

BIBLIOTECA DEL ELECTRICISTA PRÁCTICO

PARARRAYOS



GALLACH EDITOR

15

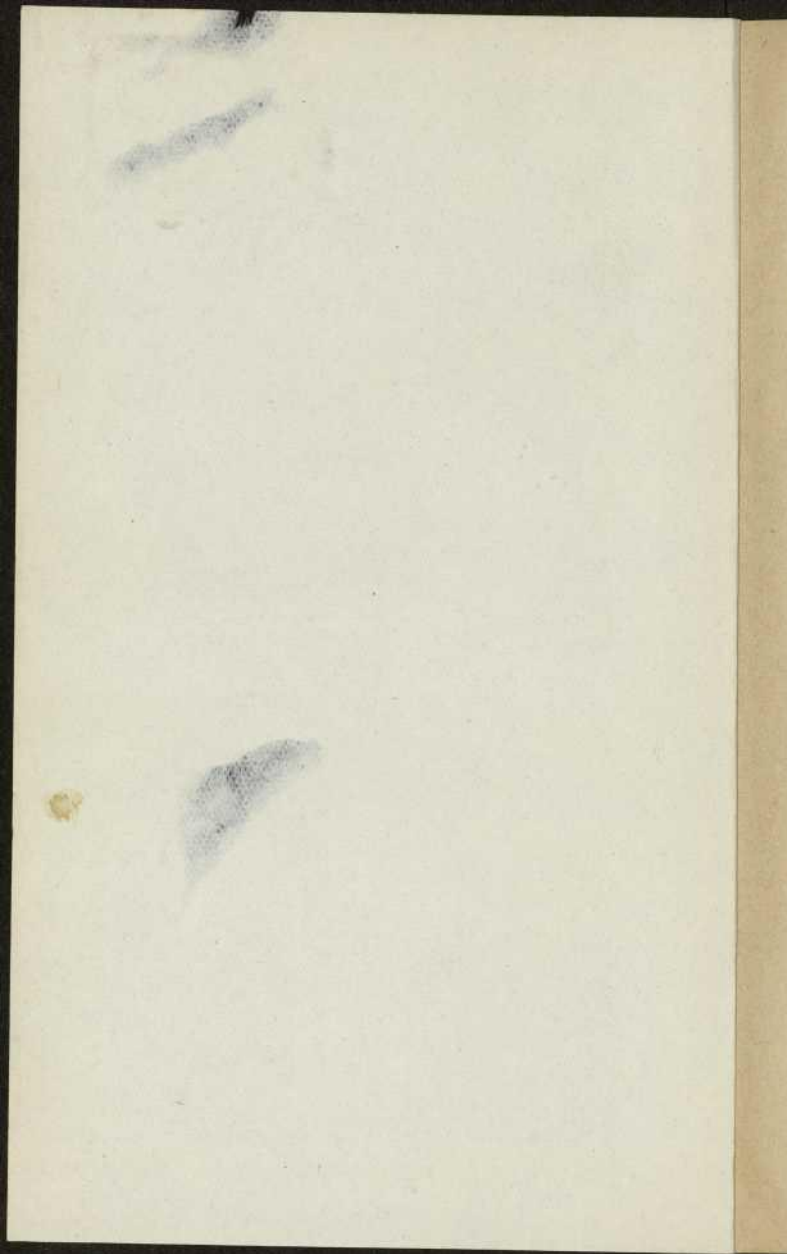
BARCELONA



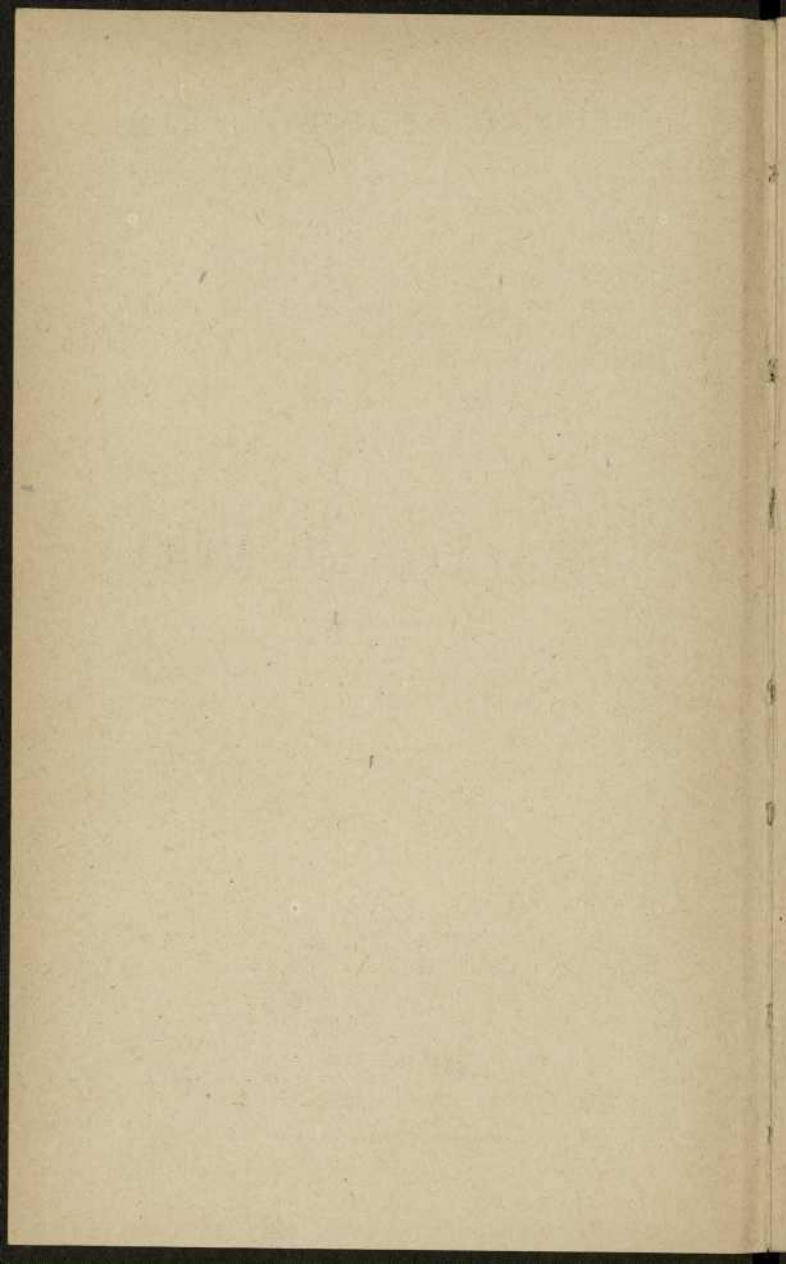
84452

~~121668~~

359



PARARRAYOS Y LIMITADORES



BIBLIOTECA DEL ELECTRICISTA PRÁCTICO

SERIE PRIMERA (Volúmenes 1 a 30)

PUBLICADA BAJO LA DIRECCIÓN

DE

D. RICARDO CARO Y ANCHÍA

LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS, OFICIAL DE TELÉGRAFOS
Y PROFESOR DE ELECTROTECNIA Y TELEGRAFÍA EN LA
ESCUELA INDUSTRIAL DE TARRASA

TOMO XV

PARARRAYOS Y LIMITADORES

— POR —

RICARDO CARO Y ANCHÍA

SEGUNDA EDICIÓN

B.P. BURGOS
N.º
N.T. 92265
C.P.
25442

« CALPE »

Compañía Anónima de Librería, Publicaciones y Ediciones

MADRID-BARCELONA

ES PROPIEDAD
Derechos de traducción
reservados

PARARRAYOS Y LIMITADORES

PRIMERA PARTE

Protección de edificios

CAPÍTULO PRIMERO

LA ELECTRICIDAD ATMOSFÉRICA

Un poco de historia. — Los fenómenos naturales que van a ser objeto de nuestro estudio, en esta primera parte del libro, son los comprendidos en Meteorología eléctrica bajo la denominación de *acciones electrostáticas*, tienen su asiento en nuestra atmósfera y dan lugar a las grandiosas manifestaciones que admiramos en tiempo tempestuoso, el rayo, el relámpago y el trueno.

El conocido escritor técnico y festivo Mr. Claude, dice hablando de la electricidad atmosférica:

«Por muy mezquino, por muy impotente que pueda aparecer el hombre ante esa imponente manifestación de la naturaleza, que se llama rayo, tiene, no obstante, el derecho de enorgullecerse al pensar que puede hoy dominarlo y dirigirlo impunemente.

»El admirable invento de Franklin, el pararrayos, al ofrecer un camino a la descarga eléctrica atmosférica, y obligarla a seguirlo, de grado o por fuerza, hasta conducirla a tierra, ha transformado sus furros en... simples estocadas al agua.»

La idea de comparar el rayo con la chispa eléctrica de nuestras máquinas, es tan antigua como el descubrimiento de la chispa misma. Todos los físicos antiguos participaban de esta opinión, pero hasta Franklin, nadie la había demostrado experimentalmente y de un modo concluyente.

Bien conocido es el experimento de Franklin realizado en junio de 1752. Elevó una cometa aislada, armada de una punta y procurando que se acercase a una nube tempestuosa. Mientras el cordel que sostenía la cometa estaba seco y era, por lo tanto, aislador, ningún fenómeno pudo registrarse; pero al empezar a llover y humedecerse el cordel, haciéndose conductor, Franklin triunfó, viendo con la mayor alegría, que del extremo inferior del cordel podían arrancarse grandes chispas.

El mismo sabio se proponía elevar una alta barra metálica, terminada en punta, sobre una torre que por aquel entonces se construía en Filadelfia, para ver si prolongando esta barra hacia abajo mediante un conductor, se obtenían chispas en su extremo inferior. Pero el experimento de la cometa le pareció por completo concluyente y desistió de este último.

El físico francés Dalibard estudió también la electricidad atmosférica mediante su acción sobre unas barras metálicas puntiagudas, que colocó en la villa Marly, y el 10 de mayo de 1782, durante

una tormenta, obtuvo chispas del mismo modo que Franklin.

En 1753, Mr. De Romás, reprodujo el experimento de Franklin, mejorando las condiciones de experimentación. Construyó el cordel para la cometa, de hilos de cáñamo y cobre, terminándolo por un cordón de seda, que sujetó a una piedra grande. Del extremo inferior del hilo conductor, colgó un cilindro de hojalata. El experimento se hizo en Nerac mientras estallaba una furiosa tempestad. Del cilindro metálico se sacaron chispas, cuya longitud iba creciendo a medida que el cordel se mojaba y la tempestad arreciaba, llegando a ser verdaderas ráfagas de fuego que alcanzaron una longitud de dos metros y un diámetro de veinte milímetros, produciendo un estallido tan violento como un pistoletazo. Se asegura que cuando De Romás realizó estos experimentos, ignoraba por completo los realizados por Franklin.

Conocida la causa del rayo, podía pensarse en buscar medios de protección contra tan destructor fenómeno.

La preocupación popular ha creído hallar diversos medios preventivos, pero casi siempre fundados en creencias supersticiosas sin el menor asomo de fundamento científico. Es claro que no hemos de ocuparnos aquí de tales procedimientos.

Los hombres de ciencia han aconsejado también medios de auyentar las tormentas. Volta, por ejemplo, sostenía que encendiendo grandes hogueras al aire libre, se quitaban a las nubes sus propiedades fulminantes, y fundaba su afirmación en la conduc-

tibilidad de la columna de humo, que al tocar con sus extremos la tierra y la nube producía una descarga conductiva y evitaba una descarga disruptiva.

Se fortalecía esta opinión, citando parajes donde los campesinos practicaban el procedimiento, quemando grandes montones de paja al acercarse una tormenta y que se habían librado siempre del rayo y del granizo.

Contra esta opinión se cita el hecho, harto frecuente, de estallar grandes incendios durante las tormentas, produciéndose, por consiguiente, enormes columnas de humo, sin que por ello se haya notado la menor amortiguación en el furor de la tempestad.

Se ha dicho, y sostenido también, que la nube tempestuosa se disipa, haciendo llegar a ella una fuerte vibración aérea. Como consecuencia de tal afirmación, los marinos y los labradores cañoneaban las nubes de tormenta y aun en algunos pueblos, para producir la vibración aérea necesaria, se acudía al repique de campanas. Arago cita multitud de ejemplos en pro y en contra de estos procedimientos, deduciendo que no tienen eficacia alguna evidente.

Respecto a los toques de campana, Guillemín dice lo siguiente:

«La costumbre de repicar las campanas durante las tormentas no tiene más origen que la superstición; y el efecto más seguro de esta costumbre es exponer a los campaneros a un peligro efectivo, para apartar otro probable apelando a un remedio

imaginario. Y la verdad es, que el rayo cae con preferencia en los objetos elevados, sobre todo en los que, como los campanarios, rematen casi siempre en piezas metálicas aisladas.»

Hoy día se admite el pararrayos como única protección científica contra la electricidad atmosférica, y casi siempre eficaz, tratándose de edificios, si está bien construido y cuidadosamente instalado.

Los primeros pararrayos se pusieron en Filadelfia poco después de los experimentos concluyentes de Franklin y De Romás, y seguidamente en Europa, instalándose el primero en Dijon, por Guyton de Morveau.

Potencial en un punto del aire. — Al tratar de potenciales, nos referimos siempre a diferencias de potencial entre un conductor cualquiera y otro fijo, que se toma como tipo de comparación, y que generalmente es el suelo, considerado como un conductor de capacidad infinita.

Para medir la diferencia de potencial en un punto del aire, lo compararemos con el de un conductor en perfecta comunicación con tierra; realizando esta comunicación mediante conductores de gran superficie, tales como las cañerías de agua o gas, o mediante planchas metálicas enterradas.

Saussure medía el potencial en un punto del aire, colocando un conductor aislado, terminado en punta, de manera que la punta viniera a situarse en el lugar que íbamos a estudiar. La electricidad inducida sobre el conductor, se escapaba por la

punta de éste, hasta que quedaba todo él cargado de signo contrario al del aire.

Otro procedimiento, empleado también por Saussure para evidenciar la electrización del aire, consiste en emplear un electroscopio de panes de oro, colocado en la parte inferior de una varilla de cobre, vertical, de un metro próximamente de longitud y

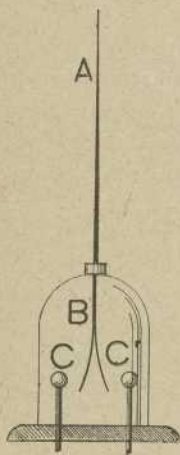


Fig. 1

terminada en punta. La fig. 1.^a da idea de tal disposición. *A B* es la varilla de cobre, que comunica por su extremo inferior con los dos panes de oro; *C C'* son dos esferillas metálicas en buena comunicación con el suelo. Situando el aparato al aire libre, el conductor *A B* y los panes de oro quedarán al potencial que exista en el aire en el punto *A*, y las esferillas *C C'* al potencial del suelo. Los panes de oro divergerán por dos causas simultáneas; su repulsión mutua, como cargas iguales, y la atracción por parte de las esferillas, como cargas de signos contrarios.

Estos efectos parecen ser tanto más acentuados cuanto más alta es la varilla *A B*, es decir, cuanto más distante del suelo se toma el punto considerado del aire; y, para aumentar esta distancia, Saussure lanzaba al aire una bola metálica, unida, mediante una cadena conductora, a los panes de oro del electroscopio, comprobando efectivamente la ley de

la altura. Becquerel y Breschet repitieron más tarde los experimentos de Saussure, substituyendo la bola por una flecha metálica.

Estos efectos desaparecen por completo cuando se opera bajo un techo. Es que entonces el techo y las paredes que le sostienen son tan conductores como el suelo mismo, y su conjunto forma una superficie cerrada, en cuyo interior ya sabemos que el potencial es nulo.

Generalmente el potencial en un punto del aire es positivo, sobre todo bajo un cielo sereno; pero este estado varía tan rápida y frecuentemente como todos los demás datos meteorológicos, llegando hasta cambiar su signo en tiempo de tempestad.

Variaciones en el potencial del aire.—En un mismo electrómetro, observando la divergencia de sus panes de oro durante un día completo, o, mejor aún, durante varios días consecutivos, se fija con bastante aproximación la ley de variación diurna del potencial en un punto del aire. Esta variación está sujeta a perturbaciones accidentales, no muy profundas, análogas a las del magnetismo terrestre.

En el momento de aparecer el sol sobre nuestro horizonte, el potencial del aire crece, rápidamente primero y lentamente después, hasta alcanzar un máximo a eso de las diez de la mañana. A partir de esta hora el potencial disminuye hasta alcanzar un mínimo, que perdura desde las dos de la tarde hasta la puesta del sol. El segundo máximo tiene lugar a las diez de la noche, y el segundo mínimo a las dos de la madrugada.

El valor medio de los valores alcanzados por el potencial durante las veinticuatro horas, corresponde aproximadamente a las once de la mañana.

Examinando los potenciales del aire durante las diversas épocas del año, se ha comprobado que sus valores son menores durante el verano que durante el invierno.

Los vientos y las lluvias son las causas principales de las grandes variaciones del potencial en un punto del aire.

Electrización de las nubes. — Una nube se forma cuando se condensa el vapor de agua comprendido en un espacio dado de la atmósfera. En cuanto la nube se forma, hay una substitución de cuerpo aislador que es el aire, por cuerpo conductor, que es el vapor de agua. Si en el espacio en que la nube se ha formado no había electricidad alguna, la nube se electriza por la influencia de la tierra, apareciendo una carga positiva en su cara inferior y otra carga negativa en su cara superior. Si en el espacio en que la nube se ha formado, el aire estaba electrizado, las cargas que aparecen en las caras de la nube serán desiguales, siendo mayor la de signo igual a la que poseía el aire substituído por la nube.

Si la nube se resuelve parcialmente en lluvia, las gotas de agua arrastran carga positiva y producen un desequilibrio en el estado eléctrico de la nube, tendiendo a dejarla con carga negativa solamente, y con un potencial igual al del suelo.

Sin resolverse en lluvia, si la nube arrastrada

por el viento llega a chocar con el flanco de una montaña, aunque sea momentáneamente, sucederá lo mismo. La nube perderá su carga positiva y quedará cargada negativamente y al mismo potencial que el suelo.

Si después que la nube ha quedado con carga negativa solamente, se resuelve en lluvia, las gotas caerán electrizadas negativamente. Resulta, por lo tanto, que las gotas de lluvia caen electrizadas negativamente unas veces y positivamente otras.

Tempestades. — Las cargas eléctricas que animan en tiempo sereno a la tierra y a las nubes, aunque enormes verdaderamente, son, sin embargo, insuficientes para producir descargas disruptivas ni aun efluvios luminosos siquiera.

Otra cosa muy diferente sucede durante las tormentas.

Los movimientos atmosféricos, rápidos y generalmente en forma de torbellinos o espirales, que tienen lugar durante las tormentas, producen movimientos relativos de las nubes y, como consecuencia, frotamientos entre ellas que dan por resultado su electrización y la producción de enormes cargas de signos contrarios.

Si una nube y la tierra, o dos nubes, se acercan hasta que su distancia sea la correspondiente al poder explosivo de sus cargas, se producirá entre ellas una descarga disruptiva que llamamos rayo.

Esta es la explicación que hoy podemos darnos de la causa de las descargas eléctricas atmosféricas, si bien es de creer que el mecanismo de la electri-

zación de las nubes debe ser algo más complejo que el deducido de la sencilla explicación anterior.

El rayo. — Admitamos, pues, como se admite hoy día de un modo seguro, que el rayo es sencillamente la chispa eléctrica que salta de nube a nube o de nube a tierra; el trueno es el ruido consiguiente a la explosión de aquella chispa, y el relámpago es el efecto luminoso del rayo.

El relámpago, como fenómeno luminoso que es, impresiona nuestra retina en el instante mismo en que se produce, ya que siendo su distancia a nosotros relativamente pequeña, es perfectamente despreciable el tiempo que la luz invierte en recorrerla. El trueno, en cambio, llega a nosotros con la lentitud de un sonido, es decir, marchando por el aire a razón de 340 metros por segundo.

El relámpago y el trueno son simultáneos, pues obedecen a una misma causa, que es el rayo, luego será fácil calcular la distancia que media entre la nube y un observador. Bastará medir en segundos, con la mayor exactitud posible, el tiempo transcurrido entre el relámpago y el trueno, y multiplicar este tiempo por 340 metros.

Si se ve estallar el rayo y puede apreciarse el ángulo según el cual se ven los extremos de la ráfaga de fuego, puede calcularse también la separación de las nubes entre las cuales ha estallado, mediante la fórmula

$$s = \frac{\pi}{180} \alpha d,$$

en la cual representan:

s , la separación buscada, en metros;

α , el ángulo observado, en grados;

d , la distancia del observador al punto de la explosión, calculada en metros por el procedimiento anteriormente explicado. Operando así, se hallan para los rayos longitudes de 20 a 30 kilómetros.

Si se admite, como valor aproximado, que la distancia explosiva para que se produzca una chispa en el aire frío, es de 2 milímetros por cada 1000 voltios, resulta una diferencia de tensión entre las nubes tempestuosas verdaderamente enorme e inconcebible para nuestra imaginación.

Parece más racional la hipótesis de considerar el rayo, no como una sola chispa, sino como una serie de chispas que se producen sucesiva o simultáneamente entre diversas partes de una nube o entre diversas nubes próximas unas a otras.

Trueno. — Si el rayo fuese debido a la explosión de una sola chispa, el trueno sería también un solo estampido, como único es el ruido producido por las chispas eléctricas que obtenemos en nuestras máquinas electrostáticas. Pero lejos de ser así, es el trueno una sucesión de ruidos que no pueden atribuirse a ecos distintos, porque sus intensidades son unas veces crecientes y otras decrecientes. El trueno suena siempre acompañado de rugidos que se continúan y se debilitan hasta extinguirse después de algún tiempo.

La multiplicidad de ruidos puede atribuirse a la multiplicidad de chispas que, según hemos dicho, constituyen el rayo, y el rugido que acompaña a

los estampidos puede admitirse que es debido a efectos de ecos que tienen lugar en las nubes mismas.

Efectos de la electricidad atmosférica sobre el suelo. — La mayor parte de los relámpagos que vemos durante una tormenta, corresponden a rayos que saltan de nube a nube y que, por lo tanto, son inofensivos para nosotros.

Pero las nubes tempestuosas determinan otros efectos curiosos sobre la superficie de la tierra en que ejercen su influencia.

La presión electrostática en el suelo, aumenta considerablemente bajo la acción de una nube, hasta el punto de producir efectos de repulsión entre cuerpos ligeros que puedan fácilmente moverse.

El aumento de presión electrostática determina la aparición de penachos luminosos en las puntas agudas que tengan buena comunicación con el suelo. Estos penachos, perfectamente visibles durante la noche en los pararrayos y en los palos de los barcos, son los llamados fuegos de San Telmo.

La densidad superficial de la carga eléctrica inducida sobre el suelo es mucho mayor en los objetos elevados, montañas, edificios, campanarios, etc., luego sobre estos puntos descargará con preferencia el rayo. Los cuerpos conductores están también mucho más expuestos a las descargas atmosféricas; y como conductores deben considerarse para estos efectos los metales que cubren los remates de los

edificios, los árboles cuando están vestidos de hojas verdes, los terrenos húmedos, etc. En cambio, los terrenos secos, los cuerpos aisladores en general, estarán menos expuestos a las descargas eléctricas, porque la densidad superficial de su carga de inducción es mucho menor.

Choque de retroceso. — Cuando una nube ejerce su influencia sobre el suelo, determina en éste una distribución de la carga, completamente definida, con densidades superficiales variables y dependientes en cada punto, de su forma y de su conductibilidad eléctrica, según hemos dicho.

Mientras el estado eléctrico y la posición de la nube no cambien, tampoco cambiará el estado de carga en la porción del suelo inducida por la nube. Si la nube se aleja lentamente, la carga del suelo desaparece lentamente también, sin que las personas experimenten sensación alguna, ni exista peligro para los objetos, edificios, etc.

Pero si la nube cambia bruscamente su estado eléctrico, descargándose total o parcialmente, por un rayo que salte a otra nube, la carga del suelo cambia con la misma brusquedad al cesar el efecto de inducción, y los seres vivos alcanzados por la modificación eléctrica experimentan conmociones que pueden llegar a ser bastante fuertes para ocasionarles la muerte.

Se citan muchos casos de ganados o grupos de personas que sufrieron estas conmociones y murieron a la vez todos los seres. Los cadáveres no presentaban herida alguna en la parte superior de

su cuerpo, y si alguna se encontró, fué siempre en las plantas de los pies. En algún caso, se ha visto también que las herraduras de los animales y los clavos de los zapatos en las personas, fueron arrancados de su sitio y fundidos.

Estos fenómenos constituyen el llamado choque de retroceso.

Efectos del rayo. — Los efectos del rayo son los de una descarga eléctrica, aumentados naturalmente por la grandiosidad del fenómeno, debida a la enorme tensión puesta en juego.

El efecto más grave del rayo es la muerte de los animales heridos por él. Los cadáveres presentan enormes llagas que los surcan de pies a cabeza.

Otros efectos del rayo son también: fusión de metales, inflamación de combustibles y acciones mecánicas, a veces muy notables, sobre los objetos no conductores de la electricidad.

En la célebre *Nota sobre el rayo*, de Arago, publicada en 1837 en el *Annuaire du Bureau des longitudes*, se citan notables casos de efectos producidos por el rayo, y de ellos copia algunos Samin et Bouty en su *Física*.

En noviembre de 1913, Mr. Ch. Vallet publicó un notable trabajo en *L'Electricien* sobre «dos efectos y naturaleza del rayo», en el cual se citan casos muy curiosos.

De los dos aludidos trabajos, entresacamos los siguientes ejemplos:

Cuando el rayo encuentra un camino conductor, generalmente lo sigue sin ocasionar deterioro al-

guno, si el conductor presenta sección suficiente; pero si la sección es escasa, lo reblandece, lo funde o aun lo volatiliza.

En 1807 cayó un rayo en un molino de Lancashire y recorrió una cadena de hierro que se empleaba para subir sacos de trigo y que, por lo tanto, debía ser bastante gruesa. Después de la descarga, la cadena quedó convertida en una pieza completamente rígida, sus eslabones se habían soldado unos a otros.

La catedral de Estrasburgo, por su extraordinaria elevación, fué durante muchos años frecuentemente castigada por las descargas atmosféricas, hasta tal punto, que durante los treinta años siguientes a su construcción se gastaron 90,000 francos en reparaciones, y en diversas ocasiones se llegó a temer por su estabilidad. Se instaló por fin un pararrayos en su parte más alta, y desde entonces no volvió a sufrir descargas, y hasta pareció a los habitantes de Estrasburgo que las tormentas tenían allí menor intensidad que antes.

En julio de 1843 descargó una fuerte tormenta sobre la ciudad y cayeron dos rayos en el pararrayos de la catedral.

La punta de la barra, que era de platino, se fundió en una longitud de cinco a seis milímetros, y el metal fundido corrió por un lado, denotando una fluidez comparable a la de la cera cuando corre por el cirio. La gota de platino se terminó por una superficie redondeada y perfectamente brillante.

Como ejemplo de la preferencia que el rayo mues-

tra por los objetos metálicos, se citan los curiosos casos siguientes.

Durante una tormenta, una señora extendió la mano para cerrar una ventana. En aquel momento cayó un rayo y fundió el brazalete que llevaba en la muñeca, pero tan completamente, que no se encontró luego ni rastro siquiera del metal fundido.

Según Bridone, a una señora (Mme. Douglas) que estaba asomada a una ventana durante una tormenta, le alcanzó un rayo que fundió el alambre de hierro que bordeaba el ala de su sombrero, quemó el sombrero y no causó el menor daño a la señora que lo tenía puesto.

En la Martinica el capitán Dibden marchaba con un grupo de soldados, cuando le sorprendió en medio del campo una lluvia torrencial y una fuerte tormenta. Para guarecerse, se acercaron al muro de una capilla, sobre el cual se recostaron los soldados.

Cayó un rayo y mató a dos de ellos, abriendo en el muro, detrás de las víctimas, un agujero de un metro cuadrado próximamente.

Reconocido cuidadosamente el lugar del suceso, se averiguó que en la parte del muro destruída por el rayo, sobre la cual se apoyaban los soldados muertos, había por el interior de la capilla unos gruesos barrotes de hierro que sostenían un sepulcro.

El rayo puede destruir los cuerpos no conductores que alcanza, haciéndolos pedazos, y en muchos casos, lanzando los pedazos a grandes distancias.

En Swinton, cerca de Manchester, existía una caseta construída de ladrillos, arrimada a un edificio cuyos muros tenían tres pies de espesor y once de elevación. La caseta se empleaba como almacén de carbón mineral. Cayó en ella un rayo, produciendo una fortísima detonación y una inmensa nube de gas sulfuroso, que envolvió durante algunos minutos la caseta y el edificio contiguo.

El muro exterior de la caseta fué arrancado de sus cimientos y transportado íntegro, sin romperse ni volcarse, lejos de su primitiva situación. Uno de sus extremos recorrió 9 pies y el otro 4. El muro estaba compuesto de 7000 ladrillos y pesaría próximamente 26 toneladas.

El campanario de San Brindes, en Londres, termina en una aguda flecha formada por piedras, unidas entre sí por abrazaderas de hierro. Las últimas piezas, están sostenidas por un eje de hierro que atraviesa a todas ellas y que termina en su parte superior por una cruz igualmente de hierro.

En 1764, cayó un rayo en aquel campanario, que recorrió primeramente el eje de hierro, desde la cruz hasta el extremo inferior, sin dejar señal alguna ni sobre el metal ni sobre la piedra, pero en cuanto le faltó el camino metálico para marchar, empezó sus destrozos. Una gran piedra que sostenía el extremo inferior del eje de hierro, presentaba rajas y hendeduras por todas partes. Apareció una gran abertura en todo lo largo de la flecha, como si la chispa hubiera saltado de abrazadera en abrazadera, de las que sostenían las piedras. La acción del rayo no se limitó a la parte exterior del campa-

nario, sino que invadió todas las piezas de hierro que existían en su masa, destrozando al paso las piedras y lanzando lejos algunos de sus pedazos.

En un bosque de Nemours un rayo que cayó en un árbol lo partió en dos pedazos de 5 y 7 metros de largos. El menor, que difícilmente hubieran podido moverlo cuatro hombres, fué lanzado a 15 metros de distancia.

El rayo puede fundir minerales que resisten altas temperaturas. Tal sucede con la arena silíceo, que cuando sufre la acción de la descarga atmosférica presenta en su masa tubos vitrificados, llamados *fulguritas*.

Otra serie de efectos, aun más notables que los anteriores, se han observado en el rayo, y son la impresión de trazos, letras y dibujos en las superficies alcanzadas por él.

En 1847 una señora, en Lugano, sufrió durante una tormenta una conmoción eléctrica, cuyos efectos desaparecieron prontamente, y a lo cual, por tanto, no dió mayor importancia. Pero observó después, con la sorpresa y admiración que son de suponer, que en una pierna se le había grabado el perfil de una flor atravesada por el rayo en su caída. El dibujo no desapareció jamás.

