

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

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.

SERVICIO CENTRAL DE TRABAJOS HIDRAULICOS

Instrucciones del Servicio de riegos en los Estados Unidos para realizar los trabajos de campo ⁽¹⁾.

El Ingeniero á quien se confíe el estudio de un proyecto de riegos tendrá amplias facultades discrecionales respecto á los procedimientos que debe seguir; no obstante, con objeto de que los métodos empleados en diferentes secciones sean enteramente comparables, se han redactado las Instrucciones siguientes, que deberán modificarse según las condiciones especiales que concurran en cada proyecto.

Reconocimientos.

El Ingeniero encargado del estudio debe, ante todo, considerar la extensión y naturaleza de las tierras que pueden regarse y comprobar si hay agua suficiente, teniendo en cuenta los aprovechamientos establecidos, ya por derivaciones directas, ya por medio de pantanos. La cantidad de agua utilizable puede determinarse por medio de algunos aforos aproximados de la corriente principal y por un cuidadoso estudio de los datos existentes respecto á lluvias y á cantidad de agua que corra por los cauces, determinando el área de las cuencas hidrológicas alimentadoras de la corriente principal. En algunos casos las mismas investigaciones deberían hacerse con respecto á cuencas adyacentes cuyas aguas pudieran igualmente aprovecharse.

Si el proyecto exige el establecimiento de embalses, el Ingeniero deberá consultar todos los datos relativos á lluvias y á caudales de las corrientes; si no existen semejantes datos podrá formarse una idea de la cantidad de agua que pasa por un punto dado de la corriente principal, examinando la señales de las avenidas que se encuentran en el terreno, y obteniendo de la gente que viva en las inmediaciones todos los datos posibles respecto á su duración ordinaria. Esto le permitirá decidir si conviene establecer los pluviómetros y estaciones de aforo necesarios para conocer los caudales durante algunos años.

Debe tenerse en cuenta la naturaleza de la cuenca y de su cubierta forestal. Con objeto de conocer sus particularidades principales podrá convenir realizar un reconocimiento que exija

algunos días. De esta suerte podrá formarse una idea de la cuenca y de sus condiciones. Cuando se trate de una gran cuenca donde haya que establecer un sistema de embalses ó canales, un mapa y un reconocimiento barométrico podrían ser de utilidad.

En estos reconocimientos todos los parajes adecuados para embalses, ya se hallen en la cuenca principal ó en las secundarias, deberían ser examinados valiéndose de un nivel de mano y de un barómetro aneroides, anotando la clase y dimensiones aproximadas de la presa, las condiciones del embalse, así como la calidad, cantidad y condiciones de los materiales utilizables para la construcción.

Si se reconoce que todas las condiciones son suficientemente favorables para continuar el estudio del proyecto, procede determinar en seguida, de una manera tan sólo aproximada, el coste probable de las obras. Para esto es indispensable un reconocimiento cuidadoso á lo largo de la zona en que debería establecerse el canal; la experiencia en la construcción de esta clase de obras sería del mayor valor para poder formar un juicio aproximado en esta materia.

Determinados estos puntos, se pasará á realizar un cuidadoso examen de los terrenos que se propone regar, anotando todas las circunstancias favorables y adversas. Los puntos principales que deben considerarse son: la extensión de terrenos que puedan regarse, la propiedad de la tierra, el caudal de agua ya derivada de la corriente que se trate de utilizar, la fertilidad del terreno, las dificultades para prepararle para el riego, los cultivos más adecuados según la clase de terreno y condiciones de clima, el valor probable de las cosechas y si el coste calculado para el establecimiento de las obras de riego, referido á la hectárea, permitirá al labrador sostenerse con su familia y pagar al Gobierno el coste de la obras en diez plazos anuales.

Tanteos.

