

NOTAS SOBRE DEFENSAS FLUVIALES Y ENCAUZAMIENTOS

Por JOSE MARIA PALA CATARINEU

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Estas notas, como reza modestamente el epígrafe, constituyen una completa e interesante información sobre obras de defensas fluviales y encauzamientos, que además de recoger la vasta experiencia del autor presentan diversos tipos de obras construídas en nuestro país y fuera de él, y contienen muy provechosas enseñanzas para los que hayan de enfrentarse con los grandes problemas que plantean de continuo las avenidas de los ríos.

Si la Hidráulica es una disciplina del saber muy ardua, que ha hecho decir a un tratadista que es más fácil calcular el movimiento de los astros que el del agua, y ya en 1786 hizo exclamar a Du Buat: "Tout le monde raisonne sur l'hydraulique, mais il est peu de personnes qui l'entendent", la cosa sube de punto cuando se trata de la hidráulica fluvial, a causa de las muchas variables que entran en acción (la extensa gama de terrenos que puede formar el cauce, la gran variedad de los arrastres y de las materias en suspensión) y de la dificultad de efectuar ciertas mediciones (velocidades y pendientes superficiales principalmente), sobre todo en las crecidas. Pero si dejamos a un lado la parte teórica, especulativa, y queremos entrar de lleno en las aplicaciones prácticas, concretamente en los proyectos y obras de encauzamientos y defensas, todo cambia, porque la experiencia de los trabajos realizados hasta la fecha y algunos principios de hidráulica fluvial, deducidos de la observancia de las corrientes naturales, permitirán acometer, con probabilidades de éxito, obras tan dificultosas que en muchos casos asustan, por su elevado presupuesto, a quienes las sufragan, o están condenadas a su destrucción por las aguas. Nuestra finalidad concreta, en estos apuntes, es llegar a soluciones suficientes con un presupuesto adecuado, viable; y esto es muy de tener en cuenta dados los innumerables fracasos ocurridos tanto en España como en el extranjero.

Para hacer frente a las erosiones y socavaciones de los ríos hay que acometer las obras de defensa o de encauzamiento. Las primeras, cuando el mal tiene carácter local, afecta a una reducida extensión solamente y la obra es de modestas proporciones; los encauzamientos, si hay que mejorar cierta longitud de río y las obras son de bastante envergadura o de grandes proporciones.

En todas ellas hay que tomar, en general, una medida común. Consiste en taluzar las márgenes, por lo menos al 1/1, para mejorar su estado de equilibrio (entre la erosión, la cohesión y el peso de las partículas) y para que las aguas desbordadas, al mén-

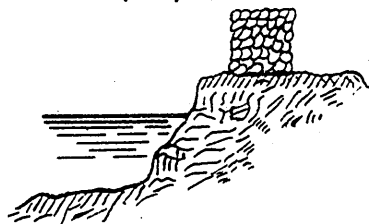
guar la avenida, no caigan de golpe en el pie de aquella y produzcan erosiones de consideración. También en las dos clases de trabajos los materiales empleados son comunes: escollera natural (con un mínimo de peso en la periferia de las obras, de 200 Kg.); escollera artificial, constituida por la zahorra limpia del río, sin clasificar, aglomerada con 125 Kg. de cemento (el mínimo utilizable) por metro cúbico de árido, bien en forma de cubos de 0,70 m. o de 1,00 m. de arista o de losas, o bien tetraedros de hormigón de 2 m. de lado (para hincarse en el terreno blando); gaviones (encofrados metálicos o bolsas-corazas, rellenos, en la periferia de gravas gruesas); salchichones o fajinas vegetales, rellenas interiormente con zahorra; finalmente, cuando la corriente no es muy intensa, revestimientos vegetales (principalmente cañas, que se cortan bastante rasas, para que formen mucha raíz y no estorben el curso de las aguas). Para proteger superficies poco inclinadas es de aplicación un afirmado con macadam ordinario (como pudo comprobarse en las inundaciones de Lérida en 1907). Casi hay que descartar por completo las obras rígidas y los muros, que por su gran coste (exigen buenas y costosas fundaciones) se reservan para la protección y defensa de las poblaciones y de algún sitio determinado de gran valor (muros de ribera de Lérida, Tortosa, muros del nuevo encauzamiento del Manzanares en Madrid, muro de encauzamiento del río Nalón en Sama de Langreo (Asturias), etc.). Estos muros deben calcularse con cuidado o, al menos, hacer un ensayo previo en un tramo experimental, para que no resulten perfiles de un espesor excesivo, antieconómico, como ha sucedido en algunas obras de reciente ejecución. En todos debe establecerse un manto de zahorra entre el paramento posterior y el terreno que, además de hacer de dren, actúa de muelle contra el henchimiento de los terrenos arcillosos húmedos.

Cuando se dispone de poco dinero, es, en todos los casos, un recurso hacer las defensas en derrumbadero. Pero hay que acudir cuando se inicia el mal,

al aparecer sobre la margen o la cabeza del espigón las primeras grietas verticales. Para ello se colocan sobre el terreno, o espigón, en forma de prisma, los elementos resistentes (escollera natural, cubos o losas de hormigón pobre, gaviones o salchichones), que, al aumentar la socavación de la corriente, se derrumba-

(sólo que aquí se han puesto bloques en lugar de losas y las juntas son de 0,20 m.), o, finalmente, efectuando el revestimiento con salchichones o elementos vegetales lastrados o con plantaciones de cañas o sauces, según se ha detallado anteriormente. En el embarcadero de Pontoneros, en el río Ebro, en Zaragoza-

Montón preparado



Escollera derrumbada.

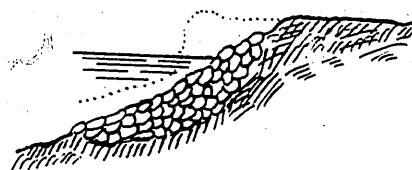


Fig. 3.^a — Defensa en la margen derecha del río Ebro, en Almozara (Galandiez).

rán con la parte vertical de la margen y protegerán al terreno y al resto de la misma. En fin, las figuras expresan gráficamente los trabajos a realizar. El pro-

za, como estaba protegido su pie, el revestimiento ha dado resultado muy satisfactorio (el pie estaba defendido con escollera artificial).

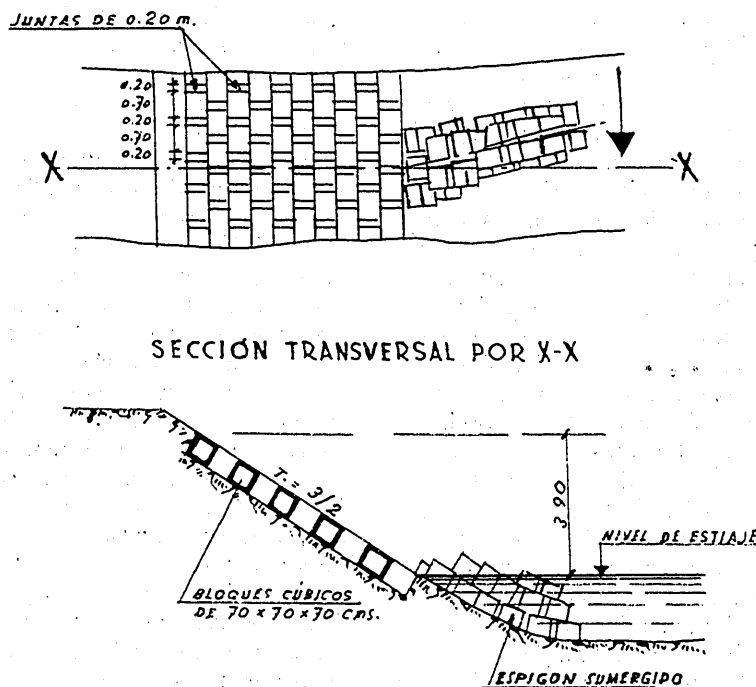


Fig. 3.^a — Defensa en la margen derecha del río Ebro, en Almozara (Galandiez).

cedimiento desperdicia un poco el material y no es muy estético, pero es eficaz y más bien barato.

Si el pie del talud es de terreno duro o está abrigado y protegido, la defensa puede reducirse a revestir la margen, previamente taluzada al 1/1 como mínimo, con un manto de escollera natural, con losas de hormigón pobre (de $1 \times 1 \times 0,20$ m., dejando juntas verticales de 0,15 m. para mayor economía), como en las defensas de La Almozara contra el río Ebro

También en las defensas de Valtierra (Navarra) contra el río Ebro, consistentes en un revestimiento de margen, con escollera artificial, principalmente por no estar el pie defendido, se ha producido, a consecuencia del resbalamiento de las losas de revestimiento, un umbral o espigón sumergido declinante que ha atacado la orilla correspondiente, quedando el umbral, en su parte de aguas abajo, en el centro del cauce.

Cuando las defensas no forman relieve respecto

a la orilla, no causan alteración en la corriente, sin perjudicar a la margen opuesta, por lo cual no necesitan de autorización administrativa con arreglo al artículo 52 de la vigente Ley de Aguas.

En el caso de no tener bien cimentado el revestimiento del talud o si no descansa sobre terreno firme, puede abrigarse con una traviesa de fondo o umbral

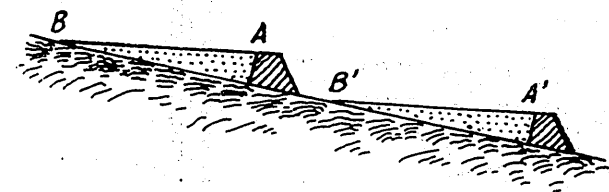


Figura 4.ª

(espigón sumergido de poco relieve sobre el fondo), inclinante, situado en la parte aguas abajo de la defensa. Tal se hizo en la mencionada defensa de La Almozara, contra el río Ebro, aprovechándose la existencia de un escollo rocoso para ejecutar la traviesa.

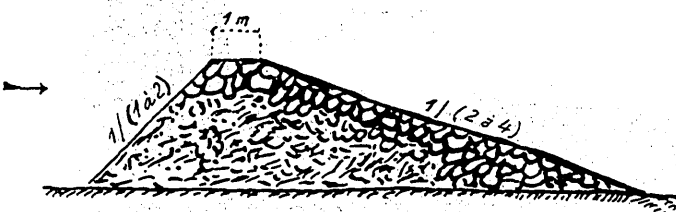


Fig. 5.ª — Corte transversal de un espigón.

Si fallan ambas cosas habrá que apoyar el revestimiento sobre escollera o sobre pilotes. En la figura 4.ª se explica gráficamente este efecto de abrigo contra la socavación de los espigones sumergidos o de los umbrales de fondo. (En esencia, lo mismo trabajan las presas escalonadas en la corrección de torrentes.)

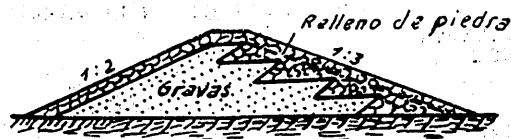


Fig. 6.ª — Espigón de aguas bajas en el Danubio superior.

