de la estacion correspondiente. Si medimos con un electrómetro sensible, la tension en los polos a y b y representamos por m la del primero, por n la del segundo, por r la resistencia del hilo de línea L y por x la del hilo de tierra y su plancha T , tendremos la siguiente proporcion:

$$\frac{x}{r} = \frac{n}{m}, \text{ de donde: } x = \frac{n \times r}{m}.$$

Este método supone conocida la resistencia del conductor que enlaza dos estaciones, lo cual no siempre sucede y exige la ayuda de aquella en que no se opera y que podrá ser más ó ménos acertada, en vista de lo cual se nos ha ocurrido que con un reostato ó con una bobina de resistencia conocida, además del electrómetro, podria resolverse el problema de una manera análoga á la que se emplea para determinar la distancia de una derivacion por medio de la tension.

En efecto, si se intercala un reostato R en el hilo de tierra bT y se miden con un electró-

metro las tensiones en los extremos de este reostato y se representan por las líneas bH y ch , la línea Hh será la *línea de las tensiones*, la cual irá á cortar á la prolongacion del hilo de tierra en un punto d , tal que la parte cd representará la resistencia de la plancha de tierra y de su hilo. Los triángulos pHh y chd dan la proporcion: $pH:ch::ph:cd$; la cual es lo mismo que: $bH-ch:ch::bc:cd$, y representando cd por x , puesto que es la resistencia que se busca, y teniendo presente que bc es la resistencia del reostato que llamaremos r , resultará:

$$x = \frac{ch \times r}{bH - ch}.$$

Si la estacion tiene dos planchas de tierra, se puede llevar el polo a de la pila á la que no se experimenta, y si no hay más que una, puede establecerse otra provisioaal para este objeto, con lo cual se prescinde de la línea exterior y de la estacion correspondiente.

Averías intermitentes.—Del Manual de Mr. Culley tomamos el siguiente procedimiento para localizar una avería intermitente que aparece por intervalos tan cortos que no da lugar al empleo de los medios ordinarios. Supóngase, figura 71, lámina 5.^a, que los aparatos A y C de dos estaciones colaterales se hallan unidos por el hilo AC y los B y D por BD , y que cambiamos estos conductores, llevando el AC á los apa-

ratos *B* y *D* y el *BD* á los otros dos. Es evidente que una avería que exista entre las dos estaciones, por ejemplo en el punto *d* del conductor *BD*, aparecerá antes del cambio de hilos en los aparatos *B* y *D* y despues de dicho cambio en los *A* y *C*. Pero si la avería se halla fuera de dicho trayecto, en el punto *r*, por ejemplo, se notará en los mismos aparatos antes y despues del cambio, lo que permitirá averiguar si se halla ó nó entre dos estaciones cualesquiera. Si no aparece entre la primera y segunda, esta pone los hilos en su lugar y los cambia la tercera y así se continúa si es menester. El cambio puede hacerse en dos puntos cualquiera de la línea y ver si se encuentra entre ellos la avería que se busca, y repitiéndolo en los trozos que convenga, se puede *estrechar* cuanto se quiera una avería, sea ó nó intermitente.

CÁLCULO DE LA DISTANCIA.—Localizada una avería entre dos estaciones, ya hemos visto cómo un funcionario, recorriendo la línea, puede encontrarla cualquiera que sea su naturaleza, pero como puede ser muy útil el saber de antemano el sitio donde se halla, vamos á exponer los medios que pueden emplearse para conseguirlo.

Falta ó escasez de circuito.—A no ser en un tiempo muy seco, y cuando el aislamiento es perfecto, enviando una corriente por un hilo

cualquiera, se observa que la fuerza de esta corriente, ó sea el número de grados que marca el galvanómetro, aumenta con la longitud del hilo, aunque esté aislado en su extremidad, porque, como hemos dicho en el lugar oportuno, el aislamiento de una línea está en razon inversa de su longitud, debido á que con esta aumentan las pérdidas de corriente por el aire, y sobre todo por los apoyos. Por lo tanto, por los grados que marque el galvanómetro, en las circunstancias indicadas, se puede juzgar de la distancia á que se halla una solucion de continuidad ó una resistencia anormal que aparezca en un conductor telegráfico.

Cuando la falta de circuito es absoluta y el aislamiento perfecto, como sucede en el estío en los paises cálidos y secos, la mayor ó menor fuerza de la *corriente de retroceso* dará á conocer aproximadamente la distancia de la avería. Si no hay esa corriente, es prueba de que se halla cerca de la estacion, y si por el contrario la corriente de retroceso es de alguna intensidad, indica que el defecto está lejos y acaso en la estacion correspondiente.

La práctica y la comparacion con las pruebas que diariamente deben hacerse en las estaciones son de mucha utilidad para el cálculo de estas distancias.

Exceso de circuito.—Si la derivacion á tierra

no presentase resistencia, midiendo por cualquiera de los medios que hemos explicado la que ofrece el hilo averiado, y dividiéndola por la de un kilómetro del mismo hilo, tendríamos la distancia de la avería expresada en kilómetros; pero como en general no es posible conocer *á priori* la resistencia de una derivacion ó de una comunicacion con tierra, puesto que una derivacion próxima de regular resistencia, podría dar en el galvanómetro el mismo resultado que una derivacion lejana de menor resistencia, por compensar la diferencia, la mayor longitud del hilo, es preferible y mucho más exacto prescindir ó eliminar del experimento la resistencia de la derivacion; lo que es posible en algunos casos empleando diferentes procedimientos.

