

# REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

## PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

### Pararrayos en serie, sistema «Gola».

La protección de las instalaciones eléctricas contra las sobreelevaciones de tensión ocasionadas por las descargas atmosféricas y por los efectos de resonancia propios de las mismas instalaciones, ha presentado muy serias dificultades. Hasta aquí, habíase recurrido al empleo de disposiciones muy variadas y, á menudo, muy ingeniosas, pero que adolecían de un defecto fundamental, debido á la imperfecta apreciación del fenómeno contra el que se quiere proteger la instalación.

Para llegar á una solución verdaderamente racional y eficaz, es preciso, ante todo, analizar este fenómeno á fin de conocer la parte esencial de la cuestión, y, con este objeto, conviene buscar un término de comparación en otro ramo de la física, cuyas analogías con la electricidad son patentes en algunos puntos y cuyos elementos nos son más familiares por caer de lleno bajo nuestros sentidos. Nos referimos á la hidráulica.

Sabida es ya la relación que existe entre las tuberías de agua y las líneas eléctricas en lo que se refiere al gasto de agua y á la intensidad de corriente, entre las alturas de los saltos de agua y las tensiones eléctricas, etc. Una parecida analogía puede, también, observarse en lo relativo á la protección de las instalaciones hidráulicas y eléctricas, ya que en ambos casos se trata de impedir la elevación de un nivel más allá de cierto límite.

En las instalaciones hidráulicas, adóptanse, para ello, los vertederos con canales de desagüe y, en las eléctricas, los descargadores (llamados, indebidamente, pararrayos), cuyas alturas sobre el fondo del canal y distancias explosivas, respectivamente, se regulan de modo que desde que el agua ó la corriente eléctrica alcanzan el nivel límite, permiten á éstas pasar por una vía lateral derivada de la conducción principal.

Sin embargo, mientras los vertederos responden con regularidad á su objeto, los descargadores no funcionan sino de una manera imperfecta. Así, pues, es de gran interés averiguar si la causa de esta inferioridad reside en el aparato propiamente dicho, en cuyo caso habría que decidirse á emprender el perfeccionamiento del mismo, ó bien si es

debida á causas independientes de dicho aparato, lo que implicaría el estudio de otras disposiciones.

Consideremos, al efecto, la propagación del agua y la de la electricidad.

En un canal las sobreelevaciones de nivel mas ó menos importantes no son jamás locales, de suerte que la línea que representa la variación del nivel es siempre sensiblemente paralela al fondo del canal; si hubiera lugar á prever sobre elevaciones de nivel grandes y bruscas, habría que recurrir á disposiciones suplementarias, tales como la instalación de una compuerta.

En las instalaciones eléctricas las elevaciones de tensión originadas por descargas atmosféricas ó efectos de resonancia son siempre bruscas y considerables; además, la elevación del nivel eléctrico no se produce de un modo regular, sino bajo la forma de ondas de diferentes longitudes, presentando vértices y depresiones ó nudos.

En estas condiciones, ocurre que cada vez que un descargador está colocado en un punto correspondiente á un vértice de la onda, ésta le deja sumergido, dando lugar á una derivación de corriente, mientras que si está en un punto correspondiente á un nudo, el descargador queda completamente fuera de la onda, y no pudiendo entrar en funciones, por fuerte que haya sido la descarga y por muy alta que haya subido dicha onda, la cual puede muy bien en otro punto, hasta haber traspasado los límites del conductor (caso de saltos de corriente en los aisladores ó en las máquinas).

En efecto, en las estaciones eléctricas provistas de cierto número de descargadores se observa siempre que no es el aparato regulado á la menor distancia explosiva el que funciona preferentemente, sino tan pronto éste, tan pronto aquél, algunas veces varios juntos y con frecuencia ninguno. No es, pues, el aparato por sí mismo sino el lugar que ocupa en la línea con relación á la onda, lo que influye en el éxito del funcionamiento. Se ve, pues, que multiplicando los descargadores en una línea eléctrica se aumentan en realidad las probabilidades de eficacia de su protección, pero sin asegurarla de una manera absoluta; para ello es indispensable la colocación de algo que haga las veces de la compuerta de una instalación hidráulica.