Recordemos que los espigones, también denominados motas o espolones, pueden ser ortogonales o normales a la orilla, inclinantes o convergentes (si forman un ángulo agudo con la parte aguas arriba de la orilla) y declinantes o divergentes (cuando el ángulo es obtuso). La inclinación óptima, en los convergentes, corresponde a un ángulo de 70 a 80 grados con la orilla. Como la cabeza o punta es el elemento que más

sufre por los remolinos y corrientes líquidas, es conveniente darle un 50 por 100 más de espesor que al resto del espigón. Los materiales más pesados (escollera natural) se disponen en la coronación y en el paramento posterior; a éste, para hacer frente a la corriente o la acción de la lámina vertiente, se le da un talud muy tendido, de 1 : (2 a 4); en cuanto al talud

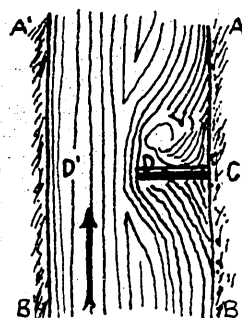


Fig. 7.ª — Planta esquemática de un espigón.

del paramento anterior, como está sometido a menores esfuerzos, basta con que sea de 1 : (1 a 2); la coronación tiene una anchura mínima de un metro, para hacer visitable el espigón. En las figuras 5.ª y 6.ª puede verse una sección tipo de éste. Los espigones pueden ser sumergibles, en las avenidas (pero con el arranque o raíz insumergibles para no ser socavado

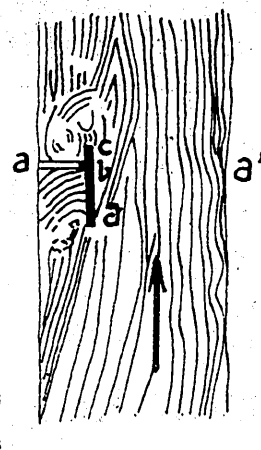


Fig. 8.ª — Planta esquemática de un espigón en T o en martillo.

y contorneado por éstas), o insumergibles. En la figura 7.ª se croquiza en planta un espigón ortogonal insumergible, CD; la experiencia enseña que inmediatamente aguas abajo de la cabeza D se forma un pozo o socavón, y poco más allá un sedimento o isleta, centro de un remolino que se forma aguas abajo del espigón, sobre todo si hay otro aguas abajo. Los espigones insumergibles no convienen, en general, porque cubican más y porque, al saltar sobre ellos una avenida, producen la socavación del pie del paramen-

to. posterior; el mal es mucho mayor en los espigones declinantes, ya que la lámina vertiente cae sobre la orilla a defender, produciéndose su intensa socavación. Por lo tanto, de un modo general, se prescribe el empleo de los espigones sumergibles, inclinantes,

riente, lanzándola más lejos que en el caso del espigón lineal o sencillo. Además, sobre este sistema tiene la ventaja de que, aunque no esté muy bien ubicado el espigón, puede corregirse este defecto y alargar su radio de acción prolongando el martillo o una de sus

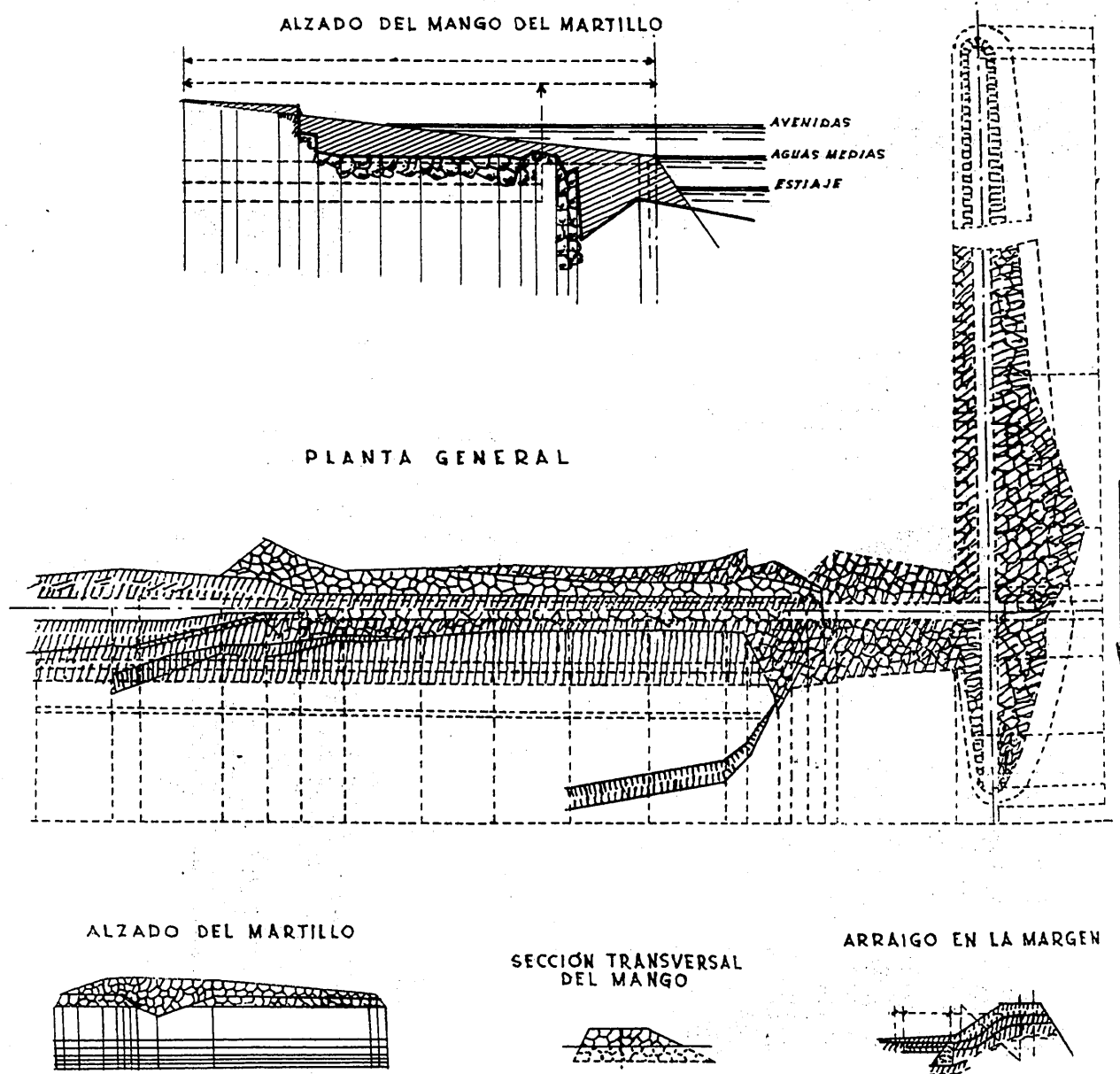


Fig. 9.^a — Planta y detalles de un espigón en martillo, de escoliera natural.

con un ángulo de 70 a 80° con el lado aguas arriba de la orilla y bien arraigados en la margen.

En lugar de los espigones sencillos, reseñados anteriormente, pueden emplearse los espigones en T o con martillo (figs. 8.^a y 9.^a). El objeto de éste, en su rama de aguas arriba, *b d*, es facilitar los aterramientos, y en su parte de aguas abajo, *b c*, dirigir la co-

ramas por lo menos. La longitud del martillo con viene que sea, más o menos, la anchura del lecho menor; pero el hueco entre martillos es menor que aquél: el brazo del martillo de aguas arriba es mayor que el de aguas abajo, que a veces no existe. Así, insistiendo en lo que se ha dicho antes, será más eficaz la acción de las *cámaras de frenado* o espacio que separa dos

espigones contiguos, haciéndose el movimiento del remolino más lento y depositándose arrastres y acarreo. El mango *a b* del martillo estará bien enraizado en un punto *a* insumergible, continuando en pendiente para ser sumergible, teniendo el punto *b* a la altura de las aguas medias; partiendo de *b* hacia *c* y hacia *d* hay dos fuertes pendientes. En fin, en la adjunta figura 9.^a (véase página anterior) se detalla un espigón en T, adoptado con éxito en una obra de defensa en Francia. Como en los espigones simples o lineales, en los de martillo también se crea un socavón inmediatamente aguas abajo de *c*, y luego una acumulación de materiales o isleta; ésta más a menos, en el centro del remolino aguas abajo del espigón.

Espigones permeables o desmontables. Son obras generalmente provisionales que se disponen en las

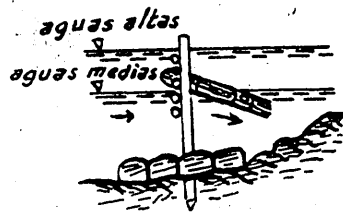


Fig. 10. — Espigones permeables o provisionales.

curvas convexas, partes bajas a rellenar, en el origen de los brazos secundarios a cegar, o al pie de un malecón de tierras para reducir la velocidad de la corriente y producir la sedimentación de los arrastres. En general, no son de mucha altura y están constituidos por enrejados de tela metálica (anclados en el lado inferior, colocados en forma de plano inclinado y sujetos por flotadores en el lado superior), o por fajinas colgantes o maderos horizontales sujetos a pilotes, como en la figura 10, o por cajones de tela metálica bien anclados, rígidos y sin rellentar.

En la figura 11 se da idea de un *jack* compuesto de tres trozos de hierros en ángulo que, unidos por alambres, forman una especie de trípode; varios elementos de estos adosados, también unidos por alambres y anclados en el suelo, forman un espigón permeable. Se colocaron varios de éstos, declinantes a 45° con la corriente y espaciados a unos 40 m. para abrigar el pie de un malecón de defensa en el Río Grande del Norte (Nuevo México, U.S.A.). Este sistema es muy caro, y sería de desear que se experimentase con material más sencillo: costeros de madera en lugar de los angulares, y cordel en vez de alambres.

En el caso de disponerse de grandes losas naturales o empleando grandes losas de hormigón de 1,50 X 1,50 X 0,50 m., aligeradas en su interior, puede hacerse una defensa de margen como la indicada, análoga a la realizada en Francia con éxito hace

más de medio siglo. Las losas inclinadas, apoyadas sobre las horizontales, se llaman centinelas, porque resbalan y rellenan la socavación antes de que alcance a aquéllas. En la figura 12 puede verse una sección de un revestimiento de esta clase.

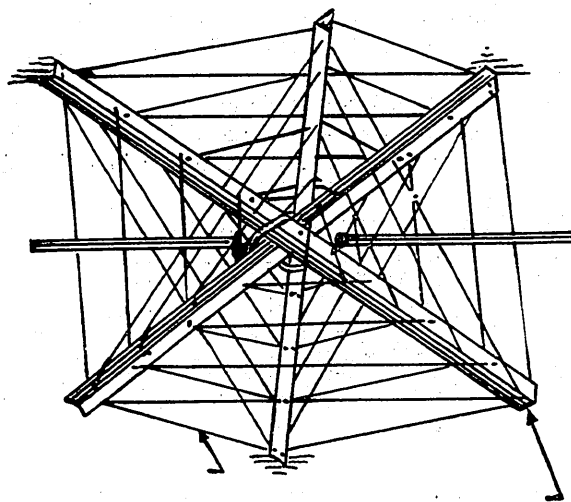


Fig. 11. — Planta de un jack (o elemento de espigón permeables).

Como ejemplo de lo que se puede hacer para defender puntos aislados está el de la defensa de una pila del puente de Albalate de Cinca (Huesca), donde disponiendo de corto presupuesto, rodeamos el poco terreno que quedaba alrededor de la pila, de dos *rosarios* de bloques, utilizando cable viejo que había en Fraga.

