

OBRAS DE ENCAUZAMIENTOS FLUVIALES. DISPOSICIONES Y TIPOLOGIAS

RAMON M.º GUTIERREZ SERRET (*)

RESUMEN. Se presenta una visión general y sintética de las obras destinadas a la corrección y estabilización de los ríos y torrentes, así como para la defensa contra inundaciones, excluyendo el caso de las presas destinadas a la laminación de avenidas.

ABSTRACT. *A general and synthetic view of those works designed to correct and stabilize rivers and streams, together with flood prevention schemes; dams constructed with a view to attenuating floods, are not included.*

1. INTRODUCCION

En el presente artículo se realiza una exposición general y sintética de las principales medidas que pueden arbitrarse para luchar contra los daños producidos por las inundaciones, excluyendo del mismo las presas para la laminación de avenidas.

Su contenido se desarrolla en base a la ponencia «Aspectos de Proyecto I. Consideraciones generales», presentada por el autor en las Jornadas sobre Encauzamientos Fluviales celebradas en octubre de 1990 en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, así como a las múltiples e interesantes consideraciones que sobre obras de encauzamiento y defensa se expusieron en las restantes conferencias de dichas Jornadas.

Un aspecto previo que conviene recordar en relación con las obras fluviales en general es el carácter dinámico del río, el cual es un elemento activo con unas pautas marcadas por la naturaleza, y que ante cualquier actuación que sobre él se ejerza proporciona su ineludible respuesta. Es por ello por lo que la estabilidad y durabilidad de las obras ejecutadas en los ríos es un asunto de gran importancia, pues su funcionalidad debe mantenerse durante toda su vida útil, sin que los procesos de erosión y depósito les afecten de forma significativa, más allá de lo que, en principio, se haya podido estimar. Por esta razón, las obras en los cauces deben ser, en todo lo posible, acordes con la configuración natural de éstos, ya que en caso contrario el río puede invalidar la función para la que se hayan construido.

Por último, y antes de entrar en el desarrollo del presente artículo, destacar que el mismo se ha estructurado, a efectos expositivos, diferenciando entre «obras de corrección y estabilización del cauce en zonas localizadas» y «obras de defensa contra inundaciones», si bien a sabiendas de que en la realidad esta separación es difícil y que ambas actuaciones constitu-

yen el conjunto de medidas disponibles para luchar contra los daños causados por los ríos.

2. OBRAS DE CORRECCION Y ESTABILIZACION

2.1. PRELIMINAR

Los ríos en su discurrir labran su propio cauce, erosionando en los tramos altos, transportando los materiales arrancados y depositándolos en las zonas bajas.

Este proceso, bajo ciertas condiciones, puede producir alteraciones en el cauce, originando encajamientos, ataques a las márgenes, daños a las obras situadas en sus proximidades, aterramientos, etc.; circunstancias todas ellas que, en general, obligarán a realizar obras que lo corrijan y estabilicen, bien actuando sobre su lecho cuando su pendiente sea inestable, sobre su planta o sección transversal, si los problemas a evitar son erosiones en las márgenes, tramos divagantes, etc., o bien actuando sobre ambos.

En los siguientes epígrafes se exponen las principales medidas correctoras. En la mayoría de los casos, los tratamientos de corrección y estabilización se compondrán de varias de estas medidas.

2.2. CONTROL DE LA PENDIENTE

La erosión, junto con la sedimentación, son básicamente los fenómenos responsables de la inestabilidad del lecho del río. La erosión, en los tramos altos, arranca y transporta materiales produciendo el encajamiento del cauce. En cambio, la sedimentación, en los tramos medios y bajos, reduce la pendiente del lecho.

2.2.1. ACTUACIONES CONTRA LA EROSION

En relación con la erosión y con las actuaciones para mitigarla, deben diferenciarse los torrentes y los tramos altos de los ríos de sus cursos medios y bajos. De acuerdo con esta zonificación, las actuaciones que se pueden realizar para luchar contra el encajamiento del cauce, clasificadas según su disposición respecto del eje del río en obras transversales y longitudinales, son:

2.2.1.1. Torrentes y tramos altos

A) OBRAS TRANSVERSALES. Su misión es fijar el perfil longitudinal del cauce. Según la pendiente inicial

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Jefe del Servicio de Estudios Hidráulicos del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

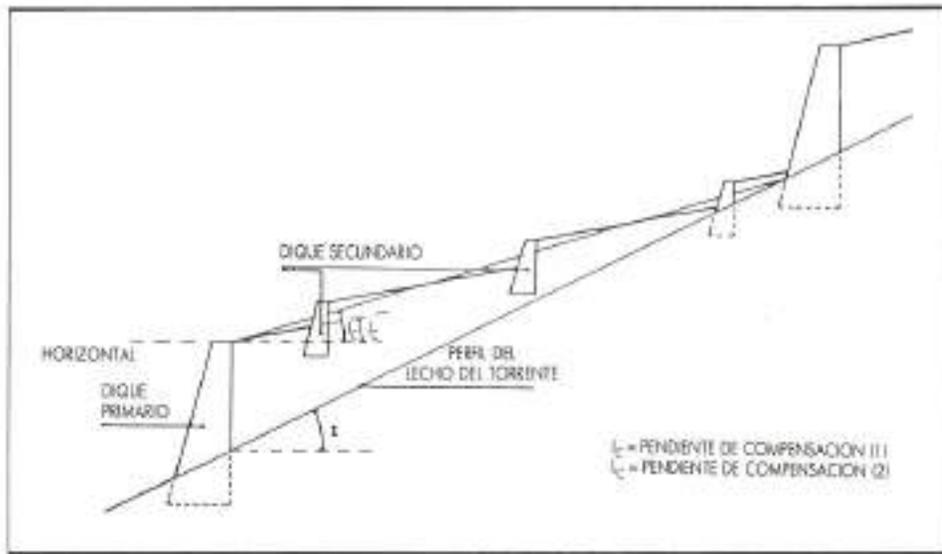


FIGURA 1. Diques de consolidación. Corrección de pendiente.

del lecho se pueden disponer **DIQUES** o **UMBRALES DE FONDO**. Los primeros son adecuados para tramos con pendientes fuertes, mientras que los umbrales se disponen con pendientes menores.

— **Diques.** Según su misión específica, se clasifican en **diques de consolidación** y **de retención** sus características más importantes son:

- **Diques de consolidación.** Además de fijar el perfil longitudinal, estabilizan las laderas conforme se rellenan de sedimentos.

Se van disponiendo diques consecutivos que, de forma escalonada, al irse colmatando, van reduciendo la pendiente del cauce hasta alcanzar la de equilibrio.

- **Diques de retención.** Su misión es la detención de materiales sólidos y en algunos casos la laminación de avenidas. Adicionalmente evitan daños en la zona que dominan y actúan como diques de consolidación.

- **Criterios de diseño.** Para ambas estructuras, pueden resumirse en las siguientes ideas:

- Análogos a los de presas pequeñas (menores de 15 m en general).
- En los diseños no se debe exigir ni grandes resistencias, ni altas calidades, pero sí robustez.
- Sus disposiciones han de ser sencillas y de fácil ejecución. En general se adoptarán soluciones de gravedad y planta recta.
- Se disponen agujereados (mechinales) para evitar embalses prolongados, con huecos a diferentes alturas.
- Los materiales para su construcción son: Hormigón en masa y mampostería hidráulica (diques rígidos), gaviones (diques flexibles). Existen también diques celulares con armazón de elementos metálicos.
- El aliviadero central y el elemento disipador de energía serán más o menos importantes según los caudales de diseño, siendo habitual períodos de recurrencia de 20 a 100 años.

- **Umbrales de fondo o traviesas.** Sustituyen a los diques cuando las pendientes son más reducidas. Son propios de los tramos medios y bajos, por lo que sus características se exponen al analizar dichos tramos.

B) OBRAS LONGITUDINALES. Están constituidos por soleras, malecones, defensas y encauzamientos completos. Son obras específicas de los tramos medios y bajos, aunque en determinadas circunstancias se emplean en estos tramos de montaña, en los que los problemas de erosión y abrasión se ven incrementados. En cualquier caso, cuando se decida su construcción, la robustez debe presidir el diseño. Sus particularidades se exponen al comentar estas obras en los tramos medios y bajos.

2.2.1.2. Tramos medios y bajos

A) OBRAS TRANSVERSALES. La tipología es análoga a la de los tramos de montaña, pero predominan las traviesas o umbrales estabilizadores. Los diques son más pequeños, convirtiéndose en azudes.

Los **criterios de diseño** son análogos a los indicados para los tramos altos y los torrentes, pero exigiendo mayores calidades. Ha de tenerse en cuenta que deben ser sobrepasados por caudales importantes, para los que habrán que proyectarse.

En la figura 2 se esquematizan una serie de azudes y varias traviesas o umbrales de fondo, para fijar la pendiente.

B) OBRAS LONGITUDINALES. Su aplicación es máxima en estos tramos, empleándose escolleros, soleras continuas de hormigón y encauzamientos totales (solera y ejeros).