Si no es posible, efectivamente, por razón de la diversidad de longitud de las ondas de las diferentes descargas, juzgar cuál es el lugar más conveniente para un descargador, se sabe, por el contrario, que cuando una descarga alcanza á un conductor, le sigue y no le abandona hasta que

encuentra una discontinuidad notable en su forma, en sus dimensiones ó en la naturaleza del dieléctrico que le envuelve. Por esto, las máquinas eléctricas son algunas veces destruidas por descargas; en el circuito de una instalación eléctrica, dichas máquinas son la discontinuidad más importante, y en ellas las corrientes ondulatorias provocadas por las descargas saltan fácilmente desde un delgado hilo de cobre para ir hacia la masa magnética.

Con el fin de obligar á producirse el fenómeno antes de llegar á las máquinas, el Ingeniero Gola establece en la conducción, antes de aquéllas, una solución de continuidad muy importante, con la que el circuito homogéneo constituido siempre por hilos de sección casi constante, siempre del mismo metal (cobre) y en un dieléctrico (aire ó material aislante), es así cortado bruscamente por diferentes conductores en materias magnéticas, de sección y de superficie considerablemente más grande, unidas por conductores de cobre de sección reducida y dispuestos en un medio magnético, del mismo modo que los hilos en las máquinas. Como consecuencia de las condiciones que acabamos de exponer, fórmase de un modo cierto en el punto en que se establece la discontinuidad un vértice de cada onda, y, probablemente, el vértice más alto, determinando así la posición más propia para montar los descargadores.

Teniendo este aparato, en serie sobre la línea, una resistencia óhmica despreciable y una resistencia inductiva semejante á la de las bobinas de self ordinarias (como se explicará más adelante), no ejerce de ningún modo influencia en las corrientes industriales y hace las veces de un filtro eléctrico. Se le ha llamado Pararrayos en serie, por virtud de su funcionamiento especial que se asemeja al de las compuertas y por ser distinto su montaje del de los descargadores, los cuales se montan todos en derivación y cuyo funcionamiento guarda analogía con el de los vertederos. La diferencia esencial que existe entre los pararrayos en serie y los descargadores y otros aparatos en derivación, resalta más considerando el instante en que entran en acción para la descarga á tierra de la electricidad atmosférica; la acción del pararrayos en serie precede al fenómeno y tiende á provocarlo; la de los descargadores y de las resistencias óhmicas es posterior al fenómeno y tiende á limitarlo, los primeros bajo el punto de vista del tiempo, y los otros bajo el de la intensidad.

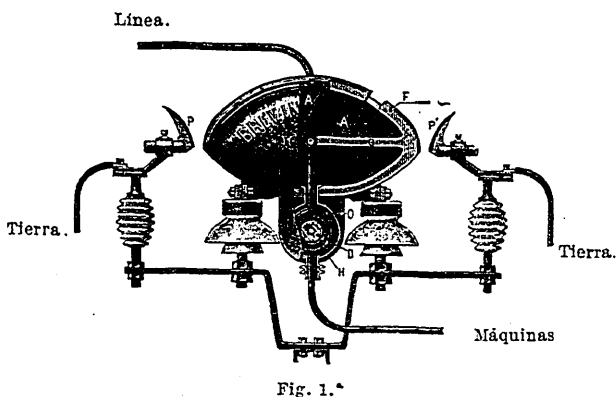


Fig. 1.ª

Las previsiones teóricas exigen, naturalmente, una comprobación experimental, y puesto que se trataba de fenómenos como el rayo, la única sanción concluyente era la aplicación en las líneas industriales más expuestas á los daños de las descargas atmosféricas. Las primeras instalaciones de pararrayos en serie se hicieron el año 1901, y como consecuencia de los éxitos alcanzados desde el principio, se han

puesto en servicio varios millares de estos pararrayos, los cuales han sido construídos, en su mayor parte, bajo la inmediata dirección del inventor Ingeniero G. Cola, de Turín.

Los aparatos en cuestión han sido objeto de repetidas modificaciones y se han perfeccionado, en sus detalles, con arreglo á las exigencias de la práctica y á lo que aconsejaba la experiencia, respetándose, no obstante, lo esencial.