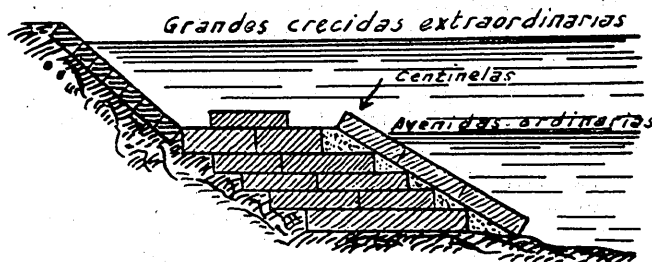


Fig. 12. — Defensa de margen con revestimiento de losas.

Este *doble sunchado* fué vital para la obra, que se ha comportado satisfactoriamente.

Lajas de pequeñas proporciones, o fajinas, colocadas sobre la margen taluzada a defender, pueden constituir una defensa eficaz si se sujetan con una malla metálica anclada con piquetes; esto supone una economía respecto a las corazas (gaviones), donde la malla tiene doble superficie.

Sin taluzar la margen se puede defender el acantilado de una orilla cóncava vertiendo escollera (natural o artificial), con talud exterior mínimo del 1/1.

Claro que el procedimiento es caro por las grandes profundidades que alcanza la hoya al pie del escarpe en una fuerte concavidad. Pero con una dragalina se puede rellenar previamente gran parte de la hoya, arrastrando zahorras de la margen convexa de enfrente.

Los gaviones constituyen un buen elemento si se ejecutan con esmero, poniendo la piedra gruesa en la periferia, y si se pueden colocar en seco y se les da un revoco con mortero de cemento, una vez que hayan asentado, después del paso de dos avenidas, para darles mayor resistencia y evitar la oxidación.

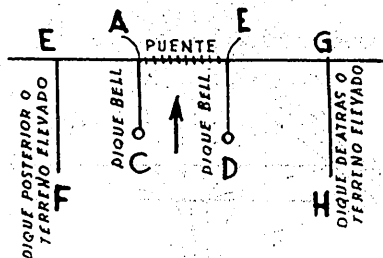


Fig. 13. — Disposición de las obras de protección en el sistema de diques de Bell. (Sensiblemente, $AC = BD = AB$). No es indispensable que los diques sean rectos. Por razones de economía, para determinadas configuraciones del terreno, pueden ser de planta curva.

de la malla. Con estas precauciones constituyen un material excelente y pueden construirse presas de derivación inclusive (nosotros hemos hecho varias en el río Alcanadre, que han resultado sumamente baratas). De lo contrario, pueden constituir obras de ruina inmediata, por las grandes deformaciones u oxidaciones, que rompen las mallas metálicas, o por el ataque de las balsas de madera o de algún malintencionado que circula por el río. (Ejemplo, las defensas de una finca en El Burgo de Ebro, donde no quedaron ni rastros de gaviones.)

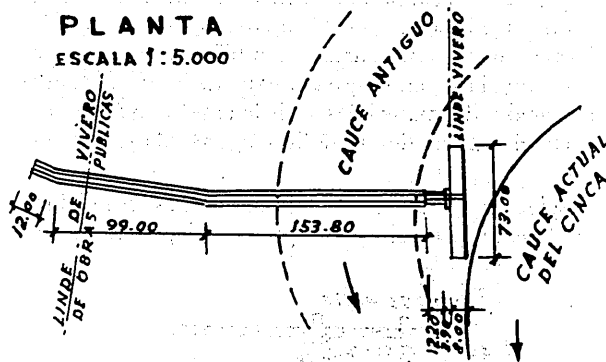
En lugar de muro de ribera, de fábrica, puede construirse de gaviones de tela metálica, con las precauciones expuestas, o bien disponer un dique de tierra arcillosa, compactado (por capas pequeñas y regado), bien taluzado, revistiendo el paramento en contacto con el agua con corazas metálicas o losas de hormigón, abrigando los pies con traviesas de fondo, si no hay buenos cimientos.

Para dar una idea del costo de estas obras, diremos que, como término medio, la ejecución de un metro cúbico de gavión (gaviones de cinco metros) supone 0,20 de jornal de peón, y su lanzamiento a un punto inmediato, el 0,05 de jornal de peón. También con la zahorra limpia, junto al encofrado, un bloque de hormigón de 0,70 m. de arista supone 0,20 jornales de peón, y su lanzamiento, desde un punto inmediato, 0,10 jornales; esta cifra se reduce a la mitad si se dispone de una grúa. (Es conveniente tener una

portátil — de hasta 2,5 Tn. —, poco pesada, fácilmente desmontable.

La plantación de 100 m.² supone un jornal de peón si el terreno está preparado; en caso contrario, dos jornales.

Para encauzamientos aislados en puentes, estribos de presas de derivación, etc., están indicados los diques de Bell, que fueron muy empleados por los



PERFIL LONGITUDINAL DE LA JUNTA DEL ESPIGÓN

ESCALAS H. = 1:2.000
V. = 1:200

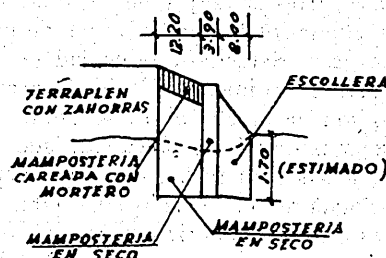


Fig. 14. — Espigón de defensa en Fraga (Huesca).

ingleses en la India. En esencia consisten en dos trozos de dique longitudinal, insubmersibles y bien arraigados; uno en cada orilla, de una longitud aproximadamente igual a la anchura del cauce, y que parten de los estribos del puente o presa, dirigidos hacia aguas arriba; recuerdan, en su conjunto, al tubo adicional entrante de Borda. Han dado excelentes resultados en la presa de Urdán (Zaragoza) y bastante buenos en el puente de Gallur (Zaragoza). En éste hubiera resultado mejor si se ponen los dos diques, en lugar de uno solo, en la margen izquierda. En la figura 13, se croquiza esta disposición.

Un gran socavón en una margen puede rellenarse con los arrastres del río, si se establece un espigón en T, cuya cabeza o morro esté en la prolongación de las líneas de margen no socavadas situadas a un lado

y otro de la mordedura. Tal es el caso de las defensas de Fraga contra el río Cinca, ejecutadas a principios de siglo, que se esquematizan en el espacio que sigue; dichas obras han sido un éxito, y lo que fué río es hoy hermoso soto y huerta (fig. 14).

De lo expuesto se desprende que constituyen un grave inconveniente los obstáculos aislados o discontinuidades en el cauce u orillas, porque producen una desviación de la corriente hacia la margen opuesta y aguas abajo, donde sufre la corriente una especie de reflexión (al chocar con ella), se entumece la lámina de agua, volviendo a la orilla primitiva y repitiéndose el fenómeno sucesivamente. El mal es progresivo, hasta que hay equilibrio entre la fuerza erosiva de la corriente, debida a su masa y velocidad, y la resistencia del fondo y de las paredes; si éstas son fuertes o están bien defendidas (muros o revestimientos), los ciimientos tienden a socavarse. Todo ello también indica que no se puede trazar en línea recta el cauce de un río, como a primera vista parece, porque el más pequeño obstáculo o irregularidad, cosa imposible de evitar en la realidad, produce el serpenteo, o sea los meandros divergentes de los ríos, con socavación de las concavidades y depósitos de arrastres en las convexidades que, al aumentar de un modo progresivo su curvatura y propagarse aguas abajo, llega un momento que se recuperan, como es sabido, rompiendo el río en recta entre dos curvas vecinas. Hay que advertir que el obstáculo sólido, donde choca la corriente, no produce exactamente una reflexión típica, sino que el ángulo de reflexión es algo mayor que el de incidencia. En la figura 15, en lugar de reflejarse la corriente incidente AB , según BM (con ángulo de reflexión igual al de incidencia), lo hace según BC , pegada al obstáculo. Además se forma una segunda corriente, aunque menos importante (lo hemos observado en los espigones), que contornea el obstáculo y tiende a aislarlo del terreno donde se apoya; por lo cual los extremos de los muros de revestimiento deben dejarse en plano inclinado, bien arraigados en el terreno, mejor que en morros, diente o rastrillo lateral. La experiencia prueba que desaparecen los inconvenientes cuando la irregularidad o parte saliente se acuerda de un modo continuo y regular con las partes contiguas, aguas arriba y aguas abajo, de su margen u orilla. Por esto se ha preconizado, como el malogrado Ingeniero D. Alfonso Benavent para la defensa y encauzamiento del río Segre en Seo de Urgel (Lérida), que la margen a defender se sustituya por alineaciones rectas acordadas tangencialmente por arcos de círculo.

Debemos insistir en este punto de la continuidad de la orilla, que consideramos fundamental, que se produce lo mismo, salvo en la magnitud de sus efectos, para pequeñas desigualdades que para grandes obras de mucho relieve. Tenemos un ejemplo del primer caso en dos arbolitos que, plantados en la orilla izquierda de río Vero, afluente del Cinca, produjeron

una gran corriente desviada que atacó el terreno acantilado de la margen derecha, siendo preciso construir un fuerte muro para evitar su ruina. Como caso de gran perturbación los tenemos en el siguiente, tomado de un folleto del Ingeniero Sr. Cruz López: Como ya casi en el delta el Ebro seguía una fuerte curva hacia la margen derecha, con tendencia a erosionarla, temiéndose por la seguridad del canal de la derecha, se procedió a la construcción de un espigón de defensa que, si bien consiguió el objeto, echó el

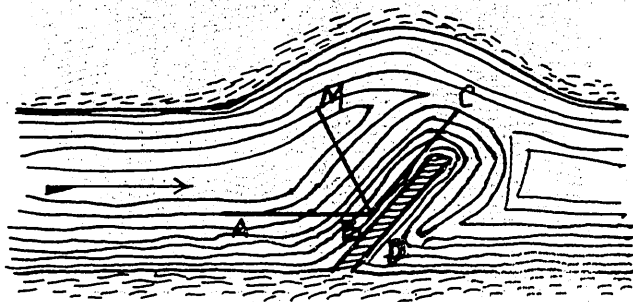


Figura 15.

río demasiado hacia la izquierda, produciéndose en esta desviación del cauce isletas y bajos, con perjuicio de los ribereños de dicha margen izquierda y, sobre todo, de la navegación, que quedó interrumpida en aguas bajas.

Pero dicha continuidad de aspecto no basta. El Ingeniero Inspector de Puentes y Calzadas francés, M. Pargue, intuyó, demostró prácticamente (por observaciones sobre el Garona, comprobadas por los Ingenieros alemanes en el Elba y en el Rin), y sobre modelos reducidos, que para la estabilidad del cauce y de la canal o talweg, haciendo al río (si las condiciones de caudal y pendiente lo permiten) navegable, precisa que la línea de orillas no sólo sea continua, como se ha expresado en párrafos anteriores, sino que la curvatura lo sea también, lo que no ocurre en el mencionado caso de las defensas de Seo de Urgel (Lérida), donde se pasa bruscamente de una curvatura cero (en las rectas) a la que tenga el arco de círculo de acuerdo.

Por eso se preconiza por algunos constructores que en un sistema de espigones las cabezas o extremos de éstos deben dibujar una parábola. Hay casos especiales en que la defensa conviene constituirla por un conjunto de espigones insumergibles, como en la figura 16: el situado más aguas arriba, declinante, para desviar la corriente y abrigar la raíz del segundo; éste lo hará con el tercero, etc. El procedimiento resultará bien si no se espacian los espigones demasiado.