Se cita otro caso análogo ocurrido en los Estados Unidos en 1853, y más recientemente en Francia en el departamento de Seine et Marne. Un aldeano se refugió con su vaca debajo de un árbol durante una furiosa tempestad. Cayó un rayo y mató a la vaca, dejando perfectamente ileso al aldeano. En el pecho del aldeano apareció una mancha cuyo

perfil constituía un verdadero retrato de la vaca muerta.

He aquí otro ejemplo lleno de mística poesía. El 18 de junio de 1889 cayó un rayo en la iglesia de Lagny que alcanzó a las sacras de un altar. Sobre el mantelillo del mismo aparecieron grabadas las palabras de la consagración: *qui pridie quam pateretur... a... in memoriam facietri*, faltando entre ellas las que estaban escritas con tinta diferente, y que seguramente tendría distintas cualidades eléctricas.

Para terminar, copiaremos dos casos notabilísimos de figuras impresas por el rayo, con la particularidad de ser las figuras fosforescentes.

San Ambrosio, San Juan Crisóstomo y San Gregorio, contemporáneos del emperador Juliano, cuentan que hacia el año 360, cuando se preparaban los cimientos para reconstruir el templo de Jerusalén, estalló una violenta tempestad acompañada de temblores de tierra. Los obreros se refugiaron en una iglesia católica de las inmediaciones, sobre la cual cayó un rayo, atravesando seguramente la cruz que coronaba su cúpula. Después de la descarga, aparecieron cruces impresas en los cuerpos y en las ropas de los obreros, llenando a éstos de santa admiración. Pero la admiración llegó a lo sumo cuando al anochecer observaron que las cruces eran luminosas.

Casaubon cita un hecho análogo, acaecido hacia 1495 en la catedral de Wells, en Inglaterra, y el P. Kircher da cuenta de otro, que tuvo lugar en 1660, durante una gran erupción del Vesubio.

Después de todos estos asombrosos efectos del rayo, no explicados, mal podemos darnos por satisfechos con nuestros escasos conocimientos sobre electricidad atmosférica, y tendremos que repetir la frase de Plinio: *«estas cosas están aún ocultas en la majestad de la naturaleza»*.

Para justificar nuestro retraso en esta serie de conocimientos, dice Mr. Vallet en su trabajo antes citado:

«La razón está en la naturaleza misma de las cosas, que en esta parte de la Física limitan el método de estudio a la observación solamente, con exclusión de todo experimento. Fácilmente se comprende que nos es imposible provocar artificialmente una tormenta en condiciones apropiadas para el estudio. Hay que contentarse, por lo tanto, con observar y explotar, de la mejor manera posible, el raciocinio lógico, inductivo, y la analogía. Estas condiciones son, a no dudarlo, de manifiesta inferioridad para una ciencia física, y forzosamente han de entorpecer su progreso.

CAPÍTULO II

EL PARARRAYOS

Principios fundamentales. — La diversidad de efectos del rayo, estudiados en el capítulo anterior, prueban hasta la evidencia el origen electrostático de estos fenómenos.

Para proteger un edificio contra los destructores efectos del rayo, se construyen dos tipos de pararrayos, cuyos fundamentos científicos vamos a exponer.

Es sabido que la carga de un conductor electrizado tiene por expresión

$$q = s d,$$

siendo q la carga, s la superficie y d la densidad superficial.

Si la superficie es esférica, es decir, de curvatura uniforme, la densidad es la misma en todos sus puntos; pero en el caso contrario, la densidad crece con la curvatura, siendo mucho mayor en las partes angulosas o apuntadas.

Si un cuerpo tiene una punta perfectamente aguda, en ella *la curvatura es infinita* y, por lo tanto, infinita es también la densidad superficial de la carga eléctrica en este punto.

Una carga limitada, no puede producir una densidad infinita, y al tender a producirla, *la carga del cuerpo se escapa por la punta*.

Esta es la conocida *propiedad de las puntas*.

Otra de las cuestiones fundamentales que queremos recordar, es la siguiente:

La carga eléctrica de un conductor se sitúa exclusivamente en su superficie, de donde se deduce que si cargamos un conductor hueco, directamente o por la influencia de un campo, el espacio comprendido en el interior del conductor se hallará absolutamente exento de toda manifestación eléctrica y a él no llegará ninguna influencia exterior. El conductor hueco, podríamos decir que ejerce funciones protectoras sobre su espacio interior, constituyendo una verdadera *pantalla eléctrica*.

Para proteger un espacio limitado contra las influencias eléctricas exteriores mediante una pantalla, no es preciso que ésta sea una superficie conductora continua, basta con que esté formada por una red o malla de hilos conductores.

Pararrayos de punta sencilla. — Un pararrayos es sencillamente un conductor metálico, continuo, perfectamente unido a tierra por su extremo inferior y terminado en punta aguda en su extremo superior (fig. 2).

El final del conductor, formado por una barra

rígida *A D*, se coloca sobre el edificio que se quiere proteger, procurando que su extremo llegue a la mayor altura posible.

Con lo dicho se comprende que el pararrayos es una punta que se une al edificio o porción del suelo en que se apoya, con objeto de procurar su descarga continua. La carga del suelo es siempre de signo contrario a la carga de la nube en su cara inferior, luego el fluido que sale por la punta del pararrayos descarga, como hemos dicho, el edificio y a la vez anula la carga de la nube.

Esta es la función del pararrayos.

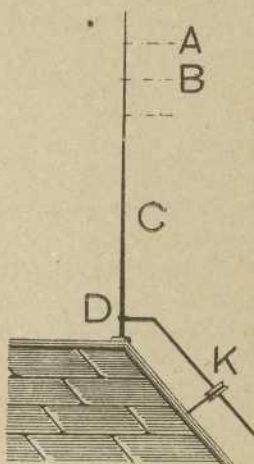


Fig. 2

Barra. — La parte final del conductor, o barra rígida, es lo que constituye el pararrayos propiamente llamado así.

El rayo puede llegar a fundir y aun a volatilizar las pequeñas masas metálicas, según hemos dicho al hablar de sus efectos; luego la barra del pararrayos deberá tener sección suficiente para que no se produzca un gran efecto Joule.

Generalmente se considera bastante una sección de hierro de forma cuadrada con 15 milímetros de

lado, o de forma circular con 17 milímetros de radio.

Estas secciones, aceptables por sus condiciones eléctricas, pueden aumentarse todo cuanto convenga para atender a sus buenas cualidades mecánicas. Se construye la barra de hierro *CD* de forma troncocónica, con los 15 milímetros de diámetro en su base superior y un diámetro en la base inferior tanto mayor, cuanto mayor sea la altura asignada. La altura se fija ordinariamente en 3 a 5 metros.

Sobre la barra de hierro se atornilla un cilindro de cobre *B*, de 2 centímetros de diámetro y 20 ó 25 de longitud, terminado por un cono *A*, cuya punta no debe ser exageradamente aguda. Si la punta es muy aguda, la carga que se escapa por ella, que llega a ser una verdadera corriente, la funde prontamente y la convierte, de punta aguda, en ancho y redondeado botón.

Se intentó evitar esta fusión construyendo la punta de metal menos fusible, de oro o plata; pero si así resistía a la descarga tranquila que procura el pararrayos, se fundía también la primera vez que sufría una descarga violenta en forma de rayo.

Si las puntas no son muy agudas, dificultan la descarga continua y tranquila de que hemos hablado anteriormente, tanto, que en la obscuridad de la noche no se ve sobre ellas el penacho luminoso que tal descarga ocasiona. Sin embargo, se considera el pararrayos como aparato de protección eficaz, con tal que la corriente de descarga, cuando

estalla el rayo, encuentre camino a tierra, continuo, sencillo y de sección suficiente.

Pararrayos de puntas múltiples. — Hemos dicho que el pararrayos procura una descarga continua, tanto más intensa cuanto más aguda es la punta de su barra; pero al temor a la fusión del metal hace que no se exagere esta forma afilada.

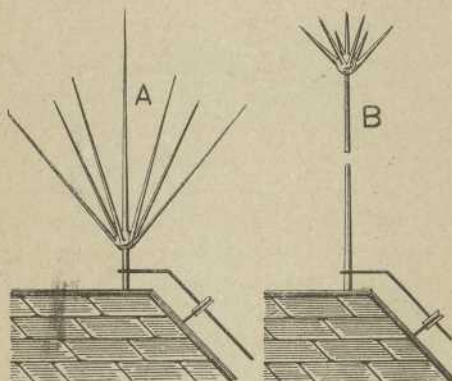


Fig. 3

Puede conseguirse una descarga continua intensa multiplicando las puntas terminales de la barra.

Según Gavarret, conviene que estas diversas puntas estén orientadas en todas direcciones para evitar que a la barra lleguen rayos lanzados lateralmente por fragmentos de nubes, que el viento puede colocar cerca de la barra y más bajos que su punta

Las disposiciones adoptadas son las dos representadas en la figura 3. La *A* se compone de siete barras, divergentes de un punto, formadas todas ellas de hierro, llevando cada una un remate de cobre, como el descrito para los pararrayos de punta sencilla.

La disposición *B*, menos eficaz, pero más sencilla, consiste en una sola barra de hierro, llevando en su extremo una esfera de cobre armada de puntas.

Las puntas múltiples tienen también la ventaja de dividir la corriente de descarga, sea la descarga continua y tranquila, o sea la descarga brusca debida al rayo, y, pudiendo contar con esta división de corriente, se puede afilar cada una de sus puntas, mucho más que la punta única del pararrayos sencillo.

El empleo de los pararrayos de puntas múltiples se extiende rápidamente en todos los países, y en algunos, como Bélgica, llega a ser el tipo único empleado.

Pantallas eléctricas. — El segundo tipo de pararrayos que nos proponíamos describir, es la pantalla eléctrica, cuyo fundamento quedó establecido al principio de este capítulo.

Como allí dijimos, no es preciso que la cubierta protectora del edificio sea continua, sino que es suficiente una red de conductores de grandes mallas, en buena comunicación eléctrica con todas las partes metálicas del edificio y con tierra.

Se reúnen las ventajas de los dos sistemas pro-

tectores, en el sistema Melsens, que representamos en la figura 4.^a, y del cual, el autor dice lo siguiente:

«En lugar de emplear una sola barra, larga y aguda, de instalación costosa, es más ventajoso emplear penachos de 6 ó 7 puntas, de un metro a 1'50 ó 2 de altura a lo sumo, y multiplicar su número a lo largo de varios conductores situados

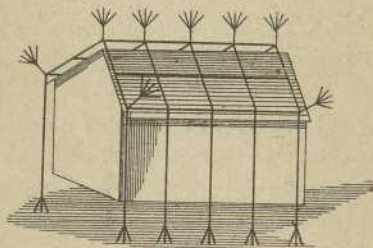


Fig. 4

sobre la cubierta del edificio, lo cual puede hacerse a poca costa.» En efecto, diez penachos de cobre con sus 60 ó 70 puntas delgadas, no cuestan tanto como una sola barra del antiguo modelo, y si se juzga suficiente el hierro galvanizado terminado en punta, 200 ó 300 puntas, diseminadas por las cubiertas del edificio en forma de penachos de 5, 6 ó 7 puntas, no costarán tanto como una sola barra de regular altura. Lo corriente es construir los penachos bastante cortos, hasta de medio metro, con las puntas inclinadas a 45 grados y extendidas en forma de abanico o canastillo alrededor de una

punta central más larga; estas puntas tienen de 6 a 8 milímetros de diámetro en la base. Se pueden hacer de alambre, de cobre o de hierro galvanizado, y en este último caso se terminan en puntas agudas de cobre.

M. Melsens ensayó su sistema con completo éxito en el palacio municipal de Bruselas, edificio que había sido castigado repetidas veces por el rayo. Los penachos, colocados en todas las partes alta y salientes del edificio, están unidos entre sí por una red de conductores, que forman una verdadera jaula, de espesor compatible con la estética. La comunicación con tierra se establece mediante las cañerías del gas y las de las aguas, limpias y sucias, resultando, por lo tanto, muy segura la comunicación con el suelo.

Cables. — Las barras de los pararrayos, o los conductores de las pantallas eléctricas, deben estar unidos a un cable conductor que lleve las descargas a tierra. Este cable se forma, generalmente, con hilos de hierro galvanizado, para evitar la oxidación, procurando recubrir perfectamente los empalmes con soldadura. Alguna vez se forman estos cables con hilos de cobre y, en tal caso, su sección total puede ser algo menor, en virtud de la mayor conductibilidad del metal.

Pueden señalarse como diámetros medios, 15 milímetros para el hierro y 10 para el cobre.

Se admite universalmente que las descargas atmosféricas son oscilantes, es decir, rápidamente alternativas, llegando sus frecuencias a 100000 ó

más períodos por segundo. Con estas frecuencias tan elevadas, las constantes eléctricas de los conductores son muy diferentes de las normales, y, sobre todo, la impedancia alcanza valores considerables.

De aquí se deduce que el cable de descarga de un pararrayos debe ser lo más recto posible, evitando cuanto se pueda los ángulos agudos, y en absoluto las vueltas.

El cable del pararrayos se conduce generalmente apoyado en aisladores de vidrio o porcelana; pero tal precaución resulta perfectamente inútil, puesto que la descarga seguirá siempre el camino metálico y no el de la piedra, yeso o madera que pudieran ofrecerle las distintas partes del edificio protegido.

Conforme con esta observación, se instalan hoy algunos pararrayos empleando como conductor de descarga una cinta de cobre, que se clava sencillamente en la cubierta y paredes del edificio, sin más cuidado, que el de evitar ángulos agudos y vueltas que pudieran darle efecto de autoinducción.

Aconsejan todos los autores que se una eléctricamente al cable del pararrayos todas las partes metálicas del edificio, y tal práctica contradice también el empleo de los aisladores para la instalación del cable.

El cable del pararrayos ha de tener una buena comunicación con tierra; por lo tanto, todas las instalaciones eléctricas del edificio deberán aislarse cuidadosamente del cable del pararrayos.

Para evitar soldaduras, que siempre son puntos flacos en un conductor eléctrico, se prescinde algu-

nas veces de la barra de hierro del pararrayos y se une directamente la pieza final de cobre al cable de descarga. Con tal disposición, para que la punta de cobre resulte elevada, se sostiene con un soporte *A B* (fig. 5), vertical,

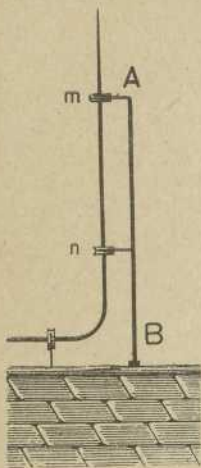


Fig. 5

de hierro y con abrazaderas *m, n*, por las cuales pasa el cable.

Los barcos están muy expuestos a las descargas atmosféricas, porque las puntas de sus palos son puntos muy elevados en medio de una superficie perfectamente llana, la superficie de las aguas. Se instalan, por lo tanto, pararrayos en lo alto de sus palos, empleando como barras los tipos ordinarios usados en los edificios. Respecto a conductor de descarga, pueden emplearse cables o varillas

metálicas; pero es preferible la cinta de cobre arrollada en hélice sobre el palo, aconsejada por M. Harris. De este modo, si el palo se rompe, cosa frecuente durante los temporales, y desaparece la barra del pararrayos, siempre queda un conductor metálico, tan alto como el trozo de palo que quede, para ofrecer camino a la descarga atmosférica que pudiera tener lugar.

A propósito del peligro en que están los barcos respecto a los rayos, refiere Arago que la fragata

inglesa *Dryad* sufrió en la costa africana grandes tormentas. La descarga continua por los pararrayos era tan intensa, que los conductores de descarga se hacían luminosos durante la noche y producían un ruido semejante al del agua hirviendo con presión.

Planchas de tierra. — La principal condición que debe tener un pararrayos es que su cable de descarga tenga buena comunicación con tierra. Si esta condición falta, el pararrayos, lejos de ser una protección, es un peligro.

Su extremo o extremos serán puntos elevados, más próximos a la nube que los demás, y sobre los cuales descargará con preferencia el rayo. Si no tiene buena comunicación con tierra a donde conducir la descarga, será un *llamarrayos* en lugar de pararrayos.

Para que el cable tome tierra, debe hacerse un pozo especial, bastante profundo para alcanzar una capa de tierra constantemente húmeda y, mejor aún, una masa de agua que persista en las épocas de mayor sequía.

Cuando esto no puede conseguirse, se mejora la conductibilidad del suelo rellenando el pozo de carbón vegetal o cok, que, además de ser buen conductor, preserva el hierro contra la oxidación.

En el pozo penetra el cable del pararrayos terminando en él mediante el pierdefluidos o plancha de tierra. Esta plancha se sienta sobre un lecho de carbón de cok de medio metro de espesor y se cubre con otra capa de la misma altura.

La plancha suele ser una lámina de metal inoxidable, cobre o cinc, que tenga próximamente 2'5 milímetros de espesor por un metro cuadrado de superficie y cuya forma es generalmente estrellada, con picos afilados.

Modernamente se emplean, en vez de planchas planas, unos conos o cilindros constituídos por una plancha de cobre perforada, con sus bases cerradas por tela metálica, y cargados en todo su interior con granalla de cok. Estos conos o cilindros se colocan verticalmente, colgados del cable, y el hoyo preciso para su colocación resulta mucho más estrecho que el necesario para una plancha plana de igual superficie; por lo tanto, se simplifica la obra de instalación y puede darse mayor profundidad al pozo.

Algunas veces se substituye el pierdefluidos por un trozo del mismo cable, destorciendo sus hilos para mejorar el contacto con el suelo. Es claro que este procedimiento será aceptable cuando los hilos del cable son inoxidables, de cobre por ejemplo, y el suelo es húmedo o muy buen conductor.

M. Ruppel recomienda en lugar de las placas de tierra, el empleo de una canalización metálica, larga, colocada a una profundidad de 30 a 40 centímetros, alrededor del edificio, a la cual vayan a empalmarse todos los cables de descarga. Se asegura el buen contacto con tierra de esta canalización, poniéndole un apéndice metálico que penetre hasta la capa de las aguas subterráneas permanentes.

En los pararrayos instalados en los barcos, la

toma de tierra se efectúa uniendo el cable de descarga a la plancha del blindaje, y si no existe blindaje, se destuerce un pedazo del cable y se hace que vaya constantemente sumergido en el agua.

Zona de protección. — Generalmente se admite que un pararrayos protege eficazmente el espacio limitado por un cono, cuyo vértice está en la punta del pararrayos y cuya directriz es un círculo que tiene por radio la altura del pararrayos mismo.

Se llega a tomar como radio de la directriz la altura multiplicada por 1, 2 ó 3, formando lo que se llama una protección de primer, segundo o tercer grado. El primer límite, como menor, es el más seguro.

Se considera que a los 16 metros de la vertical del pararrayos el efecto de éste ya es nulo.

Instalación de pararrayos. — La zona de protección señalada en el párrafo anterior da el medio de calcular el número de barras necesarias en el tejado de un edificio para su completa protección.

Supongamos conocido el tejado de un edificio y sea éste el representado en la figura 6.

Fijaremos arbitrariamente la altura a de las barras que vamos a emplear. Con un radio a o $2a$ ó $3a$, según el presupuesto disponible, trazaremos en el tejado una serie de circunferencias, de manera que se corten unas a otras y no dejen descubierto ningún punto.

Cuando el tejado del edificio no está en un plano

único y presenta cúpulas o torrecillas, más altas que el nivel general, se da: a las torres o cúpulas, una protección de primer grado; a los remates del tejado general, una protección de segundo grado, y a los aleros, una protección de tercero.

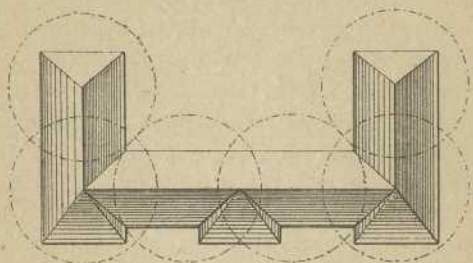


Fig. 6

Si el edificio no es muy alto, los pararrayos puestos sobre su cubierta son suficientes para su completa protección; pero cuando se trata de edificios de altura considerable, deben protegerse también las fachadas laterales, especialmente en los sitios donde existan aristas vivas, adornos puntiagudos, piezas metálicas, etc., etc. Se han registrado muchos casos de edificios heridos lateralmente por el rayo, debido a la presencia de nubes más bajas que los tejados del edificio.

Esta protección se consigue mediante barras o penachos iguales a los colocados en las partes altas, instalados a diferentes alturas, teniendo sus puntas inclinadas u horizontales y llevando sus conductores de descarga lo mismo que los primeros.

Todos los pararrayos que existan en un edificio deben estar unidos entre sí mediante conductores, análogos a los cables que bajan hasta los pozos. Estos conductores se instalarán con los mismos cuidados que los cables, evitando, sobre todo, los ángulos agudos, y más aún las vueltas, que pudieran darle efecto de autoinducción.

Es conveniente que en una instalación de pararrayos existan varios pozos para la toma de tierra. Se aconseja que existan tantos como barras, si bien esto puede ser algo exagerado. Los diversos pozos deben estar repartidos de manera que una descarga sufrida por una cualquiera de las barras encuentre camino a tierra lo más breve posible. Si conviniera llevar a un mismo pozo varios cables de descarga, deberán llegar todos hasta él, y si se reúnen en un solo cable, éste deberá tener una sección que, próximamente, sea la suma de las secciones de los cables concurrentes.

M. Ruppel dice que no pueden darse reglas fijas para la instalación de pararrayos, porque sus disposiciones deben variar de un caso a otro, según las condiciones del edificio que se quiere proteger. El arquitecto que ha proyectado el edificio y que conoce su forma, sus dimensiones, los materiales empleados, etc., es el único competente para decidir las condiciones de la instalación.

Prueba del pararrayos. — Por bien instalado que esté un pararrayos, conviene vigilarlo y comprobar su estado de vez en cuando, sobre todo por lo que se refiere a su plancha de tierra.

Las barras o penachos, los conductores que las unen y los cables de descarga, están instalados de manera que puede verse fácilmente su estado. Las tomas de tierra son más difíciles de vigilar, y, por lo tanto, para juzgar su estado deben efectuarse pruebas eléctricas que nos aseguren su buena comunicación con el suelo.

Cuando la instalación tiene más de dos tomas de tierra, pueden probarse todas ellas de dos en dos

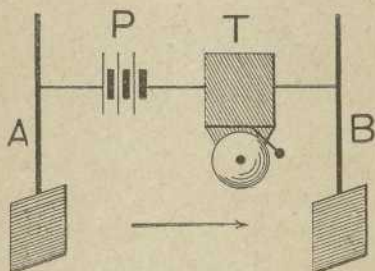


Fig. 7

de la manera siguiente: Entre dos tomas de tierra *A* y *B* (fig. 7) se intercala una pila *P* y un timbre *T*, que debe sonar en cuanto se establezcan los contactos. Si no suena, es que alguna de las tomas *A* o *B* tiene una comunicación imperfecta con el suelo. Se combina cada una de éstas con otra toma de la instalación, y determinaremos cuál de las dos es la averiada.

Claro es, que para hacer esta prueba no deben estar unidos entre sí los distintos pararrayos que existan en el edificio.

Cuando la instalación no tiene más que una toma de tierra, para probarla hay que procurarse una segunda tierra, que puede ser una cañería de agua o gas, y entre las dos efectuar la misma prueba que en el caso anterior.

Estas comprobaciones no deben realizarse en tiempo tempestuoso, porque al tocar con nuestras manos la barra o el cable puede establecerse una corriente a través de nuestro cuerpo, de tierra al cable o del cable a tierra, cuando la plancha de tierra no tenga buena comunicación con el suelo.

Existe también el enorme peligro de que el pararrayos sufriera una descarga violenta mientras estamos tocando el cable.

Eficacia del pararrayos. — Como hemos dicho, el pararrayos constituye una protección eficaz de los edificios, la única que científicamente puede aconsejarse siempre que su instalación se ajuste a las reglas anteriores; pero constituye un serio peligro cuando su instalación es defectuosa.

En *L'Electricien* de abril de 1912 se publicó una nota referente a un trabajo de M. Ruppel, en la cual se dan las noticias estadísticas siguientes:

En Baviera se han formado estadísticas de accidentes ocasionados por el rayo, observándose que los rayos que producen incendios caen con preferencia fuera de las ciudades. De 181 incendios ocasionados por esta causa, sólo dos han tenido lugar en la ciudad.

De 1400 rayos registrados sin incendio, en 250 de ellos los canalones del tejado fueron suficientes

para conducir las descargas eléctricas a tierra, salvando completamente el edificio de sus efectos destructores. En 80 casos, el efecto de los canalones fué notado, pero resultó incompleto, y en 1070 casos, los edificios resultaron perjudicados, como correspondía a su falta de protección.

Respecto a los lugares preferentemente alcanzados por el rayo, dice M. Ruppel que de 9500 rayos observados durante quince años, el 54'5 % cayeron en veletas de campanarios; el 25'5 %, en chimeneas; el 13'5 %, en tejados, y el 6'5 %, en fachadas laterales.

Los desperfectos ocasionados por los rayos durante los quince años dichos, alcanzaron la enorme cifra de 12500000 francos, y de ellos, sólo un 3 % correspondió a las ciudades, quedando el 97 % para los campos. Tal desproporción es indudablemente debida al empleo de pararrayos en los edificios de las ciudades y a la escasez de estas protecciones en las localidades rurales.

Protección de edificios sin pararrayos. — Según M. Ruppel, uniendo los tubos de desagüe y el alero de una casa por conductores metálicos que pasen por el tejado, siguiendo las aristas más agudas y unidos a los canalones y chimeneas, el rayo encuentra siempre piezas metálicas que le ofrecen camino continuo a tierra. Los conductores pueden constituirse por láminas de hierro galvanizado que, además de tener gran solidez mecánica, presentan mucha superficie.

A propósito de edificios protegidos sin pararra-

yos, cuenta Mr. Vallet, en *L'Electricien* de noviembre de 1913, el siguiente caso notable:

«Un erudito alemán, Michaëlis, para demostrar que los hebreos conocían ya la electricidad atmosférica, cita como argumento lo sucedido en el templo de Jerusalén, en el cual, durante miles de años, no cayó nunca ningún rayo. Por de pronto, tal afirmación no está absolutamente comprobada.

»Arago hace notar que los escritores antiguos relatan siempre con gran proligidad en sus escritos los accidentes de este género sufridos por sus monumentos públicos, y puesto que nada dicen del templo de Jerusalén, habrá que admitir la afirmación de Michaëlis; en este monumento no cayeron rayos, sin que esto pruebe que sus constructores o conservadores conocieran la electricidad atmosférica.

»Se empleó en la construcción del templo gran profusión de metales, ordinarios y preciosos. Según el historiador Josefo, el exterior estaba revestido de gran número de pesadas planchas de oro. El techo estaba cubierto de un verdadero bosque de flechas doradas, y para espantar los pájaros, que lo hubieran ensuciado con sus excrementos, se pusieron, además, unas barras puntiagudas de oro o doradas.

»Existía una red de conductos metálicos para las aguas de lluvia, comunicando todos ellos con cisternas o con capas subterráneas de agua. Además, existiendo gran cantidad de metal, de oro principalmente, en los muros, vigas, suelos y puertas, todo el edificio resultaba cubierto por una

gran red metálica en buena comunicación con tierra.

»Desde Salomón, que lo levantó, hasta Nabucodonosor, en cuyo tiempo se consumó su ruina, ni desde Herodes, que lo hizo reparar, hasta su destrucción definitiva por los romanos, en tiempo de Tito, este templo nunca fué herido por el rayo.

»La casualidad hizo que se construyera un pararrayos; pero en ningún detalle consta que la instalación de tan numerosas puntas obedeciera a una idea científica. El historiador Josefo hace constar terminantemente que el motivo de tanta barra fué únicamente el auventar los pájaros. Si hubiera habido otra idea, constaría; y si la construcción hubiera sido científica, teniendo por objeto la protección contra el rayo, al ver el éxito obtenido, inmediatamente se hubiera imitado, simplificado y vulgarizado. No habiendo nada de esto, es seguro que la constitución del pararrayos fué puramente casual.»

Lo anteriormente transcrito prueba dos extremos: que el empleo del pararrayos no fué conocido por los antiguos, y que las condiciones especiales de algunos edificios, los hacen inmunes respecto a las descargas atmosféricas, como si estuvieran protegidos por una perfecta instalación de pararrayos.

Energía de la descarga atmosférica. — Las descargas atmosféricas son de corriente escasísima, pero de muy alta tensión, y la energía de la descarga se ha de disipar transformándose una parte en radiaciones eléctricas y otra parte en calor.

La parte disipada bajo la forma de radiaciones, es tanto mayor cuanto más elevada es la frecuencia. Según el *Engineering News*, de Nueva York, en la parte de cobre del pararrayos, con una descarga que alcance un millón de períodos por segundo, la cantidad de energía radiada es quizás cincuenta veces mayor que la transformada en calor.

El calor desarrollado en el cable del pararrayos se disipa fácilmente, porque el cable es desnudo y su camino exterior, por tejados y fachadas, resulta siempre muy ventilado.

La energía transformada en radiaciones constituirá ondas electromagnéticas que afectarán a las estaciones de telegrafía sin hilos situadas a su alcance, produciendo ruidos perturbadores de la recepción. Los radiotelegrafistas distinguen perfectamente los *ruidos atmosféricos* de la transmisión regular, sobre todo si ésta se verifica por los procedimientos modernos de chispa sonora.

Se admite que la descarga a lo largo del conductor formado por la barra y el cable del pararrayos obedece a las características de resistencia óhmica, autoinducción y capacidad del conductor; luego la longitud de onda nacida en él podrá calcularse por los medios conocidos en telegrafía sin hilos, es decir, relacionándola con la longitud del conductor.

Si admitimos que la vibración en el conductor tiene lugar al cuarto de onda, o sea, si la longitud de onda λ es cuádruple de la de conductor l , la frecuencia será

$$f = \frac{3 \times 10^8}{4l} ;$$

de manera que si el pararrayos y su cable alcanzan una longitud de 30 metros, la frecuencia será

$$f = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 30} = 2500000 \text{ períodos.}$$

Otros autores, en cambio, creen que la longitud de onda obedece a la distancia entre la nube y la punta del pararrayos; en este caso los valores de l de la fórmula anterior serán mucho mayores, y, por lo tanto, los de f serán menores.

Una nube situada a 600 metros sobre el pararrayos produciría una oscilación de frecuencia

$$f = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 600} = 125000 \text{ períodos.}$$

SEGUNDA PARTE

Protección de líneas eléctricas

CAPÍTULO I

CLASIFICACIÓN DE LAS SOBRETENSIONES

Necesidad de las protecciones. — En la primera parte de este libro hemos estudiado sistemas de protección para los edificios, que casi pueden garantizarse como de completa eficacia, cuando su instalación es perfecta.