Si los reconocimientos preliminares demuestran que el caudal de aguas disponible y que la situación relativa de las tierras y de la corriente permiten considerar como posible el proyecto de riegos, deberá inmediatamente practicarse un tanteo. Tendrá éste por objeto determinar si procede ó no realizar un estudio preliminar del proyecto, y el carácter y extensión que á dichos trabajos debe darse; es decir, si ha de limitarse á establecer una ó más bases preliminares, ó ha de comprender el levantamiento del plano topográfico de la zona entera. En otras palabras: será necesario fijar aproximadamente las alturas relativas de los puntos de paso obligados y la extensión de la zona regable. Los tanteos deberán partir de un punto de paso obligado, tal como el de derivación en la corriente, el de toma de aguas en el embalse, el punto más alto de la zona regable ó el más bajo de una

(1) Para estudiar y construir las obras de riegos, que han de permitir el cultivo en las regiones áridas y semi-áridas de los Estados Unidos del Norte América se ha creado con el nombre de «Reclamation Service», un servicio especial dependiente del Ministerio del Interior encargado de poner en práctica la ley de 17 de Junio de 1902. De las Instrucciones que ha dado, se han suprimido alguna parte que no tiene interés para los fines del Servicio Central de trabajos hidráulicos.—Nota del Traductor.

divisoria que sea preciso atravesar con el canal. Los instrumentos mejores para realizar estos trabajos, son: un pequeño instrumento de limbo vertical y anteojo analítico ó taquímetro y una mira taquimétrica. Las operaciones se reducen á establecer en la zona de los trabajos una ó más bases, dispuestas de suerte que proporcionen los datos necesarios; las distancias entre las estaciones de estas bases deberán medirse por medio de la estadia; las direcciones, con la aguja magnética, y las diferencias de nivel, por medio de los ángulos verticales. Las cumbres de las colinas, los árboles aislados, las casas y otros objetos prominentes cuya situación pudiera ser conveniente obtener, deberían ser determinados por medio de visuales trazadas desde varios puntos.

Para trabajos de este género se requieren tres hombres, uno encargado del instrumento, un portamiras y un encargado de transportar los efectos.

Si la naturaleza del terreno lo permite, el primero podría trasladarse de unas estaciones á otras en un carruaje ligero, ó á caballo, empleando este último medio el portamira; de esta suerte puede hacerse rápidamente un tanteo á poco coste, si se eligen convenientemente las bases y estaciones, obteniéndose con un gasto mínimo datos suficientes para resolver la cuestión propuesta, y uniendo los informes así obtenidos con los que figuren en otros planos existentes, puede hacerse un plano ligero de la zona considerada.

Trabajos de campo relativos al embalse y presa.

Los trabajos de campo relativos á embalses y presas convendría practicarlos con la plancheta, salvo en aquellos puntos en que existe monte muy espeso, en los cuales será preferible emplear los procedimientos taquimétricos.

Para los embalses, la escala tipo generalmente adoptada es de $\frac{1}{12.000}$, con curvas de nivel cada tres metros; para el plano del paraje en que se ha de establecer la presa, la escala será de $\frac{1}{240}$ á $\frac{1}{600}$ ⁽¹⁾, con curvas de nivel cada metro y medio, salvo en los casos en que el terreno es bastante uniforme para que pueda emplearse sin inconveniente una escala más reducida. Los trabajos topográficos relativos á los pantanos han de hacerse con la exactitud necesaria para que la capacidad del embalse y el volumen de la presa puedan determinarse con un error de menos del 10 por 100.

Deben establecerse uno ó más puntos de referencia con carácter permanente cerca del sitio elegido para situación de la presa; su nivel ha de determinarse con relación al del lecho del río ó al de la superficie de su corriente, practicándose una nivelación para referir la altura de aquellas señales á la curva de nivel superior. Donde sea posible se referirán estos niveles á los puntos de la nivelación general del país, que, á su vez, lo están al nivel medio del mar. Se nivelará una base establecida aguas arriba de la presa, á lo largo del valle, colocando estacas y losas hincadas en el terreno en todos los puntos de cruce con las curvas de nivel. Si el embalse es ancho ó está cubierto de bosque, de tal forma que no puedan practicarse de modo conveniente las referencias de estos puntos por medios visuales la medición de los ángulos verticales, se establecerán en el terreno otros puntos auxiliares, cerca de la curva de nivel superior, valiéndose de un nivel Wye ⁽²⁾.

