TC530
B36

LOS ESPIGONES COMO ELEMENTOS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA EN VIALIDAD

Por

ING° ILDEMARO JOSE BAPTISTA BARAZARTE

Proyecto Especial para Optar al Titulo Especialista en Ingeniería Vial

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Tutor:

Prof. Eduardo Jauregui Olazabal

SERBIULA
Tulio Febres Cordero

DONACION

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

POSTGRADO EN INGENIERIA VIAL

MÉRIDA – VENEZUELA

2000

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

LOS ESPIGONES COMO ELEMENTOS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA EN VIALIDAD

Por

ING° ILDEMARO JOSE BAPTISTA BARAZARTE

Proyecto Especial para Optar al Titulo Especialista en Ingeniería Vial

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Prof. Eduardo Jauregui Olazabal

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

POSTGRADO EN INGENIERIA VIAL

MÉRIDA – VENEZUELA

2000

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso y a la Santísima Virgen que me impulsaron para lograr esta meta.

A mi familia que me dio todo el apoyo incondicional y estuvieron presentes en los momentos necesarios.

A mi tutor, Prof. Eduardo Jauregui Olazabal, por el apoyo y su dedicación en el desarrollo de este trabajo, sin la cual no hubiera sido posible su culminación.

A todos ellos muchas gracias.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

RESUMEN

Todos los ríos, pero sobre todo los que escurren sobre material aluvial, sufren desplazamientos laterales en las curvas. Así, la margen exterior o cóncava de las mismas está sujeta a un proceso de erosión, mientras que la interior o convexa, a uno de sedimentación. Cuando esos desplazamientos tienen que ser controlados para evitar que el río afecte vías de comunicación o poblaciones, o cuando se debe reducir el ancho de los cauces para facilitar la navegación, o bien, cuando se desea que un río escurra a lo largo de un solo cauce en las zonas donde es muy divagante y tiene islas, se requiere de la construcción de obras que fijen las márgenes en forma permanente. Esto se logra mediante espigones. En este trabajo, se analizan los aspectos básicos relacionados con el diseño de espigones, tales como, condiciones hidráulicas para su utilización, diseño hidráulico y geométrico, selección del tipo de material en la construcción y como trabajan.

En otras palabras, el éxito de una protección es su protección.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

INDICE

Pág.

AGRADECIMIENTO..... iii

Capítulo

I. INTRODUCCIÓN..... 1

II. LOS ESPIGONES COMO ELEMENTO DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA EN VIALIDAD..... 4

ESTABILIDAD DE CAUCE..... 4

CONCEPTO..... 6

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ESPIGONES..... 7

CLASIFICACIÓN..... 8

DISEÑO..... 11

LOCALIZACIÓN EN PLANTA..... 14

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

LONGITUD DE LOS ESPIGONES..... 21

FORMA DE LOS ESPIGONES EN PLANTA..... 24

SEPARACIÓN ENTRE ESPIGONES..... 25

Separación y longitud de los primeros espigones..... 31

PENDIENTE LONGITUDINAL, ELEVACIÓN Y ANCHO DE LA CRESTA DE LOS ESPIGONES... 32

ORIENTACIÓN DE LOS ESPIGONES..... 36

PERMEABILIDAD DE LOS ESPIGONES..... 37

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN..... 39

EROSIÓN LOCAL AL PIE DE ESPIGONES..... 40

SOCAVACIÓN EN LOS ESPIGONES..... 43

III. USOS DE MATERIALES NO CONVENCIONALES 44

DOLOSSE..... 44

ESPIGONES ELASTICOS..... 46

RESUMEN DE LAS RECOMENDACIONES MÁS IMPORTANTES..... 53

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 61

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Anexo

Figuras..... 62

Fotos..... 73

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones, es necesario trazar una vía paralela al curso del río, lo cual puede traer como consecuencia el conflicto de espacio entre ambos. La dinámica fluvial del río hace que en algunos casos este tienda a socavar la base de un talud de la vía, siendo necesario tomar medidas de protección para impedir el colapso de la misma. Una de las estructuras utilizadas en la protección de los taludes son los denominados Espigones, los cuales desvían la acción del agua sobre la base de los mismos. En el presente trabajo, se analizan los aspectos básicos relacionados con el diseño de espigones, tales como, condiciones hidráulicas para su utilización, diseño hidráulico y geométrico, selección del tipo y material en la construcción y se presenta varios ejemplos de su utilización en Venezuela.

Los centros de población tienden a establecerse cerca de los lagos y ríos que les garanticen su abastecimiento de agua. Algunas vías de comunicación tienen que ser construidas en estos sitios para el traslado de los pobladores. Desafortunadamente los establecidos en las márgenes de los ríos y arroyos

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

sufren inundaciones periódicas y además, están sujetos a que al desplazarse el río lateralmente destruya sus construcciones.

A medida que se desarrolla una región, mayor número de obras como: casas, caminos, puentes y obras hidráulicas deberán de ser protegidas de los efectos de las inundaciones y de las erosiones y depósitos de los ríos.