Con el galvanómetro diferencial.—Si en la misma línea hay un hilo que se halle en buen estado, se puede emplear el método del anillo, como indica la figura 72, lámina 5.^a El polo negativo de la pila se lleva á los tornillos *A* y *B* del galvanómetro, el hilo bueno al tornillo *D* y el reostato *r*, por un lado al tornillo *C* y por el otro al polo positivo de la pila, al cual está también unido el hilo averiado. En esta disposicion la corriente se dividirá entre el anillo y el reostato, y cuando variando la resistencia de éste, la aguja del galvanómetro permanezca en cero,

la resistencia del uno es igual á la del otro, con lo cual queda conocida la del anillo, sin que influya la derivacion, porque no habiendo otra comunicacion con tierra, no puede pasar á ella ninguna parte de la corriente.

Disponiendo ahora las comunicaciones como indica la figura 73, la corriente de la pila al traves de la tierra, entrará en el anillo por la derivacion d , donde se dividirá en dos, una que seguirá por dED y otra por dF y por el reostato, recorriendo despues ambas, pero en sentido contrario, los carretes del galvanómetro, y es evidente que cuando la aguja permanezca en cero, las resistencias de los dos circuitos son iguales.

Supongamos que representan:

R , la resistencia del anillo hallada por el primer experimento.

r , la del reostato cuando la aguja se fija en cero.

y , la del trozo más largo del anillo, dED .

x , la del trozo más corto dF .

Segun lo que hemos dicho, la resistencia y del trozo más largo del anillo, es igual á la del más corto x , mas la del reostato r , y como la resistencia de todo el anillo es igual á la suma de las resistencias de las dos partes en que queda dividido por la derivacion, tendremos las dos ecuaciones: $x + y = R$; $y = x + r$; de donde se de-

duce sustituyendo el valor de y en la primera ecuacion:

$$x = \frac{R-r}{2}.$$

Conocida de esta manera la resistencia del trozo Fd , se halla su longitud y por lo tanto la distancia á que se halla la avería, dividiendo dicha resistencia por la de un kilómetro del mismo hilo, que se supone homogéneo y de igual diámetro en toda su longitud. La resistencia kilométrica se deduce de las pruebas diarias, ó que deben hacerse con frecuencia para conocer la resistencia y el aislamiento de todos los conductores.

Si el conductor estuviese compuesto de hilos de distinta naturaleza ó diámetro, como sucede cuando hay un trayecto más ó ménos considerable de cable subterráneo, de la resistencia hallada se deduce la que corresponda al cable que se supone conocida de antemano, el resto se reduce á kilómetros y á estos se añade la longitud del cable.

En los conductores homogéneos y cilíndricos, como se supone que son los telegráficos, la resistencia es uniforme en toda su extension, y por lo tanto la de todo el conductor, ó del trozo que se considere, es igual á la resistencia de un metro ó de un kilómetro, multiplicada por el número de metros ó de kilómetros de que consta;

y por esta razon se halla la longitud, dividiendo la resistencia total por la de un metro, ó por la de un kilómetro, segun convenga expresar dicha longitud en metros ó en kilómetros.

Con el galvanómetro diferencial de Clark.— Formado el anillo se lleva el hilo bueno al tornillo *D* sin poner la clavija, y el otro hilo al polo positivo de la pila, uniendo el negativo al manipulador, un extremo del reostato, se lleva al tornillo *A*, sin clavija, y el otro, al polo positivo de la pila donde ya hemos puesto uno de los hilos, y por último se colocan las clavijas correspondientes á los tornillos *B* y *C*. Con esta disposicion la corriente se divide en dos, pasando la una por el anillo y la otra por el reostato, las cuales recorren despues en sentido contrario, los carretes del galvanometro, y cuando este, modificando al efecto la resistencia del reostato, se fije en cero, tendremos la resistencia del anillo, que es uno de los datos necesarios para resolver la cuestion.

Para obtener los demás, dejando todas las comunicaciones como están, se pone el polo positivo de la pila á tierra y se une el hilo averiado al extremo que queda libre del reostato, con lo cual la corriente, atravesando la tierra, se dividirá en dos en la derivacion, recorriendo una, el reostato y la parte inmediata de dicho hilo, y la otra la parte restante y el hilo bueno, y por

las consideraciones y cálculos que ántes hemos hecho, se obtiene la misma fórmula que da la distancia de la avería.

Con el puente de Wheatstone.—Determinada la resistencia total del anillo de la manera que se ha dicho al tratar de la medicion de resistencias por medio de este puente, se dispone el experimento como indica la figura 74, lámina 6.^a, donde se vé que el hilo averiado está unido á la extremidad del lado *B* del puente, formando parte de dicho lado el trozo más pequeño del anillo, y que el lado *D*, lo forma el otro trozo del mismo anillo.

Cuando el galvanómetro se fije en cero, tendremos: $B \times C = A \times D$, y representando por *R* la resistencia total del anillo, por *r* la que indique el lado *B* del puente cuando el galvanómetro se fije en cero y por *x* la del trozo *bd*, del anillo, será $D = R - x$ y $B = r + x$; y sustituyendo estos valores en la ecuacion anterior, resultará la siguiente: $(r+x)C = A(R-x)$; $Cr + Cx = AR - Ax$; $Ax + Cx = AR - Cr$; $(A+C)x = AR - Cr$; de donde:

$$x = \frac{AR - Cr}{A + C}.$$

Dividiendo el valor de *x* por la resistencia de un kilómetro del conductor, se conocerá la distancia de la avería.