Se establecerá una base convenientemente situada y de ade-

cuada longitud, midiéndola dos veces con una cinta de acero, y partiendo de ella se extenderá una triangulación cuidadosa con el auxilio de la plancheta; antes de empezar la triangulación deberán marcarse todas las estaciones con señales artificiales.

Cuando, en la escala adoptada, exija la representación del pantano más de tres hojas consecutivas de la plancheta, todos los ángulos de la triangulación deberán medirse con el teodolito, fijando en aquellas hojas la posición relativa de las estaciones antes de empezar el trabajo con la plancheta.

Pueden obtenerse puntos secundarios que sirvan de referencia para los detalles topográficos por el procedimiento taquimétrico. Las colinas, edificios, árboles aislados y otros objetos bien visibles, podrán determinarse por la intersección de visuales. Conviene que se elijan hábilmente los puntos secundarios para la referencia de los detalles topográficos, tales como cambios en la inclinación de las laderas, confluencia de corrientes, colinas, etcétera.

Cuando la presa se ha de establecer en parajes tan cubiertos de vegetación que sea absolutamente imposible obtener ningún croquis en el campo y se necesite desbrozar el terreno para dirigir las visuales y establecer las curvas de nivel, deberán emplearse los procedimientos taquimétricos. El método usado generalmente consiste en establecer una base en el valle, á partir de la presa, hacia aguas arriba, y otra que siga la línea de nivel superior que haya de fijarse.

Cuando no se trate de embalses grandes podrán enlazarse estas bases por perfiles transversales, obteniendo las diferencias de nivel por medio de un nivel de mano y midiendo las distancias á pasos. En embalses grandes se levantarán estos perfiles transversales con el auxilio del taquímetro.

Trabajos preliminares para el estudio del canal.

Antes de emprender los trabajos relativos al trazado del canal, el Jefe de los estudios ha de adquirir un conocimiento completo de la zona que aquel ha de recorrer. La organización de la brigada para estos trabajos preliminares comprenderá ordinariamente un Jefe, un encargado del teodolito, telemétrico y nivel, otro de la plancheta y los hombres necesarios para portamiras y demás trabajos.

El Jefe señalará la dirección general de la traza; el encargado del teodolito (al que acompañarán un portamiras, un peón para las estacas y otro para señalar la traza si fuese necesario) colocará estacas á lo largo de dicha traza, apreciando aproximadamente la pendiente. Estas estacas, situadas á una distancia unas de otras variable entre 60 y 90 metros, llevarán un número de orden y, además, una marca en que conste su nivel. Las distancias entre las estacas no es necesario que sean medidas en este primer trabajo, sino simplemente apreciadas. La base no debe seguir el contorno de la línea de nivel del terreno, sino que ha de establecerse tan cerca como sea posible del trazado definitivo en los puntos de cruce de divisorias y vaguadas. El trabajo de esta brigada, una vez colocadas las estacas en un cierto trayecto, consistirá en levantar su plano, midiendo las distancias con el anteojo; los datos así obtenidos han de transportarse al papel, día por día, y en el campo mismo, á medida de su avance, utilizando un rollo de papel de dibujo y adoptando de ordinario la escala de 1 por 4.800. Los puntos así fijados se transportarán á las hojas de la plancheta colocando éstas debajo del plano y pasando los puntos con una aguja ó alfiler. Los puntos así transportados han de llevar la indicación del número y altura de la estaca correspondiente.

Las hojas de la plancheta así dispuestas pasarán al encargado de ella, cuya brigada comprenderá un portamiras y un auxiliar que lleve la libreta de notas y calcule las distancias y desniveles según los ángulos y datos que vaya anotando. Los detalles topográficos, cuando se empleen curvas de nivel con separación de metro y medio, se tomarán con ayuda de una alidada y un anteojo analítico para distancias que no excedan de 90 á

(1) Traducimos en esta forma las escalas de pies por pulgada que emplean ordinariamente los Ingenieros norteamericanos. Claro está que al adoptarlas nosotros deberían modificarse redondeando las cifras, (N. del T.).