En el actual estado de la ciencia eléctrica hay algo más que los edificios cuya protección contra las descargas atmosféricas nos interesa también grandemente, y es la línea eléctrica, sea de telegrafía, de telefonía, de luz o de fuerza.

Hablando de estas protecciones, dice Mr. Claude, a quien antes de ahora hemos ya citado: «Hay casos en que la lucha contra el rayo es más difícil porque no parece sino que nos hayamos empeñado en meterlo en nuestra casa. Las aplicaciones de la electricidad son precisamente las que nos han conducido a tales valentías.

»Los alambres telegráficos que cruzan los campos y que por su inmenso desarrollo son testigos de tantas tempestades, son muchas veces alcanzados por el rayo. En muchos postes telegráficos se conservan indelebles señales de tales caricias. Pero como la descarga eléctrica ha de seguir forzosamente el camino que le ofrece el alambre metálico, llegaría si se le dejase, hasta los mismos aparatos, donde los pobres telegrafistas serían sus víctimas inocentes.

»Del mismo modo, las canalizaciones aéreas empleadas para la distribución de energía eléctrica pueden producir consecuencias iguales o mayores.

»Y no hay que pensar en suprimir la continuidad metálica ni en uno ni en otro caso, porque al buscar la seguridad perderíamos el objeto de la canalización.

»De aquí se deduce que sería muy desagradable ser telegrafista o consumidor de electricidad si los ingenieros no hubiesen inventado un obstáculo para disponerlo entre la canalización exterior y la de nuestra casa, que resulte fácilmente franqueable a la corriente útil, e infranqueable para la electricidad atmosférica.»

Mientras las únicas aplicaciones eléctricas que exigían largas líneas eran la telegrafía y la telefonía, la protección contra el rayo era relativamente sencilla. El alambre telefónico, con su poco diámetro, presenta gran resistencia, y el alambre telegráfico, de hierro, presenta gran resistencia y gran autoinducción. Estas cualidades hacen que las líneas de telecomunicación sean caminos muy poco

apetecibles para las enormes frecuencias de las descargas atmosféricas.

El perfeccionamiento alcanzado durante los últimos años en la construcción de generadores de corriente alterna y transformadores estáticos, debido principalmente a los buenos aislantes fabricados, ha hecho perder el miedo a las altas tensiones y como consecuencia, ha resuelto el problema de la transmisión de energía a distancia. Las fuerzas naturales se recogen donde se producen y se utilizan donde conviene. Vemos así recoger energía en los saltos de agua del Pirineo, transformarla y transmitirla, para utilizarla luego en Barcelona; recoger energía en los saltos del Júcar y enviarla a Madrid, y tantas y tantas otras transmisiones de esta misma naturaleza. Podemos decir que, para estos problemas, ya no hay distancias; pero la solución exige el establecimiento de largos hilos de cobre, no tan delgados como el negociante desearía, mucho menos resistentes que los conductores telegráficos y telefónicos, y, como consecuencia, presentando fenómenos muy diferentes de los que conocíamos en las redes de telecomunicación.

Además, el cruce de conductores, o la simple influencia de un conductor sobre otro, es lamentable en la telecomunicación por la paralización que ocasiona al servicio de explotación, pero no temible por sus efectos. En el caso de los conductores de alta tensión, las consecuencias son más graves. El hilo de cobre, que mece blandamente el viento y parece inofensivo, lleva en su seno una enorme fuerza, constituye un serio peligro, y sus averías

pueden ocasionar la destrucción, el incendio y la muerte.

Es preciso, pues, que nuestras líneas de tensión industrial estén protegidas contra los destructores efectos de la electricidad atmosférica; contra los peligros que representan los contactos o influencias de líneas próximas y contra los defectos, averías o irregularidades que puedan presentarse en nuestra misma red, bien en las líneas, bien en las centrales de generación o transformación, o bien en casa del abonado.

Todas estas causas dan lugar a diferencias de potencial peligrosas, llamadas *sobretensiones*, sea entre dos puntos de una línea o máquina, entre dos líneas, o entre una línea y el suelo.

La protección deseada se consigue con los aparatos llamados pararrayos y limitadores de tensión y de corriente, cuyas formas apropiadas para líneas industriales vamos a estudiar.

Sobretensiones que nacen en la red. — Las sobretensiones que se presentan en las redes, con independencia de toda causa exterior, pueden tener por origen: 1.º, grandes variaciones en el amperaje producido por las máquinas; 2.º, efectos de resonancia; 3.º, el llamado *efecto Ferranti*, y 4.º, cambios bruscos de velocidad en las máquinas generadoras o transformadoras de la corriente.

VARIACIÓN DE AMPERAJE. — Es claro que cuando se abre o se cierra bruscamente un circuito, se produce gran variación de amperaje.

Si una línea de capacidad C y autoinducción \mathcal{L} funciona con una tensión de V voltios y una corriente de I amperios, el abrir o cerrar bruscamente su circuito, aparece instantáneamente animada por una sobretensión V_0 , relacionada con la tensión normal mediante la fórmula debida a Seibt:

$$V_0 = \sqrt{V^2 + \frac{\mathcal{L}}{C} I^2}$$

Esta fórmula hace ver que la sobretensión peligrosa será tanto mayor cuanto mayor sea la tensión normal, la autoinducción del circuito y la corriente que lo recorre. Será menor, cuanto mayor sea la capacidad.

Al establecer la fórmula anterior se ha supuesto que la ruptura o el cierre del circuito son absolutamente instantáneos, lo cual no sucede nunca en la práctica, porque el arco que se inicia siempre entre las piezas metálicas del interruptor quita brusquedad a la maniobra. De aquí se deduce que los valores calculados mediante la fórmula de Seibt son siempre algo superiores a los que pueden presentarse en la práctica.

EFEECTO DE RESONANCIA. — Recordemos lo que se entiende por resonancia.

Sabemos que un tubo sonoro, una cuerda de instrumento musical, una placa vibrante, tienen cada uno un período propio de vibración, y que si en sus proximidades se produce un sonido del mismo período, el tubo, la cuerda, o la placa, em-

piezan a vibrar *reforzando* el sonido producido. Este fenómeno de resonancia en acústica tiene su análogo en electrotecnia.

Un circuito tiene un período propio de vibración que depende de sus constantes de autoinducción y capacidad; cuando por él circule una corriente alterna del mismo período, su tensión vibratoria sufrirá un *refuerzo* enteramente análogo al del sonido, pudiendo llegar a alcanzar valores peligrosos. Este fenómeno eléctrico se llama resonancia.

EFFECTO FERRANTI. — Se llama así a la aparición de tensiones elevadas en el extremo de un cable que comunica con el generador y no transmite corriente a receptor alguno, es decir, un cable *cargado en vacío*. Este efecto es producido por las fuerzas electromotrices debidas a la autoinducción y a la capacidad.

CAMBIOS BRUSCOS DE VELOCIDAD. — Esta causa de aparición de sobretensiones pertenece por completo a la marcha mecánica de los generadores o transformadores rotatorios, y sobre ella no debemos insistir en un estudio eminentemente electrotécnico como el que hacemos, debiendo suponer que las máquinas marchan siempre de un modo completamente normal.

Sobretensiones que no nacen en la red. — Las sobretensiones de origen exterior producen efectos perniciosos en las líneas y máquinas, que dependen muy principalmente de la frecuencia con que

llegue la corriente extraña. Clasificaremos, por lo tanto, las sobretensiones de origen exterior en los grupos siguientes:

1.º *Cargas estáticas*, debidas a tensiones continuas, es decir, de frecuencia nula.

2.º *Sobretensiones de alta frecuencia*, debidas a tensiones alternativas con 20000 o más períodos por segundo.

3.º *Sobretensiones de baja o media frecuencia*, producidas por tensiones alternativas con menos de 20000 períodos por segundo.

CARGAS ESTÁTICAS. — Estas cargas, de forma continua, que aparecen en los conductores, son debidas a la electrización: 1.º, por la proximidad de cuerpos electrizados, como son las nubes tempestuosas y las que producen el granizo; 2.º, por las variaciones bruscas de temperatura sufridas simultáneamente por el conductor en las distintas regiones de su recorrido, lo cual tiene lugar sobre todo durante los meses de julio y agosto al aparecer y ocultarse el sol; 3.º, por los bruscos descensos de nivel en el trazado de la línea, lo cual hace que grandes longitudes de conductor estén bajo la acción de capas atmosféricas de muy distinto potencial.

Según un estudio de Adendorff, del que da cuenta *L'Electricien* de octubre de 1912, producen también cargas estáticas en los conductores aéreos la nieve, el hielo, el viento y el polvo.

Cualesquiera de estas causas es muchas veces

suficiente para sacar del conductor aislado chispas de gran longitud.

Cuando la carga estática da al conductor tensión suficiente con relación a la tierra, salta un chispazo en un punto débil del circuito, que generalmente es una máquina o un pararrayos.

Si la carga estática es debida a la proximidad de una nube, la electrización del hilo es muy diferente, según que la nube tenga una dimensión paralela a la línea, comparable o no comparable con la longitud de la línea. Con nubes tan largas como la línea, ésta se carga toda ella de signo contrario a la nube. Con nubes cortas, la electrización del hilo es de signo contrario a la nube, frente a la nube, pero del mismo signo, en el resto del conductor.

Respecto a la electrización de nuestra atmósfera, se sabe hoy día que durante el buen tiempo la atmósfera se encuentra siempre a un potencial superior al de la tierra, y que este potencial aumenta con la altura a razón de 100 ó 150 voltios por metro, término medio, pero puede aumentar a razón de 300 ó 400. En tiempo de lluvia, el potencial de la atmósfera es negativo y se halla sometido a grandes y bruscas variaciones.

Vialay, apoyándose en experimentos realizados en 1911, asegura que durante las tempestades, la electrización del aire varía a razón de + 6000 ó - 6000 voltios por metro de altitud, llegando en casos excepcionales a variar a razón de + 10000 ó - 10000.

La electrización depende, como se ve, del estado

atmosférico y cambia con las horas del día y con las estaciones. Es más intensa en invierno que en verano.

Se supone generalmente que la electrización atmosférica reconoce por causa la evaporación de las aguas. Mr. Capart lo acepta así (*L'Electricien*, 20 julio de 1912), citando en apoyo de esta creencia los experimentos de Amstrong en 1842 (un chorro de vapor saliendo de una caldera, electriza negativamente la caldera de donde sale) y el hecho de que en la proximidad de un salto de agua los fenómenos electrostáticos presentan un carácter agudo particular.

SOBRETENSIONES DE ALTA FRECUENCIA.—Estas sobretensiones tienen siempre un origen atmosférico y pueden ser indirectas o directas. Son indirectas, cuando la descarga tiene lugar entre nubes o entre nube y tierra, pero sin tocar a la línea. Son directas, cuando la descarga es de nube a línea, es decir, cuando el rayo hiere a la línea misma.

El rayo que salta de nube a nube o de nube a tierra es una descarga oscilante de gran frecuencia y produce un campo electromagnético, en todo igual al producido por el oscilador transmisor de la telegrafía sin hilos. Las ondas de este campo se concentran sobre los conductores y determinan en ellos *sobretensiones inducidas indirectas* de alta frecuencia, lo mismo que si se tratase de antenas receptoras de radiotelegrafía.

Estas sobretensiones son alternas, rápidamente oscilantes como la causa que la produce, y mar-

chan por los conductores en forma de ondas, de manera que en un momento cualquiera la tensión en el hilo presenta máximos positivos y máximos negativos en puntos separados por una semilongitud de onda.

La longitud de onda es tanto menor cuanto mayor es la frecuencia, y cuando la frecuencia se cuenta por millones de períodos, puede llegar a ser de unos centímetros solamente. De aquí resulta que, en dos puntos próximos de un devanado, por ejemplo, en dos vueltas consecutivas de un carrete, pueden coincidir un máximo positivo y un máximo negativo de la onda de sobretensión, siendo la diferencia de potencial existente entre estos puntos igual al doble del potencial de uno de ellos. Entre dos vueltas consecutivas de un carrete no se espera nunca tan gran diferencia de tensión, y, por lo tanto, el aislamiento es siempre insuficiente cuando aquella sobretensión llega.

Esto explica el que puedan quemarse funcionando a dos o tres mil voltios, transformadores probados a 5000. Las sobretensiones, como oscilantes que son, se amortiguan a lo largo de los devanados que recorren, siendo sus amplitudes cada vez menores. Por eso, cuando un devanado sufre una sobretensión de esta clase, aparecen quemados los aislantes de sus primeras capas y no los de las últimas.

En un sistema de dos conductores cerrados formando anillo al final de la línea, se crean dos ondas que marchan a lo largo de los hilos hasta unirse y cruzarse donde los conductores se reúnen. Si en

el momento de juntarse las ondas las tensiones son iguales y del mismo signo, la tensión resultante es doble y la intensidad nula. Si las tensiones fuesen de signo contrario, la tensión resultante sería nula y la intensidad máxima.

En conductores aislados por sus extremos, la onda retrocede, podríamos decir que se refleja; pero en sus movimientos de ida y vuelta sucesivos, va disminuyendo de amplitud por la pérdida de energía consiguiente a la resistencia y autoinducción del conductor.

Las sobretensiones de alta frecuencia, *directas*, son, como hemos dicho, producidas por el rayo que cae sobre la línea misma.

Felizmente el caso del rayo sobre la línea se presenta muy pocas veces; pero cuando se presenta, no hay ninguna protección eficaz por completo.

Los efectos del rayo sobre las líneas son: la rotura de los aisladores y el astillado de los postes de madera. Esto último tiene lugar con tal intensidad que en alguna ocasión parece que el poste estalla por efecto de una explosión interior, quedando reducido a pequeñísimos fragmentos.

La destrucción de postes y aisladores se verifica en un corto trayecto, porque la tensión y la frecuencia de la carga atmosférica buscan pronto un punto débil de la línea y por él marcha a tierra en forma de enorme chispazo.

SOBRETENSIONES DE BAJA FRECUENCIA. — Estas sobretensiones de baja frecuencia, si no son nacidas

en la red misma, son seguramente producidas por contactos o cruces con otra red.

Los efectos y precauciones indicadas para am-
norarlos o anularlos serán iguales que los corres-
pondientes a las sobretensiones nacidas en la red
y constituirán el objeto de estudio de los últimos
capítulos de este libro.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO DE LOS APARATOS PROTECTORES

Explosores. — Las máquinas generadoras, transformadoras y receptoras de corriente eléctrica, tienen un aislamiento entre sus elementos constitutivos, o entre éstos y la tierra, mucho menos perfecto que las líneas respecto al suelo. Por lo tanto, las máquinas son puntos débiles de los circuitos, en los cuales una sobretensión puede buscar tierra horadando sus aislantes o saltando en forma disruptiva. De aquí se deduce un primer procedimiento para preservar las máquinas de las sobretensiones, y es, *crear en las líneas puntos más débiles que las máquinas mismas*. Estos puntos son los pararrayos y limitatensiones. La manera más sencilla de crear un punto débil para la sobretensión es poner próximo a la línea, o a una derivación de la línea, un conductor de poca resistencia y autoinducción en buena comunicación con el suelo. La distancia entre la línea y el conductor de tierra se gradúa de manera que sea superior a la distancia explosiva del aire para la tensión de funciona-

miento e inferior a la distancia explosiva correspondiente a la sobretensión que se teme.

Impedancias. — De otra manera podemos preservar las máquinas. Procuremos que las sobretensiones que puedan aparecer en línea se amortigüen hasta anularse, o por lo menos, hasta hacerse inofensivas cuando lleguen a las máquinas; y para ello *demos a las líneas impedancias que no perjudiquen a la corriente de frecuencia media, que es la de servicio, y, en cambio, produzcan gran amortiguación en las sobretensiones de gran frecuencia, que son las perjudiciales.*

Una impedancia puede conseguirse con resistencia óhmica y con autoinducción, y a los dos procedimientos se ha recurrido.

Admitiendo que las sobretensiones de gran frecuencia se propagan preferentemente por la superficie de los conductores, y las de menor frecuencia invaden más fácilmente el centro, se propuso en el último Congreso de Electricidad, de Turín, construir los conductores de dos metales, siendo muy conductor el interior, y resistente el periférico, es decir, precisamente lo contrario de lo hecho recientemente con los conductores bimetálicos para Telegrafía, en los cuales el alma es de acero y la cubierta de cobre.

Para conseguir la impedancia amortiguadora mediante autoinducción, se aconseja intercalar en la línea el primario de un transformador, cuyo secundario se cierra sobre una resistencia óhmica; o también intercalar en la línea un carrete de

autoinducción, con unas cuantas vueltas cerradas en corto circuito, es decir, lo que se llama un *transformador serie*.

Cualquiera de los dos procedimientos procura una absorción de energía, tanto mayor cuanto mayor sea la frecuencia, según hace ver fácilmente la conocida fórmula de la potencia eficaz

$$W = EI \cos \varphi = \frac{EI}{\sqrt{R^2 + (2\pi f \mathcal{L})^2}}$$

en la cual W , E , I son los vatios, voltios y amperios eficaces; R , los ohmios; \mathcal{L} , los henrios, y f la frecuencia.

Es claro que la absorción de energía, y, por lo tanto, la amortiguación, será pequeña con la tensión de servicio, de baja frecuencia, y grande con la sobretensión de alta frecuencia.

Derivaciones con tensión o sin ella. — Otro procedimiento de proteger las máquinas contra las sobretensiones de gran frecuencia, sería *guiar la sobretensión a tierra por un camino que no constituya una derivación perjudicial para la corriente de servicio*. El ideal sería que este camino tuviese una tensión igual a la de servicio y que, por lo tanto, no derivase ninguna parte de ésta; pero que por él marchase a tierra una corriente proporcional al exceso entre la sobretensión y la tensión de servicio

$$I = \frac{E - E'}{R}$$

Cuando se trata de líneas recorridas por corriente continua, el camino a tierra con fuerza electromotriz, puede constituirse mediante una batería de acumuladores de suficiente número de elementos. Cuando las líneas son de corriente alterna, la solución es más difícil.

Cuando se trata de corriente continua y sobretensión alterna, el camino a tierra puede ser una resistencia sin autoinducción, y, en cambio, cuando la corriente de servicio es alterna y la sobretensión continua, el camino a tierra deberá ser una autoinducción sin resistencia.

No es posible constituir un pararrayos o limitaciones que proteja las líneas contra todas las sobretensiones que puedan presentarse. Por eso es indispensable en las centrales de producción o transformación, el empleo de varios aparatos protectores, unidos simultáneamente a cada una de las líneas.

A pesar de todo lo sabido, a lo cual vamos a pasar ligera revista, en el problema de la protección de líneas hay algo todavía desconocido, que a veces hace ineficaces las precauciones empleadas y ocasiona grandes y desagradables sorpresas a los jefes de centrales.

CAPÍTULO III

SOBRETENSIONES DIRECTAS DE ALTA FRECUENCIA

El rayo directo. — Las sobretensiones directas de alta frecuencia son producidas por el rayo que hiere la línea directamente.

Si el rayo cae sobre la línea, no hay ninguna protección eficaz que evite sus efectos destructores. Felizmente este caso se presenta muy pocas veces, y cuando se presenta, sus efectos se limitan a muy cortas longitudes de circuito, por el afán que la carga atmosférica tiene de buscar tierra prontamente.

Para evitar los efectos del rayo directamente sobre los conductores, se aconsejan las siguientes medidas deducidas de la experiencia:

1.º No colocar nunca aislador alguno sobre el poste directamente, sino separado de él por un brazo que será tanto mejor cuanto más largo sea. Las primeras líneas largas de corrientes trifásicas que se construyeron, tenían un aislador en la parte alta del poste y otros dos en los extremos de un brazo horizontal, de manera que los tres aisladores

fuesen vértices de un triángulo equilátero. Después de las tempestades se encontraban rotos gran número de aisladores de los colocados sobre el poste y muy pocos de los colocados en los brazos.

2.º Colocar un cable conductor llamado hilo de guarda, que se apoye en las cabezas de todos los postes, y en todos ellos tenga una buena comunicación con tierra. Esta precaución es sobre todo interesante, cuando los postes son de madera.

3.º El hilo protector a que se refiere la condición anterior, es conveniente que vaya a su vez protegido por pararrayos de puntas situados sobre algunos de los postes. No está aún muy bien definido el oficio de estos pararrayos, pero su eficacia es evidente.

4.º Téngase en cuenta que los efectos del rayo directo son tanto más perniciosos cuanto mayor es la tensión de funcionamiento.

Hilo de guarda. — Se atribuyen al hilo de guarda varias funciones importantes como protector de las líneas eléctricas.

Estando en buena comunicación con el suelo, crea a su alrededor una zona de potencial nulo que atrae las descargas de las nubes que tengan gran tensión.

Asegura la comunicación con tierra de los diversos postes.

Obra como secundario de un transformador, cuyo primario sea la línea, y estando cerrado su circuito por tierra absorbe la potencia de las sobretensiones de alta frecuencia. Es claro que igual

efecto puede tener respecto a la tensión de funcionamiento; pero con las tensiones industriales corrientes y la distancia entre la línea y el hilo de guarda la tensión inducida en este último no tiene importancia.

Respecto al metal que debe formar el hilo de guarda, existen diversas opiniones. Unos ingenieros aconsejan el hilo de acero galvanizado para que tenga gran resistencia mecánica y a la vez para que su cualidad de metal magnético contribuya a la amortiguación de las ondas de alta frecuencia.

Otros, en cambio, aconsejan el hilo de cobre porque considerado como secundario de un transformador, cuanto menor sea su resistencia eléctrica mayor será la potencia absorbida.

Esta diversidad de opiniones prueba que la adopción de uno u otro metal para el hilo de guarda no tiene gran importancia.

Se observa también que cuando por los mismos postes de la línea de alta tensión va una línea telefónica, la comunicación es mucho mejor si existe hilo de guarda.

Protección de los aisladores. — Al construir un aislador, se estudia su forma y sus dimensiones, para que su masa sea infranqueable a la tensión de funcionamiento. Conviene, además, que cuando se presente una sobretensión y el aislador no pueda resistirla, el chispazo salte del conductor al soporte bordeando el aislador, pero sin penetrar en él para no hacerlo estallar.

Aun cuando el aislador no salte, el arco que se

forma después de una descarga, puede producir una temperatura suficiente para fundir la porcelana. Este es un hecho observado con suma frecuencia y, en todos los casos, la parte del aislador que más padece es el borde inferior de la campana más próxima al soporte.

Para salvar la porcelana, propone Nicholson la adopción de un anillo metálico circular, de radio algo mayor que el borde de la campana inferior, situado en el mismo plano que este borde y unido al soporte. El arco se mantiene entonces entre el conductor y el anillo sin tocar a la porcelana. Nicholson hizo experimentos muy concluyentes en favor de este sistema, que publicó en el *Electrical World* de 23 de marzo de 1911.

En los aisladores de campana triple, suele tener mayor diámetro la superior que las inferiores, y en tal caso, cuando se produce el arco, tiene tendencia a tocar el borde de la campana superior. Nicholson protege esta campana con un anillo en iguales condiciones que el inferior, pero unido metálicamente al conductor.

El anillo superior puede substituirse por una pantalla metálica, apoyada en la primera campana. Con esta disposición el campo electrostático, debido a la sobretensión que llega por la línea, se reparte alrededor del aislador con mayor uniformidad que cuando el único metal es el del conductor, y se aminora el peligro de romperse la porcelana.

En los aisladores de suspensión constituidos por una serie de aisladores individuales, aconseja también Nicholson la adopción de anillos protec-

tores en el primero y último aisladores de la serie. Weicker, estudiando esta cuestión en *La Lumière Electrique* de febrero de 1912, opina que sería preferible dotar a cada uno de los aisladores de la serie de uno o dos anillos protectores según su forma y el número de sus campanas.

Es claro que cuando la humedad y el polvo llegan a dar alguna conductibilidad a la porcelana, la corriente de la sobretensión marcha en parte por ella, y el aislador sufre los efectos de la alta temperatura, aun cuando tenga anillos protectores.

Protección más eficaz que la de los anillos es también para los aisladores de suspensión la de las pantallas metálicas sujetas a cada uno de los aisladores componentes. La casa Porzellanfabrik Hermsdorf, construye los aisladores elementales para la formación de las series con la primera campana superior, recubierta por la pantalla metálica, de diámetro mucho mayor que el de las campanas siguientes. La pantalla metálica ejerce aquí las funciones de paraguas para el resto del aislador.

A estos aisladores se les llama armados, acorazados o blindados.

CAPÍTULO IV

COMUNICACIONES DIRECTAS DE LÍNEA A TIERRA

Descargador de chorros de agua. — Para proteger una línea contra las sobretensiones que puedan presentarse en ella, el primer procedimiento que se ocurre es *unir las líneas con tierra mediante resistencias suficientes para que en régimen normal no consuman una corriente exagerada.*

Una resistencia puede ser suficiente para descargar una línea que se carga lentamente y puede ser insuficiente para una carga rápida que exige una descarga igualmente rápida. Como se ve, la resistencia sería perfecta si disminuyese automáticamente al aumentar la carga de la línea. A buscar este efecto tienden las válvulas electrolíticas y los pararrayos que de ellas se derivan.

Como primer procedimiento de unir con tierra las líneas eléctricas se empleó, al generalizarse el uso de las corrientes trifásicas, el llamado pararrayos o descargador de chorros de agua.

Estos aparatos están constituidos (fig. 8.^a) por tantos surtidores como conductores tenga la línea,

que se elevan hasta chocar con placas unidas a los hilos, o por tantos chorros como conductores que, partiendo de grifos en comunicación con los hilos, van a caer a un depósito común. El agua se pone en buena comunicación con tierra, y su caudal se

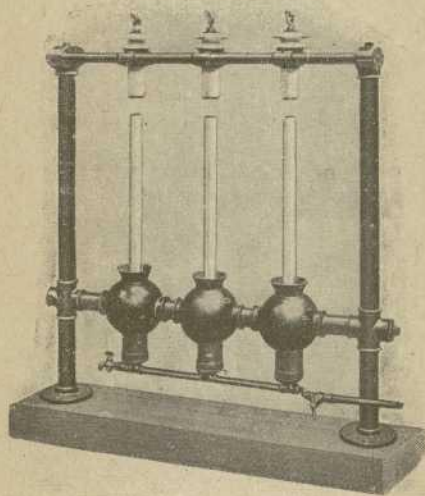


Fig. 8

gradúa para que la pérdida de corriente, medida por un amperímetro, sea solamente de unas décimas de amperio.

Es claro que si en los hilos aparece una sobretensión, ésta descargará por el agua con toda la intensidad que le permitía la ley de Ohm.

Los descargadores hidráulicos se emplean para tensiones superiores a 5000 voltios.

La pérdida de corriente a través del agua, que puede tolerarse, depende de la tensión de funcionamiento y no de la potencia transmitida; de donde se deduce que el descargador de chorros de agua para una tensión dada es tanto más económico, en tanto por ciento, cuanto mayor es la potencia que circula por la línea protegida.

La resistencia del chorro y, por lo tanto, sus diámetro y altura varían con la tensión de funcionamiento, con la composición química del agua empleada y hasta con la temperatura; por eso es indispensable el empleo del amperímetro de pérdidas, a cuya indicación atenderemos para graduar la salida del agua.

El chorro ha de permanecer continuo, porque de otro modo salta la chispa entre sus gotas.

Cuando el agua potable de la población es demasiado cara, o no tiene las condiciones necesarias de conductividad, se emplea agua destilada o agua pluvial, que se hace conductora agregándole productos químicos. En este caso se emplea una bomba para elevar continuamente el agua.

Estos descargadores se emplean exclusivamente con corrientes alternas. Con la continua se produce un efecto electrolítico entre el metal y el agua que destruye rápidamente las partes metálicas del aparato.

Este pararrayos da buenos resultados en la práctica, y parece una protección por completo eficaz contra las cargas estáticas.

La disposición indicada en la figura 8 es la más empleada y es el tipo construído por la casa Brown Boberi; pero existen también otros modelos.

La casa Siemens Schuckert construye los descargadores hidráulicos llevando los hilos de línea a comunicar con embudos metálicos perfectamente aislados. Sobre estos embudos caen chorros de agua procedentes de un depósito superior, comunicando con tierra, y el desagüe se verifica sobre otro depósito inferior, comunicando también con tierra.

En uno de los hilos que comunican con los embudos metálicos se intercala el amperímetro de pérdidas.

Resistencias líquidas. — Cuando no se dispone de agua abundante, como exige el método anterior, la comunicación de la línea con la tierra puede establecerse mediante tres tubos, conductores o aisladores, que comuniquen con un depósito perfectamente unido a tierra, y en los cuales se mantenga, por un medio cualquiera, el nivel perfectamente constante. En el interior de estos tubos se bañan tres conductores unidos a línea (suponiéndola trifásica), uno de los cuales tiene intercalado el amperímetro de pérdidas.

En este aparato es preciso un mecanismo que obligue al agua a circular de manera que se cambie constantemente la de los tubos con la del depósito, con objeto de evitar grandes diferencias de temperatura y aun de composición química. Además, para el caso de una descarga, que necesariamente

calienta el agua, es preciso que el vapor formado en el interior de los tubos tenga fácil escape y no produzca su explosión.

Carretes de autoinducción. — Para librar el conductor de cargas estáticas convendrá dotarlo de un mecanismo que permita fácilmente el paso a tierra de una corriente continua y oponga en cambio gran dificultad al paso de la corriente alternativa de servicio. El aparato indicado es un carrete de autoinducción con núcleo de hierro para aumentar su reactancia y con muy poca resistencia óhmica.

Estos carretes se construyen de manera que con la tensión ordinaria de línea deriven o'í amperios y estando esta corriente muy desfasada respecto a la tensión, la potencia perdida será insignificante. En cambio, cuando se presente en línea una tensión continua, por el carrete circularán muchos amperios.

Los carretes se construyen como transformadores de un solo devanado y, como éstos, se cierran en una caja de aceite. Uno de los extremos del devanado se empalma al conductor de línea y el otro a tierra.

En el caso de líneas trifásicas, basta unir a tierra el punto neutro de los transformadores, como si los devanados que comunican con línea fuesen los carretes de autoinducción.

Para preservar las líneas de las cargas estáticas pueden emplearse también *descargadores hidráulicos*, pero éstos no presentan autoinducción, y, por lo tanto, con igual facilidad derivan la corriente

continua que la alterna. De manera que si no queremos perder mucha potencia durante el funcionamiento normal, deberemos graduar los chorros para que presenten alguna resistencia, y en tal caso nos exponemos a que cuando se presente una carga estática, el descargador sea una derivación insuficiente.

Carretes Petersen. — Cuando los carretes de auto-inducción derivados a tierra, en lugar de empalmarlos a un conductor de línea se empalman al punto neutro de un transformador o alternador, constituyen los llamados carretes Petersen, patentados por la A. E. G.