- **Escollero del lecho.** Es un sistema eficaz, duradero y económico en estos tramos, pues los tamaños de las piedras son fáciles de conseguir. Por el contrario, en los tramos de montaña esta medida es de aplicación reducida, por requerir escollos de gran tamaño para que

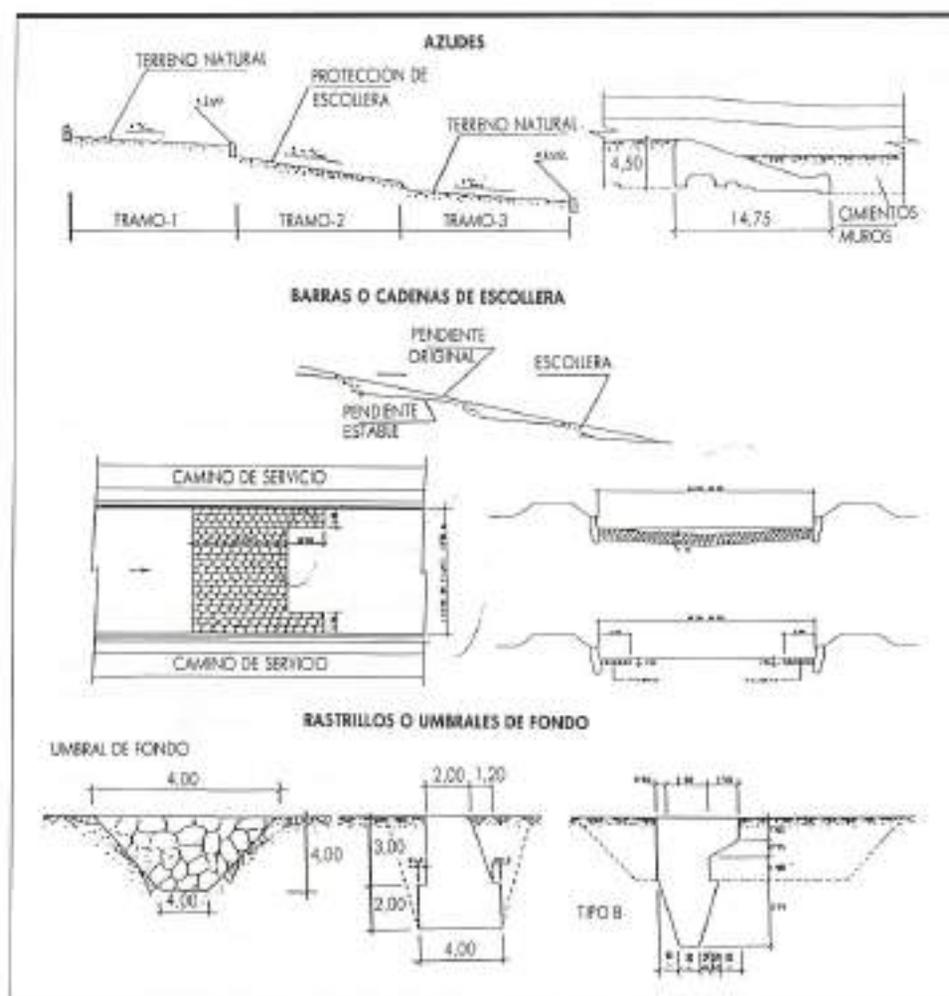


FIGURA 2. Obras transversales en tramos medios y bajos. Detalles C. H. Guadalquivir y Sur.

no sean arrastrados por la corriente, razón por la cual esta solución es cara en estos tramos altos.

Entre el terreno y la escollera debe disponerse un filtro, que puede estar compuesto por un material granular convenientemente graduado o por un geotextil.

La capa de filtro granular debe cumplir:

- Estabilidad $d_{15f} < (5 \text{ ó } 4) \cdot d_{50t}$
- No segregación $d_{50f} < (40 \text{ ó } 25) \cdot d_{50t}$
- Permeabilidad $d_{15f} > 5 \cdot d_{15t}$

siendo:

d_{xf} : Diámetro que deja pasar el x % del material de filtro.

d_{xt} : Idem del terreno.

Consideraciones sobre la escollera y el filtro

- El espesor de la escollera como mínimo debe ser el doble que D_{50} y evidentemente mayor que D_{max} . Para oleaje moderado debe aumentarse en un 50 %.
- El espesor del filtro granular debe ser superior a la mitad del tamaño máximo de la escollera.
- La colocación tanto de la escollera como del filtro granular debe cuidarse para no provocar segregación.

— **Soleras de hormigón.** Es una medida correctora de coste elevado y presenta problemas de subpresiones y abrasión, esta última más atenuada que en los tramos altos.

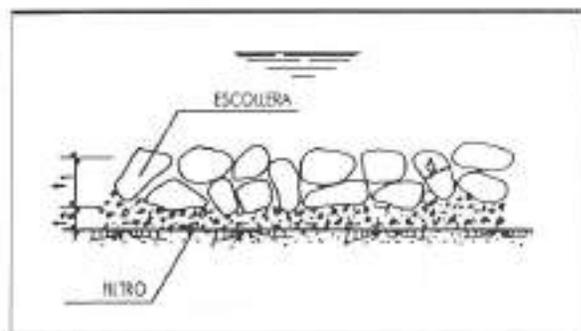


FIGURA 3. Escollerado.

2.2.2. ACTUACIONES CONTRA LA SEDIMENTACION

El otro fenómeno a combatir es la sedimentación. Los depósitos se producen, básicamente, en los tramos medios y bajos de los ríos y es en ellos donde hay que actuar para reducirlos.

Las medidas correctoras más importantes que pueden arbitrarse para luchar contra este fenómeno son los dragados, la disposición de zonas de sedimentación, el recrecimiento de los cajeros, etc.

— **Dragados.** Tienen su máxima importancia en zonas inestables como son los deltas y los conos de deyección.

Para que sean efectivos, su cuantía debe de ser superior a los aportes sólidos que puedan depositar las avenidas ordinarias, y periódicamente han de repetirse. Todo ello ponderadamente al objeto de no producir en el río una degradación como se indica en la figura 4.

— **Zonas de sedimentación.** Son áreas que se disponen para que en las avenidas se depositen parte de los materiales sólidos que transportan, los cuales periódicamente han de extraerse.

— **Recrecimiento de cajeros.** Con esta medida se intenta compensar la pérdida de capacidad producida por los depósitos, siendo únicamente adecuada si los sedimentos se han estabilizado o si se espera que su progresión sea muy lenta; en caso contrario, los recrecimientos serían permanentes con los consiguientes peligros para las zonas ribereñas.

Por último, y en relación con el control de la pendiente, deben mencionarse los riesgos que entraña efectuar modificaciones en la misma, sin un análisis cuidadoso, pues el río tenderá a rectificarse adecuándola a sus condiciones de estabilidad naturales, o producirá socavaciones y depósitos si el tramo se ha encauzado.

2.3. CONTROL EN PLANTA

2.3.1. AFECCIONES MAS IMPORTANTES

El fenómeno erosión-sedimentación, además de modificar la pendiente del río, actúa sobre su planta y sección transversal originando inestabilidades.

Las zonas donde son más frecuentes e importantes estas inestabilidades se localizan en las curvas, produciéndose erosiones en su parte cóncava y depósitos en la convexa, y en los tramos rectos donde los cauces en aguas medias y bajas tienden a divagar.

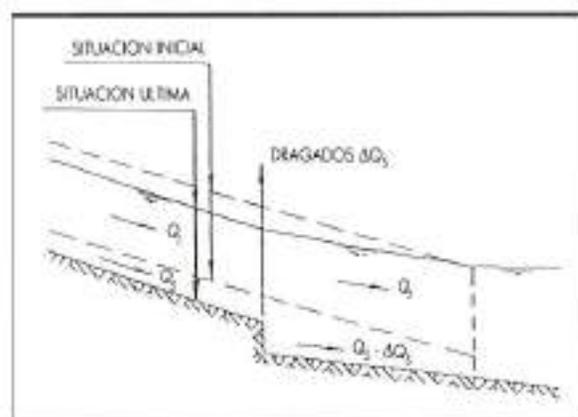


FIGURA 4. Degradación por dragados excesivos.

2.3.2. MEDIDAS CORRECTORAS

Las medidas que se pueden arbitrar para corregir estos fenómenos son: «obras longitudinales» y menos frecuentemente las «transversales». También se puede acudir a «rectificaciones del eje del río», pero su empleo debe ponderarse cuidadosamente adoptando las precauciones necesarias y, en cualquier caso, no separándose en exceso de su configuración natural.

A) OBRAS LONGITUDINALES. Las principales actuaciones que se pueden realizar, más o menos extendidas, son:

- Plantaciones.
- Espigones.
- Revestimientos de las márgenes.
- Diques longitudinales o malecones.
- Encauzamientos totales (muros y solera).

Las características más importantes de estas obras son:

— **Plantaciones.** Estabilizan las márgenes y reducen la velocidad del agua en las orillas, evitando, en parte, la erosión.

Se pueden realizar con especies herbáceas o arbustivas, y es aplicable la técnica de la hidrosiembra. En zonas de las márgenes frecuentemente anegadas por

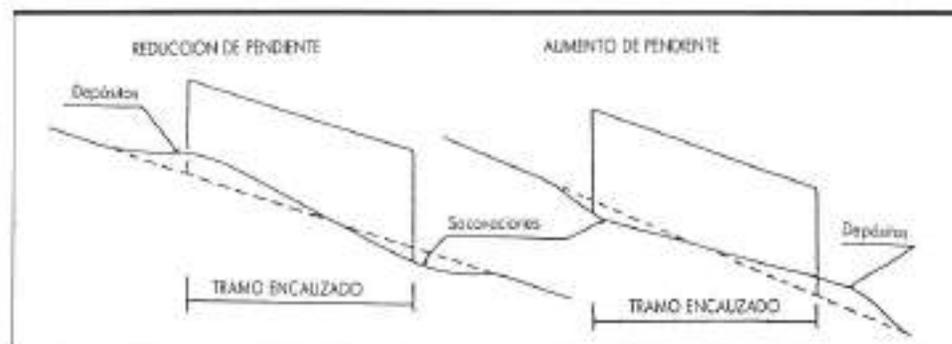


FIGURA 5. Depósitos y socavaciones en un tramo encauzado al modificar la pendiente.

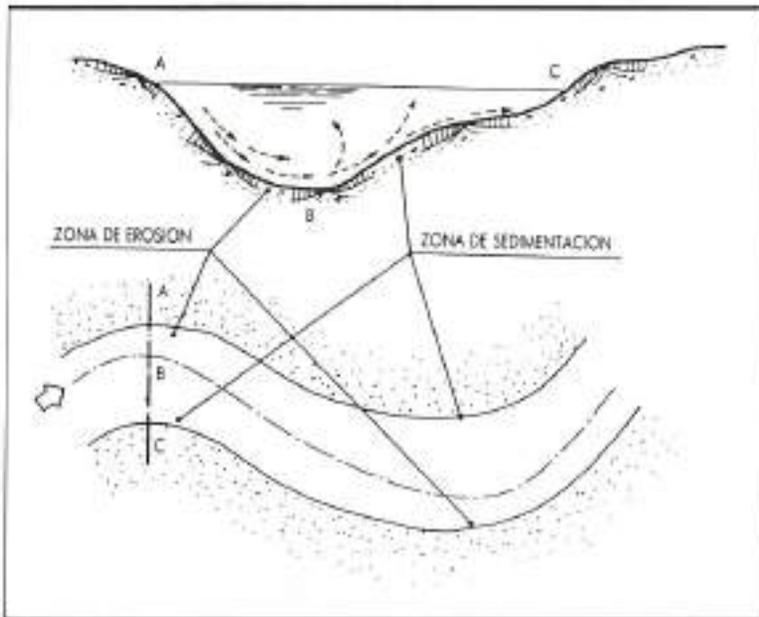


FIGURA 6. Erosiones y sedimentaciones en curvas.

las avenidas su desarrollo es difícil, siendo una solución satisfactoria en muchos casos combinar la vegetación con otros tipos de protecciones de las márgenes.