Con el puente de relacion variable, se puede determinar más fácilmente el valor de *x*, des-

pues de medir por el método ordinario la resistencia total del anillo, que hemos representado por R . La disposicion del puente es la que indica la figura 75, lámina 6.^a, en la cual el lado B es uno de trozos del anillo, y el D el otro trozo. La relacion de las resistencias de estos lados es constante aunque desconocida, y para que el galvanómetro se fije en cero, es preciso variar convenientemente la resistencia del lado A , la del lado C ó la de ámbos, y al fijarse el galvanómetro en cero, tendremos: $C \times B = A \times D$, y como B es x y $D = R - x$, sustituyendo resulta: $Cx = A(R - x)$, y despejando,

$$x = \frac{AR}{A + C}.$$

Como los lados A y C tienen pocas bobinas, se deben tomar los B y A , y prescindir del C para formar el puente de relacion variable.

Con el galvanómetro universal de Siemens.— La circunstancia de que en los conductores homogéneos y de igual diámetro, las resistencias son proporcionales á las longitudes, nos permite hallar por medio de este aparato la distancia de la avería, sin tener que deducirla de la resistencia, cuando los dos hilos satisfacen á dichas condiciones, segun es frecuente en las líneas telegráficas.

El experimento se dispone como indica la figura 61 lámina 5.^a, teniendo cuidado de poner las

tres clavijas de las bobinas de resistencia y la de los tornillos 3 y 4.

Esta disposicion es equivalente á la de la figura 76 lámina 6.^a, en la cual mpn es el hilo de platino, y si representamos por L la distancia entre las dos estaciones A y B , ó sea la longitud de uno de los hilos, y por x la parte dB , el trayecto mBd será $L+x$ y el nd , $L-x$, y suponiendo que cuando el rodillo llega al punto p el galvanómetro se fija en cero, tendremos la proporcion:

$\frac{L+x}{L-x} = \frac{mp}{np} = a$, llamando a , esta última relacion que se halla por la tabla para el uso de este aparato, que se encuentra al final de este libro, y despejando x , se tiene:

$$x = \frac{L(a-1)}{a+1}.$$

conociendo x , ó la distancia dB , en kilómetros ó en metros, segun que se exprese L en una ú otra de estas unidades, se obtiene la distancia nd á la estacion A , restando el valor de x de la longitud L de la línea, ó sea de la distancia que media entre las dos estaciones.

Cuando no se puede disponer de un segundo hilo.—Desde la primera de las dos estaciones entre las cuales se halla la derivacion á tierra, se mide por cualquiera de los métodos explicados la resistencia del conductor como de ordinario; pero aislando en la otra estacion, y se hace lo

mismo desde la segunda estacion. Supongamos que estas resistencias sean respectivamente r y r' , y la de todo el conductor, conocida por las pruebas anteriores, R . Es evidente que r se compone de dos resistencias, la del trozo del conductor comprendido entre la primera estacion y el punto de derivacion, que llamaremos x , y la resistencia de la derivacion misma que representaremos por a siendo por consiguiente $x=r-a$.

Del mismo modo la resistencia del segundo trozo del conductor estará expresada por $r'-a$, por lo cual podemos establecer las ecuaciones siguientes, teniendo presente que la resistencia del primer trozo es tambien igual á la de todo el conductor, R , ménos la del segundo trozo, que es $r'-a$:

$$x=r-a \dots \dots (1)$$

$$x=R-(r'-a) (2)$$

Sumando estas ecuaciones, ejecutando las operaciones que entónces resultan indicadas, y despejando x , tendremos:

$$x=\frac{R+r-r'}{2}$$

De la misma manera se determinaria la resistencia del otro trozo del conductor, la cual tendria por expresion:

$$x=\frac{R+r-r'}{2}$$

y dividiendo estas resistencias por la de un kilo-

metro del hilo de la línea, se tendrían las distancias de la avería á cada una de las dos estaciones.

Cuando α es cero, la ecuacion (1) da inmediatamente, $x=r$, y en efecto cuando la derivacion no presenta ninguna resistencia y existe por lo tanto una perfecta comunicacion con la tierra, midiendo la resistencia que presente el conductor desde cualquiera de las estaciones, y dividiéndola por la de un kilómetro, se obtiene la distancia de la avería; pero como ocurre pocas veces que dicha comunicacion sea perfecta, en general habrá que emplear el método indicado, el cual por otra parte, es exacto, por dar para x un valor independiente de la resistencia de la derivacion, si bien tiene el inconveniente de que con él es preciso hacer pruebas en las dos estaciones, lo que no siempre es posible.

Otro método.—Puede resolverse el mismo problema tomando los datos desde una sola estacion, aunque entónces el resultado no sea á veces tan exacto, por depender de la resistencia de la derivacion. Este procedimiento consiste en medir la resistencia del conductor desde una estacion, primero estando aislado en la otra, y despues poniéndolo á tierra en la misma, con lo cual tendremos dos resistencias que llamaremos respectivamente r y r' . Si representamos por R la resistencia normal del conductor, por x la del primer trozo, por y la del segundo y por z la

de la derivacion, observaremos que segun lo que antes hemos dicho, r será igual á $x+z$, esto es, á la resistencia del primer trozo más la de la derivacion, y que la resistencia R del conductor se compone de las resistencias x é y de las dos partes en que queda dividido por la derivacion.