Los carretes Petersen, además de descargar la línea de cargas estáticas como el carrito de auto-inducción ordinario, hacen bajar notablemente la intensidad de la corriente de los circuitos a tierra que puedan producirse en uno de los hilos de línea. En efecto, al tomar tierra una fase, la corriente que se deriva cierra circuito sobre la *autoinducción* del carrito Petersen y sobre la *capacidad* de los aislantes de las otras fases; la corriente que tome el carrito Petersen estará retrasada casi 90° de la tensión, mientras la corriente a las otras fases se adelantará un ángulo de 90° , próximamente (tomo II, pág. 26).

La suma de estas corrientes, o corriente total suministrada por la derivación, siendo casi opuestas, de sentido contrario, resulta nula si se hace que la corriente del carrito tenga la misma intensidad que la corriente derivada entre fases; de todos modos,

la corriente del carrete se resta, siempre, de la corriente que un circuito eventual a tierra puede producir.

Resistencias sólidas. — Para corrientes continuas es evidente que no deberán emplearse los carretes de autoinducción, sino las resistencias óhmicas. Estas se gradúan para que en funcionamiento normal deriven 0'2 a 0'4 amperios, y deben ser forzosamente metálicas y no hidráulicas, porque los efectos de electrolisis destruirían rápidamente todas las piezas metálicas en contacto con el agua.

Para las bajas tensiones se emplean como derivaciones a tierra resistencias de carborundo, o simplemente resistencias metálicas sumergidas en aceite para asegurar su refrigeración.

En la instalación de resistencias de descarga, líquidas o metálicas, deberán evitarse con el mayor esmero los conductores formando bucles y aun ángulos agudos, porque para las altas frecuencias un sencillo ángulo produce efectos de autoinducción.

Debe prescindirse en absoluto de interruptores intercalados en el circuito de los descargadores. Una ruptura brusca de este circuito puede producir efectos de resonancia en la línea con las siguientes sobretensiones.

Líneas telegráficas o telefónicas. — Cuando se trata de líneas telegráficas o telefónicas, la protección contra las sobretensiones se consigue mediante mecanismos que pongan la línea en comunicación

con tierra, valiéndose generalmente para ello de cuerpos que se quemen o se fundan en cuanto la sobretensión se inicie.

Como aparatos protectores de esta clase, estudiaremos los dos tipos siguientes:

Pararrayos de hilo preservador. — El órgano esencial de este aparato es un cilindro de madera, *B G*,

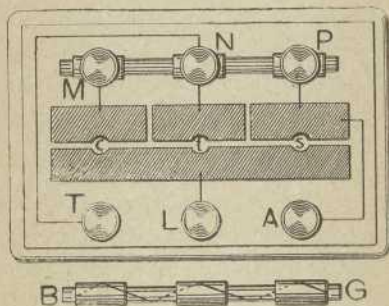


Fig. 9

de 5 a 7 centímetros de longitud (fig. 9) y provisto de guarniciones de metal en sus extremos y en su región media. Sobre este cilindro se arrolla en hélice un hilo fino de hierro, recubierto de seda en su parte media, para que no toque a la guarnición central.

El tubo, así preparado, se introduce en los orificios de tres manguitos metálicos, *M, N, P*, a los cuales se ajusta mediante tornillos de presión.

La misma peana que sostiene los manguitos lleva

un conmutador bávaro y tres bornes, *T*, *L*, *A*, que se unen a *tierra*, *línea* y *aparatos*.

Comunicándose las distintas piezas metálicas como se indica en la figura, si ponemos una clavija en *C*, las corrientes que lleguen por *L* pasarán al último bloque del conmutador, por aquí al manguito *M*, y atravesando el hilo preservador, al último manguito *P* y a los aparatos. Esta será la posición *con pararrayos*.

Si llega una descarga atmosférica, peligrosa para los aparatos, será suficiente para quemar la envoltura de seda que lleva el hilo preservador, dejándole en comunicación con el manguito central, y, por lo tanto, con tierra. Las nuevas descargas irán a tierra por este camino y no a los aparatos.

Poniendo la clavija en *S*, las corrientes de línea van directamente a los aparatos, sin pasar por el pararrayos. Esta será la posición *sin pararrayos*.

Cuando las descargas son intensas, por la proximidad de la tormenta, debe suspenderse toda comunicación, aislando los aparatos y poniendo la línea en comunicación directa con tierra. Para conseguirlo, bastará llevar la clavija al orificio *T*. Esta es la posición *en tierra*.

Pararrayos de muelle. — Un telegrafista militar español cuyo nombre siento no recordar, propuso la construcción de un pararrayos sencillo y seguro, representado esquemáticamente en la figura 10.

Un muelle suave *B*, terminado en una pieza metálica *C*, se mantiene arqueado por la tensión de un hilo fino de plomo, sujeto en *D*.

La corriente que llega al borne *L*, procedente de la línea, marcha a través del hilo de plomo, a los aparatos enlazados al borne *A*.

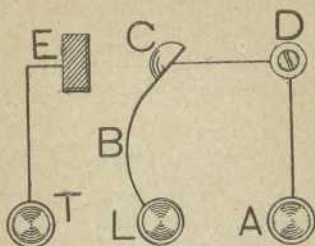


Fig. 10

Cuando una descarga funda el hilo, dejará libre el muelle *B*, que establecerá el contacto *C E* y pondrá la línea en comunicación con tierra, dejando aislados los aparatos.

CAPÍTULO V

APARATOS CON DISTANCIA EXPLOSIVA

Condiciones generales. — Los aparatos con distancia explosiva tienen la ventaja de no consumir potencia alguna en marcha normal, ya que deben unir la línea con tierra sólo durante el tiempo que subsista la sobretensión y cortar aquella unión en cuanto la sobretensión desaparezca. En cambio tienen un inconveniente, y es, que su eficacia es dudosa para prevenirse contra estas sobretensiones inducidas por el rayo, ya que de ellas es más temible la frecuencia que la tensión. Estas descargas pueden no tener tensión suficiente para salvar la distancia explosiva de los cuernos; en este caso el pararrayos no funciona y, sin embargo, su frecuencia puede quemar un devanado, como hemos explicado.

Estudieemos algunos tipos.

Pararrayos de cuernos. — El pararrayos de cuernos, llamado también de antenas o de distancia explosiva, es debido a Elihu Thomson, y está cons-

titufdo por dos tiras metálicas, divergentes (fig. II), unidas una a la línea y otra a tierra.

Cuando la diferencia de tensión entre las dos antenas sea suficiente para salvar la distancia mínima, se producirá un arco entre ellas, que, una vez iniciado, se mantendrá a expensas de la corriente

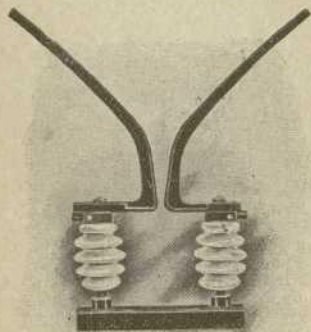


Fig. II

de funcionamiento, aun cuando cese la sobreten-sión. Este arco tiende a subir en virtud de la co-rriente ascendente de aire caliente, aumentando cada vez más su longitud, hasta extinguirse en la parte más alta de los cuernos.

Si se ponen pararrayos de esta clase en los dos o más conductores de una línea y en todos ellos se produce simultáneamente el arco, resultarán todos los conductores en corto circuito a través del hilo

de tierra, lo cual es un grave peligro para los generadores.

Para evitar los efectos del corto circuito producido por el funcionamiento del pararrayos, se intercala entre la antena *B* y la tierra (fig. 12) una resistencia llamada *amortiguadora*, calculada de manera que permita circular la máxima corriente que puede tolerarse durante el tiempo empleado por el arco para extinguirse.

De otro modo, si la resistencia amortiguadora es grande, constituye una dificultad para la descarga de la sobretensión perniciosa. Estas resistencias se construyen unipolares, bipolares y tripolares, generalmente metálicas y bañadas en aceite.

En algunas instalaciones (estación generatriz de Taylors, Falls, Mineapolis) se constituye la resistencia amortiguadora por un surtidor de agua que se eleva hasta chocar con una plancha metálica unida a la antena *B*. Esta resistencia está completamente desprovista de autoinducción, pero puede resultar muy cara por el gasto de agua que supone.

Los pararrayos de cuernos se instalaban no sólo en las centrales productoras o transformadoras, sino también en la línea misma, colocados sobre los postes, uniendo una antena al conductor y la otra a tierra mediante una placa de pequeñas dimensiones para que presente alguna resistencia.

Distancia explosiva. — Para que el pararrayos sea sensible, se gradúa la separación de sus antenas de modo que sea muy poco superior a la distancia explosiva del aire para la tensión de funciona-

miento. De este modo funcionará el pararrayos con cualquier sobretensión. La mucha sensibilidad tiene el inconveniente de que el aparato se dispara en cuanto la separación eficaz de las antenas disminuye por la interposición de un cuerpo cualquiera, electrizado por tocar a la antena de línea. Este efecto lo producen los insectos, los pájaros, las gotas de agua, los copos de nieve, etc., etc. Es claro que en el caso de insectos o pájaros éstos caen electrocutados en el momento de iniciarse el funciona-

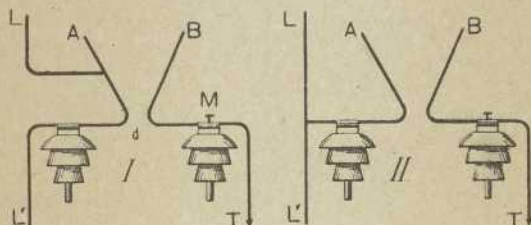


Fig. 12

miento del pararrayos, y si son gotas de agua o nieve se evaporan con la descarga.

Si para evitar las descargas producidas por los cuerpos que se posan sobre los cuernos, se prefiere instalarlos en local cerrado, se corre el peligro de que sus grandes descargas, al elevarse el arco, sean origen de un incendio. Es, pues, preferible instalar los pararrayos de cuernos al aire libre y con grandes resistencias en el hilo de tierra que amortiguan su sensibilidad. En caso de instalarlos en local cerrado, será prudente colocarlos muy separados del techo y de todo objeto fácilmente inflamable.

Generalmente se disponen los cuernos de manera que pueda variarse su distancia. La disposición más sencilla consiste en fijar de un modo permanente el cuerno *A* que comunica con línea (fig. 12, *I*) y el lado horizontal del *B* que comunica con tierra, sujetarlo mediante un manguito y un tornillo de presión *M*.

La situación de los cuernos debe corregirse después de cada tormenta o de cada descarga que sufra el pararrayos, porque al funcionar pueden producirse gotas de cobre fundido que alteren muy notablemente la distancia explosiva.

Para procurar un arreglo automático, la sociedad Lahmeyer construye unos pararrayos de este tipo, en los cuales la parte de los cuernos correspondiente a su separación mínima es en uno de ellos de cobre y en el otro de carbón. De este modo cuando la sobretensión produce una fuerte descarga, si en un lado aparece una berruga de cobre fundido, en el otro aparece una depresión de carbón quemado.

Contando con esta probable corrección automática, se regula la distancia explosiva para que funcione con una sobretensión de un 5 por 100 mayor que la de la línea protegida, y se le pone una resistencia amortiguadora que solamente permita una derivación a tierra de medio amperio.

Instalación del pararrayos de cuernos. — De dos maneras se instalan estos pararrayos, en serie y en derivación.

El montaje en serie, que es el menos empleado,

se representa en la figura 12 I, y, como se ve, consiste en hacer que el cuerno *A* de línea forme parte del conductor *LL'*.

Según Neessen, con la disposición en serie, es menor la corriente en línea durante la descarga.

El montaje en derivación, generalmente empleado, se representa en la figura 12 II, y en él el cuerno *A* de línea es una derivación del conductor y no forma parte del mismo.

El cuerno *B* en ambos montajes puede tener la misma disposición.

La ventaja indiscutible del pararrayos de cuernos es su carencia absoluta de autoinducción, que le hace especialmente indicado para las sobretensiones de gran frecuencia.

Para no aminorar ni anular esta ventaja, se recomienda que la instalación se haga con sumo cuidado, evitando a todo trance las vueltas o ángulos en los conductores que comunican con línea y con tierra.

Sensibilidad del pararrayos de cuernos. — Los críticos señalan a este aparato los defectos de lentitud en su funcionamiento y falta de sensibilidad.

Respecto a lentitud es cierto que desde que se inicia el arco en *d* hasta que se extingue en la parte más alta de *AB*, transcurre algo más de un segundo, tiempo suficiente para producir graves transtornos en las líneas, si no se emplean grandes resistencias amortiguadoras en los hilos de tierra; pero más adelante estudiaremos sistemas que aceleran el funcionamiento del aparato.

Para aumentar la sensibilidad sin disminuir exageradamente la distancia explosiva, existen diversas disposiciones, de las cuales examinaremos las más corrientes.

La casa *Land-und Seekabelwerke* empleó un procedimiento llamado de *chispa excitadora* que consiste en hacer saltar una pequeña chispa auxiliar en el espacio de separación mínima, entre uno de los cuernos y un botón metálico unido al otro cuerno a través de una gran resistencia.

Esta chispa consumirá muy escasa energía porque tiene en su circuito gran resistencia, y se producirá con muy escasa sobretensión, porque la distancia explosiva que tiene que vencer es mucho menor que la existente entre los cuernos del pararrayos.

La chispa excitadora ioniza el aire comprendido entre los cuernos, le hace conductor y reduce notablemente la tensión necesaria para el funcionamiento del pararrayos, esto es, aumenta de un modo extraordinario la sensibilidad.

La casa constructora da los datos siguientes como resultado de la experiencia:

Para una línea de 6000 voltios se colocan los cuernos a 22 milímetros de distancia uno de otro.

Si el pararrayos tiene sistema de chispa excitadora, funciona a los 7500 voltios; pero si carece de esa disposición, no funciona hasta los 40000 voltios.

La casa *Siemens-Schuckert* emplea un *relais* especial en sus pararrayos de cuernos, para que funcionen con una tensión menor que la correspon-

diente a la distancia explosiva adoptada. En lugar de disminuir la distancia explosiva, como en el tipo Land-und Seekabelwerke, se aumenta la tensión en uno de los cuernos para producir la chispa excitadora.

Para conseguir este aumento de tensión, se adop-

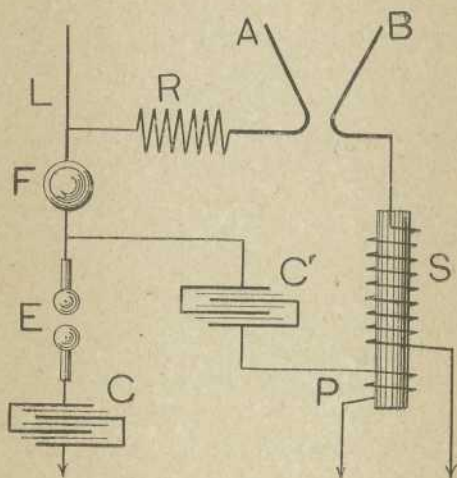


Fig. 13

ta la disposición que representamos esquemáticamente en la figura 13.

La línea comunica con el cuerno *A* mediante una resistencia *R*; y el cuerno *B* comunica con tierra a través de una pequeña autoinducción *S*, que es el secundario de un transformador de tensión. Además, de la línea se deriva un circuito oscilante

que empieza en el fusible F y comprende un explosor E encerrado dentro de un tubo de porcelana, dos capacidades C , C' y el primario P del transformador, que se reduce a una sola vuelta de hilo.

Este modelo se emplea para corriente continua o para alterna de tensión no superior a 5000 voltios, de manera que en funcionamiento normal de la línea, la corriente de servicio no puede derivarse por el circuito oscilante, porque su tensión ni es suficiente para salvar la distancia explosiva de E ni lo es para vencer la capacitancia de C' .

En cambio, en cuanto se inicia una sobretensión salta una chispa en E que produce oscilaciones en el circuito $E C P C'$. Estas oscilaciones inducen mayor tensión en el secundario S y en el cuerno B y producen la chispa excitadora entre A y B , que facilita el funcionamiento del aparato.

Los dos procedimientos de que hemos hablado están perfectamente acreditados como eficaces, y la casa Siemens-Schucker construye unos modelos en los cuales se reúnen los dos sistemas, esto es, el botón que reduce la distancia explosiva y el mal llamado *relais* que aumenta la tensión. En estos modelos el botón metálico tiene forma puntiaguda para facilitar la producción de la chispa excitadora, y puede estar unido al cuerno A , o bien completamente aislado, constituyendo una pequeña capacidad suficiente para iniciar la chispa.

La casa $C. I. E. M.$ ha presentado muy recientemente un modelo llamado pararrayos electrostático con un mecanismo nuevo para aumentar la

sensibilidad. Los cuernos, en la parte de su separación mínima, llevan dos finas láminas de metal que quedan paralelas y a una distancia graduable.

Cuando se presenta una sobretensión las láminas se cargan electrostáticamente y se atraen iniciando la chispa.

Extinción de la chispa en el pararrayos de cuernos. — Puede activarse la extinción del arco teniendo en cuenta su constitución. El arco voltaico es debido a una corriente eléctrica mantenida a través del aire hecho conductor por la elevada temperatura a que se encuentra.

Si el aire ha de estar caliente para que se mantenga el arco, es evidente que podremos extinguirlo soprándolo con aire frío, y de aquí se deduce un primer procedimiento para activar el funcionamiento del pararrayos. Bastará poner bajo el vértice de las antenas un soplador mecánico, un fuelle, que sople en cuanto el arco se inicie. Este procedimiento no se emplea.

El procedimiento a que se recurre comúnmente, se deduce de esta observación. Si el arco voltaico es una corriente, es claro que un campo magnético existente en el vértice de las antenas podrá repelelo hacia la parte alta, donde por su longitud se extinga prontamente.

A este campo se le llama *soplador magnético*.

Si la sobretensión que sufre la línea es continua, no habrá inconveniente en que el arco se corte brusca y rápidamente; pero si la tensión fuese al-

ternativa, la ruptura brusca del arco puede dar lugar a fenómenos de resonancia tan perjudiciales como la sobretensión misma.

El campo magnético que ejerce las funciones de soplador, puede ser producido por un imán permanente o por un electroimán.

El imán permanente, como todas las excitaciones magnéticas, tiene el inconveniente de exigir gran masa de acero, si se quiere conseguir un campo de alguna intensidad. Sin embargo, la casa A. E. G. construye pararrayos de cuernos con estos sopladores.

El electroimán, más generalmente empleado, empezó por excitarse en serie con la línea, es decir, recorrido constantemente por toda la corriente que circula por el conductor protegido. Este procedimiento daba a la línea alguna autoinducción y además creaba un campo de intensidad variable con el amperaje.

Después se intercaló en el hilo que va del cuerno *B* a tierra. De este modo, la excitación se producía sólo cuando se iniciaba la descarga y cesaba con ella; pero tenía el gran inconveniente de dar autoinducción al hilo de tierra, dificultando las descargas de alta frecuencia.

Finalmente se optó por excitar el electroimán mediante una derivación de la línea, añadiéndole una resistencia para evitar un gasto excesivo.

Alguna casa constructora ha insistido muy recientemente en colocar el electroimán en el hilo de tierra. Para ello se corta el hilo de tierra intercalando un explosor de bloques de carbón a muy

pequeña distancia explosiva, y el electroimán se deriva entre estos bloques.

Los sopladores magnéticos están perfectamente acreditados cuando se trata de líneas de corriente continua; pero en las de corrientes alternas, su eficacia es muy discutida, porque el flujo magnético que crean, es decir, su sople, es alternativo como

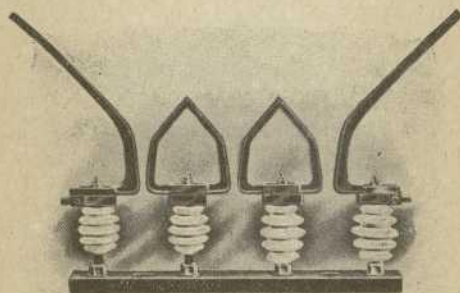


Fig. 14

la excitación, y no concordante de fase ni con la corriente ni con la tensión.

La casa A. E. G. no instala sopladores magnéticos en líneas de corriente alterna, como no sea en tensiones superiores a 13000 voltios.

Los pararrayos de cuernos se emplean también de *múltiples espacios explosivos*, como se representa en la figura 14, uniendo la primera antena a línea y las demás a tierra.

Pararrayos con ruptura mecánica del arco. —

Existe un grupo de pararrayos del tipo general de explosores, en los cuales el arco iniciado se corta mecánicamente mediante la separación brusca de las piezas entre las cuales salta.

Como ejemplos de este grupo, estudiaremos los de Thury, Alioth y Westinghouse.

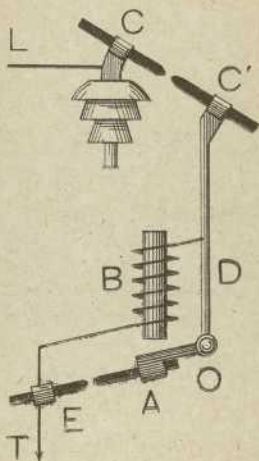


Fig. 15

El de Thury, representado esquemáticamente en la figura 15, tiene como bloques del explosor dos carbonos *C* y *C'*, análogos a los empleados en arcos voltaicos, que se colocan a la separación que convenga y que son fácilmente sustituibles.

El hilo *L* que comunica con la línea protegida tiene camino a tierra a través del explosor *C C'*,

la tira D y el carrete B . En cuanto se inicie la descarga producida por una sobretensión y se produzca el arco entre C y C' , la corriente que va a tierra excita el electroimán B , y éste atrae su armadura A , que obligando a girar a la palanca articulada AD , rompe el arco CC' .

Se ve fácilmente el inconveniente grave de este procedimiento. La descarga de línea, que puede

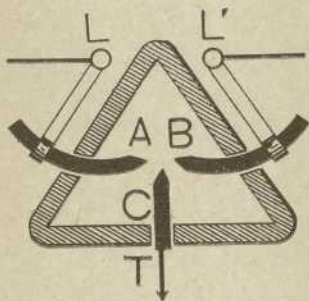


Fig. 16

ser de alta frecuencia, para iniciar el arco, ha de tomar tierra a través de la gran autoinducción B .

Con objeto de salvar este inconveniente, la casa Alioth introdujo una modificación importante. La armadura A forma parte de un segundo explosor AE , cuya distancia explosiva aumenta notablemente en cuanto la palanca gira alrededor de O .

Las descargas de alta frecuencia marchan siempre mejor por un camino resistente que por uno autoinductivo, luego la de esta clase que llegue por L seguirá el camino $L C C' D O A E T$, y en

cuanto salte el chispazo en los explosores, se iniciará el arco mantenido por la corriente de funcionamiento. Pero esta corriente, de menor frecuencia, prefiere la autoinducción B a la resistencia AE , luego excita el electroimán y hace funcionar la armadura A .

El pararrayos Westinghouse se compone de una caja cerrada, de sección triangular (fig. 16), en la cual penetran dos carbones curvos, A , B , casi ajustados a los orificios, que pueden oscilar alrededor de los puntos L , L' , y que comunican con línea. Un tercer carbón C fijo, comunica con tierra.

La descarga produce el arco entre los carbones A , B , C , y la dilatación del aire interior de la caja empuja los carbones A y B hacia el exterior, separándolos lo bastante para extinguir el arco.

Metales antiarcos. — Cuando la sobretensión que se presenta entre las piezas metálicas de un pararrayos es suficiente para fundir y volatilizar su metal, se produce un verdadero arco que, según sabemos, equivale a una corriente a través del medio gaseoso hecho conductor por su elevada temperatura.

Hay vapores más resistentes que el aire y que, por lo tanto, tienden a extinguir todo arco voltaico que se inicie en su seno. En este caso están los metales cinc y antimonio, y sus aleaciones. A estos metales se les llama *antiarcos*.

Con este fundamento se construye el pararrayos Wurst, que se compone de una caja cerrada, de substancia aisladora, conteniendo tres cilindros

paralelos, de cinc o antimonio, los dos extremos comunican con líneas y el medio con tierra.

La chispa que puede saltar entre los cilindros, los funde en parte, y sus vapores mismos cortan el arco.

Este pararrayos se empleó en redes de corriente continua y alterna, hasta de 5000 voltios, pero actualmente ha quedado relegado a redes de baja tensión.

Extinción del arco por una resistencia shunt. —

Cuando el pararrayos es de múltiples espacios explosivos, o el explosor único tiene una resistencia en serie, se puede activar la extinción de la chispa shuntando el arco con una resistencia grande.

A la tensión normal, la corriente que pasa por la resistencia shunt es insignificante; en cuanto sobreviene una sobretensión, se enciende el arco descargando la línea, y después de esta descarga el arco subsiste sostenido por la tensión normal. La corriente, suministrada por esta tensión, se reparte entre el explosor y el shunt proporcionalmente a sus conductancias (tomo I, pág. 108) y como al ascender la chispa por los cuernos disminuye la conductancia del explosor, la resistencia shunt le roba cada vez mayor corriente, y enfriando el arco lo apaga rápidamente.

La resistencia del shunt debe ser una resistencia no inductiva porque, en tal caso, la fuerza electromotriz de autoinducción contribuiría a sostener la corriente del arco. En general se emplean, para el shunt, resistencias líquidas o de carborundo.

Pararrayos Bertsh. — Se compone de dos placas metálicas armadas de gran número de puntas y aisladas entre sí (fig. 17). Una de ellas, la *L*, se intercala en la línea, y la otra *T* comunica con tierra.

La descarga atmosférica que llega por *L* saltará a las puntas de la placa inferior, antes que seguir por los aparatos, que tienen todos gran autoinducción para las altas frecuencias de las sobretensiones peligrosas.

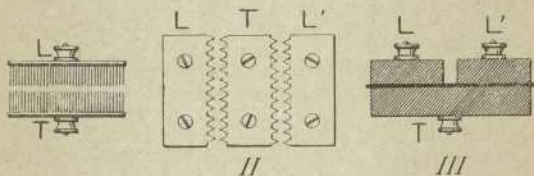


Fig. 17

Este tipo de descargadores y los otros dos que estudiaremos a continuación, se emplean preferentemente en telegrafía y telefonía, y son modelos reglamentarios en la red telegráfica española.

Las fuertes descargas atmosféricas suelen fundir las puntas metálicas, y las gotas de metal fundido ponen en contacto las puntas de una y otra lámina.

Si este tipo de descargadores se emplease en líneas de tensión industrial, instalado en los dos conductores, y en ambos se presentase el corto circuito de que acabamos de hablar, quedarían los dos conductores unidos sin resistencia a través

del hilo de tierra, con todas las consecuencias de este contacto.

Para prevenir este peligro en las instalaciones de tensión industrial, se intercala un fusible entre el borne *T* de cada uno de los descargadores y el hilo de tierra, que puede ser único en la instalación. Es claro que después de una descarga, el aparato queda inutilizado por la rotura del fusible, y para evitar reposiciones de hilos de plomo, que serían muy frecuentes y muy peligrosas en tiempo tempestuoso, pueden montarse varios descargadores en paralela, uniendo a cada hilo de línea varios bornes *L* de otros tantos aparatos.

Evidentemente la multiplicidad no asegura el éxito, pero da alguna probabilidad.

Otra precaución, con igual objeto que la anterior, es el poner para cada uno de los hilos de línea varios descargadores en serie. Este procedimiento es menos eficaz, porque durante una tormenta es muy probable que las sobretensiones se presenten durante corto tiempo en número más que suficiente para inutilizar cualquier número de descargadores puestos en serie.

Descargador de chapas. — Cuando se trata de líneas cortas, de poca capacidad electrostática, como sucede en las comunicaciones telefónicas urbanas, se emplea un sencillo descargador de chapas dentadas (fig. 17, II).

Las láminas extremas *L* *L'* están intercaladas en las líneas, y la central *T* comunica con una buena tierra no inductiva.

Descargador con lámina aisladora. — Otro tipo de descargadores, con el mismo fundamento que los anteriores, es el representado en la fig. 17, III, muy empleado en telefonía y telegrafía.

Las dos piezas metálicas L y L' comunican con los hilos de línea y la T comunica con tierra. Entre las L , L' y la T se coloca una lámina aisladora, que puede ser de papel parafinado, de mica y aun alguna vez de ebonita. Las descargas atmosféricas buscan camino a tierra a través de la lámina aisladora, agujereándola cada vez que el aparato funciona.

Pararrayos de rodillos. — El pararrayos de rodillos es una multiplicación del Wurst, resultando, por lo tanto, como múltiples espacios explosivos. He aquí el fundamento de esta disposición.

La distancia explosiva en un medio cualquiera crece más rápidamente que la tensión, luego llamando d a la distancia explosiva y v a la tensión, estas cantidades deben relacionarse por una ecuación de la forma

$$d = v^m$$

siendo m un exponente mayor que la unidad. Del mismo modo, tendremos para otros valores de d y v

$$d' = v'^m \qquad d'' = v''^m \dots,$$

y sumando todas estas igualdades

$$d + d' + d'' + \dots = v^m + v'^m + v''^m + \dots$$

Una distancia igual a la suma de las distancias consideradas, sería vencida por una tensión V , que cumpliera la condición

$$d + d' + d'' + \dots = V^m$$

luego

$$V^m = v^m + v'^m + v''^m + \dots < (v + v' + v'' + \dots)^m$$

o bien, finalmente.

$$V < v + v' + v'' + \dots$$

lo cual nos dice que subdividiendo la chispa mediante la multiplicación de espacios explosivos, la suma de tensiones necesarias para producir las chispas parciales es mayor que la tensión necesaria para salvar con una sola chispa el espacio total.

Se discute actualmente si es conveniente o perjudicial esta consecuencia, para fundar en ella la construcción de pararrayos.

Si los espacios explosivos son todos iguales y llamamos m a su número, la desigualdad última podrá escribirse así:

$$V < m v,$$

de donde

$$v > V : m$$

lo cual nos dice que la tensión por intervalo disminuye cuando el número de intervalos aumenta.

Un pararrayos de rodillos (fig. 18) es sencillamente una serie de rodillos conductores, separados unos de otros, de manera que entre ellos pueda saltar una chispa de sobretensión, y unidos el primero a línea y el último a tierra.

Los rodillos se construyen generalmente de metales antiarcos, cinc o aleaciones de cinc, para que las chispas no perduren. Además, se disponen los distintos rodillos metálicos de manera que tengan todos sus ejes paralelos y situados en un plano

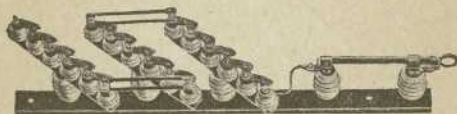


Fig. 18

horizontal, con lo cual, cada dos semicilindros situados frente a frente, obran como cuernos y contribuyen a la rápida extinción del arco que pudiera formarse entre ellos.

Los cilindros generalmente están formados de dos partes: un vástago fijo, unido de un modo permanente a la armazón del aparato, y un cilindro de metal antiarco, taladrado según su eje, para meterlo en el vástago antedicho. Es claro que esta última parte es cambiabile y deberá cambiarse cuando las descargas sufridas modifiquen su forma de tal modo que pueda alterar su distancia a los cilindros vecinos.