— **Espigones.** Son estructuras locales que, empotradas en la orilla se adentran en el cauce, alejan el flujo de ésta y favorecen que entre ellas se depositen los arrastres del río. Su construcción no es complicada y su mantenimiento es decreciente en el tiempo, produciéndose

los mayores deterioros en las primeras avenidas. Pueden ser sumergibles o insumergibles, según queden o no cubiertos por las aguas en las riadas.

Son adecuados para corregir fosas en las curvas, relleno de zonas erosionadas, dársenas, etc.

Además de las aplicaciones locales mencionadas, en ríos importantes (ancho > 150 m) los espigones pueden ser adecuados para protecciones de largos tramos del

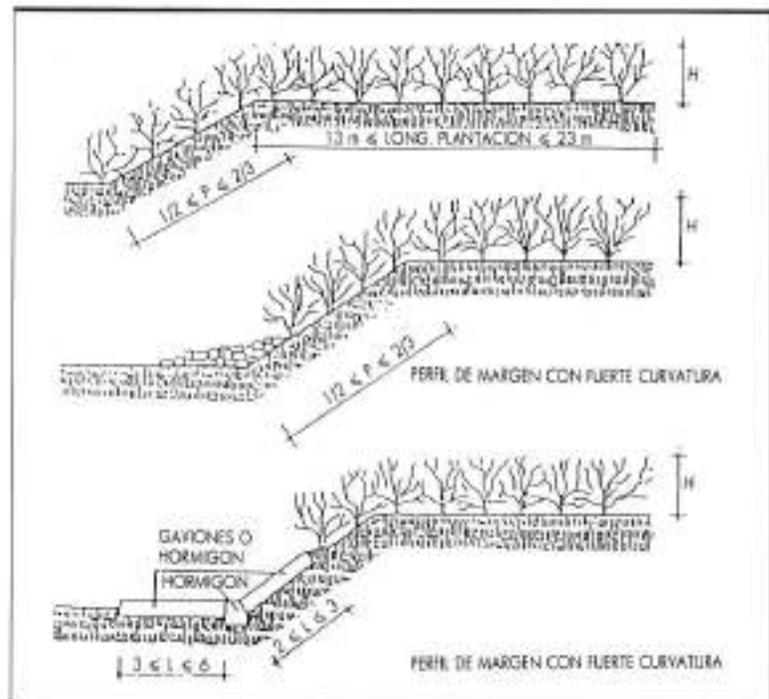


FIGURA 7. Corrección mediante plantaciones.

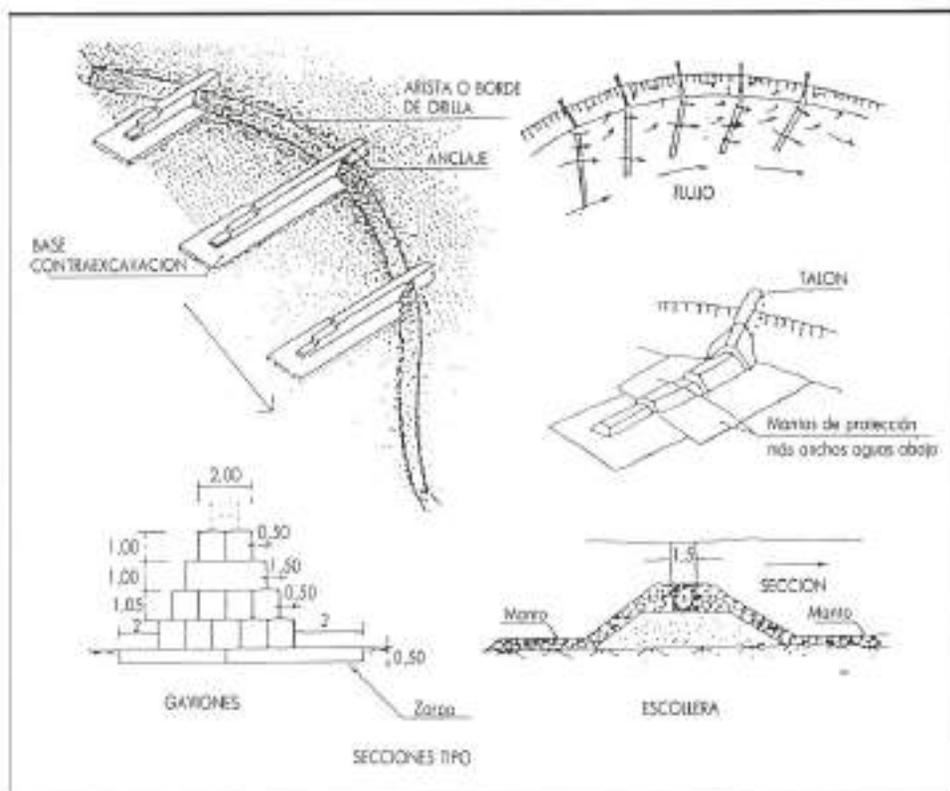


FIGURA 8. Esquema de espigones.

rio, adoptándose longitudes de espigón superiores a los 15-20 m.

• *Criterios de diseño.* Algunos aspectos a considerar son:

ORIENTACION. Puede ser hacia aguas arriba, hacia aguas abajo o normales a la corriente, según la modificación que se desee sobre el flujo.

LONGITUD. En general, no será mucho mayor que

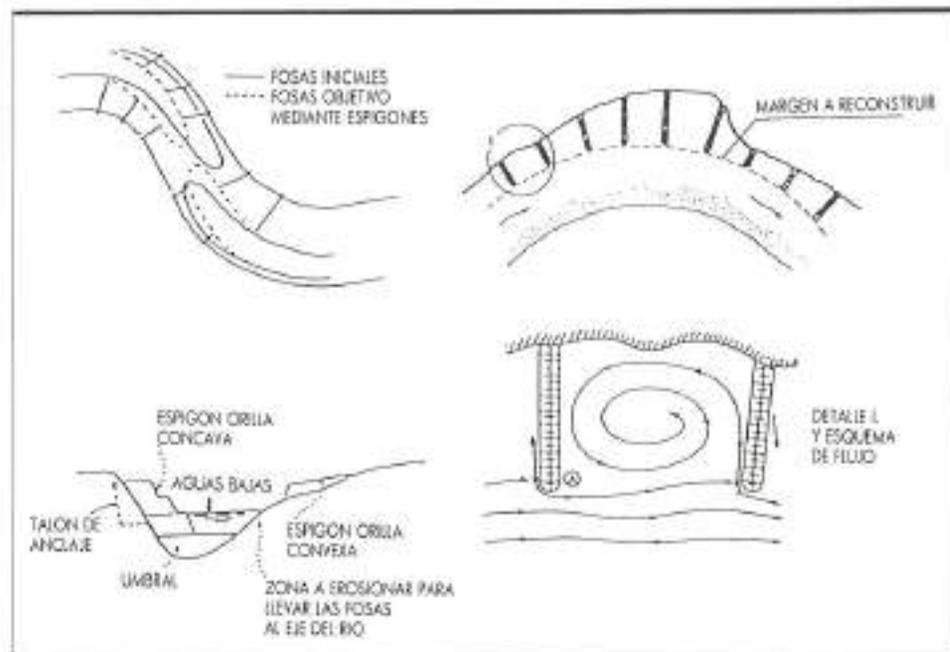


FIGURA 9. Correcciones mediante espigones.

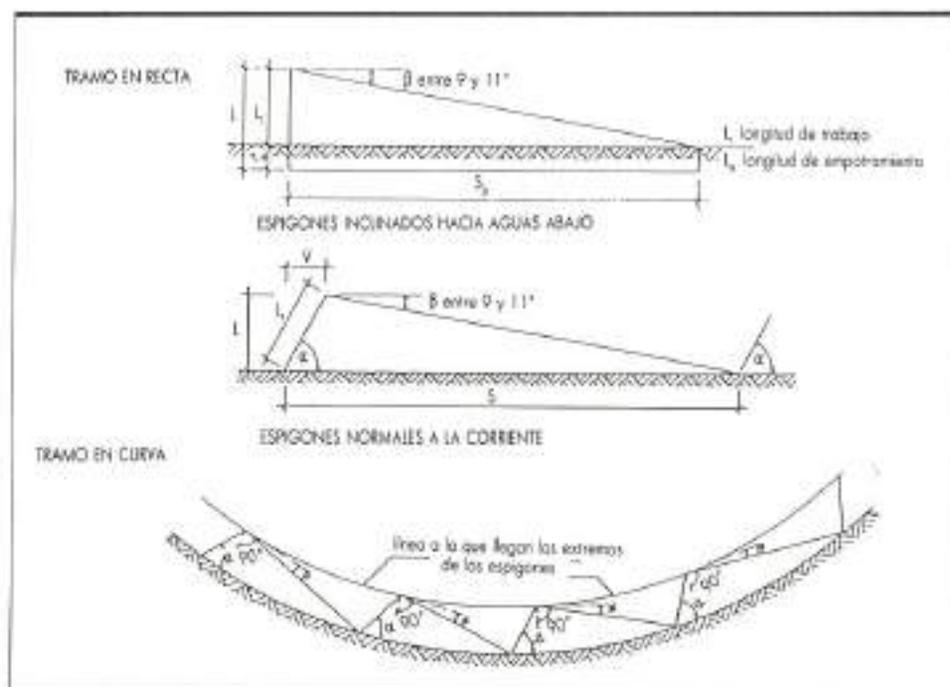


FIGURA 10. Disposición de espigones.

un 10 a un 20 % del ancho del río, al objeto de no erosionar la margen opuesta. Además de esta longitud dentro del río, debe disponerse otra de anclaje en la orilla.

