

más seguro de esta costumbre es hacer correr á los campaneros un peligro efectivo para apartar otro mucho menor apelando á un preservativo imaginario. Y la verdad es que el rayo cae con preferencia en los objetos elevados, sobre todo en los que, como los campanarios, rematan casi siempre en piezas metálicas aisladas.

Desde Franklin, que, como es sabido, inventó los pararrayos, la ciencia no puede recomendar otro medio de preservar los edificios, las casas y sus habitantes, sino el que proporciona este aparato sencillo y casi siempre eficaz, con tal que se haya construido é instalado con las condiciones que la teoría y la práctica aconsejan como necesarias.

El pararrayos es una aplicación del poder que tienen las puntas metálicas de descargar los cuerpos electrizados situados cerca de ellas, y la idea de utilizar esta propiedad que el ilustre físico americano acababa de descubrir fué la consecuencia natural de su opinión sobre la identidad del rayo y del trueno con los fenómenos eléctricos. Sabemos que se efectuaron casi simultáneamente en 1752, en América y en Francia, los experimentos que demostraron esta identidad. Franklin remontaba por entonces en las cercanías de Filadelfia su famosa cometa armada de una punta y sacaba chispas de una nube tempestuosa. Hacia la misma época, el físico francés Dalibard comprobaba la realidad de las ideas sugeridas por Franklin, instalando una barra de hierro aislada, de 14 metros de altura, en el llano de Marly-la-Ville.

Poco tiempo después se pusieron los primeros pararrayos en Filadelfia. Estos aparatos pasaron de América á Europa, y el primero que se vió en Francia lo puso Guytón de Morveau en Dijón.

La instrucción más reciente sobre el uso y la construcción de pararrayos la redactó una comisión de la Academia de Ciencias, cuyo ponente, M. Pouillet, emitió su dictamen el 14 de enero de 1867. Este dictamen va á proporcionarnos los elementos de nuestra descripción.

Empecemos por exponer la teoría de las nubes tempestuosas y de la acción de los pararrayos sobre la electricidad contenida en ellas.

“1. Las nubes tempestuosas que entrañan el rayo no son otra cosa sino nubes ordinarias cargadas de una gran cantidad de electricidad.

„El relámpago que surca el cielo es una inmensa chispa eléctrica cuyos dos puntos de partida lo forman dos nubes distantes entre sí y cargadas de electricidades contrarias.

„El trueno es el ruido de la chispa.

„El rayo es la misma chispa; es la recomposición de las electricidades contrarias.

„Cuando uno de los puntos de partida del relámpago está en la superficie del suelo, se dice que cae el rayo. Entonces todos los puntos del surco del relámpago siguen recomponiendo ó neutralizando las dos electricidades contrarias, una de las cuales sale de la nube y la otra de la misma tierra.

„¿En qué consiste que, hallándose ésta por lo general en su estado natural y sin electricidad aparente, está cargada de tal suerte de dicho fluido, y lo que es más, de un fluido contrario al de la nube en el momento mismo de caer en ella el rayo?

„Esta es la primera cuestión que hemos de examinar.

„2. Antes de estallar el rayo, la nube tempestuosa que lo lleva, aun cuando esté á muchos kilómetros de altura, obra por influencia para rechazar la electricidad del mismo nombre y atraer la de nombre contrario. Esta influencia propende á ejercerse sobre todos los cuerpos; pero en realidad no tiene eficacia sino sobre los que son buenos conductores, como por ejemplo los metales, el agua, el terreno húmedo, los cuerpos vivos, los vegetales, etc.

„El mismo conductor experimenta por parte de la nube efectos muy distintos, según su forma y sus dimensiones, y sobre todo según su perfecta ó imperfecta comunicación con el suelo.

„Por ejemplo, un árbol que esté en un terreno medianamente húmedo no recibe sino una influencia muy débil, porque la electricidad del mismo nombre no puede ser rechazada en dicho terreno, que es muy mal conductor para las grandes descargas eléctricas.