(2) El modelo grande, reglamentario en el Servicio de riegos, consta de un anteojo telescópico de 50 centímetros de longitud total con nivel de aire, en que cada división corresponda á un arco de diez segundos. El anteojo es diastimométrico. El modelo pequeño tiene un anteojo de 37 centímetros de longitud. —(Nota del traductor.)

150 metros á cada lado de la base. Las hojas de la plancheta se solapan de 2 á 5 centímetros formando el ángulo más conveniente en el borde izquierdo de la inferior, de tal suerte, que el plano resulte continuo cuando se coloque en la posición debida.

Cuando la base cruce una corriente, por pequeña que sea, el encargado de la plancheta tomará notas, que convendrá consignar en las hojas mismas, de la extensión aproximada de la cuenca alimentadora, de la profundidad á que se encuentre el terreno firme, etc., y del probable caudal máximo de la corriente. Estos datos resultan en la oficina del mayor valor para proyectar las obras de fábrica. Los caminos carreteros, ferrocarriles y otras construcciones que corten la base deben ser igualmente señalados. La nivelación ha de hacerse con el grado de exactitud que previenen los reglamentos, es decir, que el límite de error admisible, expresado en metros, no ha de exceder de

$$0,012 \sqrt{\text{la distancia en kilómetros.}}$$

Para marcar las alturas se fijarán postes ⁽¹⁾ á intervalos que no excedan de 4 á 5 kilómetros y medio y donde sea posible se referirán á la nivelación del país; aparte de estas referencias, de carácter permanente, se establecerán otras cada 1.600 metros, á lo sumo, en terrenos entrelanos, y cada 300 metros en los muy quebrados.

Otro método que puede seguirse para estos trabajos, cuando las condiciones sean adecuadas, es el siguiente:

La primera brigada fijará la traza del canal valiéndose de un nivel Wye, colocando estacas marcadas convenientemente cada 150 ó 300 metros en puntos altos del terreno, donde, además, se sitúan banderolas para que pudan verse fácilmente desde alguna distancia. La base así formada seguirá, tan aproximadamente como sea posible, la pendiente del canal, sin sujetarse á las líneas de nivel.

La segunda brigada levantará el plano con la plancheta, obteniendo las distancias con el anteojo analítico y los ángulos con la brújula. La escala de este plano puede ser de 1 por 24.000. La separación en las curvas de nivel será de metro y medio, suficiente para determinar la pendiente del terreno y calcular los movimientos de tierras. Por este método pueden hacerse al día de 6.400 á 9.600 metros de plano, siguiendo fácilmente á la brigada encargada de la nivelación. Esta debe comprender un nivelador y su portamiras, un encargado de la plancheta con el suyo, un agente para conducir todos los efectos y un cocinero. Convendría realizar observaciones sobre el sol y alguna circunpolar, á medida que los trabajos adelanten, con objeto de comprobar la dirección de la traza, efectuándolas, siempre que sea posible, desde una estación. Cuando sólo pueda practicarse un rápido tanteo de la traza que conviene adoptar para el canal, en vez de levantar el plano topográfico con la plancheta, podría limitarse el trabajo á croquizar el terreno en una libreta que al efecto habría de llevarse, auxiliando al encargado de tomar estos croquis un hombre provisto de un nivel de mano.

En los desfiladeros la escala de 1 por 4.800 será generalmente insuficiente, y si hay que hacer presupuestos algo seguros, habrá de emplearse la de 1 por 2.400 ó de 1 por 1.200. La experiencia demuestra que, en terrenos llanos ó entrelados, adoptando la escala recomendada de 1 por 4.800, la brigada de la plancheta puede seguir bien á la que nivela la traza practicando las nivelaciones un día y tomando los ángulos el siguiente.

Trazado definitivo.