SEPARACION. La zona de margen defendida por un espigón oscila entre 5 y 10 veces su longitud.

En la figura 10 se expone una primera aproximación para un trazado de espigones relacionando longitud y separación.

CORONACION. Puede ser escalonada o inclinada hacia el cauce, y puede o no quedar cubierta en las

riadas (espigones sumergibles o insumergibles).

MATERIALES. Se pueden emplear escolleras, gaviones, tablestacados, perfiles hincados, pilotes, elementos prefabricados de hormigón, etc., siendo recomendable construir los espigones permeables, pues en caso contrario se producen alteraciones en el flujo y erosiones en su extremo superiores a las admisibles.

En la figura 12 puede verse un esquema de espigones formados por perfiles hincados.

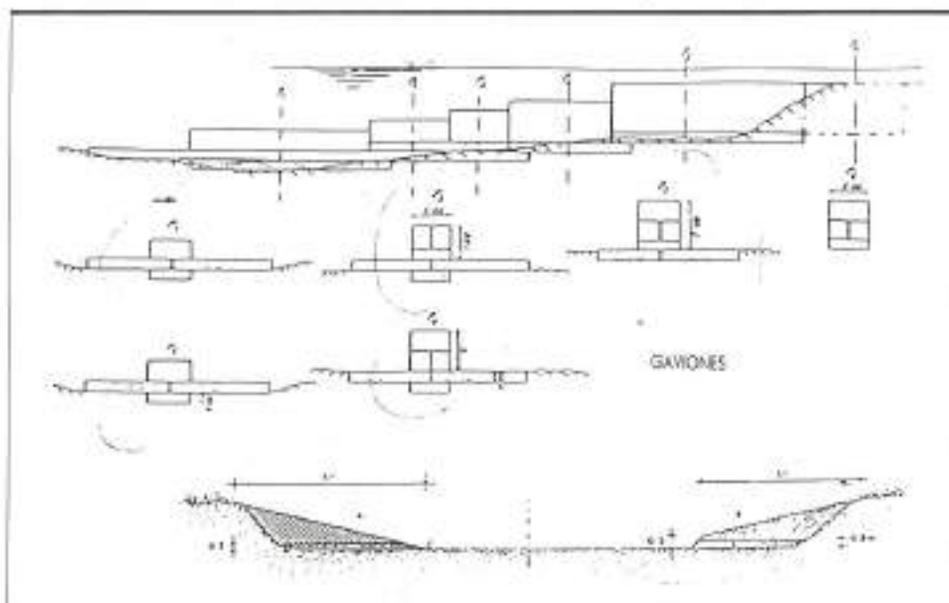


FIGURA 11. Espigones con coronación escalonada e inclinada.

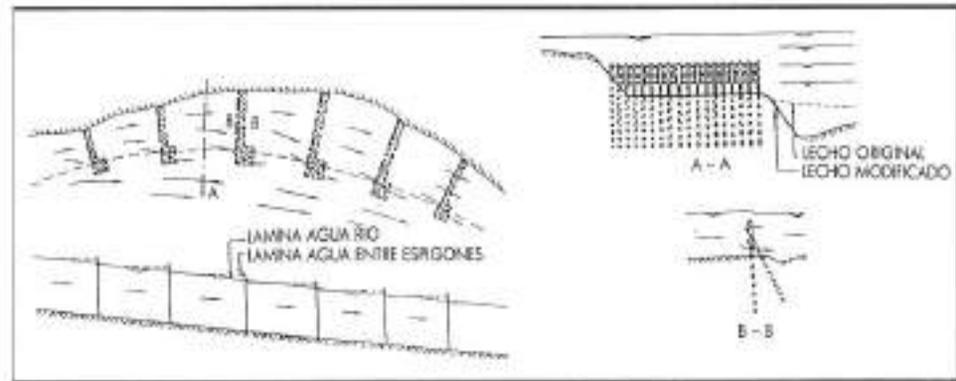


FIGURA 12. Espigón de perfiles hincados.

— **Revestimientos de las márgenes.** Su objetivo es proteger las orillas amenazadas por la erosión.

Según las pendientes de las márgenes, los tipos de protección más frecuentes y algunas disposiciones de los mismos son:

• **Márgenes suaves**

ESCOLLERAS. Además de emplear piedra natural, en algunos casos en que su obtención era difícil, se han construido escolleras artificiales con bloques de hormigón cúbicos o tetraédricos.

• **Gaviones planos y corazas.** Son adecuados hasta pendientes 1:1 y admiten velocidades del agua hasta 4-5 m/s. El espesor de los gaviones planos suele ser de 30 cm y con las corazas alcanzan unos 15 cm.

Para las corazas deben disponerse un macizo de apoyo en el pie, empotrado en el cauce, que puede ser de

hormigón o gaviones, y ambos, corazas y gaviones planos, deben anclarse en coronación.

• **Otros materiales.** Hormigón hidráulico en losas o continuo, hormigón asfáltico, encachado, piezas cerámicas, geomallas combinadas con vegetación, etc.

• **Márgenes abruptas**

MUROS DE FABRICA.

• **Gaviones**

Todas estas estructuras deben llevar sus pies protegidos mediante zarpas, rastrillos, pilotes, mantos de escollera, etc., y quedar ampliamente empotradas en las márgenes en su inicio y final.

— **Diques longitudinales o malecones.** Su aplicación más específica es en los encauzamientos, aunque en la protección de márgenes y fijación del cauce menor también se emplean tal como se acaba de indicar. En estos casos ha de tenerse en cuenta que pueden quedar su-

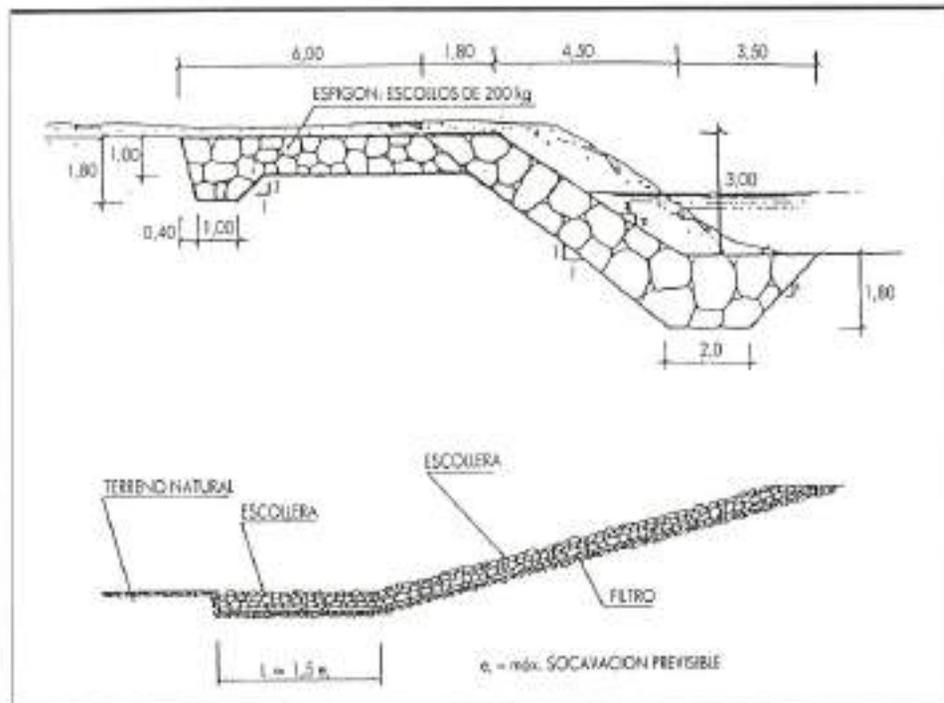


FIGURA 13. Escollera en protección de márgenes.

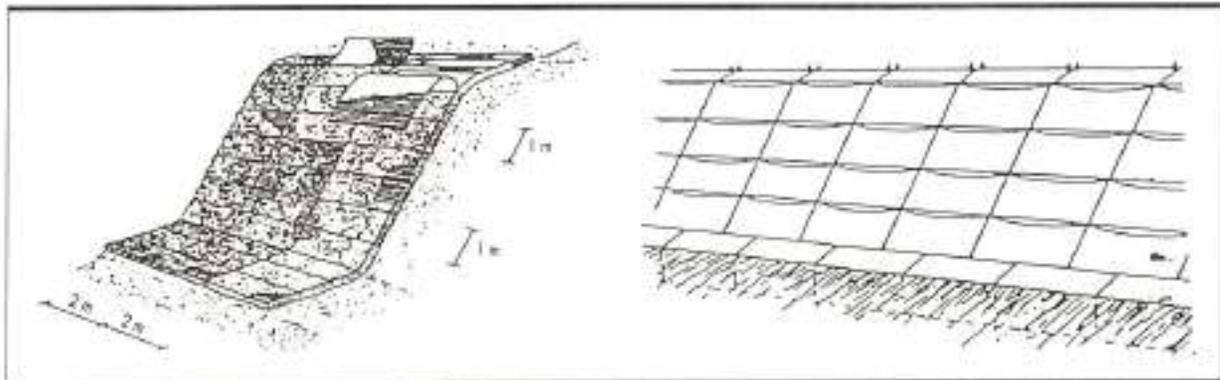


FIGURA 14. Gaviones planos y corozas en protección de márgenes.

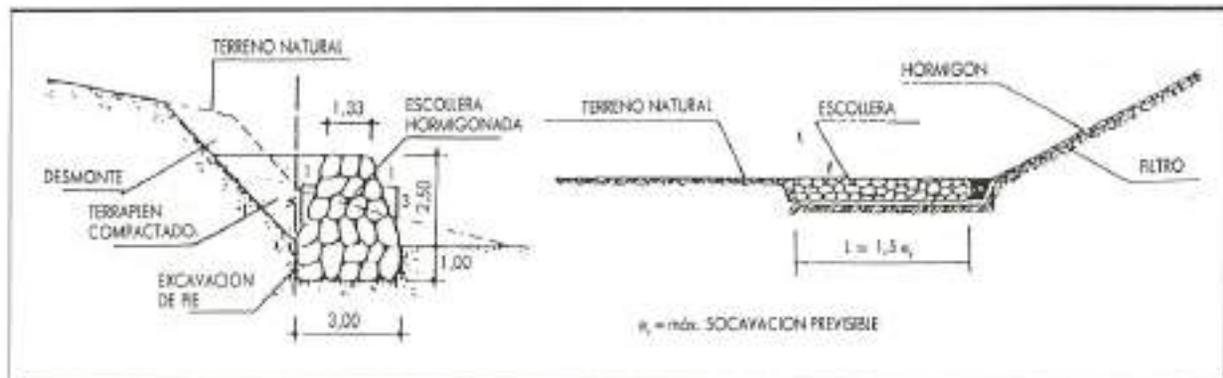


FIGURA 15. Protección de márgenes con escalera hormigonada y losas de hormigón.