„Pero si dicho árbol se halla en un terreno muy húmedo y de vasta extensión, sufrirá una fuerte influencia, porque la electricidad del mismo nombre puede extenderse á lo lejos por aquel buen conductor. Por último, dicha influencia llegará á su máximo cuando aquel buen conductor se halle á su vez en buena comunicación hacia sus límites con otras capas de agua indefinidas.

„Cuando se trata de la electricidad de nuestras máquinas, la superficie de la tierra, tal cual se presenta, es lo que se llama *tierra ó depósito común*. Se puede llamar así, puesto que su conductibilidad es suficiente para dispersar ó neutralizar todas las pequeñas descargas eléctricas.

„Cuando se trata del rayo, la tierra vegetal, en su estado ordinario, no es ya lo que se puede llamar depósito común, sino que se convierte relativamente en un mal conductor, lo mismo que las formaciones geológicas en que descansa. Es preciso llegar á la primera capa acuosa, es decir, á la de los pozos que no se agotan jamás (la llamaremos aquí *capa subterránea*), para encontrar una cuya conductibilidad sea suficiente. Esta, en razón de su extensión y sus múltiples ramificaciones, no puede estar aislada de las corrientes de agua inmediatas, constituyendo con ellas, con los ríos y riachuelos y con el mismo mar, lo que se debe llamar el depósito común de las nubes conductoras del rayo, y por consiguiente, de los pararrayos.

„En efecto, mientras la nube tempestuosa ejerce en todos los puntos situados debajo de ella la influencia atractiva en el fluido del nombre contrario y repulsiva en el del mismo nombre, la capa subterránea es la que recibe especialmente dicha influencia con incomparable eficacia. Entonces toda su superficie superior se carga de electricidad contraria que la nube acumula en ella por su atracción, al paso que la de igual nombre es rechazada y dispersada á lo lejos en el depósito común. Así pues, cuando estalla el rayo, los dos puntos de partida del relámpago se hallan uno en la nube y otro en la capa subterránea, que es en cierto modo la segunda nube necesaria para la explosión del rayo.

„Así es como el globo terrestre, sin cesar de permanecer en el estado natural en su conjunto, se electriza eventualmente en ciertos puntos por la presencia de nubes tempestuosas.

„Los edificios, los árboles y los cuerpos vivos heridos por el rayo vienen á ser como los mediadores que se hallan en su camino y á los que acomete á su paso.

„No vaya á creerse, sin embargo, que esos mediadores son esencialmente pasivos, y que no contribuyen nunca á modificar ó á determinar tal vez la dirección del rayo. Todo lo contrario; ejercen sin duda una acción tanto más notable cuanto mayor sea su extensión y mejor su conductibilidad. Por ejemplo, cuando cae un rayo en un buque que se halle en alta mar, es más que probable que aquél no haya seguido el camino geoméricamente más corto para llegar al agua en cuya busca iba y donde debe quedar neutralizado por el fluido contrario, sino que haya escogido el camino eléctricamente más corto en razón de las descomposiciones por influencia que la nube haya

producido probablemente en los mástiles, los aparejos y otros cuerpos conductores del buque, colocados á mayor ó menor altura.

„Este fenómeno es análogo al que presenta la chispa sacada á gran distancia de los conductores de una poderosa máquina eléctrica; puede ser desviada de su camino más directo por haberse interpuesto en él uno ó muchos conductores aislados; da en el punto designado, pero llega á él por una vía eléctricamente más corta, aun cuando al parecer sea más larga.

„Estos conductores aislados cambian aquí la dirección de la chispa, los mediadores á que antes hemos aludido cambian la del relámpago.

„Nos limitamos al simple enunciado de este principio fundamental que no podemos desarrollar aquí; contiene la explicación de todos los movimientos, tan raros á veces, de los rayos y de los efectos destructores que producen; jamás se puede dar exacta cuenta de ellos sin haber reconocido bien los dos puntos de partida, y entre estos dos puntos la serie de los intermedios á los que ha llegado el surco del relámpago, ora simple, ora múltiple.

Aquí termina la parte teórica del dictamen, la que, en la mente de los individuos de la comisión, sirve de base á las indicaciones prácticas formuladas á continuación para la construcción é instalación de pararrayos. Resumamos ahora estas indicaciones en lo que contienen de esencial.