En la figura 17 se representa el movimiento del agua en una curva circular, de acuerdo con lo que resulta en un modelo reducido, utilizando semillas lu-

minosas y sustancias colorantes. Como se ve, es irregular y, por lo tanto, inadmisibles en un sistema de regulación de cauces. Según el Ingeniero Mazzuchelli, las curvas circulares se comportan como los espejos circulares, donde se forman las cáusticas de reflexión. Aunque el movimiento en las curvas circulares en los cauces abiertos y la pérdida de carga en los

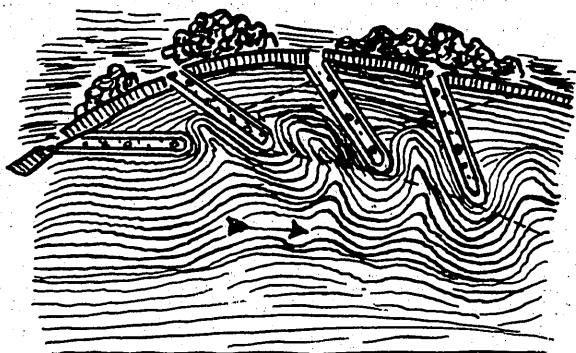


Fig. 16. — Conjunto de espigones insubmersibles, dibujando las cabezas una parábola.

codos y cambios de dirección (tuberías), como dice Boussinesq, es cuestión que dista mucho de estar completamente aclarada, faltando datos experimentales, en algunos casos sí podemos reafirmarnos en lo que acabamos de exponer sobre el movimiento irregular

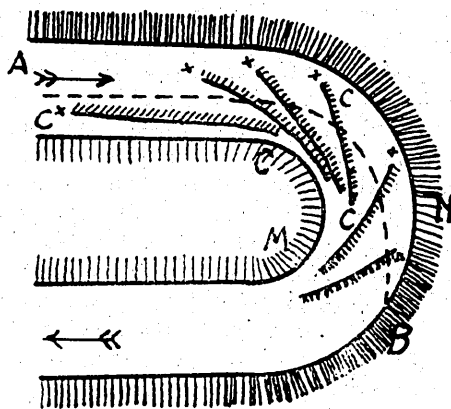


Fig. 17. — Movimiento del agua en una curva circular. A B, movimiento de los filetes líquidos en la superficie. Las líneas C indican este movimiento en el fondo del cauce.

en las curvas circulares, y también que la perturbación es despreciable cuando la desviación total no excede de cuatro grados o cuando el radio de curvatura sea, por lo menos, cuatro veces la anchura (o cuatro veces el diámetro en el caso de tuberías). En los cauces libres naturales se admite por muchos que el agua tiene en las curvas un movimiento helicoidal de largo paso, y así socava en las concavidades y deposita este

material en la siguiente concavidad; pero, a mi entender, hay muchos hechos que contradicen esta hipótesis: En las tuberías o conducciones forzadas se aproxima la distribución de velocidades, en los codos, al movimiento de un líquido perfecto, caracterizado por la constancia del momento de la velocidad de todos los filetes líquidos $Rv = \text{constante}$; de modo que se

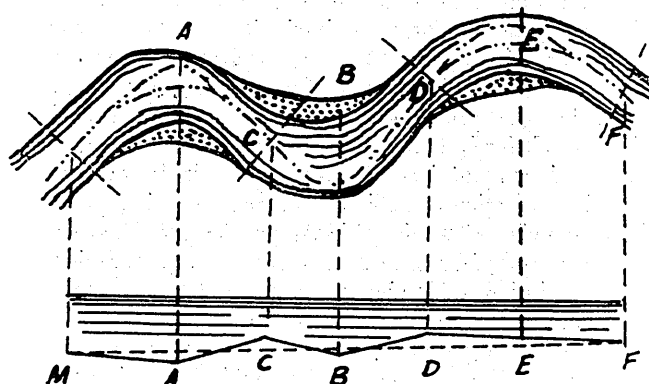


Fig. 18. — Planta y alzado del meandro de un río de fondo móvil en evolución. Línea de Talweg.

da la aparente paradoja de que la velocidad es mayor en el lado convexo que en el cóncavo.

Continuando las ideas anteriores, representamos en la figura 18 la planta y alzado del meandro de un río en evolución. Hemos expuesto anteriormente la

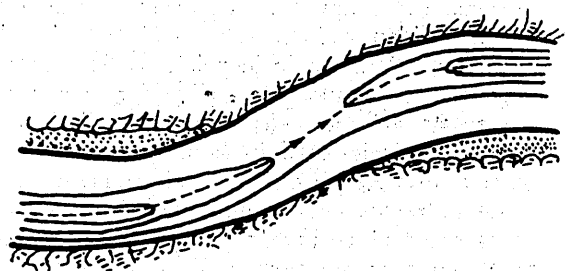


Figura 19.

imposibilidad de mantener la planta rectilínea de un largo tramo de río. La línea de las máximas profundidades, o talweg, sigue, en las inflexiones, paralela a las orillas, pero en las curvas se aproxima a la margen cóncava, ya que en la convexa hay abundante sedimentación; en perfil longitudinal, a las inflexiones corresponden las menores profundidades; puntos altos, chorreras, umbrales o vados, donde las aguas bajas discurren como en un vertedero, y al resto de la curva, una parte plana o cóncava hacia el cielo, llamada tabla. Cuando las curvaturas son de alguna consideración, en el centro de la tabla se forman hoyas, pozos o pocetas. Como se expresa gráficamente en la figura 19. Para la estabilidad del cauce y para

la navegación es muy importante la correcta distribución de los calados en las tablas y en los vados. No conviene que el talweg forme, en planta, fuerte inflexión, como en la figura 20, porque, además de dificultarse la navegación, aumenta la inestabilidad de las formas.

Resumiendo: hasta que un río no ha llegado a su pendiente de equilibrio, opera la reducción de sus más grandes pendientes desplegando la menor acción posible. Si el cauce es menos resistente en su parte superior que en la solera, lo que es frecuente, llega a la inestabilidad ensanchando su lecho por medio de sinuosidades, sin ahondar mucho; en el caso contrario, y con márgenes resistentes, profundiza grandemente el lecho, sin alargarlo; por esto hay que bajar mucho las fundaciones de muros de ribera y pilas de puentes. Hay casos en que es más resistente una franja superior que el resto del cauce, como ocurre, en pequeña escala, en las acequias de forma de *fondo de caldero*, por estar reforzada por las raíces vegetales la parte alta de los cajeros en tierra. Los grandes ríos son más anchos que profundos porque lo que pudiéramos llamar solera del cauce es más resistente a la erosión que los cajeros.

Ayudarán a estos estudios las siguientes consideraciones: El fondo del cauce, habiendo tomado en cada punto la forma que conviene a su estado de equilibrio, opone una resistencia a su desintegración

se una construcción robusta y bien cimentada en dicho ángulo agudo; en cuanto al obtuso habrán de situarse espigones permeables para que en la futura convexidad se depositen de un modo regular los arrastres.

Estudiando el problema de un modo general, si

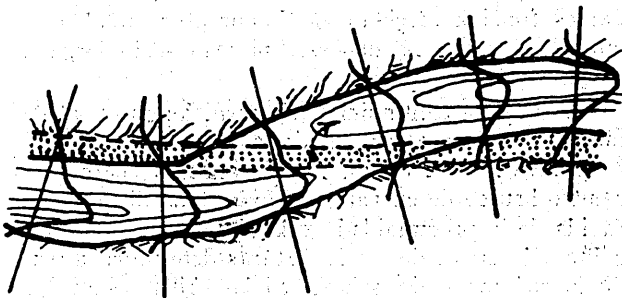


Fig. 20. — Talweg con fuerte inflexión.

en lugar de la simple defensa de margen pasamos a una obra más amplia y completa, el encauzamiento del río en un tramo. Fargue formula las siguientes leyes generales, sancionadas por la experiencia, y que son, en esencia, las conclusiones propuestas por Girardón en un Congreso de Navegación de La Haya:

1.^a En donde las curvas continuas de las orillas cóncavas de un río forman un punto de sobreflexión

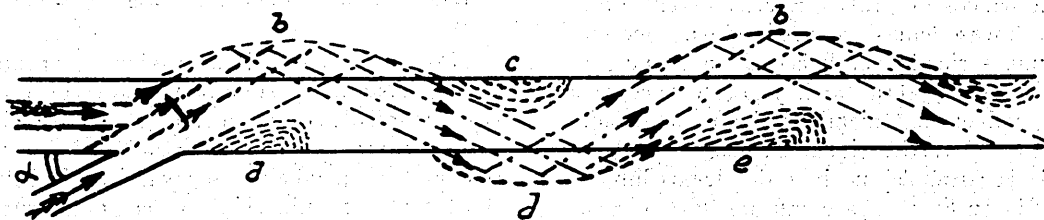


Fig. 21. — Perturbación producida por un afluente.

igual en todos los puntos a la potencia erosiva. Esta es proporcional al cuadrado de la velocidad de la corriente en el fondo w . Por otra parte, para materiales de la misma naturaleza e igualmente coherentes, la erosión será más fuerte cuando la pendiente sea mayor, ya que a la fuerza que tiende a arrastrarlos se une la componente de su peso según la inclinación i del talud donde están colocados. Por lo tanto, la fuerza total de arrastre será proporcional a $k w^2 + i$, o sea $F_a = K'(K W^2 + i)$.

En la figura 21, tomada del texto del Sr. Gómez Navarro, puede apreciarse la perturbación producida en la corriente de un río por un afluente torrencial. Para que ésta sea mínima y se incorporen los nuevos filetes casi sin cambiar el régimen de la corriente (cosa aplicable a la desembocadura de azarbes y de emisarios), precisa que el ángulo de incidencia α sea muy pequeño, casi cero. Para lograrlo deberá poner-

(son del mismo sentido) o un punto de inflexión (son de sentido contrario), o sea hay una curvatura cero, se forma un vado, es decir, tiene un punto alto el talweg. El vado se presenta, generalmente, aguas abajo de dicho punto; en los ríos navegables este desfase debe ser aproximadamente igual al cuarto del desarrollo de la curva; o sea que el efecto, como en otros fenómenos naturales, se presenta con retraso respecto a la causa. La inflexión o sobreflexión que sigue a la orilla cóncava ha de estar aguas arriba de la opuesta que sigue a la orilla convexa. En los ríos navegables conviene sustituir los puntos de inflexión por cortos trozos de recta para que el talweg no cambie bruscamente de orilla y con profundidades demasiado pequeñas.

2.^a En cambio, al vértice de la curva, o máximo de curvatura, corresponde un pozo o punto bajo del talweg; con un desplazamiento análogo al anterior-

mente expuesto (en el Garona a dos veces el ancho del río en el vértice), y una profundidad que aumenta con la curvatura en el vértice. Si el pozo coincidiese con el vértice, el desplazamiento del meandro se verificaría transversalmente al valle.

3.^a La profundidad media del talweg, en una curva, es función creciente de la curvatura total de la curva. La curva no debe ser ni demasiado larga ni corta.