En cuanto á r' , teniendo en cuenta que la corriente al llegar al punto de derivacion se divide en dos, una que marcha por esta y otra que continúa por el conductor puesto á tierra en la otra estacion, la resistencia del sistema se compondrá de la resistencia x del primer trozo más la que presenten el segundo trozo y la derivacion, cuyas respectivas resistencias son z é y , las cuales pueden reemplazarse por una sola cuyo valor sea $\frac{yz}{y+z}$, y el de r' puede representarse por $x + \frac{yz}{y+z}$. Por lo tanto tendremos las ecuaciones:

$$x+z=r \dots \dots \dots (1)$$

$$x+y=R \dots \dots \dots (2)$$

$$x + \frac{yz}{y+z} = r' \dots (3)$$

De las cuales, despejando z en la primera é y en la segunda, y sustituyendo estos valores en la tercera, resultará una ecuacion de 2.º grado

que resuelta por las reglas del álgebra nos dará para la resistencia del primer trozo,

$$x=r'-\sqrt{(r-r')(R-r')}.$$

Tomamos únicamente el signo — del radical, porque segun la ecuacion (3), x es siempre menor que r' y á lo más igual, cuando y ó z sean cero. Cuando z es cero, x además de ser igual á r' , lo es tambien á r , segun la ecuacion (1). De manera que si la resistencia de la derivacion es nula y existe una perfecta comunicacion con la tierra, el conductor acusa la misma resistencia cuando su extremidad lejana está aislada que cuando se pone en comunicacion con la tierra y vive-versa, cuando estas resistencias son iguales, la derivacion no presenta ninguna, y la distancia á que se halla de la estacion que hace las pruebas se determina dividiendo la resistencia obtenida por la de un kilómetro de hilo de línea.

Si fuese $y=0$, x seria igual á la vez á r' y á R , segun las ecuaciones (2) y (3), lo que indicaria que la derivacion se hallaba en la estacion con quien se prueba, la cual podria asegurarse desde luego si al hacer la segunda prueba resultase una resistencia igual á la normal del conductor. En general la avería se hallará tanto más cerca, cuanto más aproximadas sean estas resistencias.

Inútil es decir, porque fácilmente se comprende, que si resultase para x un valor cero ó muy pequeño, la avería estaria en la estacion que experimenta ó cerca de ella.

Por medio de la tension.—Supongamos en primer lugar, que la derivacion no presenta ninguna resistencia, es decir, que la comunicacion del conductor con la tierra en el punto de la avería es perfecta. El polo negativo de la pila de la estacion se halla á tierra, y si entre el positivo y la línea intercalamos un reostato figura 77, lámina 6.^a, y representamos por AH la tension al principio de dicho reostato y unimos el punto H con el punto de derivacion d , la línea Hd será la línea de las tensiones y la del otro extremo del reostato estará representada por ah . Si además llamamos r la resistencia del reostato y x la de la línea hasta el punto de derivacion, tendremos la proporcion: $AH:ah::Ad:ad$, de donde resulta: $AH-ah:ah::Ad-ad:ad$, ó lo que es lo mismo: $AH-ah:ah::r:x$, y por último:

$$x = \frac{ah \times r}{AH - ah}.$$

Determinando, pues, las tensiones en los extremos del reostato, se puede calcular la resistencia del conductor hasta el sitio de la avería, y reduciendo esta resistencia á unidades de longitud, se tendrá la distancia á que se halla.

Si la derivacion presenta alguna resistencia.

en el punto d existirá la tension correspondiente tal como dm , figura 78, y si el extremo B del conductor está aislado en la estacion á que pertenece, sucederá que todos los puntos de la parte dB de este conductor tendrán una tension igual á dm , la cual se podrá medir en el punto B . Tirando las líneas AH y ah que representan las tensiones en los extremos del reostato, la Hm que es la línea de las tensiones, y las bh y cm , los triángulos semejantes Hbh y hcm darán la proporcion: $Hb:hc::bh:cm$, ó lo que es lo mismo: $AH-ah:ah-dm::r:x$, de donde resulta:

$$x = \frac{ah-dm}{AH-ah} \times r.$$

Si representamos por T y t las tensiones en los respectivos extremos del reostato y por s la del punto de derivacion, la fórmula del primer caso será:

$$x = \frac{t}{T-t} \times r, \text{ y la del segundo: } x = \frac{t-s}{T-t} \times r.$$

Las tensiones se miden por cualquiera de los medios explicados al tratar de la determinacion de la tension, esto es, por medio de un electrómetro, de un condensador y un galvanómetro, con el reostato de Thomson, por el método de oposicion, sirviéndose de una pila, y otros.