Los cilindros metálicos pueden tener su base opuesta a la armazón del pararrayos perfectamente

plana, como la tienen los del tipo Thomson cuando sus ejes son horizontales en la posición de instalados. Pueden tener sobre el cilindro un apéndice cónico que los hace terminar en punta, como los del tipo Oerlikon. En este último caso, se instala el pararrayos de manera que los cilindros queden con su eje vertical, y, de este modo, los conos en que terminan dos cilindros contiguos, ofician de cuernos y apagan el arco si se inicia.

Respecto al número de cilindros que deben formar un pararrayos, se determina siempre en vista de la tensión de funcionamiento mediante reglas que varían ligeramente de una casa a otra.

Los talleres Oerlikon emplean

3	rodillos	hasta	2000	voltios
5	—	—	3000	—
10	—	—	5000	—

y 1 por cada 1000 voltios que exceda de esta última cifra.

La sociedad A. E. G. emplea

8	rodillos	hasta	5000	voltios
16	—	—	10000	—

y 8 por cada 5000 voltios de exceso sobre esta última cifra.

Prueba de un pararrayos de rodillos. — Para hallar la distancia explosiva total equivalente a la suma de distancias explosivas parciales de un pararrayos de rodillos, se ponen dos cuernos comuni-

cando con los rodillos extremos del pararrayos y de modo que su distancia explosiva pueda variarse lentamente. Se somete el conjunto a la tensión de funcionamiento para que la chispa salte entre los cuernos y se aumenta gradualmente la separación de éstos hasta que la chispa no salte entre ellos, sino que prefiera salvar los múltiples espacios explosivos que le ofrece el pararrayos.

La separación alcanzada por los cuernos será la distancia explosiva total que buscábamos. A esta distancia se le llama *dureza del pararrayos*. El mejor pararrayos es el que tiene menor dureza para las más variadas frecuencias.

Procediendo de este modo, los ingenieros de la casa Thomson Houston han sentado tras una serie de experimentos, las conclusiones siguientes:

1.^a Toda resistencia en serie, por pequeña que sea, aumenta la dureza y disminuye, por lo tanto, el poder protector del pararrayos.

2.^a La dureza de un pararrayos es menor que la suma de distancias de sus intervalos individuales. Esta conclusión es una consecuencia de nuestra fórmula

$$V < v + v' + v'' + \dots$$

3.^a Una resistencia conveniente, shuntando unos cuantos intervalos de aire, limita la corriente de servicio que puede circular por el pararrayos después de una descarga.

Esta limitación de la corriente de servicio se conseguía en los primeros modelos aumentando el

número de intervalos. La conclusión 3.^a nos permite disminuir el número de intervalos para una tensión dada, lo cual se traduce en una reducción de volumen, peso y precio del aparato.

Dando alguna autoinducción a estas resistencias shunt, conseguiremos que las descargas de gran frecuencia atraviesen todos los intervalos de aire, y las de baja frecuencia atravesarán solamente la resistencia y los intervalos no shuntados.

Las resistencias para estos pararrayos se construyen de ligas metálicas especiales y, si puede prescindirse de la autoinducción, se hacen de carborundo.

Para los tipos de pararrayos que construye hoy la casa Thomson Houston, las resistencias shunt necesarias varían de 20 ohmios a 125000. Estas últimas son las empleadas en pararrayos destinados a líneas de 60000 voltios.

Para bajas tensiones (200 a 500 voltios) no se emplean resistencias shunt, y el pararrayos se compone únicamente de tres o cuatro cilindros metálicos, encerrados en una caja de fundición.

Conexión en múltiple. — Este procedimiento de conexión consiste en intercalar espacios de aire y resistencias shunt entre cada dos hilos de una línea y entre cada uno de los hilos y la tierra.

La figura 19 indica esquemáticamente las conexiones en múltiple para el caso de una línea trifásica A, B, C , siendo P, P', P'' los pararrayos de rodillos acoplados de dos en dos en serie para aumentar el número de intervalos; P''' , un pararrayos

más, intercalado en el hilo de tierra T ; R , R' , R'' las resistencias shunt.

La disposición en zizzás en que quedan los cilindros metálicos constitutivos del pararrayos, es criticada por algunos ingenieros por presentar ángulos agudos en el camino ofrecido a la corriente

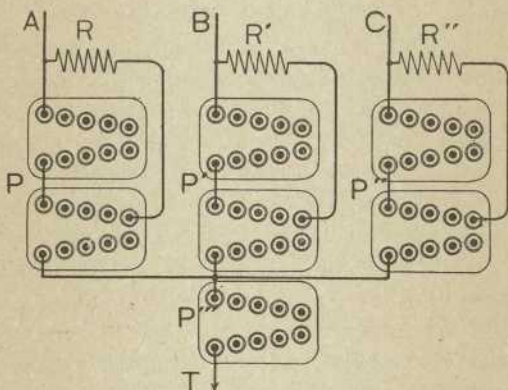


Fig. 19

y tener, por lo tanto, el peligro de ser camino con alguna autoinducción, siempre temible cuando se trata de grandes frecuencias. Para evitar este peligro, algunos constructores, Brown-Boveri entre ellos, colocan los cilindros formando una sola línea recta.

Pararrayos Würst de la casa Westinghouse. — Los elementos componentes de este pararrayos son,

como en el tipo Thomson, estudiado anteriormente, cilindros de metal antiarco colocados sobre una pieza de porcelana a distancias fijas uno de otro.

La conexión entre los elementos, es característica de la casa Westinghouse.

A partir del conductor protegido se coloca primeramente un grupo de cilindros, en número variable según la tensión de funcionamiento, que constituyen los *espacios series*. A continuación se instalan otro u otros grupos de cilindros, shuntados por resistencias convenientes, constituyendo los *espacios shunts*. Se coloca finalmente una resistencia y el hilo de tierra.

Los ingenieros de la casa Westinghouse aseguran que hay descargas atmosféricas capaces de destruir por completo un pararrayos de rodillos cuando está montado sin resistencia amortiguadora en el hilo de tierra o con resistencia escasa. Sin embargo, existen tipos de pararrayos de esta clase que cumplen perfectamente su cometido sin tener tal resistencia, compensando esta falta con un número mayor de rodillos.

Pararrayos Gola. — El pararrayos Gola, tal como lo construye actualmente la casa A. E. G., está formado por media bola hueca (fig. 20) de hierro fundido y de bastante espesor, que lleva un explosor de cuernos. La superficie exterior de la media bola comunica con línea y la superficie interior con una autoinducción y con las máquinas protegidas.

Las cargas de *alta tensión* que puedan llegar por la línea, ya sabemos que se mantienen con preferencia en la superficie de los conductores; luego descargarán por el arco antes que penetrar en la masa de las máquinas. Si la carga es, además, de

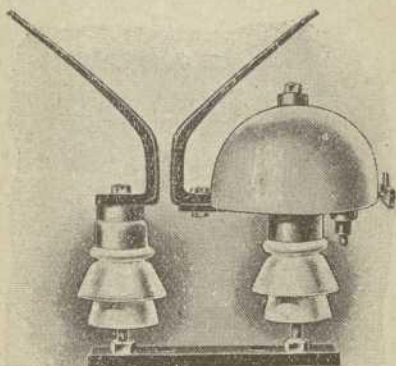


Fig. 20

alta frecuencia, la autoinducción le cortará el paso hacia ellas.

Estando la autoinducción en serie entre la línea y las máquinas, es claro que en redes de corriente alterna ocasionará constantemente una pérdida de tensión. Esta pérdida será, en tanto por ciento, menos importante cuanto mayor sea la tensión de funcionamiento.

En Italia se emplea frecuentemente el pararrayos Gola en redes de alta tensión hasta de 70000 voltios.

Distancia explosiva del aire. — En un explosor formado por dos bolas metálicas de 5 centímetros de diámetro, estando el aire a la presión de 740 milímetros con una temperatura de 20 grados centígrados y un 50 por 100 de humedad relativa, la distancia a que salta la chispa se corresponde con las tensiones, del modo indicado en la tabla siguiente:

m m.	voltios	m m.	voltios	m m.	voltios
1	2200	14	30600	80	94000
2	4500	15	32500	90	98000
3	6800	16	33300	100	102000
4	9200	17	36000	110	106000
5	11500	18	37800	120	109000
6	13800	19	39500	130	112000
7	16100	20	41200	140	114500
8	18400	30	56000	150	117500
9	20500	40	67000	160	120500
10	23700	50	76000	170	123000
11	24800	60	83000	180	126000
12	26800	70	88500	190	129000
13	28800			200	131500

El voltaje V se convierte en V' cuando la temperatura sea t grados y la presión atmosférica H milímetros, estando relacionadas estas cantidades por la fórmula

$$V' = 2'525 \frac{V}{H} (273 + t)$$

EJEMPLO. Como aplicación numérica de la fórmula anterior, calculemos la tensión necesaria para

salvar una distancia de 5 milímetros, siendo la presión atmosférica de 760 milímetros y la temperatura de 15 grados.

De la tabla anterior tomamos el valor de V correspondiente a los 5 milímetros, y tendremos

$$V = 2'525 \frac{11500}{760} (273 + 15) = 11000$$

CAPÍTULO VI

ÓRGANOS COMPLEMENTARIOS DE LOS PARARRAYOS

Carretes de autoinducción. — Para defender una instalación eléctrica de los perniciosos efectos del rayo, se necesitan dos cosas principales: ofrecer un camino a tierra a la descarga atmosférica e impedir su entrada en las máquinas de la instalación. El camino a tierra se le facilita mediante los pararrayos, y la entrada hacia las máquinas se impide mediante carretes de autoinducción intercalados en las líneas.

Es claro que una autoinducción constituye una defensa contra las sobretensiones de alta frecuencia, pero no contra las sobretensiones de frecuencias industriales. Si se empleasen carretes de tan fuerte autoinducción, que fuesen un obstáculo para las sobretensiones que puedan llegar de línea con frecuencia industrial, serían también un obstáculo para las corrientes de funcionamiento.

La autoinducción de estos carretes puede exagerarse cuando la corriente de servicio es continua.

Cuando se trata de líneas para la transmisión

de corrientes alternas, se construyen los carretes unas veces de cinta de cobre arrollada en espiral, resultando el carrete con el aspecto de un disco, y otras veces se forman con hilo de hierro arrollado en hélice quedando de aspecto cilíndrico. La primera forma tiene el inconveniente de presentar entre sus vueltas algún efecto de capacidad.

La casa Thomson Houston da a sus carretes de autoinducción la forma de dos troncos de cono, unidos por sus bases menores.

En todas estas formas, quedan los carretes sin núcleo, para no exagerar la autoinducción y evitar las pérdidas constantes por efectos de histeresis, y únicamente se permiten los constructores formar las vueltas con metal magnético, el hierro generalmente.

Cuando se trata de líneas para la transmisión de corriente continua, los carretes pueden tener iguales formas que en el caso anterior, pero pueden llevar núcleo de hierro, macizo o laminado.

Los carretes de autoinducción se montan entre los aparatos protegidos y los pararrayos. En los pararrayos se producen algunas veces sobretensiones peligrosas, tal sucede, por ejemplo, al romperse bruscamente el arco en un pararrayos de cuernos, y como estas sobretensiones son producidas por un efecto de resonancia, son de baja frecuencia. Para proteger los carretes contra estas sobretensiones, se ponen en su entrada limitadores de tensión, o un segundo pararrayos de cuernos, o un sencillo explosor cualquiera unido a la resistencia del pararrayos principal.

En algunas instalaciones se shunta el carrete de autoinducción con un explosor o con una resistencia.

Los carretes de autoinducción, de que estamos tratando, evitan la entrada en las instalaciones de las sobretensiones de alta frecuencia producidas por el rayo, pero no descargan la línea. Si la sobretensión no encuentra camino sencillo a tierra, las ondas de tensión recorren el conductor de un extremo a otro repetidas veces, hasta que su resistencia óhmica consume toda la potencia inducida.

Son estos carretes, como decimos al empezar este capítulo, órganos complementarios de los pararrayos, pero no órganos protectores ni descargadores por sí mismos.

Líneas de tierra. — Las líneas de tierra tienen por objeto descargar los conductores de sus sobretensiones, permitiendo una corriente derivada a tierra. Las líneas de tierra deben tener buena conductibilidad para el caso de corrientes derivadas de gran intensidad, y no deben tener autoinducción alguna para cuando la descarga sea de alta frecuencia.

Para cumplir la primera condición se aconsejan conductores de cobre, con una sección mínima de 25 mm^2 y, aun mejor, tubos huecos, que presenten aquella sección útil de cobre. El hierro no debe emplearse nunca, y si alguna vez debe recurrirse a él, deberá procurarse que sea y se mantenga siempre fuertemente galvanizado.

Para cumplir la segunda condición, es preciso

instalar los hilos de tierra sin que formen vueltas ni aun ángulos agudos, como ya hemos dicho.

La línea de tierra debe considerarse siempre como una línea muy peligrosa, porque durante las descargas puede tener gran tensión, o gran intensidad, o alta frecuencia. Como tal línea peligrosa, debe aislarse cuidadosamente hasta el momento de penetrar en el suelo. De otro modo, si próximo al conductor de tierra se halla algún objeto en buena comunicación con el suelo, podría saltar a él un chispazo, con todas las consecuencias inherentes a las condiciones de la tensión existente en el conductor.

Por eso se aconseja instalar los pararrayos cerca del suelo, haciendo descender hasta ellos los hilos de línea, en lugar de ascender los pararrayos hasta la altura de la entrada de hilos.

Planchas de tierra. — Es conveniente instalar tantas planchas de tierra como pararrayos existan en la central. De este modo, entre dos hilos de tierra tendremos intercaladas las resistencias correspondientes a los contactos de sus dos planchas.

Generalmente no se hace así, y el número de planchas de tierra se limita a dos: una para todos los pararrayos instalados en circuitos de alta tensión y otra para los de baja tensión.

Como planchas de tierra se emplean, siempre que se puede, las grandes masas metálicas que con cualquier otro objeto existan enterradas o en buena comunicación con el suelo. Tales son las cañerías de aguas limpias o sucias, los rieles, etc. Las cañe-

rías de gas no ofrecen iguales garantías, porque cuando son de gran diámetro, están formadas por tubos, ajustados unos a otros mediante rodajas elásticas, no conductoras, de manera que su masa total carece de continuidad.

Cuando no se dispone de estas masas metálicas, hay que recurrir a la plancha de tierra propiamente tal.

Las planchas de tierra se construyen de láminas de cobre, bastante gruesas para que no se destruyan fácilmente, por oxidación o carbonatación, después de llevar algún tiempo enterradas. Si la plancha está compuesta de diversas piezas, éstas deberán unirse entre sí mediante roblones de cobre, porque si en la plancha existen dos o más metales en roblones o soldaduras, pueden temerse efectos electrolíticos que las destruyan rápidamente.

La plancha de hierro, aunque esté fuertemente galvanizada, no resiste mucho tiempo enterrada en terrenos húmedos. Mejor es el hierro recubierto de plomo.

El terreno donde se instalen las planchas de tierra, debe ser lo más conductor posible, y, a tal efecto, se buscan con preferencia los terrenos húmedos.

Para aumentar la conductibilidad del suelo, es conveniente rodear la plancha de tierra, de cok o carbón vegetal. El carbón mineral muchas veces ataca a los metales de las planchas de tierra. Se aconseja como lo mejor para este objeto, las puntas de carbones que se retiran de las lámparas de arco.

MM. Chavannes y Lecoultre dicen, a propósito de las planchas de tierra: «La carencia de un suelo

conductor no es tan peligrosa como pudiera creerse, porque en tal caso, los aparatos que deben protegerse descansan sobre el mismo suelo y se encuentran relativamente aislados, lo cual constituye una protección si su masa no les da una capacidad notable. Basta con que la plancha de tierra tenga mejor contacto con el suelo que las máquinas protegidas.»

Resistencia de las tierras. — El oficio de la tierra, como conductor de vuelta en las canalizaciones de un solo hilo, se explica diciendo que *la tierra es un conductor sin resistencia*, lo cual puede ser cierto en grandes masas, pero está muy lejos de serlo cuando se trata de una plancha de tierra.

En las instalaciones de pararrayos es muy importante conocer la resistencia de la tierra, ya que forma parte del circuito de descarga y, por lo tanto, ha de contribuir a rebajar la tensión peligrosa existente en línea.

Para medir la resistencia de las tierras, es preciso disponer en la central de tres tomas diferentes. Llamemos x , y , z , a las resistencias de estas tres tomas de tierra. Combinémoslas de dos en dos y midamos, por cualquiera de los procedimientos conocidos, las resistencias de las tres combinaciones obtenidas. Sean p , q , r los resultados hallados de manera que se tenga

$$x + y = p$$

$$y + z = q$$

$$z + x = r$$

y resolviendo el sistema de ecuaciones

$$x = \frac{\phi + r - q}{2} \quad y = \frac{\phi + q - r}{2} \quad z = \frac{q + r - \phi}{2}$$

Resistencias adicionales. — Hemos dicho que entre los pararrayos y la tierra debe intercalarse una resistencia, para evitar que al formarse el arco entre dos explosores resulten unidos en corto circuito dos conductores de línea.

Estas resistencias deben estar absolutamente desprovistas de autoinducción, pues las sobretensiones, cuando son atmosféricas, tienen alta frecuencia.

El cálculo de las resistencias para los hilos de tierra puede hacerse conociendo la tensión V y la potencia W de los generadores protegidos, de manera que la intensidad a través de la resistencia está limitada por la ley de Ohm. Así:

$$R = \frac{V}{I}$$

la intensidad I , se conoce en función de la potencia

$$I = \frac{W}{V},$$

y de las dos fórmulas anteriores se deduce

$$R = \frac{V^2}{W}$$

Es claro que en el caso de líneas trifásicas, V será

la tensión simple o la tensión compuesta, según que el centro de la estrella tenga o no tenga tierra.

Cuando el centro de la estrella tiene tierra, las resistencias se instalan como indica el esquema *I* de la figura 21, ya que la tensión que pueden recibir de la línea es únicamente la tensión simple. Si el centro de la estrella no tiene tierra, se instalan cuatro resistencias *A*, *B*, *C*, *D*, como se indica en

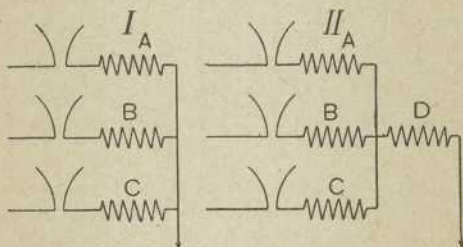


Fig. 21

el esquema *II* de la misma figura 21, siendo *A*, *B*, *C*, las resistencias correspondientes a la tensión simple y *D* la diferencia entre las correspondientes a tensión compuesta y simple.

De este modo si la fase superior, por ejemplo, tuviese un contacto accidental con tierra, las otras dos fases resistirían la tensión compuesta con las resistencias $B + D$ para la segunda y $C + D$ para la tercera. Si se formase el arco simultáneamente en los dos explosores superiores, por ejemplo, la tensión compuesta existente entre los hilos corres-

pendientes se resistiría con las dos resistencias $A + B$.

Ejemplo numérico. — Calcular la resistencia para los hilos de tierra de los pararrayos, en una central que comprende un solo alternador trifásico, de 2000 k. v. a. a 4000 voltios de tensión compuesta, teniendo tierra el centro de la estrella.

La tensión V que debe considerarse, es la tensión simple $4000 : \sqrt{3}$ ya que el neutro tiene tierra. La fórmula hallada nos dará

$$R = \frac{(4000 : \sqrt{3})^2}{2000000} = 2666 \text{ ohmios.}$$

M. Giles, de la Sociedad de Condensadores de Friburgo, calcula las resistencias adicionales con un criterio completamente distinto del anterior.

En lugar de atender a un amperaje máximo de los generadores protegidos, atiende, ante todo, a evitar los efectos de resonancia que la ruptura del arco en el pararrayos pudiera ocasionar, y razona de este modo.

El pararrayos ofrece a la descarga un camino de resistencia r , que combinada con la autoinducción \mathcal{L} y la capacidad c , de los aparatos protegidos, puede dar lugar a un circuito oscilante con fenómenos de resonancia, que conviertan el pararrayos en un peligro, en lugar de un preservador.

Para evitar que el circuito sea oscilante, será preciso que

$$\frac{r^2}{4 \mathcal{L}^2} > \frac{1}{c \mathcal{L}} \quad \text{ó} \quad r > 2 \sqrt{\frac{\mathcal{L}}{c}}$$

La fórmula de Giles no es una igualdad, sino un límite inferior para el valor de r , luego es fácil hacer compatibles los resultados obtenidos por los dos medios de cálculo, tomando el mayor de los valores hallados R o r .

Disposición de las resistencias. — La casa Siemens Schuckert construye estas resistencias, de hélices metálicas bañadas en aceite y calculadas con una capacidad calorífica, suficiente para resistir una descarga durante cinco minutos.

Para descargas de menos duración, pueden emplearse hilos aislados al esmalte, formando hélices tendidas al aire libre.

Otros constructores, la A. E. G. entre ellos, emplean resistencias de carborundo, formando cilindros de 150 mm., que alcanzan en frío una resistencia de 500 ohmios.

El carborundo no puede emplearse para reóstatos que deben ser atravesados por grandes intensidades porque calentados por la corriente, baja su resistividad a la mitad de la correspondiente a la temperatura ordinaria.

La casa Alioth construye resistencias líquidas contenidas en tubos comunicantes de substancia aisladora. El líquido empleado es el agua con una sal en disolución y la mayor o menor concentración determina la resistividad de la masa.

La A. E. G. encierra el líquido resistente en tubos rectos, que dispone unas veces vertical y otras horizontalmente.

La sal empleada es el carbonato de sosa y su peso en gramos G , se calcula conociendo la resistencia deseada R , la tensión de servicio V , el número de descargas que ha de sufrir n y la duración de cada una t , por la fórmula

$$G = k \frac{10^{12}}{V^2 n t} \text{ gramos,}$$

siendo el coeficiente k igual a 2'1 para el tubo vertical y 0'161 para el horizontal.

Para evitar la evaporación de las resistencias líquidas se les vierte sobre el agua una capa de aceite de un centímetro próximamente de espesor.

Debe también evitarse con esmero la congelación de los líquidos resistentes.

CAPÍTULO VII

PARARRAYOS DE RESISTENCIA VARIABLE

Pararrayos electrolítico. — El pararrayos electrolítico lo construye en Europa la casa A. E. G., y tiene como fundamento el hecho siguiente:

Constituyendo un voltámetro con un electrolito cualquiera y dos electrodos de aluminio, una corriente que le atravesase, oxidará la lámina de aluminio unida al polo positivo y reducirá el óxido que pudiera existir en la lámina de aluminio unida al polo negativo.

Pero la finísima película de óxido de aluminio que se forma sobre la placa es tan resistente que corta por completo la corriente a través del voltámetro, resultando la interrupción, por lo tanto, instantánea, como instantánea es la formación del óxido de aluminio.

Las dos placas separadas por la capa de óxido constituirán una resistencia para las corrientes continuas o un condensador para las alternas.

La capa de óxido es horadada a 340 voltios, por lo tanto, cuando quieran resistirse mayores ten-

siones será preciso montar en serie varios de estos voltímetros elementales. Para que esto sea fácil, se construyen las placas de aluminio de forma cónica, a manera de platos, y se colocan unos encima de otros separados por arandelas aislantes (fig. 22).

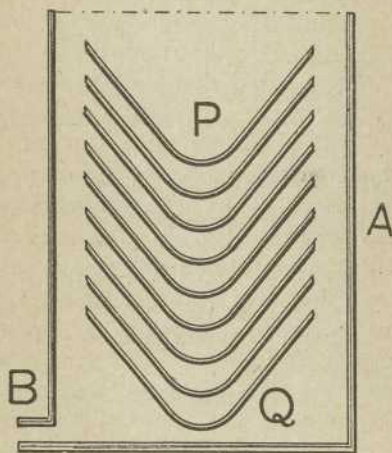


Fig. 22

El conjunto, o pila de platos, *PQ*, se mete en un recipiente cilíndrico de gres, *A*, en el cual se vierte el electrolito, y cuando los platos estén llenos, y cuando los platos estén llenos de líquido, se vierte el sobrante por un orificio *B*, hecho en el fondo del recipiente. De este modo, quedan en seco los bordes de los platos y la corriente ha de pasar forzosamente por las láminas metálicas y líquido intermedio.

Consideremos una serie de estos elementos, instalados de manera que el primero comunique con línea y el último con tierra. Si el número de elementos es suficiente para resistir la tensión normal de la línea, no tendremos corriente a tierra. Si aparece una sobretensión, perforará las películas de óxido y marchará al suelo. Al cesar la sobretensión, la tensión normal encuentra franco el camino a tierra y empieza a circular una corriente; pero esta corriente crea en el acto una película resistente entre cada dos platos, y cesa instantáneamente la corriente a tierra.

La película resistente que aparece después de una descarga, se formará siempre sobre una misma cara de los platillos, si la corriente de servicio es continua; pero si es alternativa, la película se formará en las caras superiores o en las inferiores, según el semiperíodo que circule en el instante de cesar la sobretensión.

Este es el fundamento de los pararrayos electrolíticos.

Como se ve, la acción de la película resistente es en todo análoga a la de una válvula de seguridad en la caldera de vapor. Se abre, dejando paso al exceso de tensión, mientras este exceso persiste y se cierra automáticamente en cuanto pasa el peligro.

Para evitar toda corriente permanente a través del pararrayos electrolítico, se monta siempre éste en serie con uno de cuernos, graduando la distancia explosiva de las antenas, de manera que pueda salvarla la más pequeña sobretensión que pudiera presentarse.

Disolución de la película resistente. — Cuando el pararrayos electrolítico no está sometido a tensión alguna, la película resistente formada sobre los platos de aluminio se disuelve lentamente. De aquí resulta que si un pararrayos retirado de servicio se une a una línea con tensión, dejará pasar una corriente instantánea, intensa, como cuando sufre una descarga que horada las películas.

Cuando el electrolito está a la temperatura de 25 a 30 grados, la reposición de la película es algo más lenta. La corriente de formación puede ser bastante duradera para disparar los disyuntores automáticos y para calentar exageradamente los pararrayos electrolíticos.

Conviene, pues, no dejar los pararrayos fuera de servicio más de veinticuatro horas, para que las películas no se adelgacen por disolución. En cambio, la experiencia aconseja no tenerlos constantemente sometidos a tensión. Para hermanar estas exigencias, se instalan los pararrayos electrolíticos combinados con un conmutador, que permita unirlos a la red directamente o en serie con el explorador de cuernos de que hicimos mención anteriormente.

Este conmutador deberá maniobrarse, para que diariamente los pararrayos electrolíticos estén un momento unidos directamente a la línea, para robustecer sus películas aislantes y mantener su resistencia sensiblemente constante, y deberá maniobrarse siempre que se desea separar el pararrayos de su situación normal, para reconocerlo o repararlo.

Conexiones del pararrayos electrofítico. — Las series de platillos de aluminio se conexionan con línea y tierra de distinto modo, según las condiciones de los circuitos que deben proteger.

Cuando la línea es trifásica con neutro a tierra, se emplean tres pilas de platillos, como se indica en la figura 23 I, uniendo sus entradas a línea mediante explosores de cuernos y sus salidas a tierra.

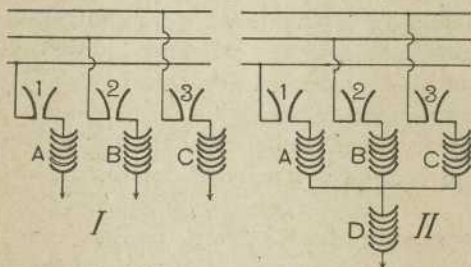


Fig. 23

Para el refuerzo diario de la película resistente, bastará cerrar los explosores 1, 2, 3 durante un momento, con lo cual cada una de las tres pilas A, B, C, queda sometida a la tensión simple existente entre una fase y la tierra.

Cuando el neutro no tiene tierra, se emplean cuatro pilas de platillos, como se indica en la figura 23 II, uniendo tres de ellas A, B, C, a las líneas mediante explosores, como en el caso anterior; la cuarta pila D, a tierra, y las salidas de las cuatro se reúnen en un conductor sin resistencia.

En este último caso la pila *D* debe tener una disposición especial que le permita substituir a una cualquiera de las *A*, *B*, *C*, cuando el pararrayos se une a línea directamente para el refuerzo diario de la película resistente. Esta operación se efectuará del modo siguiente: Cerraremos metálicamente la distancia explosiva de 1 y 2, con lo cual las pilas *A* y *B* quedan unidas en serie y sometidas a la tensión compuesta de dos fases para que refuercen sus películas. Substituiremos luego la *B* por *D* y cerraremos los explosores 2 y 3, con lo cual *D* y *C* reforzarán sus películas del mismo modo que lo hicieron *A* y *B*.

En una línea con el neutro sin tierra, no debe emplearse nunca un pararrayos de tres pilas. Veamos el peligro que puede ofrecer tal disposición.

Supongamos que la línea representada en la figura 23 I, fuese una trifásica sin tierra en el neutro, y las pilas *A*, *B*, *C* con número de elementos de aluminio suficiente para resistir la tensión simple existente entre una fase y la tierra.

Si una de las líneas, por ejemplo la superior, se une accidentalmente a tierra por una avería cualquiera, la pila *A*, que tiene tierra propia en su extremo inferior, quedará lo mismo que si estuviese derivada entre los hilos superior e inferior, es decir, sometida a la tensión compuesta entre dos fases, para la cual no está dispuesta. Lo mismo le sucederá a la pila *B*.

La pila *C* queda en corto circuito por tener tierra sus dos extremos.

Caracteres generales del pararrayos electrolítico.

La casa Thomson Houston, consutrcctora de estos aparatos, señala en ellos las siguientes condiciones:

Pueden resistir una descarga considerable aun cuando se mantenga durante media hora.

Las pilas de conos van bañadas en aceite y rodeadas de serpentinas de agua fría para aumentar muy considerablemente la capacidad calorífica del pararrayos.

El número de elementos de aluminio y la distancia del explosor de cuernos pueden graduarse para que funcione el pararrayos con un 25 por 100 de aumento en la tensión normal de la línea protegida.

Las pilas de platillos van encerradas en cubas de acero, de construcción robusta, que resisten perfectamente el transporte, las manipulaciones y las descargas de funcionamiento.

El cuidado diario de reforzar las películas resistentes es un inconveniente del aparato, que impide su empleo en pequeñas estaciones de transformación, donde no hay personal dedicado a su cuidado. En cambio, cada día se extiende más su empleo en las grandes centrales de transformación y en las generadoras y receptoras de cualquier importancia.

Se construyen pararrayos electrolíticos hasta para 140000 voltios. Para estas grandes tensiones, se instalan al aire libre los explosores de cuernos, y en el interior, resguardados de las heladas, las cubas del electrolítico.

Cada pararrayos electrolítico exige un carrete de autoinducción.

Se confía en la eficaz protección de estos para-

rrayos hasta el punto de suprimirse toda resistencia óhmica en los hilos de tierra.