4.^a Ley de continuidad. El perfil longitudinal del talweg es sólo regular cuando la curvatura de la orilla cóncava varía de un modo continuo; pero todo cambio brusco de curvatura provoca una disminución rápida de la profundidad. Y la inclinación de la tangente a la curva de las curvaturas determina la pendiente del fondo del talweg. Si las orillas están formadas por líneas rectas, acodadas por arcos de círculo, el perfil longitudinal estará formado por escalones, y resultará una gran discontinuidad, nada conveniente para la conservación del cauce. Lo mejor sería dar a las orillas una curvatura progresiva, proporcional a su longitud, porque entonces el perfil del fondo sería una línea recta; pero en tal caso sale, para el trazado en planta, una curva trascendente difícil de trazar (radioide o espiral voluta). Promediando las cosas, decimos nosotros, lo mejor es formar las orillas por curvas continuas, no demasiado rectas (para evitar serpenteos con ataques peligrosos, y la formación de bancos de gravas, alternados entre ambas orillas y hoyas demasiado profundas), concretamente por una serie de parábolas acodadas tangencialmente. El trazado será fácil, y puede hacerse a cordel, por envolventes, teniendo cuidado que el radio de curvatura en el vértice (igual en magnitud, el parámetro p de la parábola) no baje de ciertos límites, que Poirée fija en 80 m., para que no haya socavación en paredes de tierra, y que no debe ser menor de cuatro veces la anchura, por lo que se ha dicho anteriormente. (También el Ingeniero F. Bay y el Profesor Perdoni preconizan el trazado con parábolas.) Puede tantearse el trazado sobre el terreno, ciñéndose lo más posible al cauce; primero, las alineaciones rectas tangentes a las parábolas, y luego, éstas, para que el movimiento de tierras sea mínimo. Se consigue así un desagüe óptimo de las avenidas, suave en las concavidades, con depósitos de acarreo en las convexidades (al menguar las riadas); la saca de gravas y arenas para la construcción podrá efectuarse de un modo ordenado en estas convexidades. (Con radios de círculo grandes, del orden de los 500 m., puede pasarse a la alineación recta con arcos circulares de radio doble o triple, que hacen, prácticamente, el papel de curvas de transición.) En los canales, si el eje es una parábola, los cajeros no lo serán; pero además de deducirse claramente de la primera, también serán curvas de curvatura continua.

5.^a Por efecto de los arrastres, para que el talweg, al pasar de una orilla a otra, sea estable, es neces-

rio que la anchura del cauce en el vado, o punto de inflexión, sea menor que en las partes curvas; de esta forma aumentará la velocidad en dicho punto sin que haya tendencia a la formación de depósitos. Parece que lo mejor, según Fargue, es que los aumentos no sean lineales, sino proporcionales a las sucesivas anchuras. (Si se observan las anchuras en un largo trecho, son proporcionales a la raíz cuadrada de la superficie de la cuenca ($a = \beta \sqrt{S}$, variando β de 0,45, en los grandes ríos, a 1,60). (Pero si se consideran las anchuras de cauce en una curva solamente, el sobreancho en el vértice es del 7 por 100 al 10 por 100 de la anchura del cauce en el punto de inflexión del talweg.) Insistiendo: si la curva, en el vértice, es demasiado estrecha, se produce un pozo muy profundo, junto a aquél, en la concavidad y enormes depósitos de arrastres en la orilla de enfrente, convexa; en cambio, si hay excesivo sobreancho en las curvas, se producen en el cauce bancos e isletas. Creemos que en los torrentes predominará el efecto de la pendiente sobre el del trazado de las márgenes. Y en los ríos torrenciales podrán aplicarse todas las leyes de Fargue, salvo que los desplazamientos del vado y del pozo serán mínimos. Sigue en pie la ley de la continuidad de las orillas y la de los sobreanchos no excesivos en las curvas, en evitación de peligrosos remolinos, ya que el plegamiento de los filetes líquidos a las orillas irregulares conduciría a valores muy grandes de la fuerza centrífuga todavía más peligrosos.

Por esto no son de aconsejar los encauzamientos hechos hasta ahora, que han producido muchos chascos y fracasos, consistentes en aprisionar el cauce entre dos muros paralelos, porque producen una disminución de la pendiente (socavación a la entrada y depósitos a la terminación), y hay que recrecer continuamente los muros para que las avenidas no desborden.

Lo contrario tampoco es aceptable: en el alto Rhin, por ejemplo, se dejó el cauce demasiado ancho, las aguas bajas serpearon y dejaron bancos e isletas, con formación de brazos secundarios que inestabilizan la corriente (y en los ríos navegables dificultan la navegación), al lanzarla, por el efecto *vertedero*, con aguas más altas contra las márgenes. El encauzamiento tiene que ir bastante ajustado. Valga la comparación vulgar, por lo expresiva: es un zapato que no debe venir estrecho, pero tampoco ancho. Efectos parecidos se producen en una corta (véase la figura 23), obras que hay que tratar con sumo cuidado.

Esta es la corta efectuada en Francia, hace muchos años, con le Gave de Pau, haciendo un estrecho canal de corta o *chenal d'appel*, dejando a sucesivas avenidas la labor de ensancharlo, hasta el ancho normal. Análogamente, nosotros, en febrero de 1933, redactamos un proyecto de defensas en Plasencia de Jalón (Zaragoza), consistente en una rectificación de

cauce con un estrecho canal de corta (de 6,25 milésimas de pendiente), pasando de unos 1 220 m. de longitud del río a 340 m. en la corta; para ello, se pro-

Ingeniero en 1948 y todavía subsiste en la actualidad; pero, debido a la flojedad de los terrenos (aunque mejorables para la agricultura) y a los remolinos que se produjeron en el espigón de desvío, se acentuó peligrosamente la concavidad de la margen derecha, aguas-arriba de aquél; también resulta algo excesivo el espaciamiento de los espigones, por lo que hay, entre los pares centrales, tendencia a la socavación.

De acuerdo con las teorías de Fargue, el Ingeniero de puentes y calzadas francés, P. Dupont, expuso la forma de un río ideal, sobre lecho de fondo móvil que se acompaña en el dibujo o figuras 24.1, 24.2 y 24.3.

Para mayor simplicidad, y puesto que la pendiente es pequeña, supone que, en un tramo corto de río, las líneas de agua coinciden con las curvas a nivel; éstas tiene aire de sinuosidad (en teoría pura, espirales volutas o radioides), se aproximan en las concavidades, alejándose en las convexidades y guardando cierto paralelismo en los puntos de inflexión; pero las de un mismo nivel, en una y otra orilla, forman

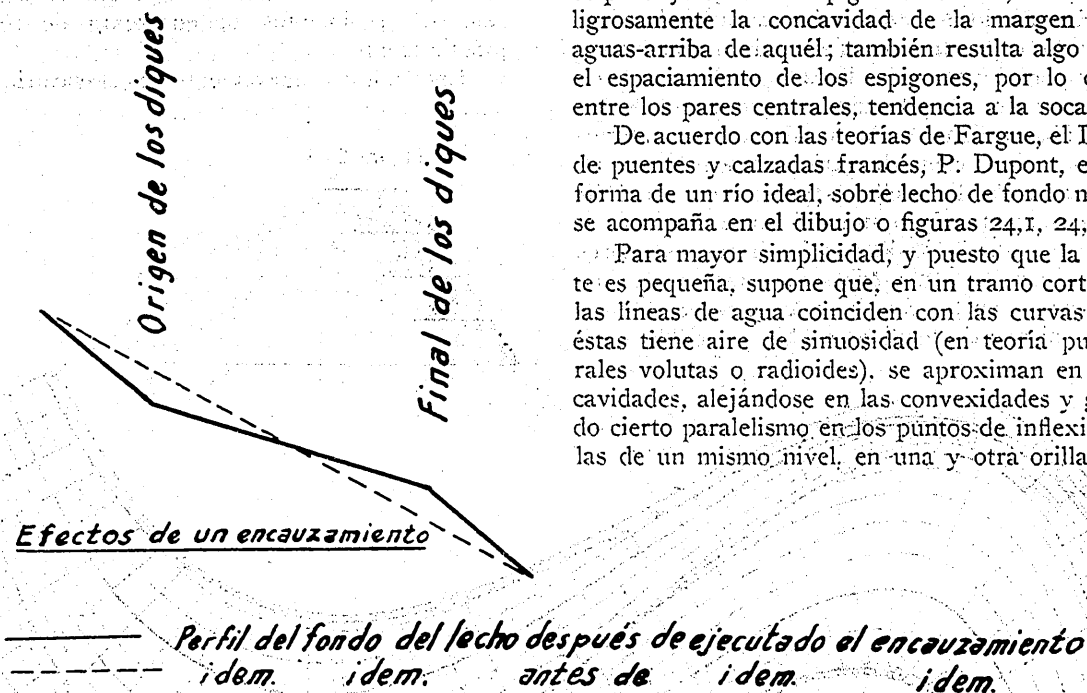


Figura 22.

yecto en el origen de ésta un espigón de desviación y ya, dentro de ella, cuatro pares de espigones de gaviones (uno en cada orilla), de unos 4 m. de altura, 25 metros de longitud y un espaciamiento, entre pares contiguos, de 120 m. Las obras se ejecutaron por otro

una lámina de agua que se estrecha desde los vértices al punto de inflexión, aunque, de un modo general, en todo el recorrido del río experimenta un aumento de anchura gradual. En la figura 24.1 las líneas o representan las orillas cuando discurre el cau-

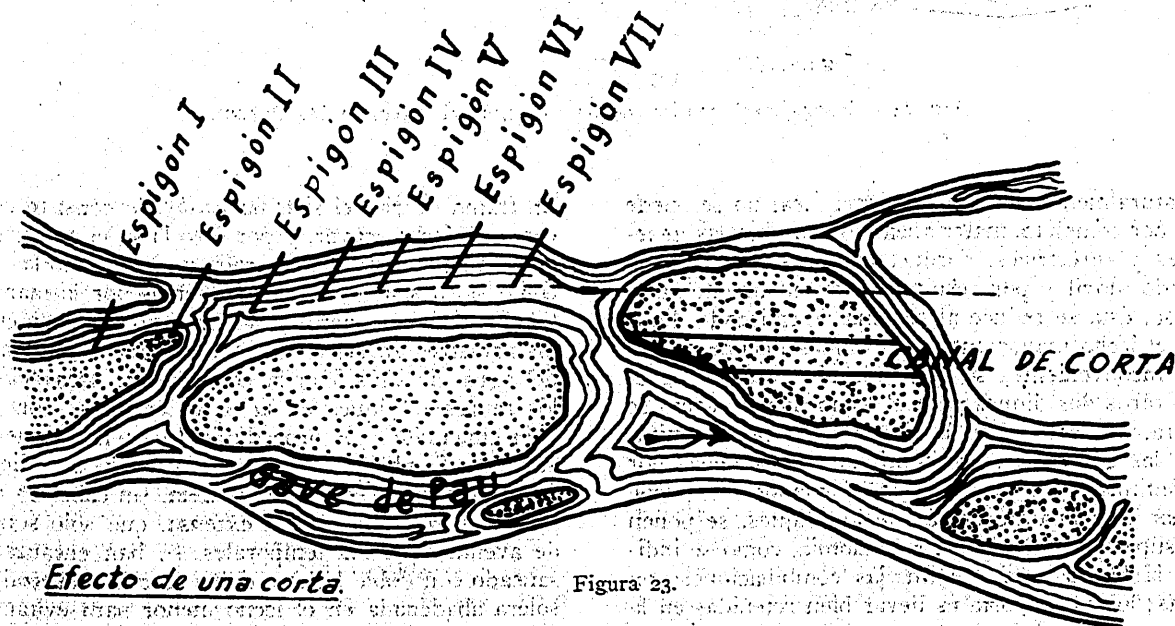


Figura 23.

dal medio; las 1, 2, 3 las orillas, cuando la lámina de agua ha disminuido en 1, 2 ó en 3 m., correspondiendo a esta cota la línea más baja de la corriente o talweg, representado con línea de trazo y punto, que para niveles inferiores, cerca de las concavidades, forma los pozos o pocetas, con figura de media luna o *croissant*; por encima de las líneas 0, o de aguas medias, tenemos las — 1 y siguientes, que corresponden a las avenidas ordinarias. Apoyándose en las anteriores curvas a nivel, como directrices, tenemos una serie de rectas normales a ellas, representadas en el dibujo, que completan la figura del cauce; éste en su lecho mayor, está limitado por las líneas exteriores del dibujo, con las generatrices muy próximas, formando escarpes en las concavidades y especie de superficies cónicas más tendidas en las convexidades.

imaginación estas ideas, materializando con diques longitudinales, o partes de ellos, y con espigones (sobre todo con espigones en martillo) algunos elementos de dicha forma ideal, ya que el río, al depositar sus sedimentos, se encargará de completarla prácticamente.