Cruzamiento.—La fuerza de la corriente de vuelta, indica aproximadamente la distancia de

la avería; pero no siempre porque dicha fuerza no solo depende de la distancia, sino tambien de la resistencia que ofrezca el contacto de los dos hilos. Así es que un cruzamiento lejano puede dar una corriente de vuelta de la misma fuerza que otro que esté cerca, si el contacto en este es menos perfecto. Si no fuera por esta circunstancia, fácilmente se hallaria el sitio de la avería, aislando en una estacion los hilos cruzados y midiendo desde la otra la resistencia del anillo que resulta, la mitad de la cual, reducida á kilómetros de la manera que ya hemos dicho, daria la distancia buscada; pero como la resistencia del anillo apareceria aumentada con la del contacto, que puede ser considerable, casi siempre se obtendria una distancia bastante mayor que la verdadera. Preciso es, por lo tanto, emplear otros medios más exactos, algunos de los cuales vamos á exponer brevemente.

Con un galvanómetro diferencial.— Se manda aislar en la estacion próxima uno de los hilos cruzados, el H' por ejemplo, figura 79, lámina 6.^a y poner el otro á tierra. El polo positivo de la pila se une al hilo aislado H' y el negativo á los tornillos A y B del galvanómetro, es decir, á dos tornillos correspondientes á distintos carretes, uniendo además uno de los otros tornillos al hilo H interponiendo un reostato si se calcula que el cruzamiento ha de hallarse mas acá de la mi-

tad de la línea, y llevando á tierra el tornillo restante.

La corriente marchando por el hilo H' , pasará al H en el punto del contacto, dividiéndose en dos; una que por el reostato y uno de los carretes, vuelve á la pila, y otra que recorriendo la parte de la derecha del hilo H y la tierra entra en el otro carrete y termina tambien en la pila. Se supone que están colocadas todas las clavijas del reostato, y si la aguja permanece en cero, indicará que los circuitos cD y cd , son de igual resistencia, y que el cruzamiento se halla en el punto medio de la línea: pero por lo regular el galvanómetro acusará una desviacion más ó menos considerable á uno ú otro lado, segun el circuito que tenga mayor resistencia. Si quitando una clavija del reostato la aguja retrocede, el circuito cD es de menos resistencia que el cd , y continuando disminuyendo la del reostato, se conseguirá fijar la aguja en cero. Si por el contrario, al quitar la primera clavija de dicho aparato, aumenta la desviacion del galvanómetro, es que el trozo cD tiene más resistencia que el cd y entónces se traslada el reostato al tornillo C , entre este y la tierra, poniendo el hilo H en el tornillo D , y variando convenientemente la resistencia del reostato, se obtendrá tambien el equilibrio de la aguja.

Representando por R la resistencia normal del hilo H ,

Por r la del reostato cuando la aguja se fija en cero,

Por x la del trozo cD , y teniendo presente que la del cd , es $R-x$, y que la resistencia del circuito formado por el trozo cD y el reostato es en el primer caso, igual á la del circuito constituido por el trozo cd y la tierra, tendremos, recordando que la resistencia de esta es cero:

$$x+r=R-x; \text{ de donde se deduce: } x=\frac{R-r}{2}.$$

Esta fórmula es igual á la de la página 313 y en efecto, mediante esta disposicion del experimento, el problema se ha reducido á determinar el punto C en que un conductor tal como el H , comunica con la tierra, ó sea de una derivacion.

Con el puente de Wheatstone de relacion variable.—Se dispone el puente ordinario de manera que el lado B , ocupe el lugar del lado A y que los A y C formen uno solo que será el C . Un polo de la pila se une al vértice correspondiente á estos lados y el otro al hilo H , figura 80 lámina 6.^a, cuyo extremo se manda aislar. El hilo H se lleva al extremo e del lado C , poniéndolo á tierra en la estacion correspondiente. Con esta disposicion el trozo dc forma el tercer lado del puente y el ce el cuarto, y dejando en el lado C una resistencia fija, variando la resistencia del lado A hasta que el galvanómetro se fije en cero, representando por R la resistencia del hilo

H y por x la del trozo ec , la del trozo cd será $R-x$ y tendremos: $Ax=C(R-x)$; de donde despejando x , saldrá:

$$x = \frac{CR}{A+C},$$

y dividiendo el valor de x por la resistencia de un kilómetro resultará la distancia de la avería.

Debemos advertir que con un reostato que forme el lado A y una bobina de resistencia conocida que constituya el lado C , se puede formar este puente, y determinar el valor de x , y que el hilo H' sirve en este experimento para llevar un polo de la pila al punto de contacto C , que es el vértice del puente, opuesto al que forman los lados A y C .

De lo expuesto se deduce que cualquiera que sea la naturaleza de una avería, puede localizarse y calcularse la distancia á que se halla, cuando se dispone de cualquiera de los aparatos que se han descrito ó de otros análogos, y se hacen las pruebas con esmero y tomando las precauciones necesarias, especialmente respecto del aislamiento de los aparatos incluso las pilas, manipuladores y demás auxiliares, y los hilos que establecen las comunicaciones.

Influencia del material en la conductibilidad y aislamiento de las líneas.

HILOS.—Se emplean casi exclusivamente los de hierro para las líneas aéreas y los de cobre para los cables.

Concretándonos por ahora á los hilos de hierro, como la electricidad se propaga por la masa de los conductores, es evidente que cuanto mayor sea su diámetro tanto mayor será su conductibilidad, la cual, como ya hemos dicho, es proporcional á los cuadrados de los diámetros en hilos de la misma naturaleza. Así es que el poder conductor de dos hilos de hierro del mismo grado de pureza, ó sea de la misma densidad, el uno de 4 m/m y el otro de 5, estará en la relacion de 16 á 25. La densidad influye notablemente en la conductibilidad del hierro, porque á mayor densidad, bajo la misma longitud y diámetro corresponde más cantidad de masa, ó mayor peso. La conductibilidad depende tambien de la disposición de las moléculas del conductor y por eso sin duda, la aumenta el recocido, como ya hemos dicho en otro lugar.