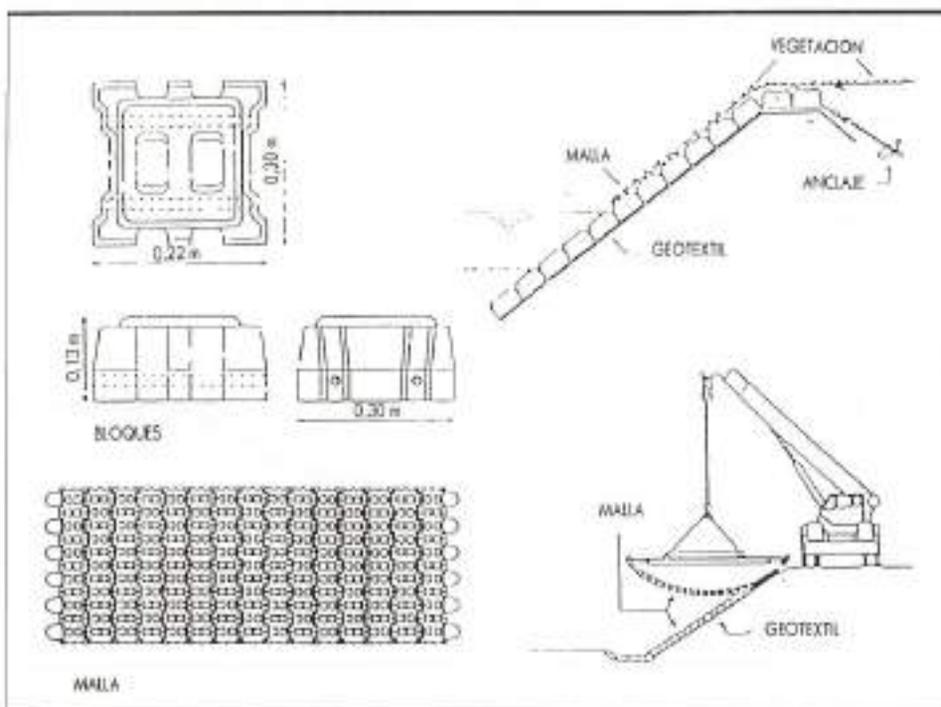


FIGURA 16. Protección de márgenes con piezas de hormigón prefabricadas.

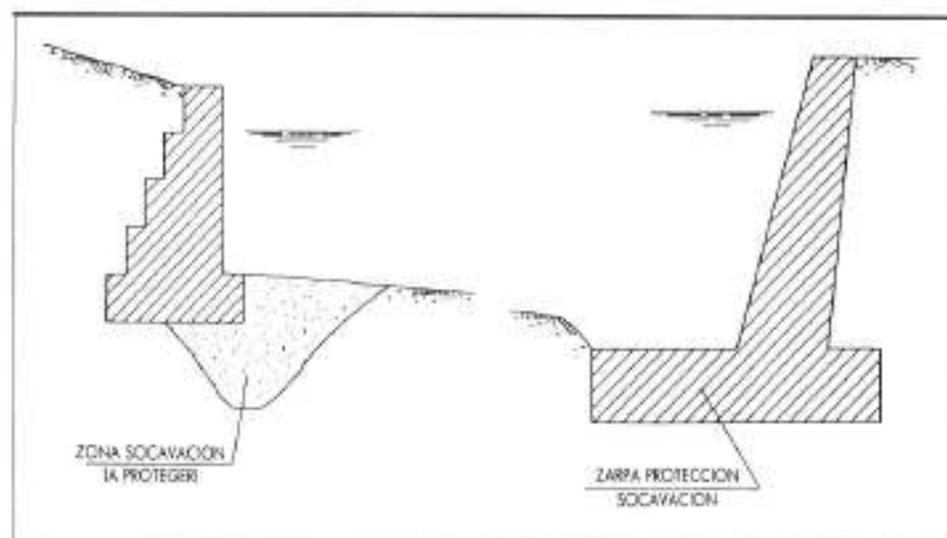


FIGURA 17. Protección de márgenes con muros de fábrica.

mergidas en los momentos de avenidas, por lo que para que no se produzcan socavaciones en su trasdós deben empotrarse en la ladera tanto en su inicio y final e incluso si es necesario en zonas intermedias.

Los malecones son protecciones adecuadas en la parte cóncava de las curvas, en la defensa de zonas bajas en las laderas, etc. En el epígrafe «3.4. Eneuzamientos», se exponen disposiciones y detalles de estas estructuras, de las que en la figura 18 relativa a la corrección de la erosión en una curva puede verse uno de estos diques, así como otras de las obras longitudinales mencionadas.

B) OBRAS TRANSVERSALES. Su empleo en el control de la planta es menos frecuente que en el caso del lecho del río, pero cuando se disponen estas obras son análogas.

C) RECTIFICACION DEL EJE DEL RIO: CORTAS. Esta modificación es una medida que debe adoptarse tras analizar con detalle la dinámica del río, y

respetando en lo posible la configuración natural del mismo.

La mayor pendiente del tramo reetificado aumenta su poder erosivo, originando degradaciones aguas arriba y depósitos aguas abajo, pudiendo producirse nuevos serpenteos del río; y asimismo aguas abajo pueden agravarse los riesgos de inundaciones.

Un ejemplo de las consecuencias de una corta puede verse en la figura 20, en la que se aprecian las erosiones aguas arriba una vez alcanzado el perfil de equilibrio, así como las evoluciones en etapas intermedias.

2.4. RECTIFICACION DE LA SECCION TRANSVERSAL

Al igual que las cortas, esta modificación es una medida a estudiar cuidadosamente y, en cualquier caso, teniendo muy presente las pautas marcadas por el río.

Las secciones que se pueden adoptar son en general trapezoidales, dobles y a veces triples, aunque estas últimas son menos frecuentes.

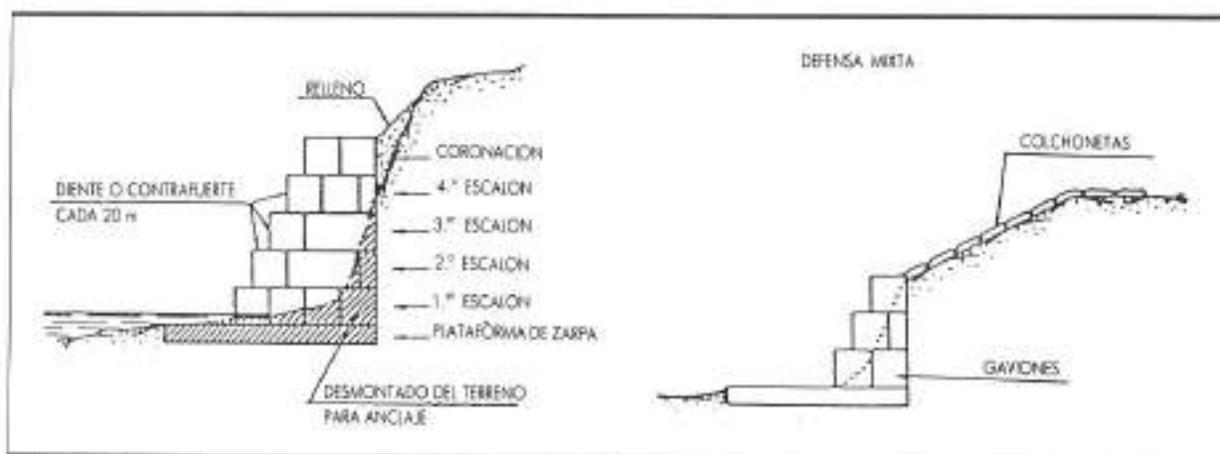


FIGURA 18. Protección de márgenes con muros de gaviones.