Entrando ya, nuevamente, en el encauzamiento de

Figura 24,3.

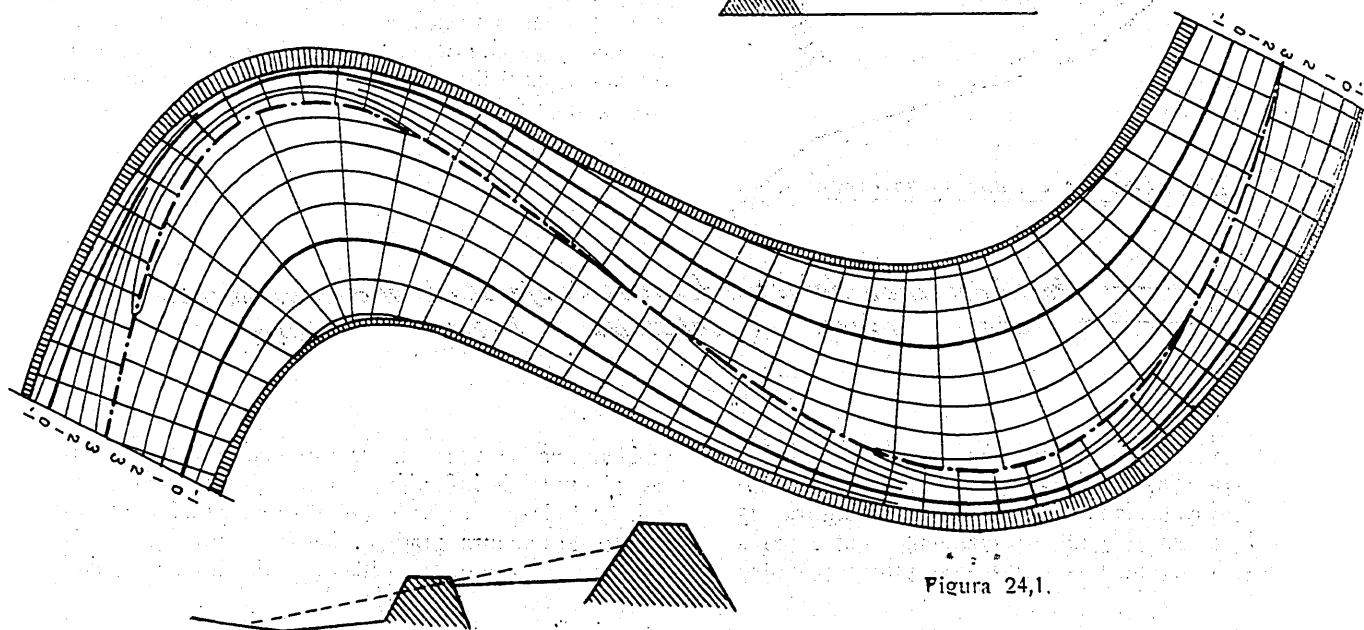
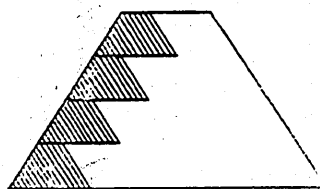


Figura 24,1.

Figura 24,2.

Fig. 24. — Forma ideal, teórica, de un río según el ingeniero M. Dupont.

Naturalmente que a esta forma ideal no se puede llegar por completo, materializando con obra las generatrices y directrices, porque, entonces, ya no sería el fondo móvil y por resultar obra sumamente cara. Por eso, ésta se reduce al sistema de calibrado, limitando el lecho mayor entre dos diques insubmergibles, cuyos inconvenientes se han indicado antes; ó agregando otros dos diques para el lecho menor, como se muestra, en sección, en la figura 24,2, pero sustituyendo las generatrices discontinuas (línea llena) por las continuas (líneas de trazos); cuando se puede efectuar el colmataje detrás de los diques, se ponen estos superpuestos, con gran economía, como se indica en la figura 24,3. En fin, las combinaciones son muchas; lo que importa es llevar bien retenidas en la

un tramo de río, el sistema *calibrado* consiste en encerrar el lecho mayor, y por otro lado, el menor entre dos diques longitudinales, cada uno tratando las cosas como si fuesen dos canales abiertos por la mano del hombre, con una cierta pendiente; no tiene en cuenta los arrastres en las crecidas y acelera el movimiento del agua en éstas, con la consiguiente socavación de los muros o diques en la parte cóncava; con éstos bien cimentados, el procedimiento ha dado buen resultado. También los ríos de Castilla la Vieja y León, que discurren por la meseta, sin cabecera montañosa, y con una cuenca extensa, que sólo son ríos de avenidas en los temporales, se han encauzado y saneado con doble lecho o doble sección trapecial, con solera abadenada en el lecho menor para evitar des-

bordamientos en las fértiles vegas colindantes, y para que no divaguen y se cieguen (al disminuir mucho *h* y, por lo tanto, *R*) con las plantas acuáticas en los largos estiajes. No sólo dos lechos, sino hasta tres lechos (o secciones trapezoidal triple) puede convenir crear en los grandes ríos; esto último si se quiere evitar que desborden las avenidas extraordinarias, produciendo fuertes socavaciones en los terrenos conti-

los principios antes enumerados, fijando las márgenes cóncavas y el talweg con trozos de dique transversales, inclinados 80° hacia aguas-arriba (espigones inclinantes), o con espigones sumergibles, traviesas de fondo (maestras o umbrales inclinantes). Todavía, para mayor economía, los diques longitudinales del lecho menor pueden ser discontinuos, constituyendo con los espigones transversales espigones en T, cuyas

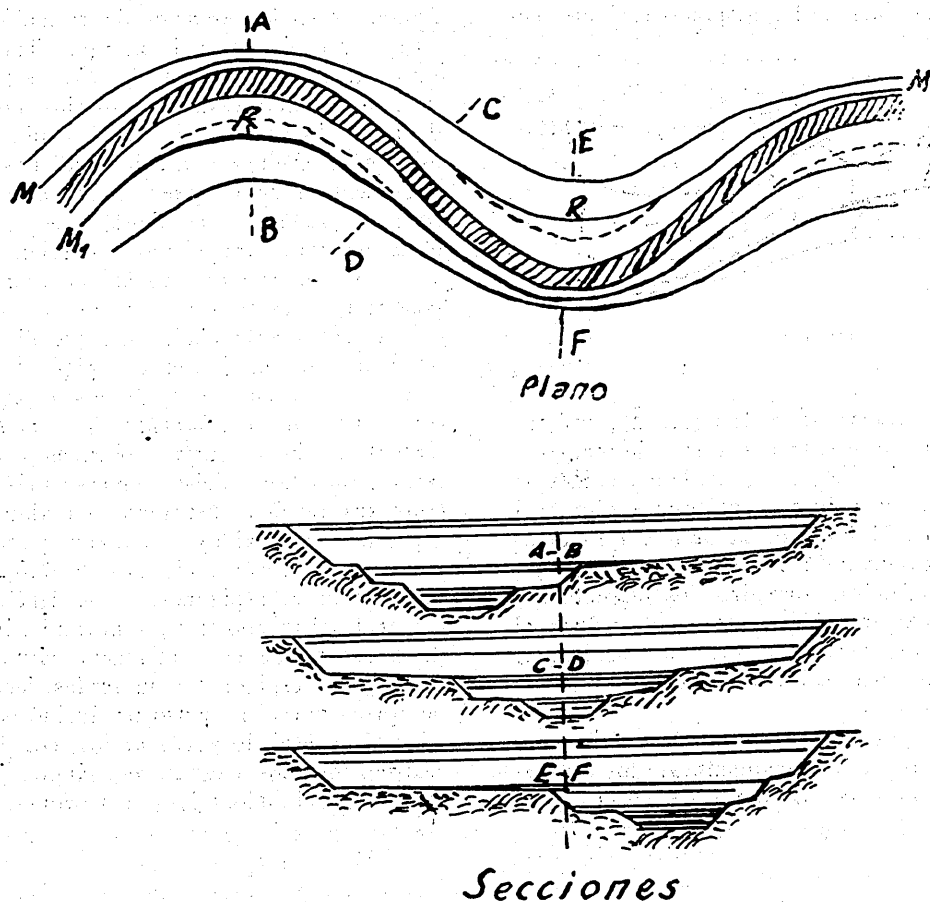


Fig. 25. — Encauzamiento con triple lecho.

guos al río o arrastres; aunque esto último puede ser conveniente dejarlos sedimentar sobre los terrenos de cultivo, cuando sean fertilizantes. En la figura 25 hay un ejemplo de encauzamiento con triple sección o lecho. Para evitar las inundaciones, en avenidas excepcionales, se recurre, a veces, a derivarlas a otros cauces, como se ha hecho, entre otros casos, en Calatayud (Zaragoza) con la desviación del barrancó de Soria al Jalón, en el Canal del Reguerón de Murcia (con lecho mayor y menor), donde se desvía el cauce del Segura y, en muy grande escala, por los americanos en el río Mississippi; pero son obras éstas que hay que proyectarlas con sumo cuidado.

Pero el mejor sistema es el de establecer un lecho menor y otro mayor, con curvaturas continuas, según

ventajas se han enumerado anteriormente. Para que la obra no resulte demasiado cara, sólo se fijan los puntos principales, y hay que proceder por tanteos, por aproximaciones sucesivas, como han hecho los Ingenieros italianos en el río Po (y otros Ingenieros extranjeros. Llegando los alemanes a tardar cuarenta años en ultimar un encauzamiento).

En la figura 26 se expone una estructura más completa de acuerdo con las ideas de M. Dupont.