II

DESCRIPCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS PARARRAYOS

Un *pararrayos* no es otra cosa sino un buen conductor, no interrumpido, cuyo extremo superior se eleva á bastante altura para dominar el edificio que debe proteger, y el inferior comunica extensamente con la capa de agua subterránea.

Como el rayo puede fundir ó volatilizar alambres de pequeño diámetro (hasta 6 milímetros), pero no calentar hasta el punto de ponerlas al rojo oscuro barras de hierro cuadradas de 15 milímetros de lado, se elegirán barras de hierro de esta dimensión para conductores de pararrayos.

Estos constan de dos partes principales: la *barra* y el ó los *conductores*. He aquí la descripción de cada una de ellas:

La barra de hierro, que forma la extremidad superior, debe terminar en un cilindro de cobre rojo de 2 centímetros de diámetro y de 20 á 25 centímetros de longitud, que entra á tornillo en la barra (fig. 303). Este cilindro remata á su vez en un cono. Debajo, la barra es cuadrada y aumenta progresivamente de grueso hasta el punto de su inserción en el conductor, midiendo en él su sección unos 4 ó 5 centímetros de lado. Por último, según las circunstancias, la altura total de la barra varía entre 3 y 5 metros.

En otro tiempo se recomendaba que la barra terminara en una punta fina y muy aguda de oro ó de platino, pero sucedía que á la primera tormenta la electricidad se escapaba por la punta en forma de penacho luminoso visible en las tinieblas; al transportarse hasta la nube el aire vivamente electrizado, neutralizaba, según se creía, una porción del fluido de aquélla. Mas la intensidad del flujo eléctrico era también bastante fuerte para ocasionar la fusión de la punta de oro ó platino, de suerte que al cabo de poco tiempo la punta aguda desaparecía, reemplazándola un ancho botón de fusión del metal.

Por consiguiente, la acción preservativa de la punta aguda que originaba la salida de la electricidad en forma de penacho luminoso sólo duraba un tiempo limitado, escasa ventaja; si es cierto que el aire electrizado por la barra, en lugar de remontarse hasta la nube, era arrebatado lateralmente por el viento. Por esta razón se da hoy la preferencia á las barras terminadas en un cilindro de cobre rematado en un cono, si bien en el sistema de pararrayos de puntas múltiples se han adoptado las puntas agudas, según más adelante veremos.

La punta del pararrayos, formada de este modo, no dará paso á penachos luminosos; pero, en razón de su forma y de la gran conductibilidad del cobre, resistirá mucho más á la fusión, sin ser menos eficaz por lo que respecta á la protección del edificio. Lo esencial es que la corriente eléctrica que pasa de la nube al pararrayos cuando estalla el rayo, encuentre un camino no interrumpido desde la barra hasta la capa de agua subterránea.

La barra metálica que sirve de conductor y que, según hemos dicho, tiene unos 15 milímetros de diámetro de sección, debe estar soldada con cuidado á la otra barra, que á su vez estará sólidamente fija en la parte culminante del edificio. Todas sus partes sucesivas, horizontales, verticales ó inclinadas, estarán unidas entre sí por curvas y soldadas con el mismo cuidado en los puntos de unión. Para dar al conductor mayor firmeza se le sostendrá con soportes de hierro ahorquillados por los que podrá pasar longitudinalmente, sin moverse á uno ni á otro lado.

A veces se sustituyen las barras rígidas que forman el conductor con cables formados de alambres de hierro embreados para evitar que se oxiden (1), pero entonces hay que cuidar de que la comunicación del cable con la barra se efectúe por el contacto más ancho posible de las superficies metálicas de la barra y de los alambres, los cuales deben estar perfectamente limpios y soldados al hierro de la barra.

Otra condición esencial consiste en que todas las partes metálicas del edificio estén unidas entre sí y comuniquen con el conductor del pararrayos.