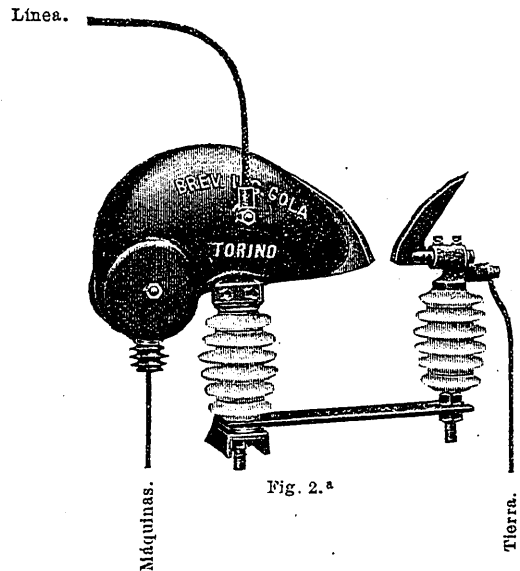


Fig. 2.ª

Los modelos más modernos son el Vertical, el Standard y el muy reciente Standard-Berlín, representados respectivamente en las figuras 1.ª, 2.ª y 3.ª, que, aislados diferentemente según la tensión de las instalaciones, y provistos de diferentes bobinas, según la intensidad de la corriente, se prestan para todos los casos de la práctica.

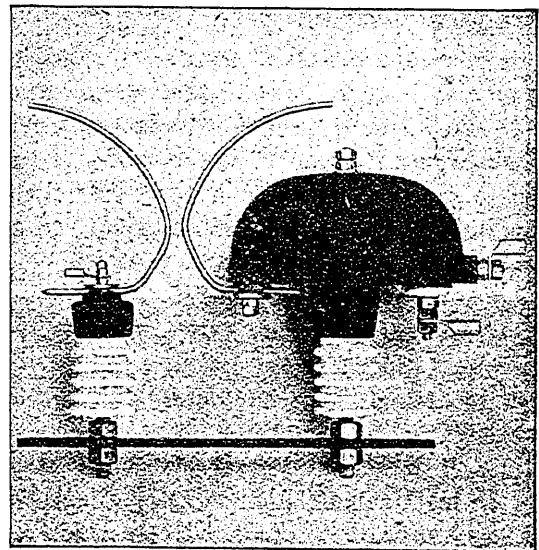


Fig. 3.ª

El «Pararrayos en serie» es esencialmente un cuerpo de muy grandes dimensiones, dimensiones variables para llevar al circuito una discontinuidad en proporción con el volumen y la potencia de las máquinas á proteger. Está compuesto de dos ó más casquetes huecos  $A, A', C, C'$ , figura 1.ª, de fundición ó de acero embutido, curvados según diferentes radios de un punto á otro; dichos casquetes se aplican uno sobre otro por sus bordes intercalando un diafragma  $F$  de metal antiarco y no magnético provisto de una riostra interior  $G$ , de pequeñas dimensiones, á la que se une la bobina de self, y de una ó más puntas salientes al exterior que constituyen los vertederos eléctricos, ó sea los descargadores.

Los casquetes están reunidos en su parte inferior por un núcleo de hierro laminado, alrededor del cual se enrosca en espiral la bobina de self; el conjunto de los casquetes y del núcleo forma un circuito magnético, interrumpido por el diafragma que viene á ser el centro de un campo magnético.

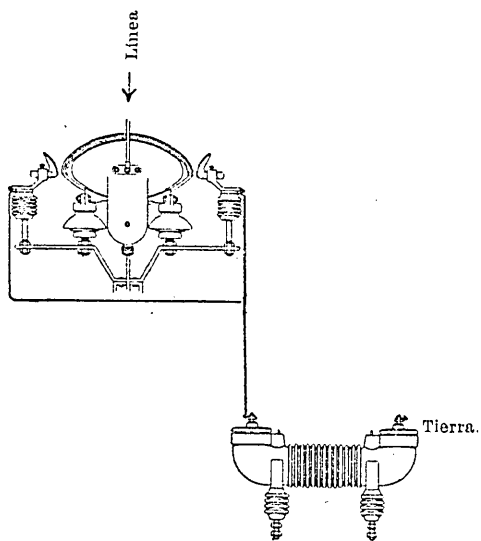


Fig. 4.ª

El pararrayos se intercala en circuito cortando la línea que va á las máquinas, á su entrada en las estaciones eléctricas generatrices ó receptoras; el hilo que viene de fuera se une á un borne ó tornillo colocado en la parte exterior del aparato y el que viene de las máquinas al cabo libre de la bobina, que sale aislado del pararrayos.