Entre las erosiones que se presentan en los cauces se distinguen:

a) La socavación general que hace que descienda el fondo a todo lo largo y ancho del cauce.

b) La socavación transversal que produce un descenso del fondo cuando hay un estrechamiento de la sección, natural o artificial.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

c) La socavación local que se presenta al píe de la mayoría de las estructuras que se construyen dentro de los cauces.

d) La erosión aguas debajo de grandes embalses.

e) La erosión local aguas debajo de obras de excedencia, de toma, rápidas, etc.

f) La socavación en curvas. Origina que en la parte del extradós de la misma se tenga mayores profundidades y velocidades y como consecuencia que los ríos se desplacen lateralmente. Esta última socavación ha pasado a tener una gran importancia por los graves daño que ocasiona.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

La forma para evitar los desplazamientos laterales de los ríos es basada en protecciones marginales o espigones. En este trabajo se muestra como se logra un diseño adecuado de una obra de defensa lateral construida a base de espigones.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CAPITULO II

LOS ESPIGONES COMO ELEMENTOS DE PROTECCION HIDRAULICA EN VIALIDAD

ESTABILIDAD DE CAUCES

La mayoría de los tramos de los ríos son estables; es decir en función del hidrograma anual, el gasto sólido arrastrado y de las características de los materiales que forman el fondo y orillas, un río ajusta su pendiente, ancho y tirante de su sección transversal. Se puede hablar de diferentes tipos, o grado de estabilidad: estática, dinámica y morfológica. La primera es el estado de estabilidad que alcanza el tramo de un río cuando la corriente prácticamente no es capaz de arrastrar el material que forma su cauce.

Los otros dos grados de estabilidad no indican en ningún momento que el río no se mueva; por el contrario todos los ríos se desplazan lateralmente principalmente en donde corren sobre el terreno aluvial. Los desplazamientos laterales producidos por erosión ocurren en las orillas exteriores de las curvas.

Se ha mencionado que un río estable tiene una pendiente, ancho y tirante más o menos fijos. Los desplazamientos laterales pueden hacer que disminuya la

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

pendiente, pero en otro tramo cercano, un meandro se cortará y habrá un aumento de la pendiente, de tal suerte, que ella prácticamente es constante.

Los mayores desplazamientos laterales ocurren en las curvas. Por la fuerza centrifuga desarrolladas en esas zonas hay una sobre elevación del nivel en el lado exterior, lo que produce una corriente por el fondo, del lado exterior hacia el interior.

Al sumarse esa corriente con la normal del río provoca que en las curvas se tenga una corriente helicoidal, la que arrastra a los materiales del fondo a la orilla interior. De esa manera se tiene erosión en el extradós de la curva y deposito en el intradós, lo que forma un canal más profundo adyacente a la orilla exterior.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Por existir profundidades mayores en las curvas, también hay velocidades mayores cercanas a la orilla exterior lo que facilita que la corriente arrastre a los materiales de la orilla.

Al erosionarse la zona en una curva (véase la figura 1) el talud de la orilla tiende a ser vertical hasta que el material falla y se desliza la parte superior dentro de la corriente. Se tiene así nuevamente la orilla con un cierto talud, pero la corriente empieza arrastrar las partículas del fondo, y el ciclo vuelve a repetirse.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Si uno protege la zona (1) se erosiona la zona (2) y se acuesta el talud, representado esquemáticamente con la línea punteada, pero la curva permanece fija y no hay desplazamiento lateral del río. Si por el contrario se protege solo la zona (2), la corriente continua arrastrando el material y se produce una cavidad hasta que se desploma la parte superior con todo y protección.

CONCEPTO

Los espigones como elemento de protección hidráulica en vialidad son estructuras que están unidas a la margen e interpuesta a la corriente, también se caracterizan por tener uno de sus extremos anclado en una orilla y otro dirigido agua adentro, lo que permite desviar y alejar la corriente de la orilla y evitar que ésta arrastre las partículas que la forman. Su objeto es el de encauzar y mantener con seguridad la dirección de la corriente. Con ello se crean zonas de calma relativa entre espigón y espigón, las cuales se llenan poco a poco con sedimentos, hasta que se forma una nueva orilla estable.

Los espigones son más simples de construir y de mantener y por lo tanto más económicos. El costo de su mantenimiento disminuye con el tiempo. Aun erosionada la punta de un espigón, el resto de la estructura sigue trabajando y

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

la destrucción de uno de ellos no pone en serio peligro a los demás. Sus reparaciones son sencillas. Las desventajas principales son: disminuye el área hidráulica (lo cual es deseable, cuando se proyecta que un río sea navegable) y aumenta la rugosidad de las orillas. Por otra parte, no se pueden utilizar en curvas con un radio reducido y no se fijan en forma absoluta a la orilla.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ESPIGONES