Por lo tanto, despues de acordado el diámetro que ha de tener un conductor, conviene exigir que esté recocido y que tenga un peso de

terminado por metro ó por kilómetro, sin perjuicio de las demás condiciones necesarias. Si es para salvar grandes vanos es preferible que no esté recocado, porque resiste más á la rotura, aunque pierda algo de su conductibilidad.

La densidad del hierro bati do está comprendida entre 7,700 y 7,900, de manera que tomando la primera cantidad, teniendo presente que el peso es igual á la densidad multiplicada por el volúmen, y representando por d el diámetro, el peso de un kilómetro de un hilo de hierro de un diámetro cualquiera d , ha de ser, por lo ménos, 6,0476 d^2 kilogramos en cuya fórmula, d está expresada en milímetros.

Así, por ejemplo, el peso de un kilómetro de hilo de 4 m/m de diámetro, será:

$$6,0476 \times 16 = 96 \text{ kg. } 762 \text{ gm.},$$

lo que da para el metro 97 gramos próximamente.

La conductibilidad de un hilo de hierro galvanizado ordinario, es segun Mr. Clark, la séptima parte de la del cobre puro ó próximamente 14, siendo 100 la del cobre. De manera que en vez de la condicion del peso, puede exigirse que la conductibilidad sea 14 por 100 de la del cobre puro, lo que puede reconocerse fácilmente, determinando la conductibilidad del hilo de hierro y calculando la que tendria un hilo de cobre puro de la misma longitud y diámetro. Recordaremos que para hallar la conductibilidad, se deter-

mina la resistencia, y se divide la unidad por el resultado, es decir que si la resistencia es R , la conductibilidad será, $\frac{1}{R}$.

Con el diámetro de los conductores aumentan las derivaciones, sin embargo de lo cual, es mucho más ventajoso emplear hilos gruesos que delgados. Así es que en la India, en puntos en que era difícil evitar las derivaciones por los medios ordinarios, se han empleado barras de hierro para conductores telegráficos.

Repetidas experiencias han demostrado que para la misma distancia y en idénticas condiciones de aislamiento, la trasmision es más perfecta por los hilos gruesos que por los delgados, haciéndose difícil con frecuencia por estos á causa de la variacion y debilidad de las corrientes, expecialmente cuando los aparatos son de trasmision rápida, como el automático de Wheatstone y otros, y en una línea de 495 kilómetros por un hilo de 6, 10 *m/m* se trasmitía un 20 por 100 más de palabras que por uno de 4,31. En las líneas aéreas enlazadas con los cables submarinos, es donde son más necesarios los hilos gruesos, á causa de que la lentitud de la trasmision depende principalmente de la resistencia de las líneas terrestres.

Esto no obstante en las líneas telegráficas, no se emplean, en general, más que los hilos de

4 y de 5 *m/m*, ó los números 8 y 6 de la hilera de Jhonson de Manchester, cuyos diámetros son 4,31 y 5,08 *m/m*, porque hilos más gruesos exigen un material especial de postes y aisladores. El hilo de 3 *m/m* y el del número 11 que tiene 3 con 17, no se emplea más que en líneas de corta extension, y en algunos países en el casco de las poblaciones.

Empalmes.—Se hacen de varias clases, siendo las principales el *Britania*, de *manguito* y de *torsion* ó de *doble nudo*, reconociéndose generalmente como mejor y más perfecto el primero, aunque todos ofrecen bastante seguridad cuando están bien hechos y una conductibilidad igual ó mayor que la del hilo, al ménos al principio, porque despues se oxidan más ó ménos las superficies de contacto, especialmente si los hilos no estan galvanizados; y aunque á simple vista no aparezca el óxido por formar una capa muy delgada y sutil, no deja por eso de aumentar la resistencia del conductor, por lo cual, es indispensable soldar todos los empalmes, cualquiera que sea su forma, con el fin de evitar la oxidacion.

Los empalmes de manguito se hacen con bastante facilidad, calentando este suficientemente y aplicando á la abertura una barra de soldadura, despues de bañar el manguito y las puntas del hilo con el cloruro de zinc convenientemente

preparado. Los que se han acostumbrado á esta clase de empalmes y método de soldar, muy empleado en Francia, lo prefieren á cualquiera otro. Los empalmes britania y de torsion, se sueldan por inmersión y con soldador, siendo el primero el único medio práctico y conveniente de ejecutar esa operacion. Despues de bañados con el cloruro de zinc un poco acidulado, se calientan con la lámpara de alcohol dispuesta para funcionar al aire libre, y se sumerjen rápidamente en un baño de soldadura elevado á la mayor temperatura posible. De esta manera desaparece el cloruro, y el estaño adhiere perfectamente, y se perfecciona con el soldador.