Al fijar el trazado definitivo del canal, el Ingeniero ha de tener en cuenta varias consideraciones:

La primera y más importante se refiere á la velocidad que el agua debe alcanzar según la naturaleza del terreno. Esto

entraña cambios de pendiente y de sección para las diferentes clases de terreno atravesado. Si la velocidad es excesiva, las paredes y fondo serán socavados y los materiales arrastrados aguas abajo, acumulándose en ciertos puntos de donde anualmente habrá necesidad de extraerlos, incurriendo en gastos; si, por el contrario, la velocidad es demasiado pequeña, habrá un exceso en los gastos de primer establecimiento así como en los de conservación, pues será preciso extraer los sedimentos que se depositen. La resolución de este punto debe dejarse al buen juicio del Ingeniero, siendo, en general, preferible fijar una velocidad pequeña más bien que aceptar una demasiado alta. Aun esto debería ser modificado en el caso en que el agua contuviera una proporción considerable de limos, porque las velocidades reducidas podrían dar lugar á depósitos importantes que afectasen á capacidad de conducción del canal y entrañasen un gasto anual para las limpias que sería innecesario si la velocidad fuese más elevada. He aquí, á continuación, los valores límites que deben adoptarse para la velocidad de los canales, si bien el Ingeniero podrá modificarlos cuando él lo juzgue conveniente en casos determinados: 0,60 metros á 0,90 metros por segundo, en tierra franca; como mínimo, 0,53 metros por segundo, á menos que el agua sea muy clara, pues entonces puede admitirse una velocidad aún más reducida.

0,90 metros á 1,15 metros por segundo, en tierra dura.

1,50 metros á 2,10 metros por segundo, en arcillas duras y roca floja.

2,40 metros á 3 metros por segundo, cuando no se empleen revestimientos de morteros de cemento.

4,50 metros por segundo, en roca dura ⁽¹⁾.

Adoptada la velocidad límite y conocido el gasto, se deduce el área de la sección transversal, que puede afectar diferentes formas, según sea el terreno atravesado. En el caso más sencillo

(1) La velocidad se determina, según es sabido, por medio de una fórmula.

En los Estados Unidos de América se emplea preferentemente la de Kutter:

$$V = \left[\frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \right] \sqrt{RI}$$

R é I representan el radio medio de la sección y la pendiente; n es un coeficiente para el que los Ingenieros del Gobierno de los Estados Unidos, en virtud de experimentos realizados, han obtenido los siguientes valores, adoptados en el Servicio de riegos en vez de los propuestos por Trautwine, Wilson y otros autores:

$n = 0,0175$ en canales de tierra en muy buen estado, bien revestidos con una capa de sedimentos, sección transversal regular y uniforme, libre de vegetación, sin guijarros, gravas, etc.

$n = 0,0200$ en canales de tierra en buen estado, con revestimiento de grava bien sentada, en parte con sedimentos y libre de vegetación.

$n = 0,0225$ en canales de tierra en perfecto estado de conservación, con la superficie mojada cubierta con una capa de sedimentos, en ocasiones con algunos pedazos de algas ó grava suelta y sin vegetación.

$n = 0,0250$ en canales de tierra en perfecto estado de conservación, con cajeros de talud poco inclinado, sección transversal perfectamente uniforme, taludes y fondos cubiertos con una capa de sedimentos ó con grava gruesa y suelta, pero libres de vegetación.

$n = 0,0275$ en canales de tierra cuya sección transversal tiene desigualdades en los cajeros, los ángulos inferiores en algunos sitios parcialmente rellenos con tierra y grava. También se aplica á superficies lisas y regulares si el canal está parcialmente obstruido por plantas acuáticas.

$n = 0,0300$ en canales de tierra en mediano estado, teniendo el lecho parcialmente cubierto con arrastres y con las paredes y fondo lisos.

$n = 0,0500$ para canales de tierra en que el canal, aproximadamente en sus dos tercios, está obstruido por plantas acuáticas.

$n = 0,0400$ en canales de tierra en que próximamente la mitad está obstruida por vegetación acuática.