Así que se ejecuta un primer proyecto y, después, según se comporte el cauce, se draga éste o se prolongan los espigones y revestimientos; un segundo complemento de obras y trabajos, probablemente, será innecesario. El encauzamiento del río Oñar en Girona, que ha resistido a las avenidas excepcionales

del pasado octubre, casi se ha realizado por este sistema. Lo mismo que el antiguo encauzamiento del Manzanares, en Madrid; pero aquí ha habido que lamentar el agrietamiento de la solera de hormigón establecida entre el lecho menor y el mayor, lo que corrobora, una vez más, lo que hemos afirmado anteriormente, de no establecer en los ríos construcciones rígidas, de no estar sólidamente cimentadas. En el encauzamiento del río Segura, a su paso por la ciudad de Murcia, también se ha adoptado la doble sec-

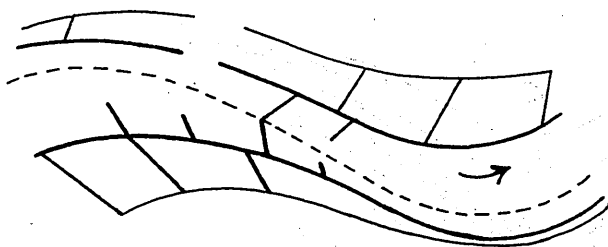


Figura 26.

ción, como puede observarse en la figura 27, limitando el lecho mayor y el menor por muros de mampostería, cimentados sobre pilotes de madera y solera de hormigón. (La maqueta de esta interesante obra está en el Parque Ruiz Hidalgo de la capital murciana.)

Claro que, previamente a la regulación o sistematización de un río, deben corregirse los torrentes de la cuenca receptora y repoblarse ésta, para reducir el caudal sólido de las avenidas a términos razonables. Lo contrario, como dice el ilustre Ingeniero Valentini, es perder el tiempo.

Una pregunta que siempre viene a la imaginación es la de la longitud y el espaciamiento de los espigones. Estos, que han de ser insubmersibles en el arran-

que, sumergibles en la punta, e inclinantes, no producen alteraciones en la margen opuesta si son menores, en longitud, que el décimo de la anchura del río $l < 0,10 \times a$ (comprobado en el Ebro). Se admite hasta el quinto de la anchura: $l = 0,2 \times a$, siendo entonces el espaciamiento o separación máxima cinco veces la longitud: $E = 5 \times l$. Este es un promedio práctico que no debe rebasarse, porque, entonces, el sistema de defensa es ineficaz, al formarse fuertes remolinos en los espacios de frenado, comprendidos entre los espigones y la margen. Tampoco debe bajarse al límite mínimo de $E = 1,25 \cdot l$, porque si bien se colmataron dichos espacios, no habrá colchón de agua donde amortiguar la lámina vertiente (del espigón anterior) en su caída; además, en los remansos que se formen, puede haber criaderos de peces, cosa, en ocasiones, no desdeñable y, sobre todo, la obra resultará cara. Como la corriente primaria desviada por el espigón (no la que lame el paramento posterior de éste), forma un ángulo $\alpha = 6^\circ 6'$ con el eje del río, en realidad, para que dicha corriente no dé en la margen, sino en el espigón siguiente o aguas abajo, el espaciamiento de los espigones debe ser como máximo *maximum* de $E = l \cotang 6^\circ 6' = 9,35 \cdot l$. (En las curvas cóncavas, o donde el terreno sea más flojo, deben ponerse más juntos; en las convexas pueden sustituirse, en algunos casos, por espigones permeables.) También, para tener esto en cuenta, si el encauzamiento o la defensa consiste en un sistema de espigones, todos deben comenzarse a construir al mismo tiempo, llevando, luego, las obras de cada uno de ellos el mismo ritmo, aproximadamente. Los espigones o umbrales deben establecerse de forma que el remanso producido por cada uno de ellos alcance al de aguas arriba, con lo que llegarán a abrigarse unos a otros, rellenándose los espacios de arrastres, evitándose las socavaciones.

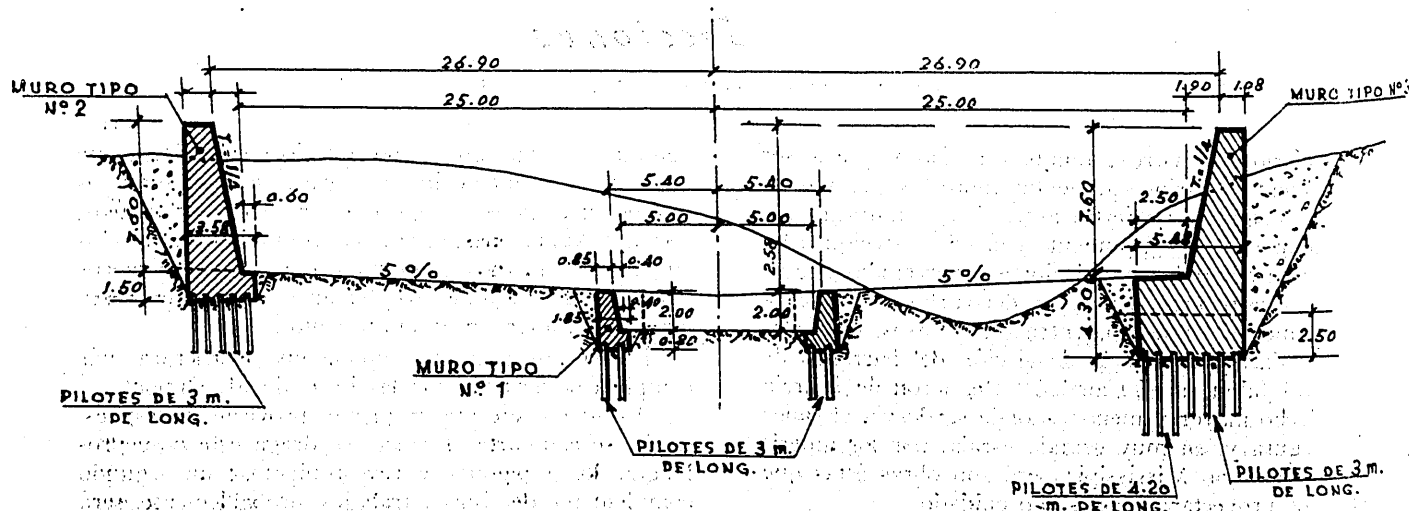


Fig. 27. — Sección tipo del nuevo cauce del río Segura.

Hemos visto anteriormente el caso de la defensa de Plasencia de Jalón (Zaragoza), donde los espigones, espaciados a cinco veces su longitud, están separados a la distancia límite admisible, porque ya casi se inicia la erosión. Con distancias menores, insistimos, el éxito es seguro, como en las defensas del Jarama, construidas en 1945 por el Ingeniero don Jesús Sánchez Ocaña, que han consolidado la margen

mero, la recoge el segundo, y así sucesivamente, habiendo depósitos entre ellos. En los espigones largos, la escollera puede emplearse solamente en los morros y en las partes sumergidas, pudiendo hacerse el resto de tierra compactada o de material granular.

En el caso de cauces que casi sólo llevan agua en las avenidas, son aplicables los principios expuestos de taluzamiento de márgenes, de continuidad de tra-

**DEFENSA DE LA MARGEN DERECHA
DEL RIO JARAMA, INMEDIATAMENTE
AGUAS ARRIBA DEL PUENTE DE F. C.
DE MADRID A ALICANTE**

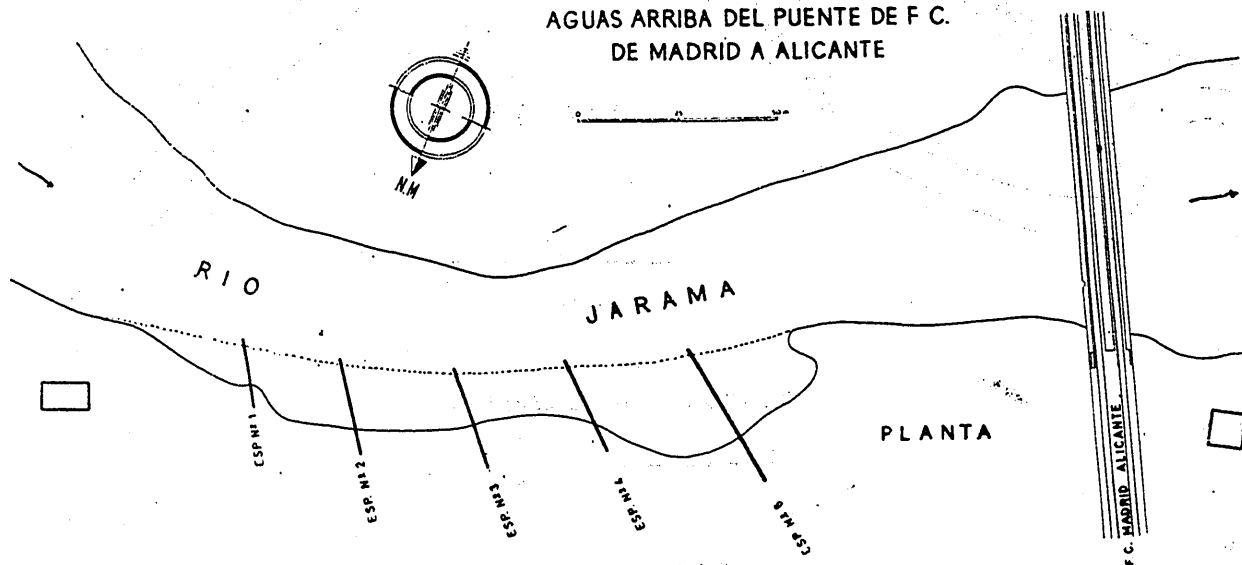


Figura 28.

y soportado cinco grandes riadas; se componen de cinco espigones inclinantes, de gaviones, establecidos en una fuerte concavidad, con longitudes que oscilan entre 15 y 40 m., separados unos 35 m. Asimismo, las defensas del río Tajo, inmediatamente aguas arriba de la confluencia del Jarama, se construyeron en 1947, por el mismo Ingeniero Sr. Sánchez Ocaña, y también han consolidado la margen y soportado grandes avenidas; se compone de diez espigones de gaviones, inclinantes, con un espaciamiento aproximadamente igual a su longitud. En fin, las figuras 28, 29 y 29 bis ilustran las mencionadas obras.

Es sumamente peligroso establecer un espigón aislado (salvo casos especiales como el de Fraga, ya enumerado), porque las corrientes que producen y los remolinos pueden corroer profundamente las márgenes, ya decía desde hace muchos años el ilustre Ingeniero D. Saturnino Bellido: "... detrás del espigón, socavón...". Sin embargo, en casos especiales, puede ser conveniente la ejecución de sólo una parte de espigones sucesivos, como se ha detallado antes en la figura 16, siendo el primero declinante y los que le siguen inclinantes; la corriente desviada por el pri-

zado de éstas, que serán parábolas no demasiado abiertas, ni cerradas, o con curvas circulares, de enlace, de radio doble o triple, cuando los radios son grandes; pero amoldándose a lo existente, para no tener un excesivo movimiento de tierras; sobreanchos en las curvas. Puntos de inflexión. Fijación de concavidades, con revestimientos de margen o espigones. Umbrales o traviesas de fondo, para fijar el perfil longitudinal y abrigar los pies de los revestimientos. (Puede autorizarse la extracción de gravas y arenas en las convexidades.) Y, sobre todo, dejar expedito el cauce de plantaciones, edificios y de toda clase de obstáculos; puentes de tablero inferior y, a ser posible, sin pilas; la Policía de cauces debe ser en esto inflexible, para evitar mayores males. Además, estas obras necesitan de una conservación asidua, porque el río es un adversario que siempre trabaja en contra; deben revisarse después de las crecidas y, con una regla graduada, para observar las profundidades en cabezas, morros o raíces, para obrar en consecuencia, reparando los desperfectos. La conservación, policía y vigilancia ha de ser mayor, todavía, en los cubrimientos de cauces, que tantos fracasos han pro-