Cuando los hilos no están galvanizados ó han perdido la galvanizacion, es conveniente *estañarlos* ó sumergirlos en una disolucion de sulfato de cobre para que agarre la soldadura, aunque en nuestro concepto esta circunstancia, si bien es conveniente, no la creemos indispensable en los hilos nuevos no oxidados, porque siendo el empalme tan conductor por lo menos como el hilo, lo principal es resguardarlo del aire y del agua, lo que se consigue recubriéndolo convenientemente de estaño ó de otra sustancia cualquiera, con la cual se consiga dicho objeto. Cubriendo el empalme con una hoja de papel de estaño bien ceñida y añadiendo encima un mastic á propósito como el que se ha empleado en

Alemania para los hilos y los postes, creemos que estaria libre de toda oxidacion, sin que por eso dejemos de reconocer que lo mejor es un buen empalme bien soldado, sobre todo, si el alambre no está galvanizado, porque en este caso la superficie puede estar oxidada, aunque no aparezca á la vista; y es indudable que un solo empalme defectuoso que haya en una línea, es suficiente para dificultar la trasmision. Unicamente en las líneas de corta extension y de escasa importancia, se podrá prescindir de esta operacion, si motivos especiales no la hacen necesaria.

Entrada de los hilos en las estaciones.—El sistema más conveniente es terminar los hilos de línea en un poste ó palomilla lo más cerca posible del punto de entrada, y continuarlos con buenos cables de cauchú, ó sea goma elástica, con cubierta de plomo, de un solo conductor. Verdaderamente no debia permitirse otro medio, por los graves inconvenientes que presentan todos los demás. La guttapercha no es conveniente en este caso porque á la temperatura de 30° centígrados se ablanda y se hace plástica.

Comunicacion con la tierra.—La plancha de tierra es uno de los órganos principales de las estaciones telegráficas y varios aseguran que, mejorando sus condiciones, han duplicado la fuerza de las corrientes.

Segun las experiencias verificadas por Matteucci, la conductibilidad de las planchas de tierra depende de la naturaleza del terreno, de las dimensiones y de la profundidad á que se hallan enterradas. En una llanura terriza y húmeda, presentan menos resistencia que en una altura ó montaña pedregosa y seca. En igualdad de las demás circunstancias, una plancha de 0,0120 metros daba una resistencia de 174, mientras que otra de 0,2500 presentaba una resistencia de 47 y una de 0,3250, solo de 31. A la profundidad de 0,100 metros la resistencia era de 91 y á la de 2 metros, solo de 70. Mas allá de cierta dimension y de cierta profundidad, la variacion de la resistencia era poco notable.

De aquí se deduce que las planchas de cobre deben tener por lo ménos 2500 centímetros cuadrados de superficie, lo que equivale á un cuadrado de 50 centímetros, ó medio metro, de lado, enterrándolas á la profundidad de dos ó más metros en terreno blando y siempre húmedo.

Habiendo una sola plancha para los hilos de línea, ó para los receptores y para la pila, es necesario que tenga mayores dimensiones y que esté enterrada á mayor profundidad, especialmente si los conductores no son todos de la misma longitud; pero lo mejor es establecer una plancha para la pila, otra para los conductores largos, y otra para los de corta longitud, colo-

cándolas á la distancia de 50 metros por lo ménos una de otra, á fin de que la corriente pueda perderse en la tierra sin pasar de una á otra plancha y de aquí á la línea por los aparatos, si este camino le ofreciese ménos resistencia que el terreno interpuesto entre ellas.

Estas planchas pueden ser de hierro galvanizado de un metro cuadrado de superficie ó estar constituidas por una ancha cinta de plomo colocada en una zanja estrecha y profunda y rodeada de Cok ó de cisco de tahona.

Segun algunos, es preferible una cañería de agua ó de gas cuando son metálicas, cuidando de soldar el hilo á la tubería principal y no á la de plomo, que pudiera ser fundida por una descarga atmosférica; pero segun otros, las corrientes de agua y las de gas que circulan por las respectivas cañerías, desarrollan corrientes eléctricas que perturban la trasmision. La verdad es que todas las planchas de tierra desarrollan corrientes de más ó ménos intensidad, sobre todo, si son de diferente naturaleza ó de distintas dimensiones, por lo cual se debe procurar que dichas planchas sean lo más iguales posible bajo todos conceptos, en las estaciones que han de corresponder, y no adoptar en una, la cañería del gas y en otra la del agua, ó una plancha de cobre ó de otro metal. En las líneas largas, no se notan por lo regular estas corrientes, pero

si en las de poca longitud, por lo cual la igualdad de las planchas de tierra es más necesaria cuando las estaciones están próximas. Estas corrientes son diferentes y no tienen nada que ver con las llamadas terrestres naturales ó telúricas, de las cuales hemos hablado al tratar de la medición de la resistencia y del aislamiento de los conductores telegráficos.

Por último, cualquiera que sea la plancha debe colocarse verticalmente soldando á ella el hilo de tierra, operacion esta última, que sería conveniente ejecutar con todos los empalmes dentro de las estaciones, excepto cuando los hilos estén unidos por tornillos ó casquillos.

Determinacion de la resistencia de las planchas de tierra.—Ya hemos expuesto dos procedimientos para apreciar esta resistencia en la misma estacion á que pertenece la plancha; pero creemos oportuno dar á conocer otro que puede emplearse desde otra estacion más ó menos distante, lo que constituye en algunos casos una ventaja considerable.