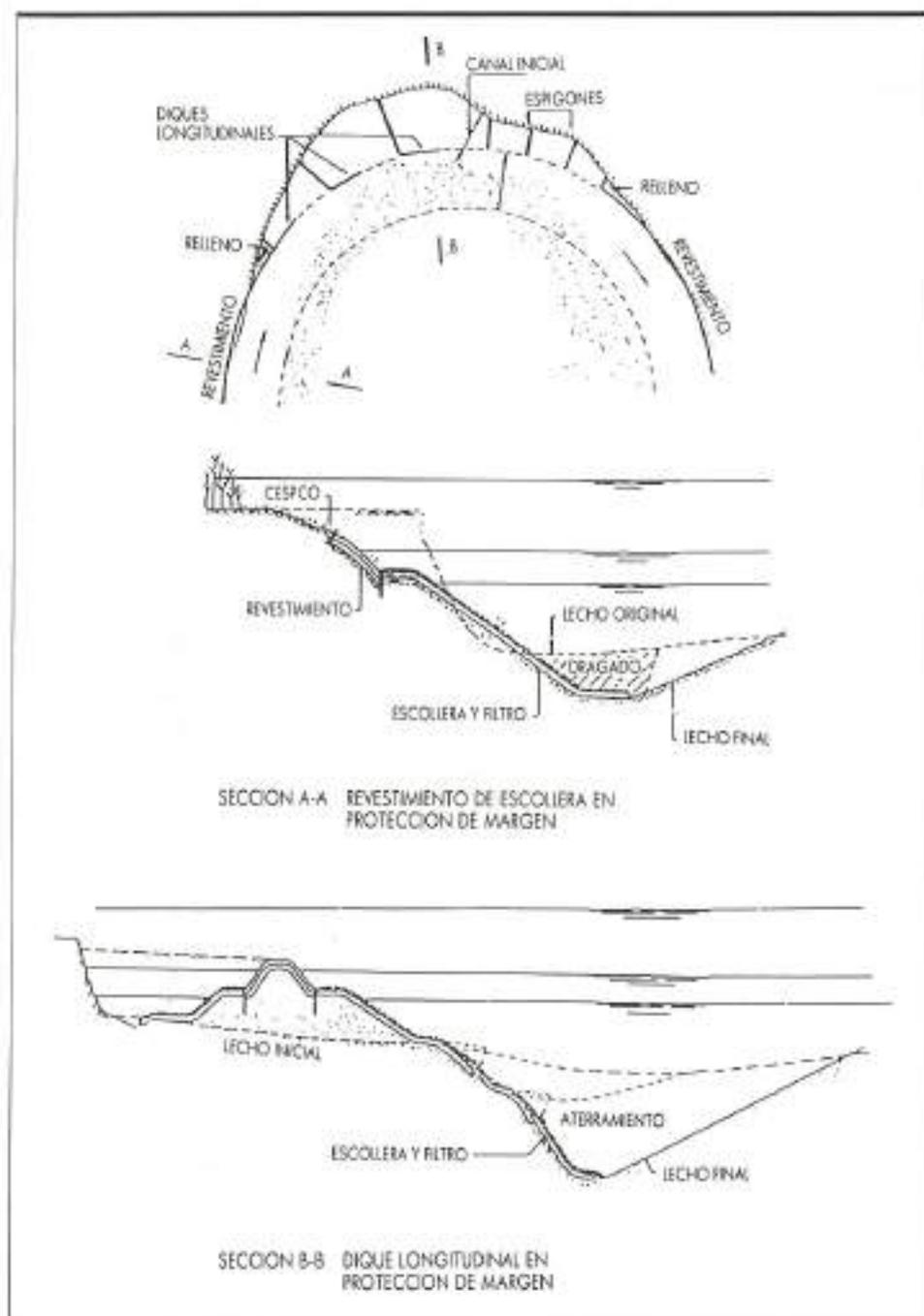


FIGURA 19. Corrección de la erosión en una curva.

3. OBRAS DE DEFENSA CONTRA AVENIDAS

3.1. PRELIMINAR

La mayoría de las obras de corrección y estabilización, citadas en el epígrafe anterior, gozan, en mayor o menor medida, del carácter de defensa contra avenidas. No obstante, como obras específicas de defensa deben destacarse los encauzamientos de un tramo de río y las presas, especialmente aquéllas cuyo fin primordial es el control de riadas.

Estas últimas, y en general todas las presas, son obras de gran importancia en los «planes de defensa contra avenidas». Su análisis, dentro del campo de las presas, presenta ciertas singularidades (presas agujero, tipologías ad hoc, volumen de embalse, explotación, etcétera). Sin embargo, y como se ha indicado en la introducción, su consideración queda fuera del contenido de este artículo.

Otra actuación de singular importancia en la lucha contra las avenidas son las labores de corrección hidro-

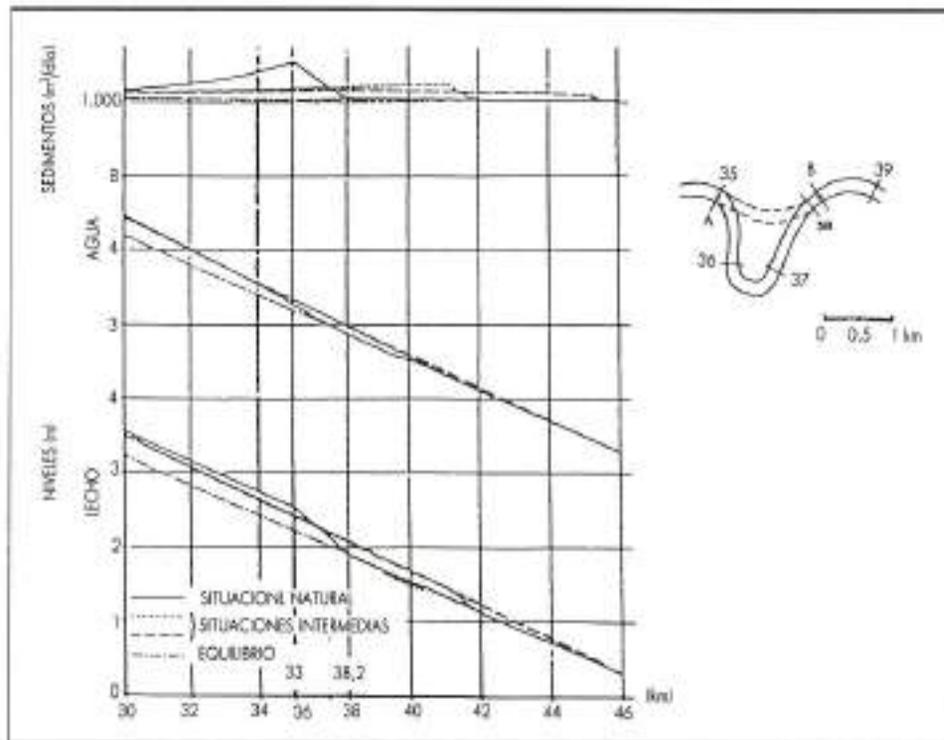


FIGURA 20. Evolución del río en una corta.

lógico-forestal que, aunque también fuera del contexto de esta comunicación, en el siguiente epígrafe se comentan brevemente.

3.2. TRABAJOS DE RESTAURACION DE LA CUENCA

Las actuaciones encaminadas a proteger un área amenazada por las aguas no deben quedar limitadas única-

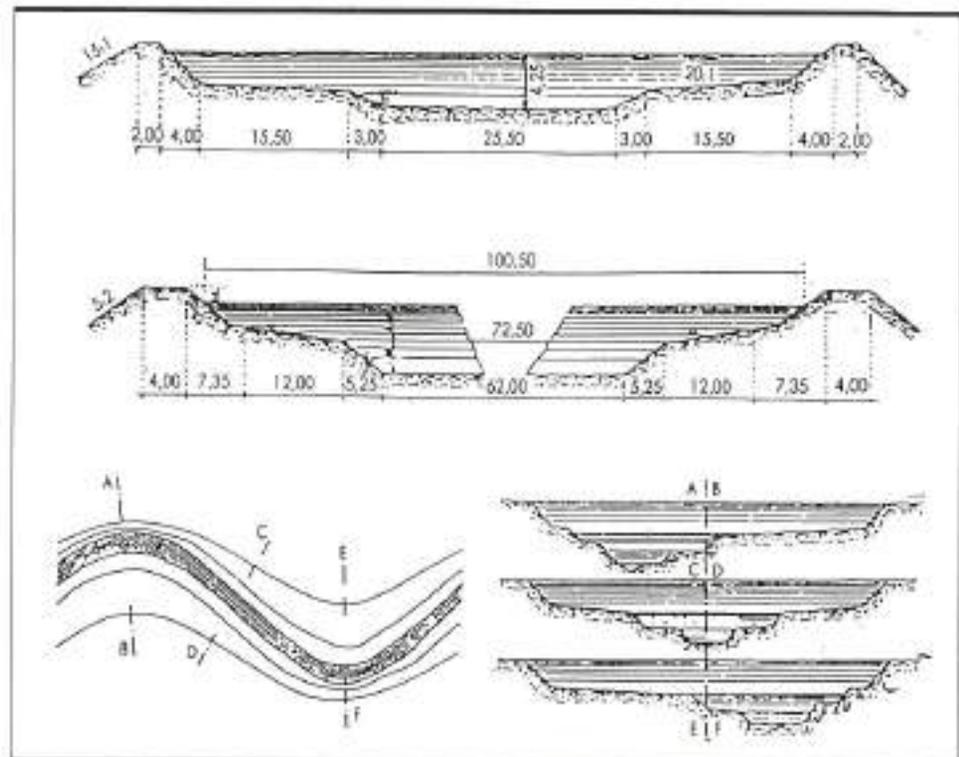


FIGURA 21. Rectificación de la sección transversal.

mente a la ejecución de obras en los cauces; es necesario incidir en la cuenca, combinando los trabajos de restauración, en parte o en toda su superficie, con las obras fluviales y con la planificación territorial.

Se destaca la importancia de estas correcciones, así como los efectos beneficiosos que las labores de conservación y repoblación forestal ejercen, aumentando la infiltración y el tiempo de concentración, y reduciendo la escorrentía y los caudales de avenida, así como limitando la erosión.

Otros trabajos para la restauración de la cuenca, además de los de repoblación, son los de aterrazamiento y estabilización de laderas, la corrección o extinción de cárcavas y barrancos incipientes mediante diques, los drenajes, etc.

3.3. CAUDAL DE PROYECTO

El tema de la «garantía» de las obras de defensa es un aspecto que con detalle fue tratado en las Jornadas mencionadas en la introducción (*). De acuerdo con los criterios allí expuestos se presentan unas breves ideas sobre el caudal de diseño o «caudal de defensa», entendiendo por tal aquel frente al cual queda protegida la zona sobre la que se actúa.

El dimensionamiento óptimo de una obra de defensa requeriría una evaluación económica de las diferentes alternativas posibles, considerando los costes de implantación y explotación de las obras frente a los beneficios originados por las mismas, esto es, los daños que con su construcción se prevé sean evitados, y todo ello para avenidas con diferentes períodos de retorno.

Sin embargo, con análisis de este tipo, bastantes de las obras construidas en el mundo no tendrían una clara justificación económica, debiendo apoyar su construcción en razones sociopolíticas y en otras consideraciones de difícil cuantificación, tales como mayor desarrollo futuro, mejor aprovechamiento agrícola de la tierra, etc.

En cualquier caso, junto a estos análisis económicos, suelen adoptarse unos criterios de defensa orientativos que consideran períodos de retorno entre 20 y 100 años para los encauzamientos que únicamente defienden zonas agrícolas, y entre los 100 y 500 años cuando la zonas a proteger incluyen núcleos urbanos, si bien este último valor de 500 años se refiere a los casos en los que exista riesgo de pérdidas de vidas humanas, entendiendo por tales las de personas que vivan o trabajen en zonas inundables y no a potenciales víctimas de carácter esporádico.

No obstante todas estas circunstancias, la mejor solución para la defensa contra avenidas reside en conjugar la ejecución de obras moderadas junto con actuaciones como la «planificación territorial», los «sistemas de previsión de avenidas», los «seguros», etc., y analizar lo que ocurriría con avenidas superiores a la de diseño, comprobando que en ningún caso las obras ejecutadas

agravan daños preexistentes y controlando, si es posible, los desbordamientos de manera que primero se inunden zonas en las que los daños sean menores.