$n = 0,0350$ en pequeñas acequias, con lecho áspero y desigual y en canales de tierra en perfecto estado, pero parcialmente obstruidos por plantas acuáticas.

$n = 0,0300$ en canales de tierra en mediano estado, el lecho parcialmente cubierto con depósitos, siendo relativamente lisos los lados y el fondo; hierbas y plantas que crecen en los cajeros fuera del agua obstruyen la corriente y plantas acuáticas que brotan en el canal.—*N. del T.*

(1) Los postes reglamentarios que emplea el Servicio de riegos de los Estados Unidos son de hierro, de 1,40 metros de largo, con la cabeza de bronce.—*N. del T.*

llo, cuando la sección es un rectángulo, sólo habrá que considerar dos elementos, el ancho y la profundidad. En las secciones trapezoidales interviene un tercer elemento, el talud de los cajeros. En el caso más general, si

A representa el área,

B la base,

p la profundidad.

m el talud,

se tendrá $A = Bp + mp^2$.

Hay, pues, tres variables y es necesario fijar dos de ellas para determinar la tercera.

Es evidente que el valor de m sólo ha de variar entre límites muy reducidos, que dependen de la naturaleza del terreno, mientras que B y p pueden variar ampliamente. Como el ancho de la base es de menor importancia relativa que la profundidad del agua, lo mejor es determinar la última, una vez adoptada la velocidad. Aquella velocidad depende, en gran parte, del objeto del canal; si se trata de uno de riego que ha de tener varias derivaciones, aquella debería ser menor que en un canal destinado a la alimentación de un pantano; cuando la sección sea rectangular, la velocidad máxima, para una pendiente dada, se obtiene con una base dos veces mayor que la profundidad. Esta sección puede algunas veces adoptarse en trincheras en roca y en canales de madera, pero es rara vez la más conveniente cuando se ha de elegir la más económica, lo que conduce a adoptar las secciones trapezoidales en que la inclinación de los cajeros se fija según la naturaleza del terreno y la profundidad del agua por otras consideraciones.

En general, pueden considerarse seguros los siguientes valores límites de los taludes:

Un cuarto de base a uno de altura, en trincheras en roca.

Un cuarto de base a uno de altura, en tierra dura.

Uno y medio de base a uno de altura, en tierra franca.

Dos de base a uno de altura, en terrenos muy flojos.

En laderas de fuerte pendiente deberá establecerse en desmonte toda la caja del canal con objeto de evitar corrimientos del terraplén, aun cuando con esto se aumente el gasto. En terrenos horizontales ó ligeramente ondulados, podrá reducirse notablemente el coste de la excavación, estableciéndola parte en desmonte y parte en terraplén, de tal suerte que exista compensación. Debe tenerse muy en cuenta al fijar la altura de los terraplenes, la máxima que habrá de alcanzar el agua, así como los asientos y grietas que suelen producirse y que dependen en gran parte de la naturaleza de las tierras empleadas. Ha de emplearse el mayor cuidado posible en evitar corrimientos en la parte inferior del canal, en aquellos puntos en que el terraplén descansa sobre superficies inclinadas, porque el agua tendrá tendencia á filtrarse entre éstas y el terraplén. También suelen producirse corrimientos en los taludes de aguas arriba de los canales si el terreno se satura del agua de lluvia ó de nieve.

Algunas veces se emplea una berma de 0,60 metros ó más entre el pie del terraplén y el borde de la excavación; pero esto introduce irregularidad en el curso del agua cuando la inclinación lateral del terreno es variable y cuando forma ondulaciones en el sentido longitudinal.

En las obras recientes de riegos estas bermas han sido generalmente desechadas y tan sólo se emplean en las trincheras profundas para recoger los materiales desprendidos, que, de otro modo, caerían en el canal.

Casi siempre será conveniente establecer á lo largo de éste un camino carretero que pueda facilitar las reparaciones, lo que debe tenerse en cuenta al construir los terraplenes.