Con esta disposición, las corrientes que conduce la línea se esparcen por la gran superficie del pararrayos, y antes de llegar á las máquinas tienen que pasar por el diafragma *F*, cerca de las puntas *P*, donde se efectúa la selección; la corriente industrial de frecuencia normal no encuentra dificultades para recorrer el conductor interior *G* y la bobina de self *H*; las corrientes producidas por descargas atmosféricas encuentran, por el contrario, una gran resis-

encia, pues deberían penetrar en el interior del cuerpo hueco, cambiar su conductor de gran sección y de muy grande su-

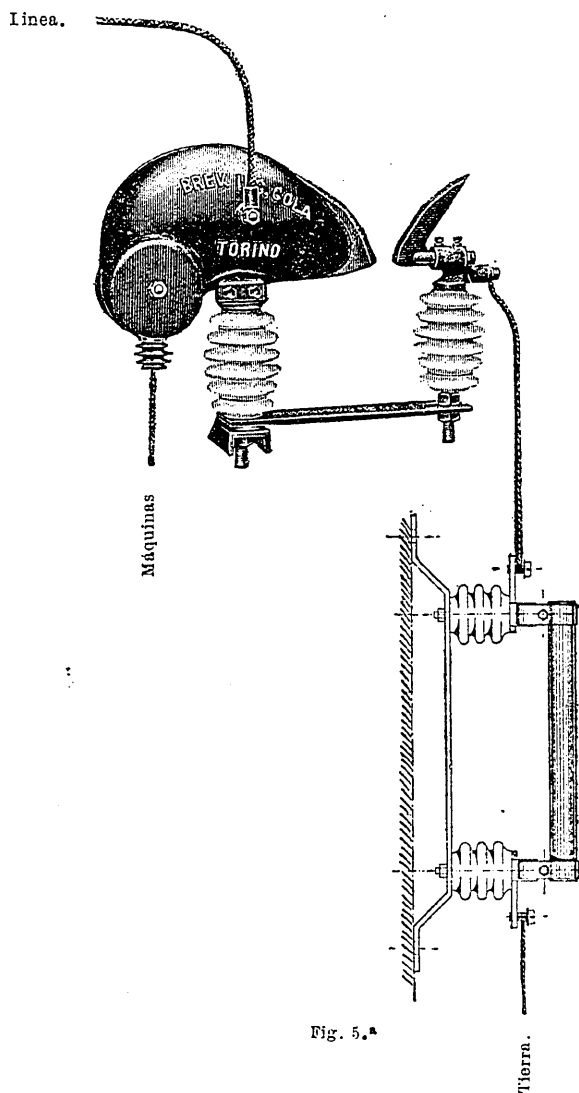


Fig. 5.ª

perficie por el conductor *G* de pequeña sección y de superficie muy reducida, y recorrer, en fin, la bobina de self.