3.4. ENCAUZAMIENTOS

Muchas de las obras que se pueden realizar para encauzar un tramo de río han sido ya comentadas en el epígrafe 2, por lo que ahora únicamente se sintetizan las diversas actuaciones posibles y se exponen algunas consideraciones sobre los diques longitudinales o malecones cuya aplicación es mayoritaria en el encauzamiento de un tramo de río.

— **Obras de encauzamiento: actuaciones posibles**

A) Longitudinales

- Diques:
 - Rígidos: hormigón, mampostería, tablestacas, etc.
 - Flexibles: tierras, gaviones, escollera, etc.
- Revestimientos: hormigón, mampostería, gaviones, etc.
- Soleras continuas o discontinuas: hormigón, escollera, etc.
- Espigones.
- Plantaciones.

B) Transversales

- Azudes.
- Rastrillos o umbrales de fondo.

C) Rectificaciones del eje y sección del río.

— **Diques longitudinales o malecones.** Estas estructuras de defensa contra las avenidas tienen su mayor aplicación en los tramos donde las riadas inunden extensas zonas de cultivos y en los encauzamientos urbanos.

Sobre las mismas, y antes de comentar sus diferentes tipologías, pueden hacerse algunas consideraciones de índole general que se resumen en los siguientes aspectos:

— Deben disponerse, en lo posible, de manera que no se reduzca la sección del río a costa de una mayor altura de diques, al objeto de evitar problemas de erosiones, sedimentación y necesidad de sucesivos recrecimientos.

— Es conveniente dotar al río de un cauce fijo para aguas bajas, evitando así que el mismo divague entre los diques, especialmente cuando la separación entre éstos es grande.

— Existe el riesgo de rotura de los diques, bien por vertido sobre los mismos con avenidas superiores a la de proyecto en el caso de que sean de tierras sin protección al efecto, por socavaciones o por otras causas. Por esta razón, siempre que sea factible, conviene reducir su altura combinándolos con cauces excavados, limitándose así los volúmenes desbordados a los que discurren entre los diques.

— Al impedir los malecones las inundaciones de las zonas contiguas al río, el poder de laminación del mismo se reduce y, por consiguiente, la avenida discurre con mayor celeridad hacia aguas abajo.

(*) Ver conferencia: «Medidas de defensa y criterios de dimensionamiento». J. R. Témez. CEDEX-CEH.

— Hay que posibilitar el drenaje de los terrenos defendidos por los diques para lo cual pueden disponerse desagües con clapetas, compuertas, etc., según sea la importancia del drenaje y la altura de dique.

— Como detalles de diseño de interés está la protección del pie del dique contra socavaciones mediante zapatas prolongadas, rastrillos, pilotes, etc., y el empotramiento en las laderas al comienzo y fin del tramo encauzado.

— Las secciones formadas por malecones con taludes inclinados presentan frente a los muros verticales, en ramblas y cursos de aguas con grandes y rápidas oscilaciones, las ventajas de mayor seguridad para las personas que puedan encontrarse dentro del encauzamiento en caso de avenidas, ya que pueden salir trepando por sus paramentos y asimismo se evitan caídas desde alturas que en muchas situaciones alcanzan los 5 a 6 m.

— En caso de protección de zonas agrícolas que se inundan sin que las aguas permanezcan períodos prolongados, una solución de defensa alternativa a la de diques insubmersibles diseñados para una determinada «avenida de defensa», es la de fijar el cauce con espigones, diques sumergibles, etc., permitiendo la inundación de los terrenos agrícolas o limitándola con malecones de

escasa altura, de forma que no se produzcan socavaciones ni depósitos de gruesos que produzcan daños importantes en los cultivos.

Tras estas consideraciones generales se presentan algunas de las tipologías que pueden adoptarse para estas obras.

- Diques rígidos (fig. 22).
- Diques flexibles (figs. 23, 24 y 25).

En general, un encauzamiento constará de una combinación de varias de las obras indicadas (diques, soleras, etc.). A título de ejemplo en la figura 26 se muestra una obra con cajeros y solera en hormigón.

3.5. CAUCES PARA DERIVACION DE AVENIDAS

Consiste este procedimiento de defensa en la construcción de un cauce artificial o en la ampliación de uno existente al que, en avenidas, se derivan los caudales que no puede conducir el río.

Este canal de derivación puede desembocar en otro punto del río, salvando la zona de inundaciones peligrosas, en otra cuenca próxima que no se produzcan daños o directamente al mar, en el caso de tramos cercanos a él.

En general es un procedimiento costoso, pues para

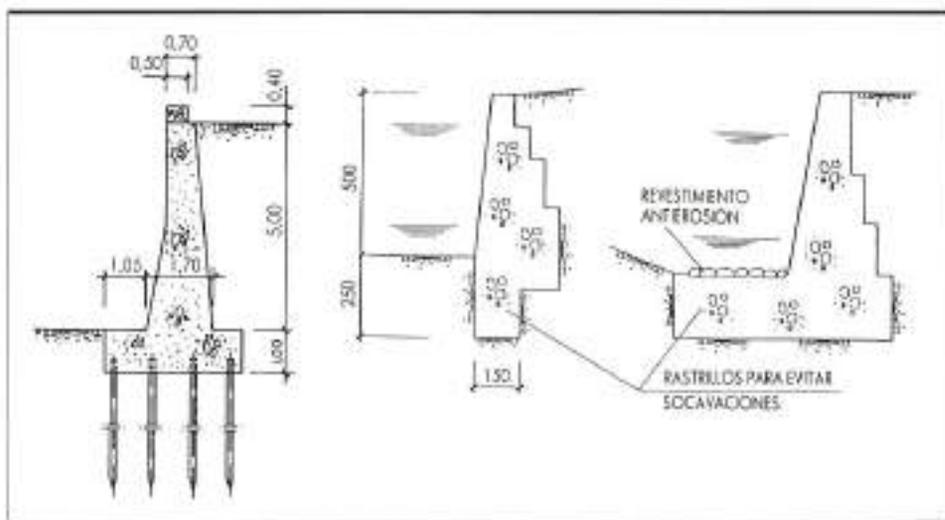


FIGURA 22. Diques de hormigón.

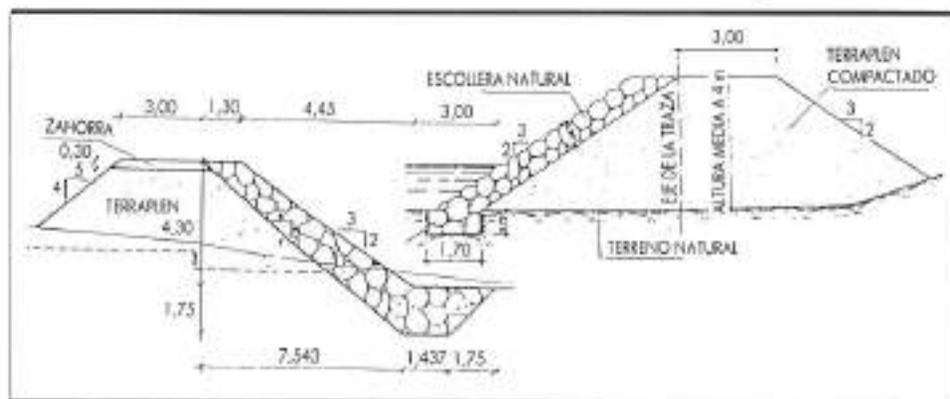


FIGURA 23. Diques de tierra con protección de escolera.

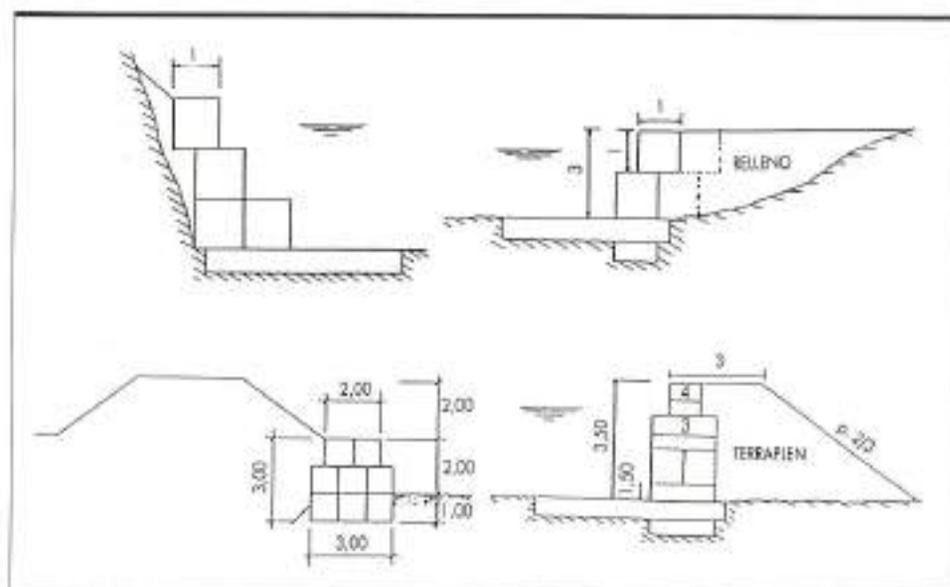


FIGURA 24. Diques de gaviones.

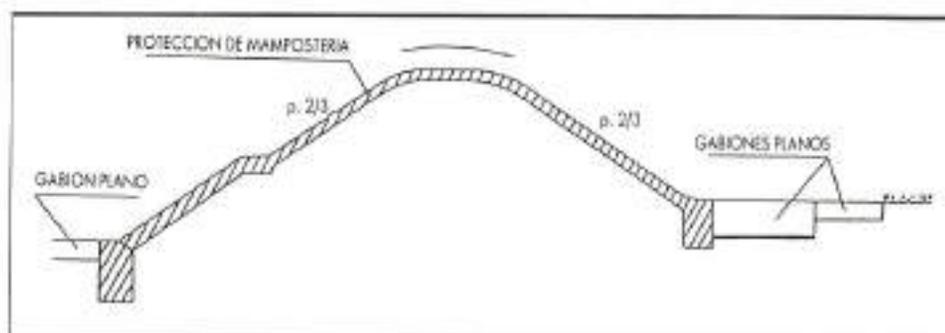


FIGURA 25. Dique de fierros protegido con mampostería para admitir vertidos.