El pararrayos electrofítico está absolutamente desprovisto de autoinducción, de manera que no son de temer efectos de resonancia.

Señal de alarma. — Con los pararrayos electrofíticos del tipo Thomson Houston, pueden instalarse avisadores acústicos u ópticos, que llamen la

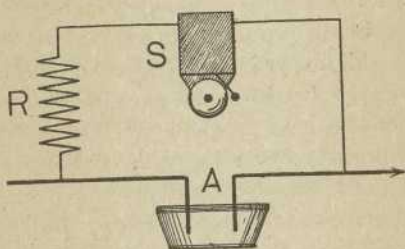


Fig. 24

atención del personal encargado de la vigilancia cuando el funcionamiento no sea el normal.

La avería de una pila del pararrayos se presenta con relativa frecuencia en líneas trifásicas con centro sin tierra, cuando una de las fases toca accidentalmente a tierra. Se produce entonces una descarga a través del pararrayos que, si es duradera, calienta las pilas y las deteriora.

La señal acústica se reduce a un elemento de aluminio *A* (fig. 24) montado entre la cuarta pila del pararrayos y la tierra. Shuntando este elemento

se montan una resistencia R y un timbre S . La descarga produce en los bornes del timbre una tensión suficiente para su funcionamiento.

Si se prefiere una señal óptica, se substituye el timbre por un *relais* que encienda una luz.

Pararrayos de polvo de carbón. — El fundamento de estos pararrayos es en todo igual al de los cohesores autodecoherentes empleados en telegrafía sin hilos. Un prisma de polvo de carbón, encerrado en un tubo entre dos electrodos metálicos es bastante resistente para no permitir el paso de una corriente, si no es con determinada tensión. De manera que si los electrodos se someten a tensiones crecientes, llega un momento en que el prisma de carbón se hace conductor y la corriente pasa. Si luego disminuimos gradualmente la tensión, en cuanto lleguemos a rebasar la tensión límite, vuelve el prisma de carbón a recobrar su resistencia normal.

Para un prisma la tensión límite o tensión de cohesión depende de su longitud, de las impurezas que pueda tener el polvo de carbón y sobre todo de la presión. Esta última condición, que como sabemos es el fundamento de los micrófonos, permite graduar el prisma para que funcione a una u otra tensión límite.

Con estos fundamentos la C. I. E. M. construye un pararrayos reducido a un tubo de porcelana análogo exteriormente a los empleados para cortacircuitos, conteniendo dentro polvo de carbón y presentando al exterior dos cuchillas metálicas

para introducir en horquillas de contacto que comuniquen con línea y con tierra. El aparato lleva también en el exterior un tornillo, cuyo objeto es regular la presión del polvo de carbón.

Este pararrayos ofrece un camino a tierra resistente, pero nada autoinductivo, luego será preservador contra sobretensiones estáticas o de cualquiera frecuencia.

Generalmente se monta con un fusible puesto en serie o en derivación, según la tensión de servicio en la línea protegida.

Pararrayos de vapor de mercurio. — En una atmósfera de vapores de mercurio se mantiene un arco de gran longitud con muy baja tensión, siempre que la corriente sea por lo menos de cuatro amperios. Este es el fundamento de las lámparas Cooper-Hewitt. Pero este arco no se inicia como no sea con una gran tensión, y esta es la dificultad del encendido de las citadas lámparas.

Además la atmósfera de mercurio mantenida entre un depósito de este metal y un electrodo de carbón, presenta una conductibilidad unilateral, luego el arco no puede mantenerse con corriente alterna.

Fundándose en estos hechos, se ha propuesto la construcción de pararrayos de vapor de mercurio, sin que hasta ahora se haya hecho de ellos una aplicación práctica.

CAPÍTULO VIII

PARARRAYOS CON CAPACIDAD

Condensadores. — Otro procedimiento empleado también para descargar la línea de las sobretensiones de alta frecuencia es el empleo de condensadores, uniendo a línea una armadura y a tierra la otra.

Veamos el fundamento de tal disposición.

La capacitancia es, como sabemos (tomo II, página 28),

$$\frac{I}{ac} = \frac{I}{2\pi fc}$$

tanto menor cuanto mayor es la frecuencia; por lo tanto, un condensador derivado entre la línea y el suelo, opondrá gran dificultad al paso de las corrientes de frecuencias usuales, en cambio permitirá fácilmente el paso de las corrientes de alta frecuencia debidas a la inducción atmosférica.

Siendo r y \mathcal{L} la resistencia y autoinducción del conductor que une a tierra una armadura del con-

densador, la descarga de la línea se verificará a través de la impedancia

$$\sqrt{r^2 + \left(\frac{I}{ac} - a \mathcal{L}\right)^2}$$

que deberá ser lo menor posible, y para ello conviene que sean mínimas r y \mathcal{L} . Hasta tal punto influyen estas magnitudes en la facilidad de la descarga, que se aconseja instalar el condensador en el suelo, inmediatamente al lado de la plancha de tierra, no tolerándose ni siquiera ponerlos en la parte superior de los cuadros, porque esto exigiría algunos metros de conductor para empalmar con la plancha de tierra.

Despreciando la resistencia y autoinducción de los circuitos de descarga, la impedancia queda reducida a

$$\sqrt{\left(\frac{I}{ac}\right)^2} = \frac{I}{ac} = \frac{I}{2\pi fc}$$

y la corriente que los atraviesa, sometidos a una tensión V , será

$$I = \frac{V}{\frac{I}{2\pi fc}} = 2\pi fc V$$

Para formarnos idea de la importancia de la corriente, hagamos un cálculo numérico.

Supongamos que el condensador tiene una capacidad de 0'01 microfaradios y la tensión a que le sometemos alcanza 1000 voltios. La intensidad será

$$I = 62'8 f \times 10^{-6}$$

Con la frecuencia usual de 50 períodos

$$I = 0'00314 \text{ amperios}$$

Con la frecuencia de 100000, fácilmente alcanzada en las instalaciones de radiotelegrafía,

$$I = 6'28$$

Si la descarga atmosférica alcanza el millón de períodos, aunque supongamos solamente los 1000 voltios considerados anteriormente,

$$I = 62'8 \text{ amperios}$$

Condensador Moscicki. — La Sociedad general de Condensadores de Friburgo construye un tipo especial, fundado en la observación siguiente: Cuando un condensador está sometido a una tensión excesiva, su dieléctrico se horada siempre, o por los bordes de las armaduras o por un punto en que la armadura toque imperfectamente al dieléctrico.

Los condensadores Moscicki, construídos por la Sociedad, tienen como dieléctrico un tubo de vidrio

de mayor espesor en el borde, que es donde corresponderá el borde de la armadura. La armadura interna se forma plateando químicamente el tubo y cobreándolo luego para aumentar el espesor metálico, sin elevar el precio del aparato. Es claro que el plateado químico asegura el perfecto contacto entre la armadura interna y el vidrio.

El tubo, después de plateado y cobreado, se introduce en otro metálico mayor, rellenando el espacio comprendido entre vidrio y metal, con un líquido conductor que resista sin solidificarse las más bajas temperaturas.

El tubo se cierra herméticamente con un tapón aislador, dejando al exterior un contacto que comunica con la armadura interna. La armadura externa está formada por el tubo metálico.

Es claro que para alcanzar grandes capacidades se necesita reunir en paralela muchos tubos elementales como el descrito, formando una batería. Cada tubo alcanza una capacidad de 0'002 a 0'005 microfaradios, según el tamaño.

Instalación de condensadores. — Las baterías de condensadores se emplean como descargadores, en líneas de 12000 a 35000 voltios.

La figura 25 da idea esquemáticamente de una entrada de hilos con estos aparatos protectores, siendo L los hilos que vienen de línea; c, c', c'' , los condensadores; b, b', b'' , los carretes de autoinducción; t, t', t'' , las planchas de tierra, y E los hilos que penetran en la estación.

La capacidad de un condensador descargador

debe ser mayor que la de una porción de línea ocupada por una semionda.

Constituidos estos condensadores por varias capacidades elementales unidas en paralela, en número variable según la línea que deben proteger, cada uno de estos elementos debe estar unido a la línea mediante un fusible; y, de este modo, si un chispazo agujerease su dieléctrico, la corriente de-

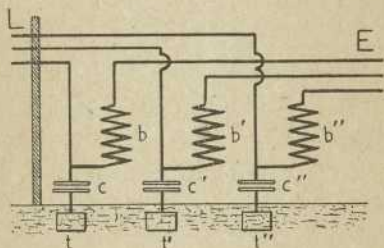


Fig. 25

rivada a tierra por sus armaduras, quemando el fusible, aislaría de la línea el elemento inutilizado.

Del éxito obtenido con el empleo de los condensadores da idea la siguiente correspondencia del director de la *Société des Forces motrices d'Aubergne*, dirigida a Mr. Capart y publicada por este último en *L'Electricien*:

«Desde primeros del año 1908, época en que empezamos a instalar material de protección de Friburgo en nuestra red de 10000 voltios, no han ocurrido accidentes, ni en transformadores ni en máquinas a causa de perturbaciones atmosféricas.

«Tenemos mucho gusto en participaros estos

halagüeños resultados, tanto más, cuanto que los accidentes habían sido muy numerosos durante los años precedentes, y durante este período lo han sido en nuestra red de 25000 voltios, que aún no la tenemos protegida por el sistema de condensadores.»

El Dr. Frank, ingeniero director de la red de Neuss (Colonia), asegura también que con el empleo de los condensadores de Friburgo, el número de accidentes se ha reducido en un 70 por 100 de los sufridos anteriormente, cuando sólo empleaba pararrayos de cuernos.

Condensador Yensen. — Estos condensadores se diferencian de los de Moscicki, en que tienen líquidas sus dos armaduras, y suprimido el plateado que constituye en aquéllos la armadura interior, resultan con menor precio de coste.

El modelo que se describe en *La Lumière Electrique* de 9 de marzo de 1912 está construido para 10000 voltios y 0'1 microfaradios próximamente. Se compone de 64 tubos de vidrio de 20 cm. de longitud, 2'5 de diámetro interior y un espesor de 2 mm.

Los diferentes tubos *A* (fig. 26), que constituyen una batería, se sujetan entre dos láminas de madera *B*, *C*, continua la primera y agujereada convenientemente la segunda, rellenando de parafina el espacio comprendido entre las dos láminas para que la disolución salina que constituye la armadura exterior no trepe por los tubos. Con el mismo objeto se parafina también la parte interior de los tubos próxima al borde superior.

El líquido interior de todos los tubos comunica con el terminal *D* del aparato, mediante una varilla de latón *E* y un hilo fusible *F*. El líquido exterior comunica con el otro terminal *I* mediante la caja de cobre *H* que le contiene.

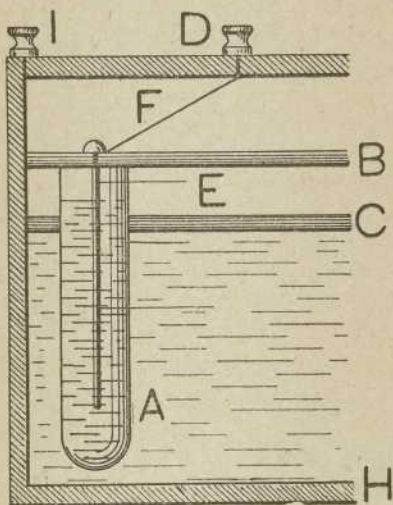


Fig. 26

Se puede hacer variar la capacidad del condensador con sólo variar el nivel del líquido exterior, ya que esto equivale a alterar muy notablemente la superficie de la armadura externa.

Los elementos horadados son atravesados por una gran intensidad, que funde instantáneamente el hilo *F* y los aísla de los demás.

La reposición de un tubo averiado, se hace con suma facilidad.

En una correspondencia publicada por el director de la Sociedad general de los Condensadores de Friburgo, en *La Lumière Electrique* de 11 de mayo de 1912, se discute la originalidad de este tipo de condensador, comparándolo con el patentado por Moscicki en 1903.

Válvula Giles. — La válvula Giles está destinada a descargar la línea de las sobretensiones de media y baja frecuencia.

Estas sobretensiones, generalmente nacidas en la red misma, son producidas, según hemos dicho, por efectos de resonancia, debidos a variaciones bruscas de la corriente en línea. Por ejemplo, un corto circuito en la canalización permite que la intensidad alcance un valor I_0 tres o cuatro veces mayor que el normal, y si entonces salta un fusible o funciona un automático, la corriente cambia bruscamente de I_0 a 0 (cero), ocasionando una sobretensión en los generadores.

Empleando, como aparato protector, un pararrayos de cuernos, deberá montarse éste en serie con una resistencia. Si esta resistencia es muy grande, la descarga de la sobretensión se hace difícil a través del pararrayos, y si es muy pequeña, al cortarse el arco en lo alto de los cuernos, el mismo pararrayos es causa de una sobretensión. Se aconseja para valor de la resistencia

$$r = 4 \sqrt{\frac{\mathcal{L}}{c}}$$

siendo \mathcal{L} y c la autoinducción y la capacidad de las máquinas o líneas protegidas.

Tampoco puede emplearse el condensador como descargador, porque siendo las sobretensiones interiores siempre de baja frecuencia, el efecto de capacitancia sería muy grande y la descarga muy difícil.

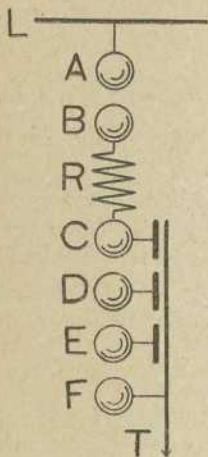


Fig. 27

La *Société Générale des Condensateurs de Fribourg* construye aparatos protectores para las sobretensiones interiores, combinando varias distancias explosivas y capacidades en serie, como se representa esquemáticamente en la figura 27.

La disposición ha sido ideada por Mr. Giles, director de la sociedad, y su descripción ha sido publicada por todas las revistas técnicas.

Nosotros la tomamos de un folleto publicado por el mismo inventor, titulado *Protection des Réseaux de Distribution contre les décharges atmosphériques et les surtensions*.

A, B, C, D, E, F son discos metálicos de bastante superficie para que no se calienten aun cuando entre ellos salte una chispa. El primero A está unido a la línea. Su distancia al segundo puede graduarse micrométricamente para que sea infranqueable a la tensión de funcionamiento y perfecta-

mente franqueable para una sobretensión dada. Entre el segundo y tercero existe una resistencia R . Los C , D , E comunican con tierra a través de una capacidad y el último F comunica directamente.

Al funcionar, según sea el voltaje alcanzado por la sobretensión, se realizará la descarga a través de una, dos o tres capacidades: C , $C D$ o $C D E$; y si la tensión fuese suficiente para salvar todas las distancias explosivas, la descarga podrá efectuarse directamente a tierra a través de F .

Los discos C , D y E comunican con tierra a través de una capacidad, y esta disposición tiene por objeto repartir equitativamente entre los espacios explosivos, la sobretensión total. Igual disposición, y con igual objeto, se emplea en algunos tipos de pararrayos de rodillos.

Prácticamente el aparato se compone de 6, 8 ó 12 columnas como la descrita, unidas en paralela y teniendo, según los casos, resistencias individuales de 800 a 2500 ohmios, resultando para el conjunto una resistencia de 70 ohmios en algunos tipos. Cuando la resistencia de un aparato sea demasiado fuerte para la protección que se desea, deberán montarse dos o más aparatos en paralela, hasta conseguir que el conjunto tenga la resistencia tan débil como se necesite para las sobretensiones o resonancias que sean de temer.

Los discos A , B , ... alcanzan una superficie de 190 mm^2 , con lo cual las chispas que salten de uno a otro cuando se produzca la descarga, encontrarán frías sus superficies y se extinguirán por sí solas, sin necesidad de sopladores mecánicos ni

magnéticos, después del primer semiperíodo de la sobretensión.

Esta extinción rápida de la chispa permite reducir la cantidad de metal empleada en las resistencias, ya que la energía que deben absorber es sencillamente una fracción de caloría.

Por esto mismo los fusibles que lleva la válvula Giles sólo se queman cuando se horada el dieléctrico de las capacidades, pero nunca por el paso de una sobretensión.

La cebadura de la válvula se obtiene con menor tensión que en cualquier otro aparato de igual número de espacios explosivos, y este efecto es debido a las capacidades situadas entre los discos y la tierra. El inventor dice que un aparato que necesite 10000 voltios para cebarse, necesitará 50000 si se le suprimen las capacidades.

Instalación de válvulas Giles. — Estos aparatos protectores deben estar invariablemente unidos a los conductores de la sección protegida. De manera que si tenemos varios alternadores $A A' \dots$ (fig. 28) que dan corriente a unas barras ómnibus $B B'$ y de ellas se toman diversas derivaciones $DD', D'' D'''$ será preciso poner unos aparatos protectores $P P' P'' P'''$ para los alternadores, antes de los interruptores de acoplamiento, y otros $p p' p'' p'''$, después de los interruptores de las derivaciones.

Para la protección de circuitos trifásicos, Mr. Cart aconseja instalar cuatro válvulas, del mismo modo que se instalan cuatro pilas de discos en los pararrayos electrolíticos, es decir, uniendo las en-

tradas de tres válvulas a las líneas y sus salidas a la entrada de la cuarta; esta cuarta tiene su salida a tierra.

Con esta disposición se oponen siempre a las sobretensiones dos aparatos unidos en serie, sea sobretensión entre dos conductores o entre un conductor y el suelo. Los aparatos podrán calcularse

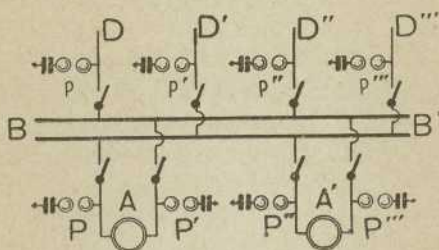


Fig. 28

para que resistan la mitad de la tensión compuesta normal.

Pararrayos S. I. G. — El pararrayos conocido con este nombre es debido a los ingenieros italianos Pizzutti y Ferrari, y lo representamos esquemáticamente en la figura 29.

La línea L se une en serie con una de las armaduras de un condensador C y con una autoinducción S para llegar después a la maquinaria M . La segunda armadura del condensador C se une a tierra.

De este modo en el circuito de línea tenemos una

capacidad y una autoinducción que podemos graduar como nos convenga, y se arreglan de manera que la onda de sobretensión presente un máximo, o, como suele decirse, un vientre de vibración en la armadura del condensador. Esta se une a tres o cuatro explosores $E E' \dots$, de los cuales funcionará el que corresponda al punto de tensión máxima.

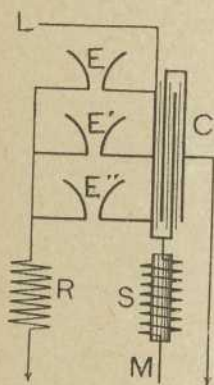


Fig. 29

Los inventores han dado una teoría matemática completa sobre la propagación de ondas de sobretensión, para deducir el fundamento y mejores condiciones de instalación de su aparato. La práctica de funcionamiento ha correspondido exactamente a las previsiones teóricas.

MM. Chavannes y Lecoulre, elogiando este tipo de pararrayos, citan el caso siguiente. En una línea de 30000 vol-

tios existían diversos tipos de pararrayos instalados, y al presentarse una vez una tormenta a 70 kilómetros de la instalación, sólo los pararrayos S. I. G. funcionaron.

CAPÍTULO IX

COMBINACIÓN DE APARATOS PROTECTORES

Protección completa de una línea de alta tensión.

Una línea aérea se dirá que está completamente protegida, cuando cuente con sistemas que la pongan a cubierto de las descargas directas del rayo; de las descargas indirectas o inducidas de alta

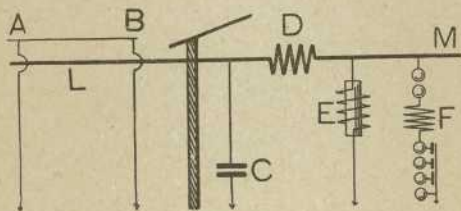


Fig. 30

frecuencia; de las sobretensiones continuas o cargas electrostáticas debidas a fenómenos atmosféricos; de las sobretensiones de media o baja frecuencia.

En la figura 30 representamos esquemáticamente las conexiones de los diversos aparatos protectores estudiados anteriormente, reduciendo la línea a un solo conductor. Es claro que en la práctica, deberán

multiplicarse los aparatos por el número de conductores que forman la línea.

A B, es el hilo de guarda que debe unir las cabezas de todos los postes, teniendo en ellos buena comunicación con el suelo, y cuyo efecto es preservar la línea de los efectos directos del rayo. (Capítulo III).

C, es un condensador de descarga, cuyo objeto es procurar un camino a tierra para las sobretensiones de alta frecuencia. (Capítulo VIII).

D, es una pequeña autoinducción, para impedir el paso hacia las máquinas, de las sobretensiones de alta frecuencia. (Capítulo VI).

E, es una autoinducción grande, infranqueable para la frecuencia de la corriente de funcionamiento, pero que ofrece una derivación a tierra para la corriente continua debida a cargas electrostáticas. (Capítulo IV).

F, es un condensador de Friburgo destinado a derivar las sobretensiones de frecuencia baja o media. (Capítulo VIII).

M, es el conductor que va a las máquinas.

Protección de las redes de baja tensión. — Las sobretensiones de alta frecuencia, directas o inducidas, son siempre menos temibles en los circuitos de baja tensión que en los de alta. Una red de baja tensión se considera suficientemente protegida, cuando sus pararrayos la ponen a salvo de tensiones tres o cuatro veces mayores que la normal de funcionamiento.

En el caso de las redes de corriente continua,

queda el problema completamente resuelto mediante el descargador electrolítico, que se deriva entre el hilo de línea y el suelo. La corriente continua de funcionamiento, no puede sufrir pérdida alguna a través del aparato, puesto que obrará como una válvula eléctrica doble, mientras la sobretensión alterna, podrá descargar por él con tanta más facilidad cuanto mayor sea la frecuencia, ya que obrará como condensador.

Si la sobretensión llega a horadar la película de óxido, la misma corriente de descarga volverá a engendrarla, regenerando el aparato como condensador.

Para las redes de baja tensión, de corriente alterna, el problema de la protección no está resuelto con la perfección del caso anterior y queda por hoy limitado al empleo de los pararrayos de cuernos y descargadores hidráulicos. Si se quieren emplear los pararrayos electrolíticos, será preciso montarlos en serie con uno de cuernos, ya que de otro modo, la corriente alterna se derivaría de un modo permanente a través de la capacidad.

Registrador de sobretensiones. — La Compagnie Générale d'électricité de Creuil ha patentado en febrero de 1913, un registrador de sobretensiones, aplicable a los aparatos provistos de lo necesario para permitir el paso de las chispas a tierra, con el cual puede reconocerse el sitio y el instante en que ha tenido lugar una sobretensión y remediar las averías que haya podido originar.

Generalmente se mide la tensión correspondiente

a una sobretensión accidental, derivando un voltímetro V , entre los extremos de la resistencia R que lleva el explosor en su hilo de tierra, según se indica en el esquema I de la figura 31.

Instalando el voltímetro V donde pueda verlo el personal de vigilancia, se notará la tensión en cuanto se produzca la descarga.

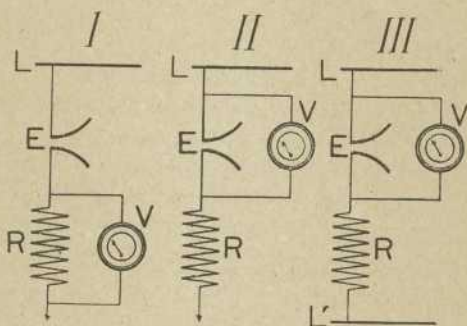


Fig. 31

En la disposición de la Compagnie Générale, el voltímetro, en lugar de estar derivado entre los extremos de la resistencia, se deriva entre los dos electrodos del explosor, como se ve en el esquema II.

Es fácil darse cuenta del funcionamiento.

El voltímetro, mientras no se producen descargas, indica la tensión del conductor con relación a la tierra. Es claro que esta tensión está reducida en parte por la resistencia R de amortiguación; pero la reducción es tan pequeña que no vale la pena de tenerla en cuenta. Si se produce una

descarga, hay circulación de corriente por $E R$, y, por lo tanto, la tensión cae muy notablemente indicando la descarga, y se restablece cuando cesa la corriente a tierra.

Con esta disposición puede emplearse el mismo voltímetro que ya existe en muchas instalaciones, para medir la tensión entre un hilo y la tierra, mientras con la antigua disposición (esquema I) se necesita emplear un voltímetro especial.

En el caso de líneas trifásicas puede montarse el voltímetro avisador como se indica en el esquema III, es decir, derivando entre dos hilos de línea $L L'$ el circuito compuesto de explosor, voltímetro y resistencia amortiguadora.

Si la línea protegida es de alta tensión y no se quiere emplear voltímetros de tan amplia escala, pueden montarse de pequeña escala, unidos mediante transformador a los extremos del explosor.

Los movimientos de la aguja del voltímetro pueden utilizarse para establecer contactos eléctricos que hagan funcionar avisadores acústicos o luminosos, y también pueden llevar mecanismos especiales, sencillos, para convertirlos en registradores.

Protección de las redes de alta tensión contra las perturbaciones accidentales. — La compañía francesa para la explotación de los procedimientos Thomson Houston, ha patentado en mayo de 1913 un sistema de protección para las redes de alta tensión contra las perturbaciones accidentales, cuyos

accidentes tanto preocupan a los constructores y a las compañías explotadoras.

El principal objeto de este sistema es asegurar la continuidad del servicio en redes donde existan muchos *feeders*.

Una de las causas principales de la producción de averías es la imperfección en el aislamiento de los cables. Estos presentan a veces defectos que resisten a las pruebas efectuadas antes de la instalación y que se presentan luego, al ponerlos en servicio, y son causa de contactos accidentales con tierra.

Otra causa, de iguales efectos que la anterior, es el deterioro por electrolisis de las capas protectoras del cable, quedando al descubierto las capas aisladoras, mucho más débiles.

Cuando una de estas averías pone en tierra una fase de la canalización, cambian las condiciones de capacidad electrostática de la línea, se produce un arco en el punto averiado, y, como consecuencia, oscilaciones periódicas en toda la red. Estas oscilaciones pueden ser causa de resonancias y sobretensiones en algunos puntos, y de efluvios debidos a la alta frecuencia, que atraviesan los aislantes y los deterioran.

En el cuadro de distribución se nota en seguida la tierra accidental de una fase; pero desde allí, ni se puede corregir la avería ni siquiera se puede localizar convenientemente a menos de suspender el servicio.

Cuando se presentan estas averías y duran algún tiempo, perjudican grandemente los aparatos del

cuadro y los otros cables; se convierten pronto en cortos circuitos, con sus corrientes excesivamente intensas; se disparan los automáticos y viene una suspensión del servicio más o menos bruscamente.

La disposición patentada tiende, según los constructores, a cumplir los fines siguientes:

1.º Permitir el ensayo de la red para descubrir los defectos en formación, operando en el momento del día, de la noche o de la semana, más apropiado para estas investigaciones; por ejemplo, cuando la red tiene una carga mínima y puede disponerse de algunos feeders de reserva.

2.º Señalar sobre qué feeder se ha producido un defecto en el momento de producirse.

3.º Cortar el arco que pueda producirse entre el cable y la tierra en el punto averiado, evitando así las oscilaciones peligrosas en la red.

4.º Dar una protección suplementaria a las dinamos durante el corto tiempo empleado para el funcionamiento del aparato.

Las corrientes de tierra, por avería en los cables, son muy variables, por lo cual serán inseguros todos los sistemas cuyo funcionamiento exija cierta intensidad.

En el sistema Thomson Houston el funcionamiento es independiente del valor absoluto de la corriente a tierra. Para ello se equilibra la fuerza producida por la corriente de un feeder con la producida en otro u otros feeders, de modo que cese el equilibrio en cuanto un feeder tenga tierra y aumente su corriente. Veamos cómo:

Sean *A*, *B*, *C*, los tres hilos de un feeder en una distribución de corrientes trifásicas (fig. 32).

Al salir este feeder de la central, se intercala en cada uno de sus hilos el primario de un pequeño transformador. Los secundarios de los tres trans-

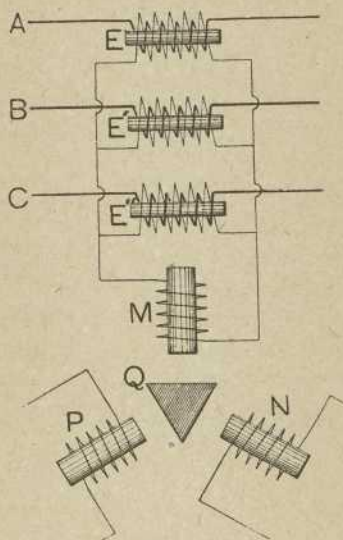


Fig. 32

formadores se reúnen en un solo hilo que cierra su circuito a través de un electroimán *M*, de manera que mientras el funcionamiento sea en el feeder el normal, la suma de las tres corrientes secundarias es cero, y el electroimán no da campo magnético alguno.

Esta disposición se repite en todos los feeders que salen de la central, y los electroimanes correspondientes N , P ... se colocan según vectores uniformemente repartidos sobre una circunferencia. En el caso de nuestra figura, se supone que son tres solamente los feeders que salen.

En el centro del polígono formado por los electroimanes, se coloca una armadura de hierro dulce Q , poligonal, que presenta un lado a cada electroimán y está suspendida por su centro de gravedad de un hilo, a manera de péndulo. Los electroimanes y la armadura Q están todos en un plano horizontal.

Mientras los feeders funcionen normalmente, los electroimanes permanecen inactivos y la armadura conserva su posición en el centro del sistema. Pero supongamos que un conductor cualquiera, por ejemplo el B del feeder representado en nuestra figura, se pone en contacto con tierra. Variará seguidamente la capacidad de B ; la corriente que circula por este hilo adelantará su fase; la suma de las tres corrientes no será cero y el electroimán M se imantará atrayendo a la armadura Q . El movimiento de la armadura puede aprovecharse para cerrar un contacto eléctrico que haga sonar un timbre o que encienda una bombilla.

Cuando en la línea trifásica tiene tierra una de las fases, es evidente que se altera la corriente en las otras dos, de manera que se alterará el equilibrio en todos los electroimanes del sistema, si bien en ninguno tanto como en el feeder averiado. Para este caso, es indispensable que los P , N ,...

correspondientes a los no averiados, ejerzan acciones iguales sobre la armadura.

Se consigue esta igualdad de diversas sencillas maneras: poniendo a los electros distintos números de vueltas, según el gasto relativo de los feeders correspondientes, alejando los electros más o menos de la armadura; variando el número de vueltas inducidas en los transformadores E' , E'' , E , etc. Se aconseja como medio más conveniente, construir los electroimanes con números de vueltas inversamente proporcionales a las capacidades electrostáticas de los respectivos feeders.