Exactamente enfrente del punto donde las descargas en-

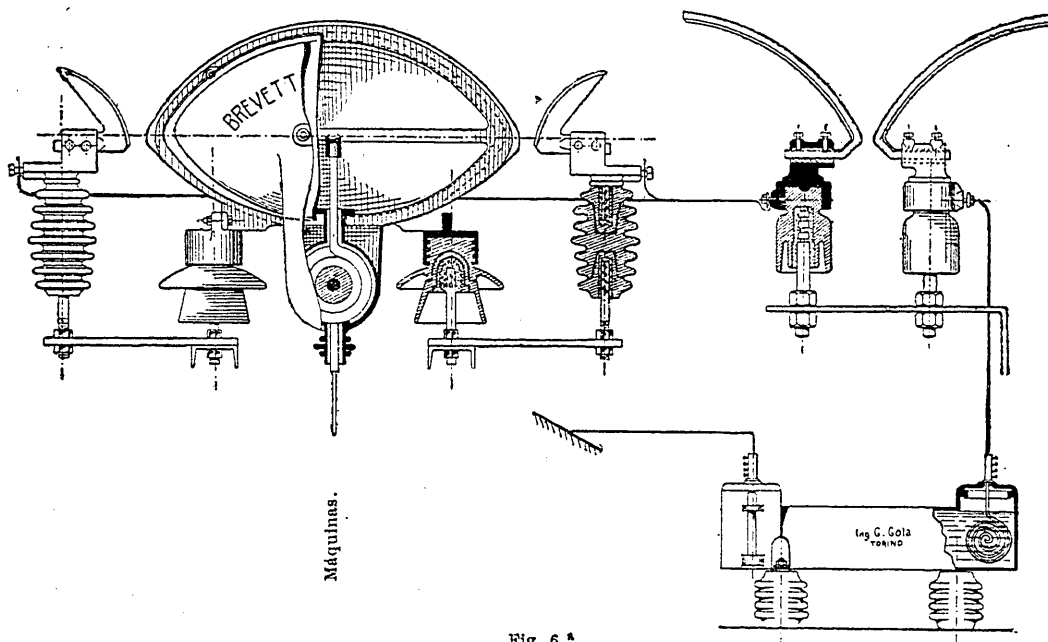


Fig. 6.ª

cuentren cerrada la vía que conduce á las máquinas, se abre otra vía derivada, por la cual pueden aquéllas seguir á través del vertedero ó descargador formado por la punta del

diafragma antiarco antes mencionado, y un cuerno colocado á una distancia que puede regularse y que está unido á tierra.

El aparato comprende, pues, el pararrayos propiamente dicho y el descargador; basta, por consiguiente, añadir la resistencia óhmica tal como se indica en las figuras 4.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup> Sin embargo, cuando se trata de tensiones superiores á 8 ó 10.000 volts, es preferible subdividir la distancia explosiva en dos ó más espacios de aire distintos, colocando entre el pararrayos en serie y la resistencia óhmica un descargador *ad hoc* para asegurar una más eficaz y brusca ruptura del arco, conforme se indica en las figuras 6.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup>

En el caso de que se trate de proteger una estación situada en un punto intermedio de la línea, se emplean pararrayos que tienen bornes exteriores sobre los dos casquetes opuestos, tal como el que representa la figura 8.<sup>a</sup>, que se refiere á un tipo Standard. En este caso el pararrayos se intercala en la línea uniendo los dos extremos del conductor de la línea principal á los dos bordes exteriores de los casquetes del pararrayos y el conductor de derivación para la estación intermedia al extremo de la bobina de self que sale aislado por la parte inferior del pararrayos.

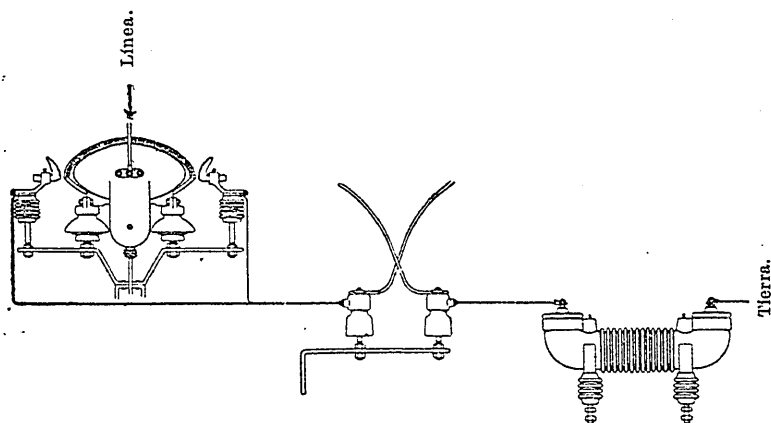


Fig. 7.ª

Los pararrayos en serie son siempre unipolares, es decir, se precisa uno para cada conductor.

Los pararrayos del tipo Standard y del novísimo Standard-Berlín tienen un solo descargador, pero los del modelo vertical tienen dos, y esta circunstancia les hace muy útiles para otra aplicación: la de servir como equilibradores de tensión al mismo tiempo que como pararrayos; para este