Pero la más principal de todas, la que, descuidada, haría del pararrayos, en lugar de un protector contra el rayo, un aparato peligroso en tiempos de tempestad, es la siguiente. Se requiere que el conductor, al llegar al suelo, penetre en él á bastante profundidad para estar en comunicación constante con la capa de agua subterránea. Para ello se deberá hacer un pozo especial de condiciones tales que tenga lo menos un metro de agua, aun

(1) Jamás se debe usar por conductor una cadena metálica; como dice Pouillet en la *Instrucción suplementaria* de la Academia de Ciencias, "la forma de cadena es inadmisibles de todo punto, y he aquí por qué: los eslabones se tocan imperfectamente á causa de las alteraciones del metal y de los cuerpos extraños que se adhieren á él, y aun suponiendo que las superficies de los puntos de contacto estén bien limpias, siempre sucede que son demasiado estrechas, y que basta una débil descarga para poner el hierro en fusión y en combustión."

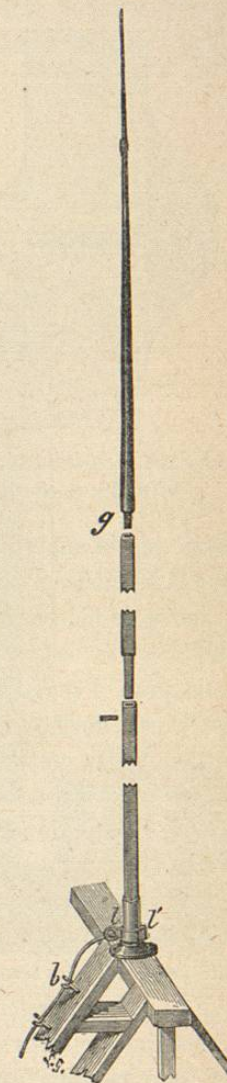


Fig. 303.—Barra vertical del pararrayos

en las mayores sequías. Si hay cerca del conductor corrientes, ríos ó riachuelos bastante caudalosos para no agotarse durante las sequías, bastará ponerlo en comunicación constante con la masa líquida.

Por lo demás, nada se opone á que se ponga el conductor en comunicación con la capa superior del terreno, que forma un depósito suplementario cuando está suficien-

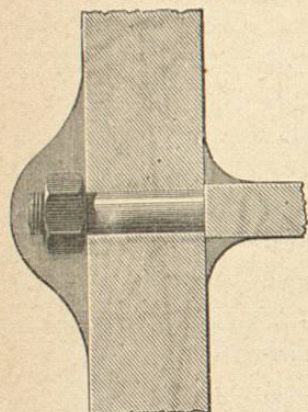


Fig. 304.—Soldadura de la barra vertical y del conductor

temente empapado de lluvia; pero esta precaución no bastará si no está combinada con la condición principal de disponer de un pozo en el que penetren varios brazos del conductor, según se ve en la figura 306. Cuando un brazo lateral está en contacto con el suelo, se le rodea de una capa de cisco, cuerpo buen conductor de la electricidad y que sirve además para preservar el hierro del orín.

La superficie sumergida del conductor debe ser todo lo grande posible. Los experimentos de Pouillet y de E. Becquerel han demostrado que la resistencia del agua destilada al paso de la electricidad es por lo menos 900 millones de veces tan grande como la del hierro. Por consiguiente, para que la capa de agua en que penetra el conductor del pararrayos no fuese fulminante, se necesi-

taría que la superficie sumergida tuviese una extensión 900 millones de veces mayor que la sección del conductor, es decir, unos 4,000 metros cuadrados, suponiendo que la barra de hierro tuviese 15 milímetros de diámetro. En realidad, el agua de las capas subterráneas dista mucho de ser pura; su conductibilidad excede con mucho á la del agua pura, á causa de las sales que contiene en disolución, y la superficie sumergida puede ser mucho menor. Los constructores Perrot y Callaud, que se han ocupado mucho de las condiciones de eficacia de los pararrayos, han llamado hace tiempo la atención hacia tan delicado punto.

Muchos ejemplos demuestran la eficacia de los pararrayos, mas para que ésta sea efectiva importa que los que se instalen llenen todas las condiciones que dejamos enumeradas. Requiere también que el número de pararrayos y la altura de las barras estén en relación con las dimensiones de los edificios que deben guarecer.