Consiste este método en determinar separadamente la resistencia de dos hilos comprendidos entre las dos estaciones, y despues la de los mismos reunidos en anillo. Es evidente que si representamos por r la resistencia obtenida para el primer hilo, por r' la del segundo, y por R la del anillo, si la resistencia de la plancha fuese

nula, la suma de r y de r' , sería igual á R ; pero si la plancha presenta una resistencia x , la del primer hilo se compondrá de la resistencia real del mismo que llamaremos a , más la de la plancha x , y la obtenida para el segundo hilo estará representada por la resistencia real b del mismo más x ; es decir, que tendremos: $a+x=r$, y $b+x=r'$, que sumadas darán: $a+b+2x=r+r'$; pero como $a+b$ es igual á R , resistencia del anillo en la cual no entra la de la tierra, sustituyendo resulta: $R+2x=r+r'$; de donde:

$$x = \frac{r+r'-R}{2}.$$

Esta fórmula es bastante exacta cuando los dos hilos se hallan en buen estado y no existe en ellos alguna derivacion ó resistencia anormal, y en todo caso cuando no hay urgencia, puede esperarse á que se presente una ocasion favorable. es decir, á que la línea aparezca con su resistencia habitual y con su aislamiento ordinario. Por lo demás, los dos métodos que ántes hemos expuesto son bastante exactos y suficientes cuando se dispone de un galvanómetro ó de un electrómetro sensible.

POSTES.—El aislamiento de los postes depende de las propiedades de la madera que los constituye y de la preparacion que hayan recibido. Las maderas blandas absorben más cantidad de agua que las duras, expecialmente si están inyectadas

de sulfato de cobre, lo que aumenta considerablemente su conductibilidad. Los postes más á propósito para apoyos telegráficos, por razón de estabilidad y de aislamiento, son entre todos los de madera, los de cedro rojo y sobre todo los de castaño. Estos últimos absorben poco la humedad, la lluvia no hace más que lavarlos, y cuando deja de llover el viento los seca pronto.

Las derivaciones de unos á otros hilos y las pérdidas de corriente se verifican principalmente por los postes, por lo cual conviene separarlos todo lo posible; pero como es necesario contar con la estabilidad de las líneas y procurar disminuir los gastos de conservación y de reparación, la experiencia ha demostrado, que en las líneas hasta de 4 hilos la distancia entre los apoyos en líneas rectas, no debe exceder de 100 metros, ni de 80 en las de 8 ó más. En general cuanto mayor es el número de hilos y la distancia de los postes, tanto más gruesos y más altos han de ser estos.

En Inglaterra, donde las derivaciones son permanentes y de mucha consideración por sus condiciones climatológicas, todos los postes están provistos de un hilo de tierra que los rodea y que se suelda á una plancha de hierro, enterada al pié del poste, y á este hilo vienen á unirse otros de cobre que parten de los soportes de los aisladores, á los cuales están soldados como

así mismo al hilo de tierra. De esta manera las corrientes que debían pasar de uno á otro conductor, se dirigen á la tierra.

Las pérdidas de corriente son mayores; pero aumentando la potencia de las pilas se remedia este inconveniente y no se perturba la trasmisión á lo que también contribuye el empleo de corrientes alternativamente positivas y negativas. Según Mr. Culley, en virtud de este sistema de trasmisión, al encargarse la Administración de las líneas telegráficas, que ántes se hallaban en poder de Compañías, se han podido utilizar conductores que estaban abandonados. Si los postes son de hierro, sirven de hilo de tierra á la vez que de apoyo, y entónces no hay para qué apelar á estos medios.

AISLADORES.—Son los aparatos de suspensión de los conductores telegráficos aéreos, y por lo general constan de un cuerpo aislador ó poco conductor del flúido eléctrico y de un soporte comúnmente de hierro, para fijarlo al poste.

Materia.—Las sustancias más á propósito para aisladores son el vidrio, la ebonita, la loza dura y la porcelana. El vidrio seco aísla mejor que la porcelana; pero es más higrométrico que ésta, y su superficie se cubre fácilmente de humedad, lo que es un grave inconveniente. Además, es muy frágil y en los sitios hondos donde el sol da de repente y cuando ya tiene mucha

fuerza, se rompen muchos aisladores por el rápido aumento de temperatura. Al principio de la telegrafia se usaron muchos aisladores de vidrio; pero en la actualidad quedan muy pocos, al ménos en Europa. En los Estados-Unidos de América, se emplean bastante dos modelos de esta sustancia. El de M. Brooks que es una botella invertida en cuyo fondo se fija el soporte, y otro semejante en el tamaño y en la forma á las porcelanas de nuestros antiguos aisladores de gancho y grapa. El soporte es un palo que se atornilla al aislador, y para colocar estos aparatos en servicio, basta introducir los palos en los agujeros que llevan las crucetas.

El aislador Brooks, sobre todo si se le da un baño de parafina, produce un aislamiento absoluto, lo que no sucede con el otro; pero segun M. Preece, es suficiente en general, para el clima de los Estados-Unidos, el más favorable, en su concepto, para el aislamiento de las líneas telegráficas.

Por lo demás, segun ha demostrado la experiencia, el vidrio *soplado* resiste mejor los cambios de temperatura, se rompe ménos y aísla más que el *moldeado*.

La ebonita produce un aislamiento superior al del vidrio, y las nieblas la humedecen ménos que á la loza y á la porcelana; pero más las lluvias, por cuanto forman sobre ella, una capa con-