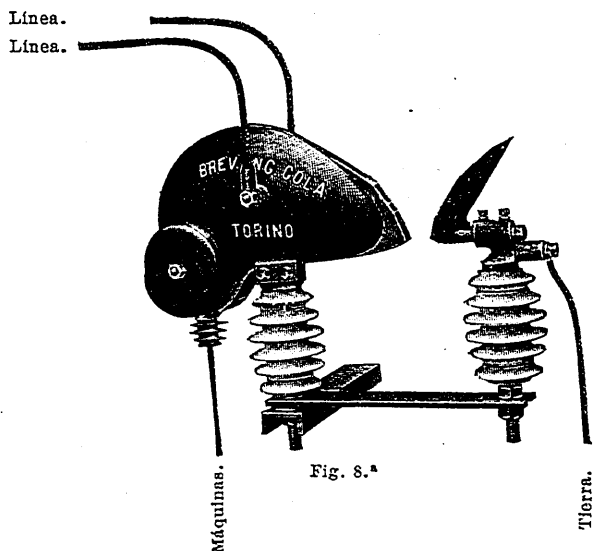


Fig. 8.ª

objeto se montan como por vía de ejemplo indica la figura 9.<sup>a</sup>, que se refiere á una instalación trifásica. En el lado *a* la distancia explosiva es pequeña y grande la resistencia para servir como equilibradores de tensión, y en el lado *b*

la distancia explosiva es la normal y la resistencia óhmica pequeña.

La experiencia ha demostrado que para romper el arco se puede emplear, casi indiferentemente, cualquiera de los tipos de descargadores conocidos; se usa generalmente uno de los más sencillos, el tipo de cuernos divergentes, de cobre, triangulares, cuyas aristas se redondean según radios de curvatura determinados.

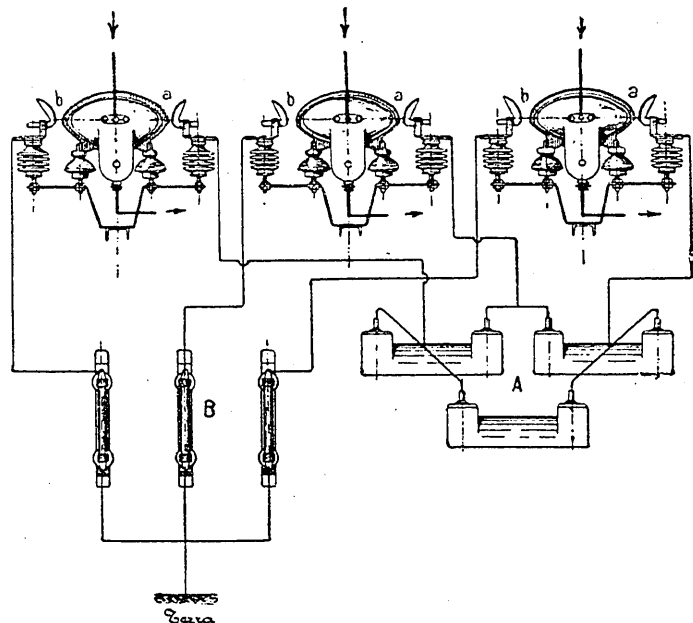


Fig. 9.ª

Por el contrario, las resistencias óhmicas se emplean de diferentes modelos, según las tensiones y la importancia de las instalaciones. La elección depende también de los lugares donde precisa montarlas; así, por ejemplo, en las estaciones centrales, donde generalmente se dispone de sitio y de personal, convienen los tipos de líquido, mientras que en las estaciones de transformación son, frecuentemente, más convenientes los tipos de carbones y los de metal no inductivos.

La teoría, muy racional de los pararrayos en serie, ha obtenido una sanción concluyente: la de la experiencia durante nueve años de millares de instalaciones.

## PRESAS DE DERIVACIÓN <sup>(1)</sup>

Como en casi todas las obras hidráulicas, se nota en las presas de derivación modernas un marcado perfeccionamiento al compararlas con las antiguas. Especialmente las proyectadas por el Servicio federal de obras de riego revelan, ordinariamente, un estudio esmeradísimo del problema en general y de las circunstancias especiales que en cada caso concurren. El trazado en planta es recto y casi siempre normal á la dirección de la corriente, habiéndose desechado, muy acertadamente á nuestro juicio, las plantas curvas, quebradas ó muy oblicuas á aquélla; las tomas suelen situarse con frecuencia lateralmente, con sus frentes próximamente paralelos á la corriente y, por lo tanto, nor-

(1) De *Las obras de riego en los Estados Unidos de América*, por don José Nicolau y D. Narciso Puig de la Bellacasa.