La experiencia ha demostrado que cuanto mayor es la altura de la barra vertical sobre el tejado de edificio, es decir, sobre su punto de inserción con el conductor, mayor es también su esfera de acción. Por otra parte, el radio de esta esfera es casi igual al doble de la altura de la barra.

Los anteriores datos bastan para determinar el número de pararrayos que se deben poner en cualquier casa ó edificio, pudiéndose aconsejar, con Francisco Arago, esta regla general: "Cuanta menos altura tengan las barras, mayor deberá ser su número, el cual será suficiente cuando en un tejado ó azotea no haya ningún punto cuya dis-

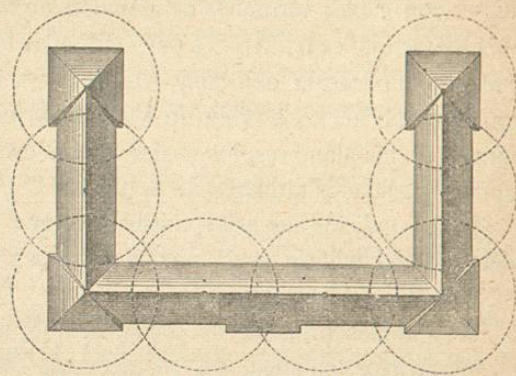


Fig. 305.—Límites de protección de un sistema de pararrayos instalados en un edificio

tancia á la barra más inmediata sea mayor que el doble de la altura de esta barra sobre su base.

Cuando el edificio es poco alto pueden bastar los pararrayos verticales: en el caso contrario, se han de resguardar especialmente las partes laterales, porque no faltan ejemplos de haber caído rayos en puntos de edificios mucho menos elevados que sus cúspides. Algunas barras puestas oblicua y aun horizontalmente darán por resultado el descargar las partes sueltas de las nubes que en las tormentas suelen bajar hasta poca altura del suelo, y contra las cuales no ejercen acción neutralizadora las puntas verticales de los pararrayos. Es inútil decir que estas barras oblicuas han de tener sus conductores como las verticales. Por lo demás, será ventajoso poner todas las barras de los pararrayos de un mismo edificio en comunicación por medio de varillas metálicas que se corran á lo largo de las aristas superiores del edificio; pero en cuanto sea posible, todas tendrán su conductor separado; no hay inconveniente en que vayan á parar muchos conductores á un mismo pozo; pero si se reúnen muchas barras en una sola, habrá que dar á ésta una sección en proporción con el número de conductores cuyas veces haga.

Entre los edificios que más importa preservar de los efectos del rayo, figuran los almacenes que contienen materias explosivas ó fulminantes, los polvorines, etc. Pero entonces, en lugar de poner los pararrayos en la parte superior de los edificios, es preferible rodearlos de postes de madera ó columnas de mampostería, en cuyo extremo se instalan las barras. Fácilmente se comprende la razón de esta disposición y de esta precaución: en este caso no basta preservar á los edificios del riesgo de que caiga en ellos un rayo, sino que hay que evitar el contacto del flujo eléctrico, que pasa por las barras y los conductores con las masas de aire inmediatas al almacén en que se fabrica ó hay depositadas materias peligrosas. En este aire flota un polvillo finísimo de moléculas inflamables, de las que conviene alejar todo lo posible la corriente de la electricidad tempestuosa.

Los buques están muy expuestos á las descargas eléctricas por la forma y elevación de su arboladura; así es que importa sobre manera proveerlos de uno ó muchos pararrayos, cuyas barras verticales se fijan en el tope de los palos. Los conductores pueden ser varillas de hierro ó cables metálicos, que van á reunirse con los obenques y luego con el forro de cobre del casco. La comunicación, siempre constante, con la masa inmensa del mar hace siempre eficaz la protección de estos aparatos.