Para que no se registren las oscilaciones de muy corta duración, se procura alguna lentitud en el funcionamiento del aparato, alargando la longitud del péndulo, que sostiene la armadura o aumentando la separación entre ésta y los electros.

Si en la central existieran muchos feeders, de manera que resultase excesivamente grande el círculo de los electroimanes M , N , P ,... podrán reunirse los feeders en dos o más grupos con un registrador para cada grupo.

Relais selector. — La disposición anterior señala en seguida el feeder averiado, pero no indica en cuál de sus tres fases está la avería. Para completar la determinación, se emplea un *relais*, que escoge la fase derivada a tierra y un apagador automático que corta el arco que pueda formarse en la derivación (fig. 33).

El *relais selector* es electrostático. Tiene tres electrodos fijos a , b , c , que comunican con las barras

del cuadro de distribución *A, B, C*. Entre estos tres electrodos está pendiente de un hilo un disco metálico *D*, con tres electrodos *a', b', c'*, para oponer a los fijos *a, b, c*. El disco comunica con un generador *G* y con tierra.

Mientras no se altere el funcionamiento normal de la central, el disco *D* es igualmente atraído por

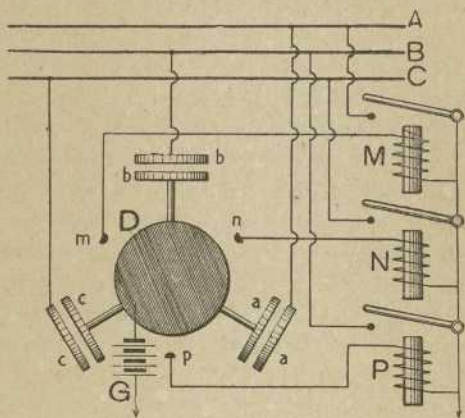


Fig. 33

los tres electrodos y permanece en equilibrio. Si una fase, la *a* por ejemplo, tiene tierra en línea, la tensión en la barra *A* disminuye muy notablemente, la atracción entre *a* y *a'* se reduce y el disco oscila hasta formar contacto con *m*. La corriente del generador *G* cierra su circuito por el electroimán *M*, y su armadura da franca comunicación con tierra a la fase *A*.

Tenemos así determinada la fase que tiene tierra, y apagado el arco que pueda formarse en la derivación, ya que la fase tiene tierra menos resistente que la derivación.

Protección suplementaria de las máquinas. — Hemos dicho que es necesario proteger las máquinas de las sobretensiones que pudieran producirse durante el breve tiempo que necesita el relai selector para su funcionamiento. Esta protección puede conseguirse mediante un pararrayos electrolítico, de platillos de aluminio, intercalado entre el punto neutro del alternador y la tierra.

Esta pila de platillos no sufre descarga alguna mientras no se presente una avería en línea, de manera que las películas resistentes de sus elementos se disuelven lentamente en el electrolito. Será indispensable una disposición que permita de tiempo en tiempo reforzar las películas, del mismo modo que se dijo al tratar de los pararrayos. (Capítulo VII).

Más sencillamente queda protegida la máquina colocando entre su punto neutro y la tierra un carrete Petersen. (Capítulo IV).

CAPÍTULO X

LIMITADORES DE CORRIENTE

Objeto de los limitadores de corriente. — En las máquinas eléctricas, generadoras, receptoras o transformadoras, lo mismo que en las canalizaciones conductoras del fluido, se calculan siempre las secciones metálicas que debe atravesar la corriente, con un exceso de conductancia, para evitar que una resistencia considerable ocasione pérdidas de tensión que alteren el funcionamiento de los aparatos y sean, en último término, pérdida de vatios, que es pérdida de dinero.

Con este exceso de conductancia, es claro que las corrientes que circulan por los distintos órganos de la instalación pueden crecer enormemente antes de hallarse limitadas por la ley de Ohm

$$I = \frac{V}{R},$$

y crecen, efectivamente, en cuanto la tensión aumenta o la resistencia de los receptores disminuye.

Se origina en este caso una corriente excesiva, o *sobrecarga*, que puede calentar las piezas metálicas por donde circula, quemar los aislantes y hasta fundir los metales de los conductores.

Para prevenirse contra los grandes aumentos de voltaje, se emplean los limitadores de tensión, estudiados en los capítulos anteriores, y para prevenirse contra los aumentos de tensión no exagerados y contra las reducciones de resistencia, se emplean los limitadores de corriente.

Otro grupo hay de limitacorrientes cuyo objeto es muy diferente del que acabamos de exponer. Nos referimos a los aparatos que se intercalan a la entrada de las instalaciones de abonado para que en ella no pueda gastarse más corriente que la convenida para el pago.

Es claro que estos aparatos no tienen carácter protector, sino fiscalizador, puramente de organización de explotaciones.

Funcionamiento. — La función de los limitadores de corriente es siempre interrumpir el circuito donde la sobrecarga se presenta.

Esta interrupción se consigue unas veces sencillamente por la fusión de un hilo metálico de débil sección, que se intercala en los conductores, constituyendo el *fusible* o *cortacircuito*.

Otras veces se interrumpe el circuito mediante un interruptor de cuchilla metálica y horquillas, como los tipos corrientes, pero accionado automáticamente mediante potentes electroimanes, o mediante mecanismos que se disparan con la sobre-

carga. A estos aparatos se les llama *disyuntores automáticos de máxima*.

Entre los *limitacorrientes* de función fiscalizadora que hemos citado anteriormente, los hay que cortan el circuito de un modo definitivo en cuanto la corriente rebasa el límite fijado previamente, y los hay tembladores a manera de timbres, que al funcionar hacen intermitente la corriente, imposibilitando la marcha de los receptores.

Empezaremos el estudio de los limitadores de corriente, por el caso más sencillo de los fusibles o cortacircuitos.

Fusibles. — En las instalaciones poco importantes, tales como las casas particulares, donde la corriente se utiliza solamente para los usos domésticos de luz, ventiladores, calefacción, etc., etc., deben evitarse los peligros de las sobrecargas intercalando hilos fusibles en la entrada de la instalación, en los puntos de unión de conductores desiguales y a la entrada de todos los receptores, con objeto de que su fusión interrumpa el circuito en cuanto la intensidad alcance cierto límite.

Para que el fusible sea completamente seguro, conviene intercalarlo en los dos conductores de la derivación; pero si, por simplificar, se dispone solamente en uno de ellos, deberá cuidarse que sea *siempre en el positivo, o siempre en el negativo*, cuando existan derivaciones paralelas y próximas. Consideremos las dos lámparas *A* y *B* (fig. 34) que tienen un solo fusible cada una y situados en el positivo de la primera y en el negativo de la

segunda. Si entre los puntos *c* y *d* se estableciese un contacto accidental, la corriente cerraría su circuito por $+ d c -$ resultando perfectamente inútiles los fusibles. Esto no sucedería si ambos fusibles estuvieran en conductores del mismo signo.

Cuando se empalma un hilo flexible de dos o más conductores a una línea de conductores separados,

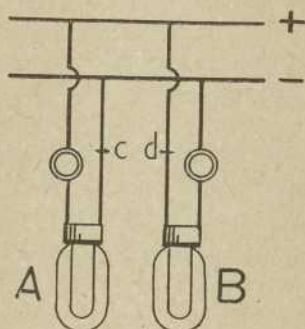


Fig. 34

rados, debe protegerse la derivación del flexible mediante un fusible, pero *colocado en el mismo origen de la derivación.*

En las instalaciones de luz es frecuente colocar al lado del interruptor, el fusible que protege una lámpara, con objeto de facilitar su colocación y la reposición del hilo de plomo.

Tal práctica es siempre viciosa, porque si se establece un contacto accidental entre los conductores del flexible en un punto comprendido entre

el origen de la derivación y el fusible, la corriente de corto circuito no pasará por el fusible y, seguramente, se quemará el cobre sin que se quemé el plomo.

Metales empleados. — Para los hilos fusibles, deben escogerse metales que tengan un punto de fusión perfectamente determinado; que fundan rápidamente, sin dar lugar a producirse el arco; que la fusión sea tranquila, sin chisporroteo, ni explosión y, por último, que el metal no se oxide, para que su composición no se altere con el tiempo.

En la práctica se emplean fusibles de plomo, estaño, aleación fusible de plomo y estaño, y alguna vez cobre, plata y platino. Los metales conductores tienen la ventaja de exigir un diámetro mucho menor que los resistentes, por lo cual presentan menor masa y alcanzan rápidamente la temperatura de fusión en cuanto están sometidos a la intensidad correspondiente. Por el contrario, los fusibles resistentes, para grandes intensidades presentan gran masa, y desde que empieza a circular la corriente peligrosa, hasta que toda su masa alcanza la temperatura de fusión, dejan transcurrir un tiempo apreciable, que puede comprometer los aparatos protegidos.

Cálculo de fusibles. — Siendo I la intensidad en amperios que debe fundir un fusible, y d el diámetro de éste en milímetros, se relacionan ambas cantidades por las dos fórmulas

$$I = a \sqrt{d^3} \quad d = b \sqrt[3]{I^2}$$

Los coeficientes a y b pueden tomarse de la tabla siguiente:

Metales	Valores de a	Valores de b
Cobre.....	80	0,0538
Plata.....	60	0'0652
Platino.....	40'4	0'0849
Mélchior.....	40'8	0'0843
Hierro.....	24'6	0'1182
Estaño.....	12'8	0'1827
Plomo.....	10'8	0'2046
Liga de estaño y plomo.	10'3	0'2112

Generalmente se calculan los fusibles para que se fundan con una intensidad doble de la normal.

Las fórmulas anteriores nada dicen de la longitud de los fusibles. Se les da siempre una muy superior a la distancia explosiva del aire para el voltaje de funcionamiento. El fusible excesivamente corto puede dar lugar, después de su fusión, a la formación de un arco permanente entre sus soportes.

Para ver el empleo de las fórmulas y tabla anteriores, resolveremos algunos ejemplos.

EJEMPLO 1.º *¿Cuál es la intensidad de la corriente necesaria para fundir un hilo de plomo de 4 mm. de diámetro?*

La fórmula y tabla anterior nos dan

$$I = 10'8 \sqrt{4^3} = 86,4 \text{ amperios.}$$

EJEMPLO 2.º *Calcular el fusible de entrada para una instalación que consume 100 amperios.*

Supongamos que el fusible va a ser de plomo, y debiendo funcionar a los 200 amperios, tendremos por las fórmulas anteriores

$$d = 0,2046 \sqrt[3]{200^2} = 0,2046 \times 34,2 = 7 \text{ mm.}$$

Un fusible de este diámetro funcionará muy lentamente como hemos dicho. Podríamos dividir esta masa de plomo en 16 hilos iguales, dispuestos en peinecillo, dando a cada uno un diámetro

$$\frac{7}{\sqrt{16}} = 1,75 \text{ mm.}$$

Mejor solución sería poner un fusible de cobre cuyo diámetro fuese

$$d = 0,0538 \sqrt[3]{200^2} = 1,8 \text{ mm.}$$

Portafusibles o cortacircuitos. — Los hilos fusibles de que hemos tratado en los números anteriores, se instalan en soportes aisladores de formas variadísimas, según los constructores, que se llaman portafusibles o cortacircuitos.

Las condiciones generales de estos aparatos son:

1.º El hilo fusible debe permanecer siempre cubierto, para que el metal fundido, al funcionar, no pueda caer sobre personas u objetos combustibles situados en su proximidad.

2.º La reposición del hilo fundido debe ser sencilla, breve y sin peligro para el operador. Lo mejor es que el hilo metálico vaya sostenido por una pieza aislante, que pueda desprenderse del aparato para poner nuevo fusible.

3.º Cuando se trate de voltajes elevados, es conveniente adoptar una disposición que apague la chispa producida al funcionar el fusible. Generalmente con este objeto se rodea el hilo de arena silíceo muy fina o de recortes de amianto.

La disposición más sencilla, si bien más imperfecta, de un fusible, empleada frecuentemente en los cuadros de distribución, consiste en dos bornes metálicos, fijos a una pieza aisladora y entre cuyos extremos exteriores se atornilla el hilo. Cuando se emplea este método, debe procurarse que la corriente, antes de llegar al fusible pase por un interruptor. De este modo, abriendo el interruptor, podrá reponerse el hilo fundido sin peligro alguno.

Otra precaución conveniente al montar los cuadros de distribución, es colocar los fusibles más bajos que los interruptores. De otro modo, si al cerrar el interruptor saltase el fusible, podría caer el metal fundido sobre la mano del operador.

Por fin, es también conveniente cubrir el fusible con una tira de fibra, que evita la proyección del metal fundido hacia el operador.

El tipo corriente de portafusibles en instalaciones de poca intensidad, es el representado en la figura 35. En una peana aisladora, generalmente de porcelana, van dos piezas metálicas que llevan

cada una un tornillo *A*, *B*, para empalmar en ellos los cabos del hilo en el cual se intercala el fusible, y un pequeño borne de presión *C*, *D*, para sujetar entre ellas el hilo fusible.

Todo el aparato va protegido por una cubierta *M*, que se ve en la proyección horizontal de la figura, que en los últimos modelos es de porcelana.

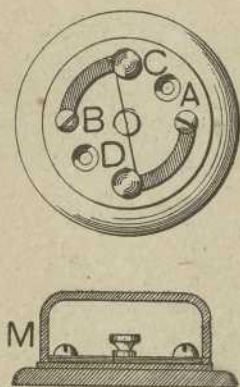


Fig. 35

Con las cubiertas metálicas que se empleaban en estos aparatos, sucedía, con alguna frecuencia, que los hilos de cobre de los flexibles empalmados en *A* y *B*, tocaban a la cubierta, y el fusible quedaba de este modo shuntado y sin efecto alguno.

Entre los portafusibles más perfeccionados, puede citarse el construido por la casa Grivolás, que permite la reposición del fusible con prontitud y

sin peligro. Un prisma de porcelana (fig. 36) lleva dos guarniciones metálicas, próximas en sus extremos, en las cuales se atornilla el hilo fusible. Este prisma se introduce en dos piezas que comunican con los extremos del conductor protegido. Es claro que para operar sin peligro deberá tomarse

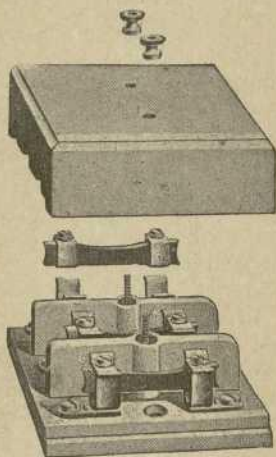


Fig. 36

el prisma de porcelana con dos dedos apoyados en sus bases.

Parecido a este tipo es también el fusible de tapón de Edison. Un tapón hueco de porcelana, *A* (figura 37), va provisto de una guarnición roscada, metálica, y de un contacto inferior. Se unen interiormente, mediante el hilo fusible, estas dos piezas y se rellena el tapón de arena fina.

La parte fija *B* del cortacircuitos es un bloque de porcelana, con agujero provisto de guarnición metálica y contacto inferior para recibir el tapón.

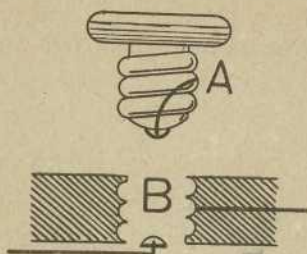


Fig. 37

Es claro que teniendo tapones de recambio la reposición del fusible es breve y cómoda.

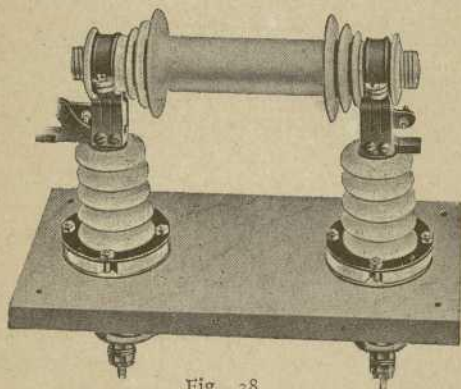


Fig. 38

La figura 38 da idea de un tipo de fusibles para alta tensión. Un tubo de vidrio o porcelana, pro-

visto de dos platillos terminales, que protejan la mano, lleva en su interior colocado el hilo entre resortes que lo estiran y facilitan su ruptura en cuanto se reblandece. Este tubo puede estar vacío o lleno de arena que apague las chispas, y termina en dos cuchillas metálicas, que se introducen en pinzas que comunican con los conductores.

Este tubo fusible puede utilizarse como interruptor, y, en tal caso, al quitarlo del circuito, siempre debe deshacerse primeramente el contacto superior, para que la chispa se produzca arriba y no moleste su calor al que opera.

Fusible para altas tensiones sistema Brown Boveri. — En enero de 1912 ha patentado la Sociedad Brown Boveri y C.^a un portafusible para alta tensión, fundado en los hechos y observaciones siguientes:

Un conductor eléctrico sometido a una alta tensión, sufre una oxidación lenta en su superficie, que reduce su masa hasta destruirla completamente en plazo no muy largo, cuando se trata de conductores de poco diámetro.

Para evitar esta destrucción, puede rodearse el hilo fusible de un cilindro metálico tan largo como él y tocándolo por uno de sus extremos. Con esto queda el hilo en un campo nulo, ya que está rodeado de una superficie uniformemente cargada, y, por lo tanto, no se produce la oxidación y destrucción de que hemos hablado.

Con esta disposición el tubo es atacado exteriormente y, además, puede presentarse otro peligro.

Si una sobrecarga funde el hilo protector, puede saltar el arco entre el tubo envolvente y el extremo del fusible que no comunicaba con él. Este arco mantiene cerrado el circuito, como si el hilo no se hubiera fundido.

Para evitar estos inconvenientes, en el sistema Brown Boveri se encierra el hilo fusible en un tubo de vidrio o porcelana de pequeño diámetro interior y se constituye el tubo metálico envolvente, metalizando la superficie interior del tubo, pero con una capa tan delgada que funda con la misma intensidad que el hilo protector. De este modo, si se quema el hilo y se produce el arco, se quema también el tubo metálico y se corta rápidamente el circuito.

Estando la capa de metalización producida directamente sobre la superficie interior del tubo, no se oxida con el tiempo. Para evitar un contacto accidental del hilo fusible con la capa metálica, se barniza interiormente esta última con un barniz aislador.

Todavía puede simplificarse más. Puede suprimirse el hilo fusible y emplear como tal la capa metálica que recubre interiormente el tubo. Tendremos así un fusible de gran superficie de enfriamiento, y que, por lo tanto, deberá tener mayor resistencia, es decir, menor sección conductora.

Fusibles para líneas telegráficas y telefónicas. —

Dada la extensión alcanzada por las canalizaciones industriales de luz y tracción en el interior de las poblaciones, actualmente es indispensable preve-

nirse contra los accidentes a que puede dar origen un contacto entre líneas telefónicas o telegráficas y conductores de mayor tensión.

Lo más sencillo es dotar de fusibles a las líneas en la entrada de las estaciones. Los hilos de plomo podrán ser de los más finos que se encuentren en el comercio, ya que las corrientes que han de conducir son de intensidades insignificantes.

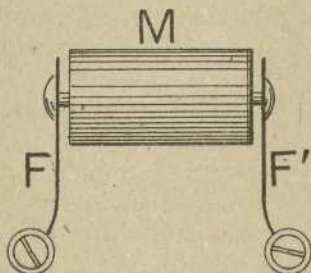


Fig. 39

En la central telefónica de Barcelona se emplean con éxito unos fusibles llamados *carretes térmicos* por el aspecto exterior que ofrecen.

Se reducen a un cilindro formado de una aleación muy fusible *M* (fig. 39) y cuyo eje se prolonga en dos apéndices metálicos terminados en botoncitos. Estos botones se meten en escotaduras de dos muelles divergentes *F F'*, que comunican con la parte exterior e interior de cada una de las líneas.

Cuando la línea es atravesada por una corriente anormal, se reblandece el cilindro, y la tensión

de los muelles disloca el eje cortando el circuito.

Este fusible tiene la ventaja de reponerse con suma rapidez, cualidad apreciable cuando deben vigilarse miles de líneas.

Cortacircuitos Irwah. — Se dice como aforismo entre ingenieros e instaladores, que *un plomo no debe nunca fundirse en una instalación bien hecha*, lo cual podrá ser una verdad teórica, pero en la práctica sucede muchas veces lo contrario.

Dos causas principales pueden determinar la fusión de un plomo:

1.º Un corto circuito franco, producido por un accidente en la línea.

2.º Una sobrecarga accidental.

En el primer caso debe cortarse el circuito y mantenerse cortado hasta corregir la avería. En el segundo caso debe cortarse igualmente el circuito; pero convendría reponerlo nuevamente en cuanto cesa la sobrecarga, si ésta es pasajera.

Los cortacircuitos ordinarios no verifican la reposición por sí solos de los circuitos interrumpidos, con lo cual, cuando se funde un plomo, no podemos saber por qué se ha fundido, si por corto circuito o por sobrecarga instantánea. Será corto circuito, cuando al substituir el plomo fundido por otro plomo igual se funda el nuevo seguidamente. Será sobrecarga pasajera, cuando el nuevo plomo permita continuar el funcionamiento normal de la instalación, y, en tal caso, un cortacircuitos ideal sería el que repusiera automáticamente los hilos

de plomo fundidos, hasta asegurarse de que la causa de la fusión no era pasajera, sino persistente.

A esta idea obedece la disposición Irwah, de cortacircuitos con reposición automática de los

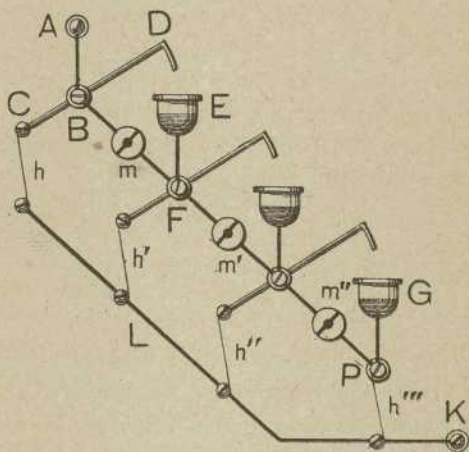


Fig. 40

hilos de plomo, que representamos esquemáticamente en la figura 40.

La corriente llega al borne **A** y sigue el único camino que encuentra, que es el de la palanca **BC**, el hilo fusible **h** y la tira metálica **LK**, por donde sale para la instalación.

Si se presenta una sobrecarga accidental, salta el fusible **h** y la palanca **CD** oscila alrededor

de B , hasta que su extremo D se mete en el recipiente de mercurio E .

La corriente sigue ahora el camino $ABDEFh'K$ y la instalación queda protegida por el fusible h' . Si este segundo hilo de plomo saltase también, oscilaría del mismo modo la segunda palanca F . La corriente recorrería los dos primeros recipientes de mercurio y la instalación estaría protegida por el hilo h'' .

Si llegasen a saltar los cuatro hilos h, h', h'', h''' , seguramente se trata de una avería persistente y la corriente queda interrumpida.

En el caso de sobretensiones instantáneas, que no lleguen a fundir los cuatro hilos, sino que dejen entero por lo menos el último, pueden reponerse los fundidos sin necesidad de suspender el servicio. Basta para ello colocar clavijas metálicas en los interruptores m, m', m'' , y la corriente marchará por $ABm m' m'' h''' K$. Pueden sacarse las palancas de los recipientes de mercurio y sujetarlas inclinadas por nuevos hilos h, h', h'' .

Según Mr. Elias, que estudia este cortacircuitos en *La Lumière Electrique* de octubre de 1913, su empleo estará indicado en aquellos casos en que una interrupción inesperada puede ser peligrosa o perjudicial. Tal sucede en las instalaciones domésticas, en los ferrocarriles, en los túneles, minas o subterráneos, y en las salas de espectáculos.

Para estos últimos lugares puede suprimirse el cuarto fusible h''' , y empalmar en P un circuito independiente del K , con un alumbrado suplementario. De este modo, cuando la avería en circuito K

sea persistente, automáticamente se cambia de circuito cortando la corriente en el hilo averiado.

Es claro que estos cortacircuitos pueden ser bipolares o tripolares cuando así convenga a la instalación que deben proteger.

Una instalación especialmente indicada para el sistema Irwah, es la de los motores, en la cual es frecuentísima la fusión de un plomo cuando se ponen en marcha un poco apresuradamente.

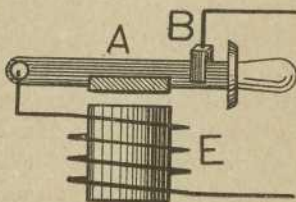


Fig. 41

Disyuntores con disparo eléctrico. — Cuando se quiere que la corriente en un circuito no exceda de cierto valor máximo, se emplean los disyuntores automáticos.

Esencialmente se componen de un electroimán *E* (figura 41) atravesado por la corriente que se quiere limitar, y que cuando alcanza imantación suficiente, atrae la armadura, unida a la cuchilla de contacto, y la desprende de la horquilla rompiendo el circuito.

La acción del electroimán puede ayudarse con un resorte antagonista, más o menos tenso, según el límite que se fije a la corriente.

En algunos modelos las horquillas se substituyen por cápsulas llenas de mercurio, estableciéndose el contacto mediante una pieza metálica arqueada, cuyas puntas entran en el mercurio. Es claro que de este modo la ruptura de los contactos es mucho más suave.

Estos aparatos se emplean con frecuencia en los cuadros de distribución, para resguardar los circuitos de las máquinas en el caso de una sobrecarga exagerada.

Si se trata de circuitos de tensión elevada, se procurará que la chispa salte entre bloques de carbón o entre piezas metálicas bañadas en aceite.

La principal condición que debe exigirse a estos aparatos es que su funcionamiento sea seguro.

Disyuntores con disparo mecánico. — En la figura anterior se comprende que la presión de la horquilla *B* sobre la cuchilla *A*, es cosa muy variable con el uso, con el desgaste, con la deformación accidental, etc., etc., resultando, por lo tanto, muy difícil graduar la tensión del antagonista para obtener un funcionamiento seguro del aparato.

Por esta causa se prefiere siempre confiar el funcionamiento de los disyuntores automáticos a mecanismos en los cuales la corriente obre sólo como disparador.

La figura 42 da idea de un disyuntor de este tipo.

La palanca *A* movida a mano se introduce entre las horquillas *B* y *C*. El antagonista *R* tiene siempre tensión sobrada para arrancar la cuchilla de

las horquillas *B*, *C*, y si no lo hace es porque se lo impide el rodillo *E*, que sostiene el final *D* de la cuchilla.

El rodillo *E* forma parte de la armadura *F* de un electroimán *G*, y por mucha que sea la presión que sufra de *D*, por efecto del antagonista *R*, pudiendo rodar, dejará libre la cuchilla en cuanto el electroimán *G* atraiga a su armadura.

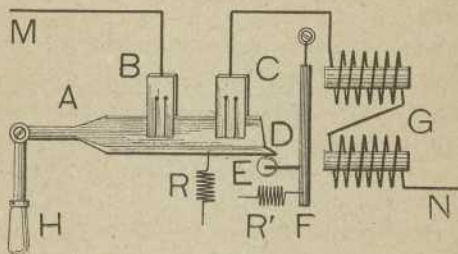


Fig. 42

El electroimán *G* está recorrido por la corriente de servicio, y su acción sobre la armadura *F* es fácil graduarla con gran exactitud mediante el resorte *R'*.

Cuando se trata de grandes intensidades y se hace pasar toda la corriente por el electroimán, el conductor, para revestir sus carretes, se reduce a una lámina gruesa de cobre, necesitándose muy pocas vueltas, ya que se tienen muchos amperios.

Es frecuente también shuntar los carretes de los disyuntores automáticos para que por ellos circule solamente una fracción definida de la corriente total.

Algunos disyuntores llevan también sopladores magnéticos para extinguir la chispa.

Relais de tiempo. — El disyuntor automático, tal como lo hemos estudiado, funciona en cuanto la intensidad traspasa el límite fijado al templar su resorte antagonista, y este funcionamiento tan rápido, que puede parecer una buena cualidad del aparato, constituye un inconveniente las más de las veces. En efecto, en las redes de distribución se producen muchas veces sobrecargas de duración tan limitada, que pueden resistirlas perfectamente las líneas y máquinas sin peligro alguno, y el funcionamiento de los automáticos en estos casos es sencillamente un trabajo inútil para el encargado del cuadro, que tiene que reponerlos con demasiada frecuencia. Esto sucede, por ejemplo, en una central de tranvías, cuya intensidad en línea sufre una sobrecarga considerable siempre que se verifiquen los arranques de dos o tres coches a la vez; pero la duración de la sobrecarga se reduce a unos cuantos segundos, y, por lo tanto, la resisten bien las líneas y los aparatos, sin necesidad de que los automáticos funcionen.

Los *relais* de tiempo tienen por objeto retrasar el funcionamiento de los automáticos hasta después de algunos segundos de presentarse la sobrecarga, es decir, cuando ésta empieza a ser peligrosa. El retraso ha de ser tanto menor cuanto más importante sea la sobrecarga que se presente, de manera que el retraso sea nulo cuando la sobrecarga corresponda a un corto circuito.

Como tipo de relays de tiempo, describimos a continuación el de Brown Boveri, para corrientes alternativas.

El relay funciona siempre con corrientes de baja tensión, generalmente la misma que se transforma

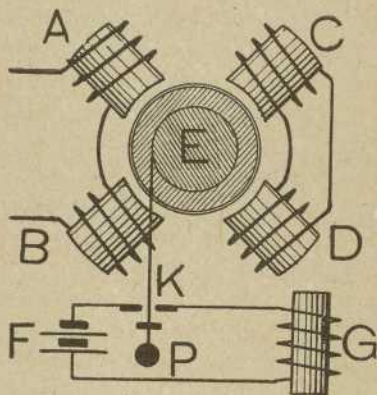


Fig. 43

para los amperímetros, de manera que puede instalarse delante del cuadro sin peligro alguno. En cambio, el transformador y el carrete que actúa sobre la palanca o palancas del automático, se instalan detrás del cuadro, como todos los demás aparatos peligrosos por su tensión elevada.

Su constitución esencial es la siguiente:

Una armadura de cuatro polos *A B C D* (fig. 43) como la del julímetro de Ferrais, tiene dos carretes *A, B*, recorridos por la corriente y otros dos *C,*

D, cerrados en corto circuito, creándose por la acción combinada de los cuatro, un campo giratorio. En el interior existe un disco de aluminio, en el cual nacen corrientes de Foucault y que tiende a girar con el campo, lo mismo que los inducidos de motores asincrónicos. El disco va unido a un tambor *E*.

Mientras la corriente que circula por *A B* sea la normal, el disco no gira, porque el efecto del campo está contrarrestado por la tensión del cordón *K P* arrollado al tambor *E*, y con un peso *P* en su extremo libre. Cuando la corriente en *A B* crece, el efecto del campo giratorio vence la tensión del cordón y el peso *P* se eleva con una velocidad proporcionada a la importancia de la sobrecarga. Los topes metálicos *K* llegan a establecer contacto, y la corriente del generador *F* actúa sobre el electroimán *G* del disyuntor automático.