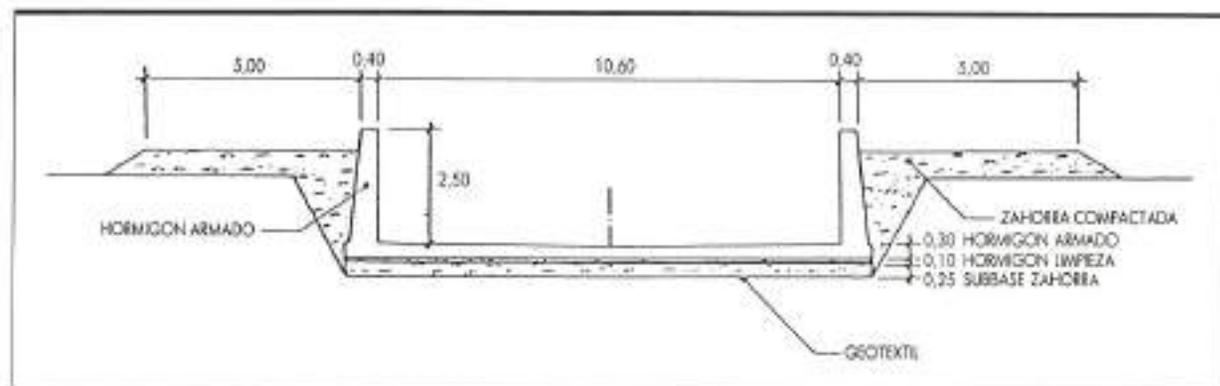


FIGURA 26. Encozamiento. Cajeros y solera en hormigón.

que el trasvase sea efectivo los caudales a derivar han de ser importantes y, por tanto, las obras de envergadura justificadas por los beneficios que originen y tras un minucioso estudio de sus consecuencias. Un caso que puede presentar un interés especial es, el antes mencionado, enviar los excesos al mar.

En el trazado del nuevo cauce deben considerarse las tendencias naturales de las aguas del río en sus desbordamientos y aprovechando cauces existentes, ampliándolos y acondicionándolos para que no se produzcan erosiones.

En el río al que se le ha efectuado la derivación se

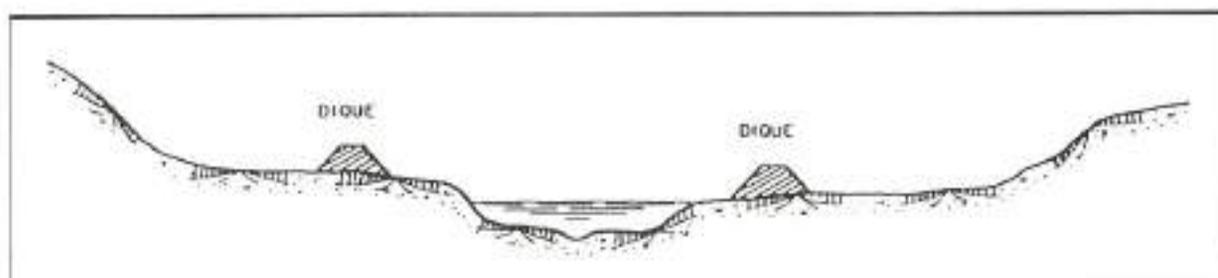


FIGURA 27. Diques sobre el cauce de avenidas.

pueden presentar problemas de sedimentación aguas abajo del desvío, al circular en las avenidas caudales menores. Por el contrario, el cauce de derivación deberá diseñarse para que en el mismo no se produzcan erosiones al tener que transportar caudales importantes.

3.6. DIQUES SOBRE EL CAUCE DE AVENIDAS

Consiste esta protección en disponer en las zonas de inundación, sin afectar al cauce principal del río, diques longitudinales que impidan el paso de las aguas en las avenidas extraordinarias fuera de las zonas protegidas.

Con esta medida, las avenidas ordinarias que configuran el cauce siguen circulando por él y éste no se ve afectado. Sin embargo, aguas abajo de la zona protegida con los malecones, al existir una menor laminación, aumentarán los caudales punta de las avenidas extraordinarias.

BIBLIOGRAFIA

- BROOKES, A. (1988). *Channelized rivers*. Ed. John Wiley & Sons.
- CEDEX (1986). *Curso sobre el empleo de geotrópicos en estructuras de tierra*.
- CEDEX (1986). *Seminario sobre encuzamientos fluviales*.
- GÓMEZ NAVARRO, J. L. (1941). *Regulación de ríos*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- GORE, J. A.; PETTS, G. E. (1989). *Alternatives in regulated river management*. Ed. C.R.C. PRESS.

GRISHIM, M. M. (1982). *Hydraulic Structures*. Ed. Mir. Moscú.

JAMME, G. (1975). *Travaux fluviaux*. Ed. Eyrolles. París.

JANSEN, P.; BENDEGON, L. VAN; BERG, J.; VAN DEN VRIES, M.; ZANEN, A. (1979). *Principles of river engineering*. Ed. Pitman. Londres.

LARRAS, J. (1975). *Defensa contra las erusas*. Ed. Eyrolles. París.

LOPEZ CADENAS, F.; RABADE-BLANCO, J. M. (1988). *Diseño de estructuras para la corrección y estabilización de cursos torrenciales*. Madrid.

PETERSEN, M. S. (1986). *River Engineering*. Ed. Prentice-Hall. Englewood.

Proceedings of the international conference on Flexible armored revetments incorporating geotextiles. Institution of Civil Engineers. Ed. Thomas Telford. Londres, 1984.

QUESNEL, B. *Traité d'hydraulique fluviale appliquée*. Ed. Eyrolles. París.

SCHOKLITSCH, S. (1961). *Arquitectura hidráulica*. Ed. Gustavo Gili.

STEPHENSON, D. (1979). *Rockfill in hydraulic engineering*. Ed. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.

U. S. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION (1983). *Bank protection techniques using spur dikes*. Vicksburg.

APENDICE FOTOGRAFICO

Se adjunta una serie de fotografías seleccionadas de entre la completa documentación gráfica aportada por los diferentes ponentes de las Jornadas, las cuales ilustran lo expuesto en el presente artículo.



FOTO 1. Encauzamiento del río Almonzora. Vista general Almería (C. H. Surl).



FOTO 2. Encauzamiento del río Guadalfeo. Vista general Málaga (C. H. Surl).



FOTO 3. Encauzamiento del río Turia. Solución sur, Valencia (C. H. Júcar).



FOTO 4. Encauzamiento del río Seguro. Murcia
I.C. H. Seguro.



FOTO 5. Río Torrente. Cadena con perfiles
metálicos I.C. H. Sur.



FOTO 6. Río Guadalfeo Málaga. Hundimiento
de terraplén y sifonamiento en un rastrillo sobre
pilotes I.C. H. Sur.



FOTO 7. Umbral de fondo. Escollera y hormigón. Deraña Junta de Aguas de Cataluña.



FOTO 8. Umbral de fondo. Hormigón (C. H. Guadalquivir).



FOTO 9. Río Segura. Vega Alta. Vista general del encauzamiento (C. H. Segura).



FOTO 10. Río Magro. Protección de una margen con esollera IC. H. Júcar.



FOTO 11. Río Magro. Protección de una margen con gaviones IC. H. Júcar.



FOTO 12. Protección de una margen. Espigones de gaviones (A. Bianchi, Ingeniero, S. A.).



FOTO 13. Confluencia de las r as Mula y Segura. Protección de márgenes con material cerámico. IC. H. Segural.

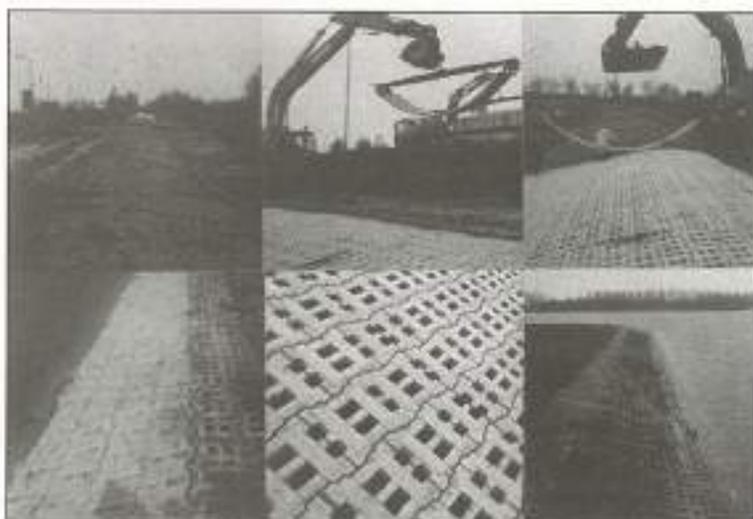


FOTO 14. Protección de márgenes con recubrimiento flexible de piezas de hormigón.



FOTO 15. Protección de márgenes con un geotextil. Situación antes de colocarlo.



FOTO 16. Protección de márgenes con un geotextil. Colocación.



FOTO 17. Protección de márgenes con un geotextil. Situación transcurrido cierto tiempo desde su colocación.



FOTO 18. Encasamiento del río Genil, Granada (C. H. Guadalquivir).



FOTO 19. Paredón de Tatana. Vista general.
IC: H. Seguró.



FOTO 20. Encouzamiento del Torrente de Sa Riera. Recinto de las antiguas murallas. Palma de Mallorca (Servicio Hidráulico Bolear).



FOTO 21. Encouzamiento en la desembocadura del Torrente de Cor Amer. S'Illot (Mallorca) (S. H. Bolear).



FOTO 22. Río Nervión, Defensa de la Peña, Bilbao IC. H. Norte).



FOTO 23. Encouzamiento de la confluencia de los ríos Sella y Piloña, Asturias IC. H. Norte).



FOTO 24. Encouzamiento del río Aragón, Barneo IC. H. Norte).



FOTO 25. Encouzamiento del arroyo del Yedal, San Salvador del Valle (Wizcaya) IC. H. Norte).