El inglés M. Harris ha discurrido un sistema de conductores para los pararrayos de los buques, adoptado por la marina de guerra inglesa, y que ofrece sobre los cables ó barras metálicas la ventaja de adaptarse á todos los movimientos. Este sistema consiste en anchas placas de cobre que rodean el mástil y comunican con el forro, de lo

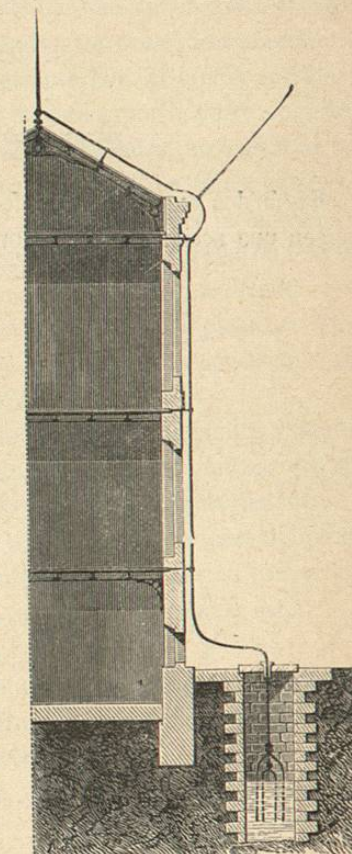


Fig. 306.—Instalación de un pararrayos: barras verticales y oblicuas

cual resulta que cuando en algún fuerte temporal la violencia del huracán rompe los palos, el rayo encuentra siempre un sistema de conductores bastantes para descargar el fluido y hacerle inofensivo. Arago refiere que la fragata inglesa *Dryad* se halló muchas veces expuesta en la costa de Africa á los grandes temporales que los marinos llaman *tornados* (el barco llevaba los nueve pararrayos de Harris). La materia fulminante bajaba entonces á lo largo de los tubos de cobre continuos en tal cantidad, que daba origen á una especie de atmósfera luminosa y á un ruido parecido al del agua que hierve con fuerza. El barco no sufrió daño alguno del fluido eléctrico.

III

SISTEMAS DE PARARRAYOS DE PUNTAS MÚLTIPLES

Según los experimentos efectuados en 1862 por M. Perrot, las barras metálicas ejercen una acción neutralizadora tanto mayor cuanto más aguda es su punta terminal;

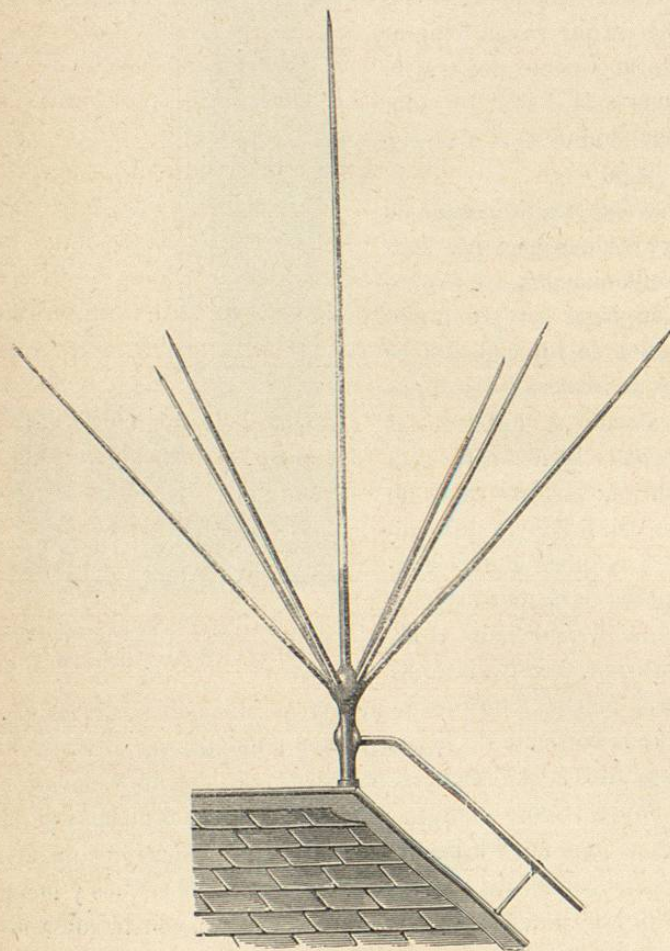


Fig. 307.—Pararrayos de puntas múltiples

as abatidas por el viento, armándola de la base al remate de cierto número de puntas laterales convenientemente dispuestas y espaciadas. Estas puntas múltiples, al mismo tiempo que aumentarían considerablemente la cantidad de electricidad suministrada