Como se ve, el tiempo transcurrido desde que la sobrecarga se presenta hasta que el automático funciona, puede hacerse más o menos largo, variando la longitud del cordón *KP*, pero siempre se abreviará más cuanto mayor importancia tenga la sobrecarga.

Instalación del relais de tiempo. — La figura 44 da idea de las conexiones de un relais de tiempo, tripolar, accionado por un generador auxiliar de corriente continua *G*.

Las líneas de alta tensión atraviesan los primarios *P P' P''* de los transformadores y van a unirse a las palancas *D* del interruptor automático.

En los circuitos secundarios S , S' , S'' , se intercalan los amperímetros A , A' , A'' y los carretes B , B' , B'' de los relays de tiempo. C , C' , C'' son los cordoncillos que sostienen los pesos y los contactos para que cualquiera de ellos pueda cerrar el circuito del electroimán E de desprendimiento del automático.

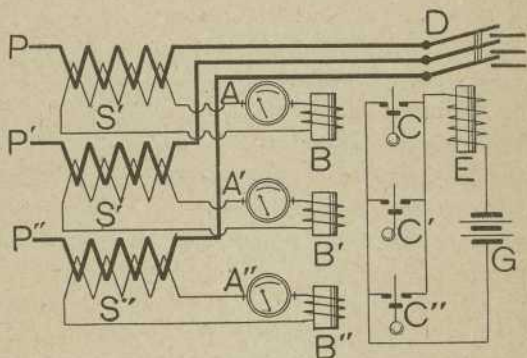


Fig. 44

Si no se dispone de corriente continua, G , puede emplearse alterna de baja tensión, tomada de cualquiera de los circuitos secundarios S , S' , S'' .

Relais para inversión de corriente. — El aparato anterior funciona siempre que la intensidad alcance un valor superior a un límite fijado previamente, pero sin tener en cuenta su desfase respecto a la fuerza electromotriz. En las grandes centrales, donde funcionan varios alternadores en paralelo,

uno de ellos puede sufrir una avería de cualquier género, que modifique su corriente de excitación, y continuar girando como motor sincrónico en lugar de hacerlo como generador, es decir, consumiendo energía en lugar de producirla. Es claro que tratándose de corriente alterna, los amperímetros de la máquina averiada seguirán marcando el paso de corriente, sin que por ellos pueda darse cuenta de la avería el encargado del cuadro.

Para avisar esta inversión de marcha, se construyen unos relays parecidos a los anteriores, pero influidos por los dos factores de la potencia: tensión e intensidad. Se devanan dos carretes opuestos *A*, *D* (fig. 43) en serie y se alimentan con corriente amperimétrica, es decir, se intercalan en serie en uno de los conductores de la línea, directamente o por transformación. Se devanan lo mismo los otros dos *B*, *C* y se alimentan con corriente voltimétrica, es decir, derivadas entre fases, directamente o por transformación.

Los campos creados por los dos pares de carretes *AD* y *BC*, son perpendiculares y tienen el desfase φ que exista entre la tensión y la corriente de línea, por lo tanto, darán lugar a un campo giratorio cuyo sentido de rotación será el de las fases decrecientes. Resulta de aquí que el disco de aluminio girará en un sentido cuando la corriente esté retrasada respecto a la tensión, y en sentido contrario cuando la tensión sea la retrasada respecto a la corriente, es decir, en un sentido cuando la máquina produzca corriente y en sentido contrario cuando la consuma.

Se disponen los devanados de los carretes de manera que mientras la máquina funcione como deba funcionar, el disco de aluminio tenga tendencia a girar desarrollando el cordón *K P* y este movimiento se evita con un tope mecánico. Cuando el funcionamiento de la máquina se invierta, el tambor *E* arrollará el cordón y se disparará el automático.

Limitacorrientes. — Aun cuando en este libro nos habíamos propuesto estudiar solamente los aparatos protectores, daremos también idea de los limitacorrientes por la analogía que tienen con los disyuntores automáticos de máxima respecto al funcionamiento, si bien su objeto es muy diferente.

Las compañías distribuidoras de energía eléctrica han adoptado, casi universalmente, para la tarificación del consumo, el empleo de los *contadores*, y éste es realmente el único medio racional y equitativo de pagar el fluido consumido en las instalaciones de alguna importancia.

Pero cuando se trata de instalaciones de poca importancia, lejos de los grandes centros de consumo y, sobre todo, cuando la corriente se obtiene a bajo precio, puede aceptarse la tarificación sin contador para economizar el importe de este aparato, su instalación y conservación, y los gastos del personal encargado de visitar los contadores para calcular el consumo.

La corriente se sirve entonces a un tanto fijo; pero debe evitarse que el consumidor, aprovechando la carencia de contador, ponga en servicio mayor

número de receptores que los convenidos al fijar el precio, y el procedimiento es instalar a la entrada de su casa un disyuntor automático de máxima, bastante sensible para cortar el circuito en cuanto la corriente pase de cierto límite. A estos disyuntores especiales se les llama *limitacorrientes*.

Existen multitud de tipos de limitacorrientes con fundamentos muy diferentes y que dan soluciones muy variadas al problema que con ellos se persigue.

Los unos producen intermitencias en la corriente en cuanto el número de lámparas es excesivo, y hacen inaguantable la luz producida. Otros reducen notablemente el brillo de las bombillas. Otros interrumpen por completo la corriente, y para restablecer la marcha normal obligan al abonado a apagar todas las luces, como en castigo de su descuido o intento.

Limitacorrientes temblador. — Este aparato, el más sencillo de los limitadores empleados, consiste en un *relais* exactamente igual que los empleados en telegrafía, y montado como indica la figura 45. Se gradúa la posición del tope *B*, de manera que la palanca *D* no pueda ser atraída por el electroimán *C*, mientras éste esté recorrido por la intensidad correspondiente a las lámparas convenidas. En cuanto la corriente pase del límite fijado, el aparato funciona como temblador y produce en las luces una oscilación rápida y molesta, que obliga al abonado a reducir el número de lámparas encendidas.

La palanca *D* se apoya sobre el tornillo *B*, por intermedio de un muelle elástico. Esta disposición tiene por objeto evitar las interrupciones que pudieran producirse entre *B* y *D*, por efecto de trepidaciones que pudiera sufrir el aparato.

El limitacorrientes va encerrado en una caja, que se fija en la pared y se cierra con precinto o

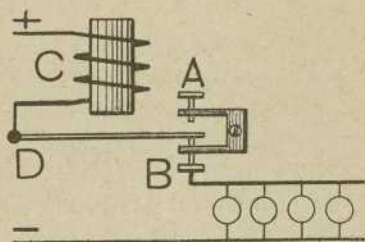


Fig. 45.

jacre para que el ábonado no pueda llegar a su interior.

El funcionamiento como temblador produce chispas entre *B* y *D* que oxidan la superficie de contacto, haciéndolo resistente. A evitar este inconveniente tienden los modelos siguientes.

Limitacorrientes Kal. — La disposición es la misma del modelo anterior, pero la armadura del electroimán está encerrada en un tubo de vidrio (figura 46) lleno de un gas inerte, incapaz de producir oxidación aun cuando salte alguna chispa.

El eje de la palanca comunica con el exterior mediante un hilo que atraviesa el pequeño depósito de mercurio *B*, y el extremo opuesto de la palanca, mientras no sea atraída por el electroimán, baña su punta en el mercurio de *A*, y, mediante él, comunica con el exterior.

Cuando la intensidad pase del límite fijado, el

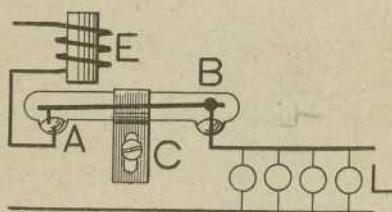


Fig. 46

extremo libre de la palanca sube y corta el circuito en *A*, funcionando como temblador.

La sensibilidad del aparato se gradúa subiendo o bajando el tubo de vidrio, gracias al agujero rasgado de la pieza *C*.

Para distribuciones con tres hilos, se montan limitacorrientes en dos de ellos.

Limitacorrientes Bueno. — El señor Bueno de la Sociedad «Vatímetro B» evita las chispas de ruptura al funcionar el limitacorrientes, con la siguiente disposición (fig. 47):

Mientras la corriente que atraviesa el aparato no llegue al límite fijado, la palanca *D* se apoya

en el tope *C*, y el circuito seguido por la corriente es el *A B C D E*, comprendiendo solamente el carrete *B* de hilo grueso y, por lo tanto, poco resistente. Si la intensidad pasa del límite, la palanca *D* es atraída y el circuito seguido por la corriente *A F E*, comprende el carrete *F* de gran resis-

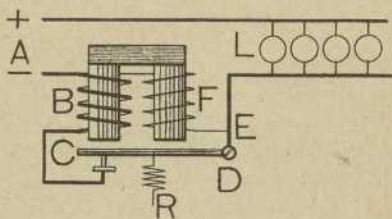


Fig. 47

tencia, que rebaja la tensión hasta el punto de apagar o poco menos las lámparas.

Este aparato no es temblador y la palanca, una vez adherida al núcleo, permanece en esta posición mientras haya corriente. Para restituirla a su posición de reposo, el abonado debe abrir los interruptores de todas las lámparas que tenía encendidas.

Se gradúa la sensibilidad del aparato estirando más o menos el resorte *R*.

ÍNDICE

PRIMERA PARTE

Protección de edificios

	<u>Páginas</u>
CAPÍTULO I. — <i>La electricidad atmosférica</i>	5
Un poco de historia	5
Potencial en un punto del aire	9
Variación en el potencial del aire.....	11
Electrización de las nubes	12
Tempestades	13
El rayo.....	14
El trueno	15
Efectos de la electricidad atmosférica sobre el suelo	16
Choque de retroceso.	17
Efectos del rayo.....	18
CAPÍTULO II. — <i>El pararrayos</i>	25
Principios fundamentales	25
Pararrayos de punta sencilla.....	26
Barra.....	27
Pararrayos de puntas múltiples.....	29
Pantallas eléctricas	30
Cables	32
Planchas de tierra	35
Zona de protección	37

	<u>Páginas</u>
Instalación de pararrayo	37
Prueba del pararrayos	39
Eficacia del pararrayos	41
Protección de edificios sin pararrayos.....	42
Energía de la <u>descarga</u> atmosférica	44

SEGUNDA PARTE

Protección de las líneas eléctricas

CAPÍTULO I. — <i>Clasificación de las sobretensiones</i>		47
Necesidad de las protecciones		47
Sobretensiones que nacen en la red		50
Sobretensiones que no nacen en la red		52
CAPÍTULO II. — <i>Fundamento de los aparatos protectores</i>		59
Explosores		59
Impedancias.....		60
Derivaciones con tensión o sin ella		61
CAPÍTULO III. — <i>Sobretensiones directas de alta frecuencia</i>		63
El rayo directo.....		63
Hilo de guarda		64
Protección de los aisladores.....		65
CAPÍTULO IV. — <i>Comunicaciones directas de línea a tierra</i>		68
Descargador de chorro de agua.....		68
Resistencias líquidas		71
Carretes de autoinducción		72

	<u>Páginas</u>
Carretes Petersen	73
Resistencias sólidas	74
Líneas telegráficas y telefónicas	74
Pararrayos de hilo preservador	75
Pararrayos de muelle	76
CAPÍTULO V. — <i>Aparatos con distancia explosiva</i>	78
Condiciones generales	78
Pararrayos de cuernos	78
Distancia explosiva	80
Instalación del pararrayos de cuernos	82
Sensibilidad del pararrayos de cuernos	83
Extinción de la chispa	87
Pararrayos con ruptura mecánica	90
Metales antiarcos	92
Extinción del arco por resistencia shunt...	93
Pararrayos Bertsh	94
Descargador de chapas	95
Descargador con lámina aisladora	96
Pararrayos de rodillos	96
Prueba de un pararrayos de rodillos	99
Conexión en múltiple	101
Pararrayos Wurst Westinghouse	102
Pararrayos Gola	103
Distancia explosiva del aire	105
CAPÍTULO VI. — <i>Órganos complementarios de los pararrayos</i>	107
Carretes de autoinducción	107
Líneas de tierra	109
Planchas de tierra	110
Resistencia de las tierras	112
Resistencias adicionales	113

	<u>Páginas</u>
Ejemplo numérico	115
Disposición de las resistencias.....	116
CAPÍTULO VII. — <i>Pararrayos de resistencia variable</i>	118
Pararrayos electrolítico	118
Disolución de la película resistente	121
Conexiones del pararrayos electrolítico....	122
Caracteres generales del mismo	124
Señal de alarma	125
Pararrayos de polvo de carbón.....	126
Pararrayos de vapor de mercurio	127
CAPÍTULO VIII. — <i>Pararrayos con capacidad</i> ..	128
Condensadores	128
Condensador Moscicki	130
Instalación de condensadores	131
Condensador Yensen.....	133
Válvula Giles.....	135
Instalación de válvulas Giles	138
Pararrayos S. I. G.	139
CAPÍTULO IX. — <i>Combinación de aparatos protectores</i>	141
Protección completa de una línea de alta tensión	141
Protección de las redes de baja tensión ...	142
Registrador de sobretensiones	143
Protección de las redes de alta tensión contra las perturbaciones accidentales.....	145
Relais selector.....	150
Protección suplementaria de las máquinas.	152

	<u>Páginas</u>
CAPÍTULO X. — <i>Limitadores de corriente</i>	153
Objeto de los limitadores de corriente	153
Funcionamiento	154
Fusibles	155
Metales empleados	157
Cálculo de fusibles	157
Ejemplos	158
Portafusibles o cortacircuitos	159
Fusible para altas tensiones sistema Brown Boveri	164
Fusibles para líneas telegráficas y telefónicas.	165
Cortacircuitos Irwah	167
Disyuntores con disparo eléctrico	170
Disyuntores con disparo mecánico	171
Relais de tiempo	173
Instalación de los mismos	175
Relais para inversión de corriente	176
Limitacorrientes	178
Limitacorrientes temblador	179
Limitacorrientes Kal	180
Limitacorrientes Bueno	181

Manuales "CALPE" de Ingeniería Civil, Industrial y Militar

PUBLICADOS BAJO LA DIRECCIÓN DE
DON ESTEBAN TERRADAS

Doctor en Ciencias, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Ingeniero industrial, Director de la Red de Teléfonos e Ingeniero jefe de los ferrocarriles que construye la Mancomunidad de Cataluña, Catedrático en la Universidad de Barcelona y Director del «Instituto de Electricidad y Mecánica aplicadas», de la misma capital.

Esta notabilísima colección, única en idioma castellano y sin duda la más extensa del mundo, puesto que pasan de 200 los títulos actualmente en redacción, estará formada por valiosas obras de ingeniería, escritas por eminentes especialistas hispanoamericanos, contenidas en volúmenes de unas 320 páginas $20 \frac{1}{2} \times 13 \frac{1}{2}$ centímetros, editados con mucho esmero, e irán clasificadas en las siguientes grandes series:

Serie general. — Ciencias fundamentales de la Ingeniería y sus progresos; y Ciencias fundamentales de la economía general y su relación con la Técnica.

Serie primera. — Construcción urbana.

Serie segunda. — Construcción civil.

Serie tercera. — Construcción naval.

Serie cuarta. — Maquinaria de Industria y Artillería.

Serie quinta. — Electrotecnia.

Serie sexta. — Tecnologías especiales.



EL MAYOR ÉXITO EDITORIAL

OBRAS DEL CÉLEBRE NATURALISTA
JUAN ENRIQUE FABRE



La aparición de las obras del gran naturalista francés J. H. Fabre — el sabio que desde modesto maestro de escuela, supo llegar, tras cincuenta años de pacientes observaciones y de labor exquisita y fecunda, a las más puras regiones de la serena ciencia — produjo emoción y sorpresa en el mundo científico. De sus noventa y dos años de vida, cuarenta y dos transcurrieron en una lucha tenaz, oscura y agotante por el vivir diario; en los cincuenta restantes, las aguas aturbonadas se serenaron, y el caudal tórnase límpido y transparente.

Busca entonces un bello rincón de Provenza, en donde, entre áridos guijos, brotan acianos, cardos y tomillos. He aquí el laboratorio, el taller de trabajo, la rica cantera inagotable en

que Fabre halla rutilantes gemas preciosas. Estudia aquí la vida agitada de sus amados amigos los insectos; sorprende sus secretos, los ocultos cauces por que la vida discurre como caudal de río inacabable. Estudia y observa el vivir maravilloso de las lindas bestezuelas, que se le entregan totalmente, no en el rebuscado artificio del laboratorio, sino tal como se ofrecen en la libertad de la Naturaleza, entre cardos y zarzamoras.

Fabre, el «Virgilio de los insectos», que dijo Rostand; el «observador inimitable», como Darwin lo llamó, estudia aquí, en este apartado Edén provenzal — extraño a las miserias diarias de los hombres —, los himenópteros, estos privilegiados de las aptitudes instintivas que preparan para su descendencia, como arte maravilloso, víveres y cobijo.

Hasta Fabre, la mayor parte de los naturalistas entregados a la ciencia pura venían limitándose a nominar los insectos, y en aplicación de un serio rigorismo científico, a diseccionar su anatomía, tarea interesante como la que más, pero inexpresiva para las gentes extrañas a la tarea investigadora o magistral. Fabre, tras la huella de los Redi, Rèaumur, Huber y León Dufour, estudia las costumbres de los insectos al aire libre, bajo el mismo Sol que alumbra a la mosca y al Universo.

Comienza entonces la aparición de sus magistrales «Souvenirs entomologiques», el más

serio monumento erigido a la psicología de los insectos.

Ahora CALPE ofrece a los públicos de habla española la edición primorosa, exquisitamente traducida y cuidada, de los cinco más famosos tomos del acervo literario de Fabre.

Por las páginas de «Maravillas del instinto en los insectos», «Costumbres de los insectos», «La vida de los insectos», «Los destructores» y «Los auxiliares», desfilan, con interés cada vez más creciente, centenares de insectos, por Fabre cordialmente amados.

Los dibujos numerosos, las láminas fuera de texto, las portadas en color, la identificación rigurosa de los nombres científicos y vulgares, acrecen el primor de la edición española.

VOLÚMENES PUBLICADOS

Maravillas del instinto en los insectos

La vida de los insectos

Costumbres de los insectos

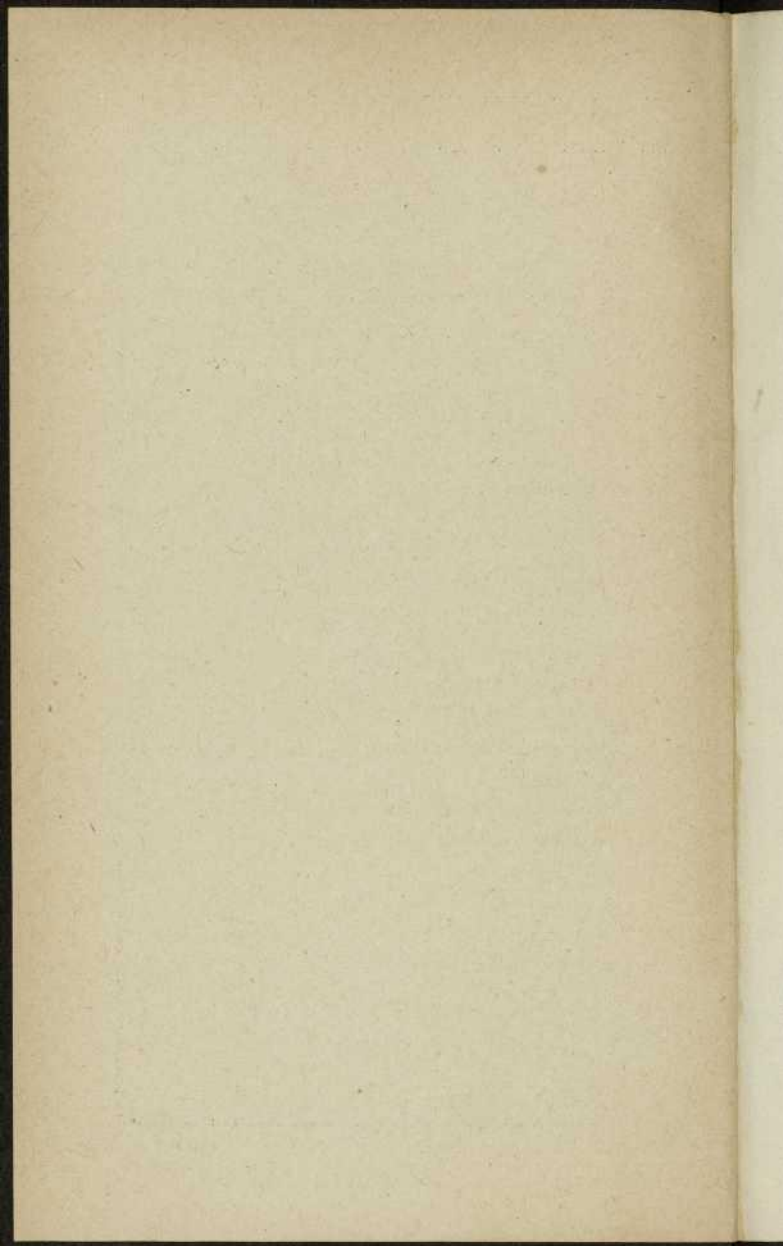
Los destructores

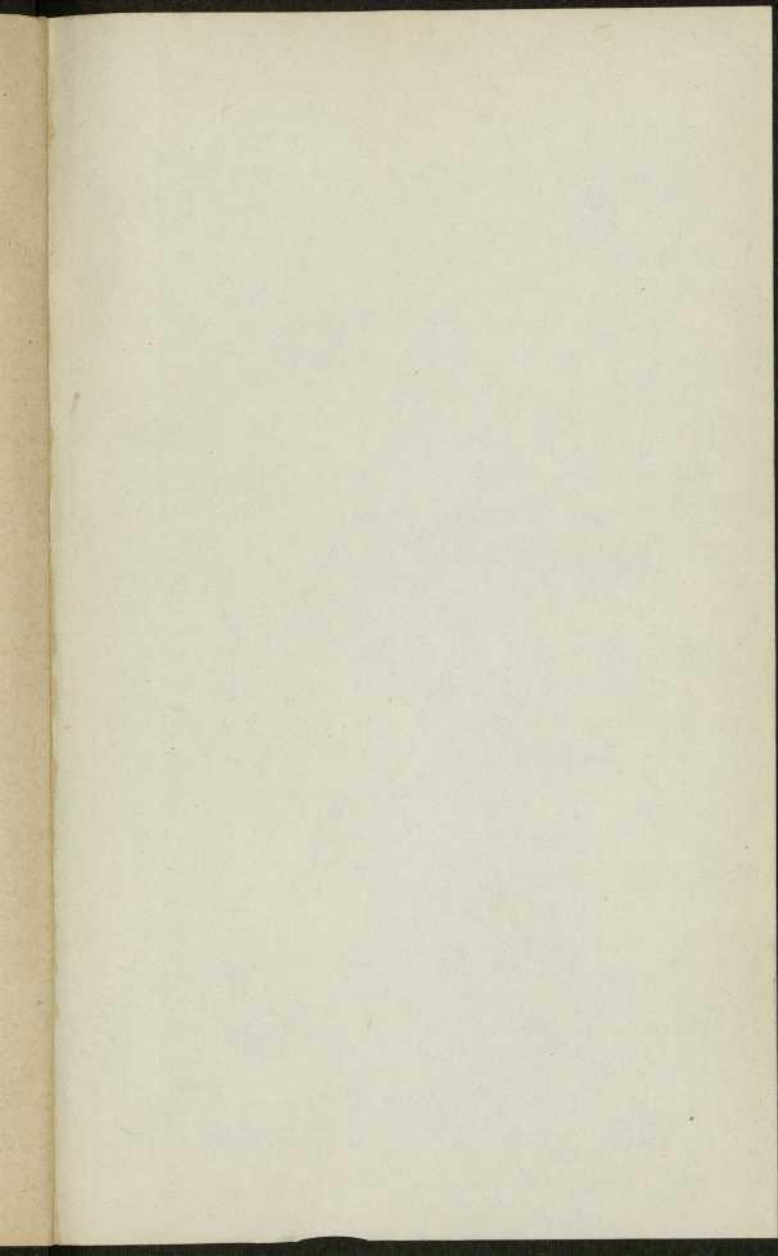
Los auxiliares

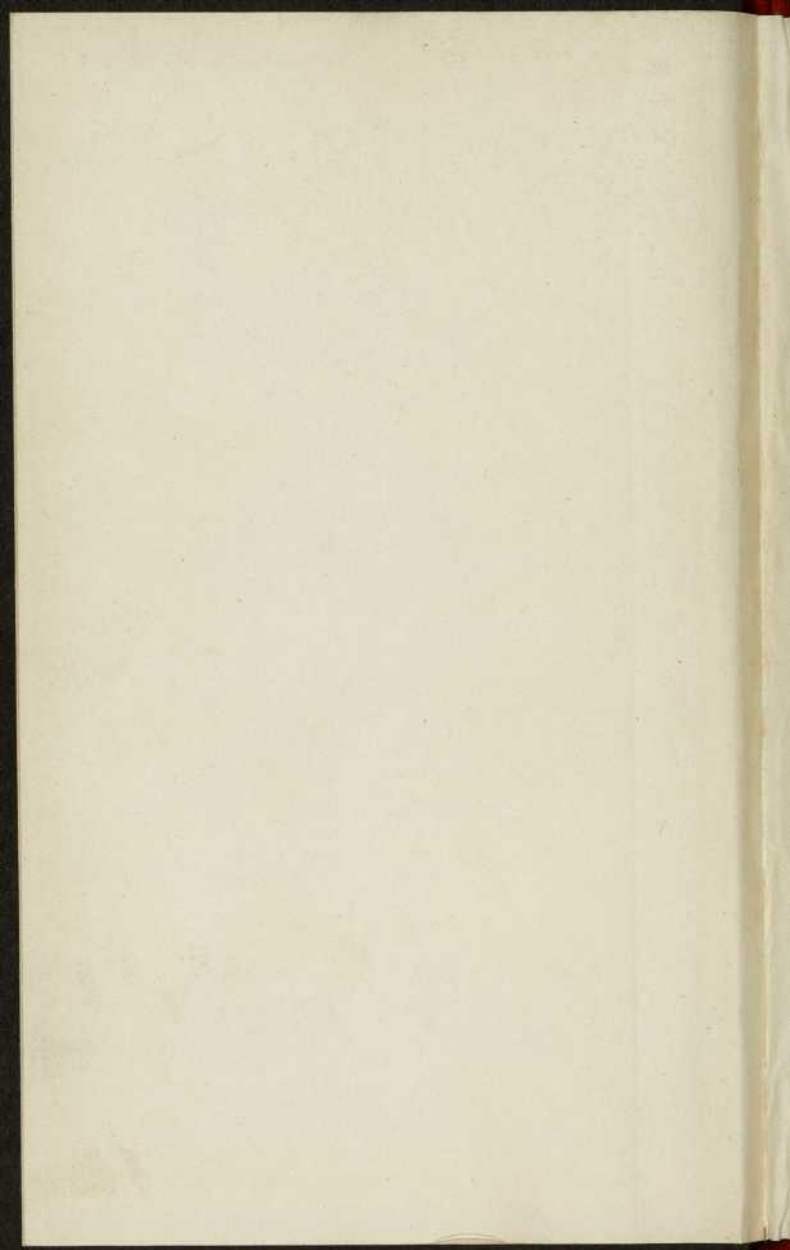
En rústica 5 ptas. cada tomo

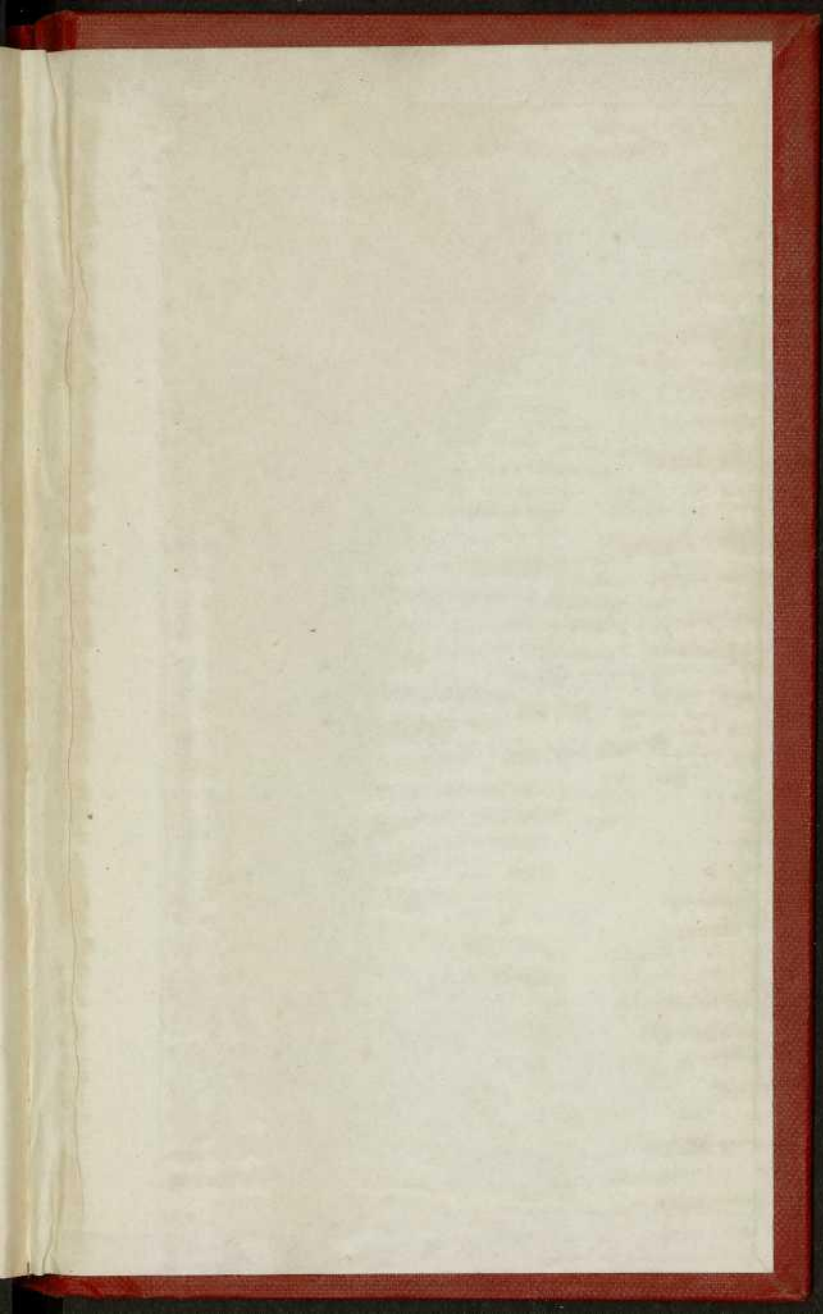
Encuadernados 6,50 — — —











2

SAKAMURA 2803

254448