Al fijar el mínimo radio que puede aceptarse en un canal, conviene tener presente que pueden introducirse las curvas en su trazado, con objeto de reducir el movimiento de tierras, mucho más libremente que en el de los ferrocarriles, por ejemplo. Ha de dejarse en gran parte la fijación del radio mínimo al buen juicio del Ingeniero, teniendo en cuenta que cada curva altera la uniformidad de la corriente tendiendo á reducir su velocidad,

y que los radios que se adopten tienen influencia en las erosiones que se producen en los cajeros.

En general, el radio mínimo debe variar entre cuatro y seis veces el ancho de la solera; pero en casos especiales pueden emplearse radios aún más reducidos, y entonces el cajero exterior ha de correrse en el sentido del radio para prevenir erosiones cuando el terreno es atacable.

Al fijar la traza en las hojas del plano topográfico, deben tenerse en cuenta algunas prevenciones. El replanteo de la traza definitiva en el terreno debe hacerse en forma análoga á la empleada en el de un ferrocarril. Se colocarán estacas cada 15 ó 30 metros, hincadas de tal suerte en el terreno, que sea más fácil romperlas que sacarlas; en terrenos duros esto podrá exigir el empleo del pistolete y mazo para hacer un agujero donde se introduzca la estaca. Debe emplearse un cuidado extraordinario en la colocación definitiva de estas señales, pues conviene que todas sean encontradas y comprobadas por las brigadas á quienes se confíe la colocación de las estacas que marquen los taludes; esta misma recomendación se aplica también de un modo más especial á estas últimas brigadas, porque conviene que las estacas se conserven hasta el momento de dar comienzo á la obra, encargándose de su conservación los agentes de la construcción. En algunos ferrocarriles se emplean pequeñas estacas de madera dura, colocadas en el centro de la traza por debajo de la superficie del terreno, mientras que las estacas grandes de forma ordinaria se sitúan á los lados como medio de comprobación, siendo ésta una práctica muy recomendable. Como las estacas del eje son usualmente removidas después que se han establecido puntos de referencia y practicado un surco en el terreno, bastará hincarlas de modo que puedan encontrarse sin gran trabajo algunos años después de ser colocadas.

Las estacas de los tanteos y estudios preliminares deben ser arrancadas en cuanto se hayan colocado las del trazado definitivo; si no se toma esta sencilla precaución, podrá ocurrir con frecuencia que se siga un trazado equivocado y aun que se realicen trabajos indebidos, dando lugar á cuestiones entre el Ingeniero y contratista.

Deben colocarse tacos grandes de madera á la entrada y salida de curvas, al nivel del terreno ó un poco por debajo de él de modo que el paso de los vehículos ó animales no pueda alterar su situación. En el trazado final han de establecerse también referencias de nivel, al menos cada 300 metros si se trata de terrenos algo quebrados, y cada 1.600 metros en los llanos, colocadas á un lado y á distancia bastante para que no puedan confundirse con las estacas que marquen los taludes.

Proyectos de obras de fábrica.

Cuando el Ingeniero está fijando en el papel la traza final, decidirá el número y naturaleza de las obras de fábrica que el establecimiento del canal ha de requerir para ello; ha de disponer de planos topográficos especiales, en escala grande, y de notas que le permitan proyectar con todo cuidado las estructuras referidas. Estos proyectos deben emprenderse cuando se empiece el trazado final en el campo.

Las obras han de ser de un carácter permanente y duradero, de suerte que sean motivo de crédito para el Servicio y llenen su objeto del modo más económico posible. El Ingeniero encargado del proyecto ha de hacer por sí mismo el de las obras de fábrica ó encargarlas á un Ingeniero competente que bajo sus inmediatas órdenes las proyecte. Una vez estos proyectos terminados deben elevarse á informe de la Comisión de Ingenieros consultores nombrada por el Ingeniero Jefe del Servicio, para su aprobación y modificación. Informados favorablemente los proyectos por dicha Comisión, han de ser presentados al Ingeniero Jefe citado para su aprobación definitiva, después de lo cual se hallarán en disposición de servir de base al contrato de las obras.