además, basta multiplicar las puntas terminales de una barra metálica para aumentar dicha acción; pero ésta no se ejerce sino en la región situada sobre el plano horizontal que pasa por cada punta. Al dar M. Gavarret cuenta de estos experimentos, deducía de ellos que sería ventajoso introducir algunas modificaciones en la construcción de los pararrayos. He aquí en qué términos formulaba dicho profesor estas modificaciones:

1.º Se haría la acción neutralizadora del pararrayos mucho más eficaz armando su extremo superior de una corona de puntas;

2.º Se le pondría al abrigo de los rayos lanzados lateralmente sobre la barra por los fragmentos de nubes tempestuosas

por el pararrayos en un tiempo dado, tendrían la ventaja de dividir la corriente; con lo cual cada una de ellas estaría cruzada tan sólo por una corriente demasiado débil para fundirla, aun en las más deshechas tormentas.

Hoy se han adoptado los pararrayos de puntas múltiples en varios países, y en especial en Bélgica, en donde distinguidos físicos, como Glæsener y Melsens, han estudiado las condiciones de su instalación en los edificios públicos y privados. Según M. Melsens, "en lugar de emplear una sola barra larga y aguda, de instalación costosa, es más ventajoso usar penachos de 6 ó 7 puntas, de 1 metro á 1^m,50 ó 2^m de altura á lo sumo, y multiplicar su número en los conductores, lo cual puede hacerse á poca costa. En efecto, diez penachos de cobre, con sus 60 á 70 puntas delgadas, no cuestan tanto como una sola barra del antiguo modelo, y si se cree tener bastante con el hierro galvanizado labrado en punta, doscientas ó trescientas puntas, diseminadas por la parte culminante de los edificios, en forma de penachos de 5, 6 ó 7 puntas delgadas, no costarán tanto como una sola barra de regular altura. Por lo común, dice el mismo físico, empleo penachos bastante cortos, de 0^m,50 á 1^m,50 y hasta 2^m, con las puntas inclinadas 45º y extendidas en forma de abanico ó de canastillo alrededor de la punta central más larga que las otras; estas puntas tienen de 6 á 8 milímetros de diámetro en la base. Se las puede hacer de cobre rojo ó de hierro y zinc; también se puede emplear un alambre de estos dos metales, terminado en una punta aguda de cobre rojo, disposición análoga á la empleada por la Academia para las grandes barras.,,

En la casa consistorial de Bruselas se ha instalado un sistema de puntas y penachos muy numerosos en todas las partes salientes y culminantes, estando unidas entre sí por una red de conductores que encierran todo el edificio como en una jaula metálica. Hase establecido muy extensamente la comunicación con tierra; los conductores del pararrayos aéreo van á parar á una caja de hierro galvanizado del que parten tres series de alambres subterráneos; una de ellas penetra en un pozo y las otras dos están empalmadas á las cañerías de agua y de gas.

El monumento del rey Leopoldo en Laeken está resguardado por un sistema de penachos y de conductores múltiples análogo; en Francia hay también varios edificios públicos en los que se ha adoptado ya este mismo sistema.

CAPITULO III

LA TELEGRAFÍA ELÉCTRICA

I

INVENCION DE LA TELEGRAFÍA ELÉCTRICA

La *telegrafía*, ó arte de comunicar á larga distancia, de modo que se transmitan órdenes, noticias é instrucciones detalladamente y con precisión, es una invención puramente moderna, un arte contemporáneo por decirlo así. En el capítulo consagrado á la telefonía hemos dicho cuáles eran los medios elementales usados desde tiempo inmemorial por todos los pueblos para ponerse en rápida correspondencia á grandes distancias: las hogueras, las bocinas, la voz humana transmitida de centinela en centinela, los