DEFENSA DE LA MARGEN DERECHA DEL RIO TAJO
EN EL LUGAR DENOMINADO "CALLE DE LEMUS"
INMEDIATAMENTE AGUAS ARRIBA DE LA
CONFLUENCIA CON EL RIO JARAMA

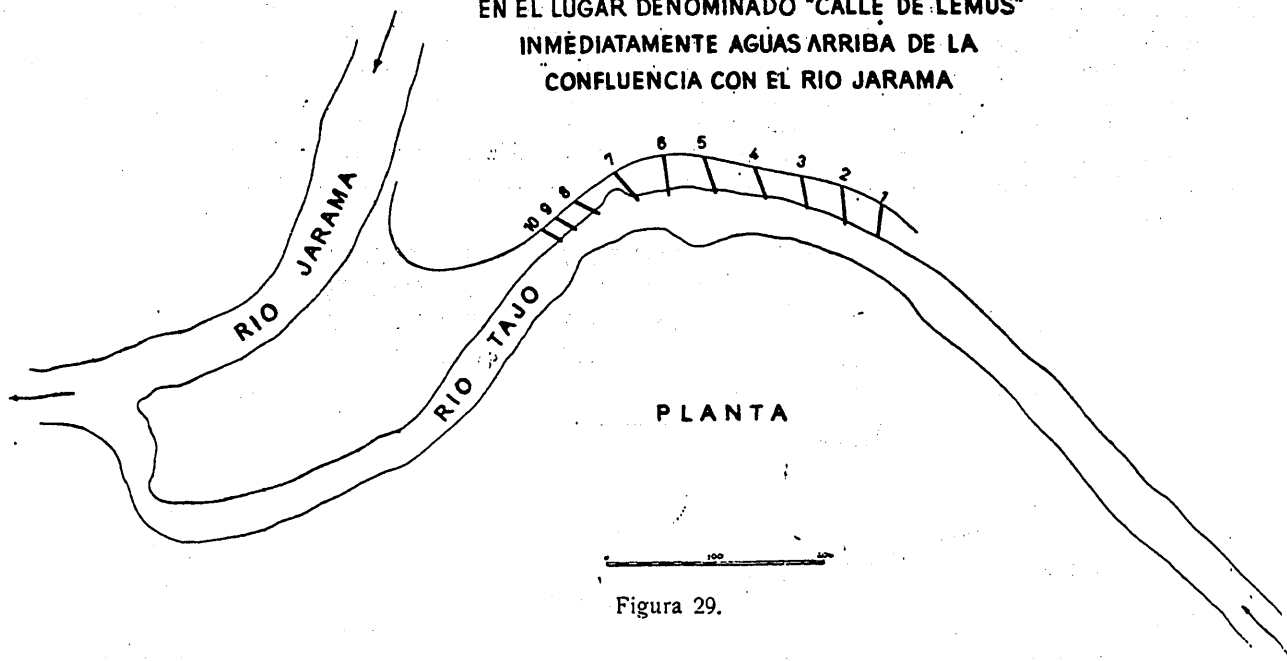


Figura 29.

SECCION TIPO DE ESPIGON

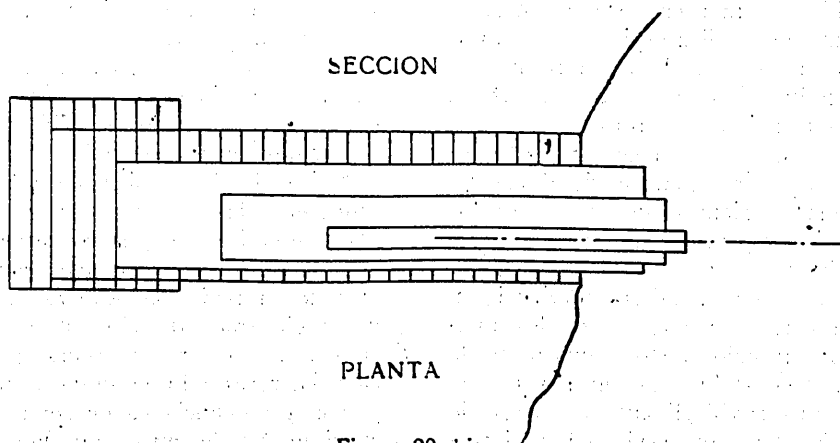
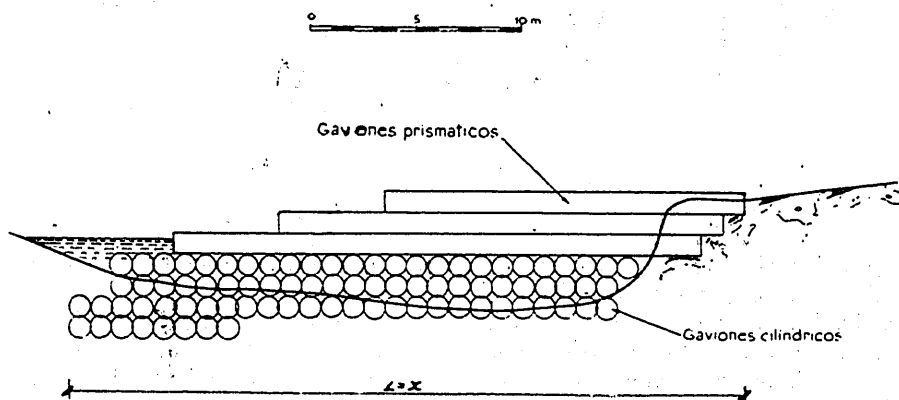


Figura 29, bis.

ducido en los últimos tiempos (Cervera del Río Alhama, Tarrasa, etc.), porque se duplican en ellos los inconvenientes de los encauzamientos (entre muros de ribera), y por la dificultad de vigilar estas obras. Es muy conveniente, en el origen del cubrimiento, poner una malla de grandes claros, metálica o de hormigón armado, para detener los árboles, maderos o grandes arrastres, que lo cegarían, ocasionando una catástrofe. En el cubrimiento de la riera de Folch en Badalona (Barcelona), se puso, con éxito, en el origen un azud perforado, a grandes claros.

Las plantaciones en el lecho, aunque sea con la previa estimación de riberas, deben proscribirse, porque quitan cauce a las avenidas extraordinarias, y éstas pueden producir daños de consideración. Sobre todo no deben hacerse en las partes altas de las márgenes, porque, al avanzar la socavación y quedar el árbol sin base, cae al río, arrastrando, con las raíces, un volumen considerable de tierras. (Ya hemos visto varios casos de éstos en las obras de defensa de la huerta de Utebo (Zaragoza) contra el río Ebro.)

Cálculos. — Hay que calcular el caudal de avenidas para comprobar que el encauzamiento tiene capacidad de evacuación suficiente. Prescindiendo, a ser posible, de las fórmulas empíricas en uso (Ryves, Fanning, Kuichling, Fuller, etc.) hay que procurar determinarlo por mediciones sobre el terreno. Para ello, se escoge un tramo suficientemente recto y se aplican las fórmulas del movimiento uniforme en uso (Bazin, Ganguillet y Kutter, o mejor, para cauces naturales, la de Manning), reduciendo la pendiente en un 10 por 100 por pérdidas. Pero esto no es suficiente porque, como dice muy bien Bakhmeteff, el movimiento uniforme rara vez se presenta en la práctica; sólo será posible el conocimiento exacto del funcionamiento de un sistema hidráulico cuando los fenómenos se consideren y los proyectos se enfoquen bajo la hipótesis del régimen gradualmente variado, lo que será aceptable si el trazado de las márgenes, su curvatura y la pendiente varían de un modo continuo, según se ha dicho. Una corriente de agua donde son variables las características del movimiento puede considerarse dividida en zonas sucesivas donde el movimiento es gradualmente variado, alternadas con otras donde predominan los fenómenos locales, más cortos (vertederos, compuertas, pilas, curvas fuertes); en éstas, la altura de remanso viene dada por

la fórmula de Vecchi: $h = 0,051 \cdot U^2 \cdot \frac{a}{90^\circ}$, donde h es el remanso, U es la velocidad media y a el ángulo total de desviación que produce la curva. Una vez conocido el caudal máximo a desaguar por el encauzamiento proyectado, aplicando las teorías del movimiento variado, vertederos, compuertas, etc., se puede dibujar, en el perfil longitudinal del cauce, el esquema general hidráulico a que antes se ha hecho mérito, representando la lámina de agua, que debe quedar, por lo menos, a 0,50 m. por debajo de la coro-

nación de los diques que limitan dicho encauzamiento y sin que la velocidad en el fondo pase mucho de los seis metros por segundo, porque socavaría el cauce cualquiera que sea su naturaleza.

No debe asustar el cálculo del movimiento gradualmente variado. La cosa se facilita aplicando las tablas insertas en la conocida *Hidráulica* de Ph. Forchheimer, o mejor aún, aplicando la teoría del exponente hidráulico, del sabio Ingeniero hidráulico Boris A. Bakhmeteff. (Véase su notable libro, sobre *Hidráulica de los canales*, traducido por el Ingeniero de Caminos D. Mariano de la Hoz. Aguilar, editor. Madrid). Desde luego, hay que proceder por tanteos, por falsa posición; como en muchas cuestiones de ingeniería.

Las anteriores ideas son el fruto de la experiencia de una veintena de obras de encauzamiento y de defensas hidráulicas, ejecutadas por el que suscribe, mas las de otros Ingenieros, y resultado de varios libros sobre la materia consultados. No tienen más objeto que ser de utilidad a los Ingenieros, mis compañeros.

Las obras consultadas son: *Hidráulica*, de Flaman, Unwin, Forchheimer; la *Hidraulique Agricole*, de Levy Salvador; *Hidráulica de los Canales*, de Boris A. Bakhmeteff; un artículo de M. Dupont en *Le Génie Civil* de 3 de enero de 1920; otro artículo en la misma revista, tomo 46, página 99; *Regulación de ríos, Saneamiento de terrenos, Riegos*, de Gómez Navarro; *Construcciones hidráulicas*, de J. Hentze; *Estudio experimental de un tramo del bajo Ebro*, por el Ingeniero de Caminos D. José Cruz López; *Construcción*, de Sleicher; *Hidráulica*, de Pedro J. Dozal; *Tratado general de Construcción*, de Carlos Esselborn; *Arquitectura hidráulica*, de A. Schoklistch; *Hidráulica general y aplicada*, por Dionisio Eydaux; *Hidrología general y agrícola*, por Pedro M. González Quijano; *Hydraulique Fluviale. La forme du lit des Rivières à fond mobile*, por L. Fargue; *Manual de Hidráulica aplicada*, de T. Perdoni; *Irrigation*, de Poirrée; *Principios de Hidráulica torrencial*, de García de Nájera; publicaciones del IV Congreso de Riegos y Drenajes; Catálogo de la casa Bianchini; *Mecanisme de l'eau*, por René Koechlin. Las figuras que acompañan a estas notas se han tomado de los expresados textos.

Además de las obras anteriores, hemos consultado las siguientes: *Precis d'Hydraulique fluviale*, por S. Leliavsky; *Towar a Theaory of the Morphologic Significance of Turbulence in the Flow of Water in Streams*, por Leighly (J. B.).

Con lo anterior, no creemos haber agotado el tema. Se trata de un asunto muy interesante, que debe seguir estudiándose en modelos reducidos y al natural (sobre todo en lo concerniente a la marcha de los arrastres y a las materias en suspensión), porque afecta grandemente a obras que tienen estrecha relación con la economía nacional.