1. Son sencillos de construir.
2. Su construcción es fácil de supervisar.
3. Su conservación es sencilla cuando se utilizan materiales pétreos, gaviones o tabla – estacados debidamente empotrados.
4. El costo de conservación disminuye con el tiempo, aunque puede ser alto, durante los primeros años, cuando se utilizan materiales pétreos.
5. La falla de un espigón no hace peligrar a los demás. Se ha observado que aun cuando se produzca una erosión en la zona de contacto entre un espigón y la orilla, ésta se erosione, se separe el espigón de la orilla y parte del escurrimiento pase entre ambos, el resto de los espigones continua trabajando satisfactoriamente.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Entre las principales desventajas de los espigones se pueden mencionar:

a. Reducen el ancho del cauce, cuando ambas márgenes se protegen con espigones. Sin embargo, téngase en cuenta que en ríos navegables el reducir el ancho del cauce puede presentar una ventaja y una necesidad.

b. Producen pérdidas adicionales de energía.

c. No son económicos en curvas que tienen un reducido radio de curvatura.

d. No protegen toda la orilla, ya que la zona entre ellos pueden erosionarse antes de alcanzar un estado de equilibrio.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

CLASIFICACION

Los espigones pueden clasificarse de diferentes maneras de acuerdo a su altura, ubicación, forma, etc.

De acuerdo a su **altura** se clasifican en:

Espigones sumergidos o de fondo.

Normalmente usados para la protección de cimentaciones de estructuras hidráulicas longitudinales.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Espigones medios.

Estos tienen la altura de la cresta igual al nivel de las crecidas medias.

Espigones altos.

Usados sobretodo en espigones convergentes. Tienen su cresta igual al nivel de las crecidas máximas.

De acuerdo a su **ubicación** se tienen los siguientes tipos:

Espigones convergentes o dirigidos aguas abajo.

Son usados cuando se quiere alejar la corriente de agua de la orilla. Por ejemplo, para proteger determinadas instalaciones en algún sector fuertemente erosionado por la corriente, o para desviar la corriente hacia otra orilla, como en el caso de tomas de canal. Figura (a)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Espigones perpendiculares al eje del río.

Generalmente empleados en tramos rectos y de cauce muy ancho. Tienen la finalidad de disminuir la energía cinética del río con la consecuente sedimentación de finos y la consolidación de una nueva ribera. Estos espigones suelen colocarse en ambas márgenes del río, cuando las características geomorfológicas del terreno no propician la formación de un cauce definido. Debe tenerse cuidado de dar al cauce un ancho mínimo igual al alcanzado por el agua en los tramos regulares inmediatos con ocasión de las

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

crecidas, o el que indiquen los cálculos hidráulicos. Su uso es conveniente sólo en cauce con pendientes y velocidades no muy pronunciadas debido al impacto de los sólidos de arrastre y la fuerte erosión que podría producirse. Figura (b)

Espigones Divergentes o dirigidos contracorriente.

Este tipo de estructuras se usa para fomentar el depósito de los materiales que arrastra el agua. Esto se produce debido a que la energía de la corriente sobre él espigón se ve aminorada por la descomposición de velocidades provocada por la ubicación del mismo. Con estos espigones se logra definir una nueva ribera. Figura(c)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Según su **forma**, existen tres tipos de espigones:

Espigones rectos.

Son los más utilizados. El cuerpo del espigón es recto y ésta apoyado sobre una plataforma antisocavante.

Espigones tipo martillo.

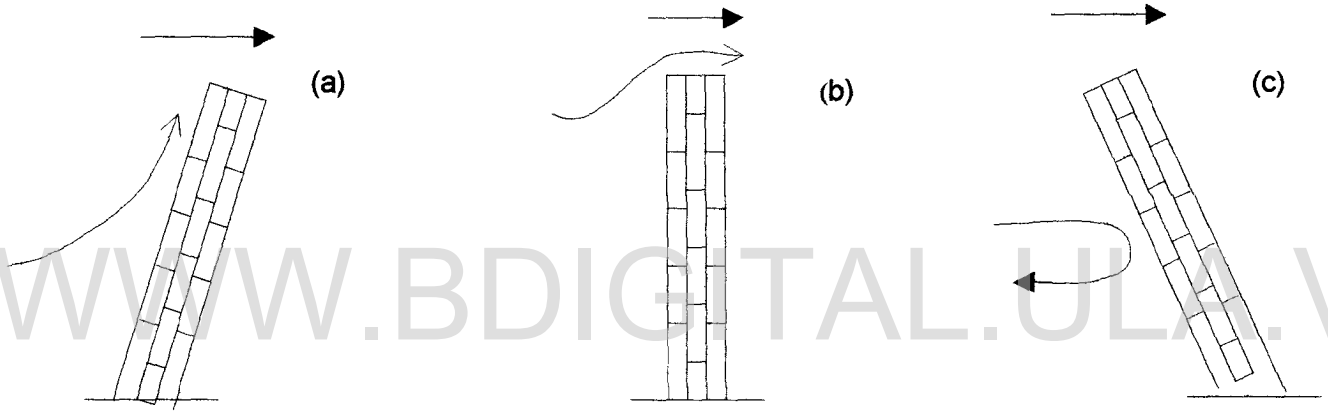
Son espigones que tiene en la punta dos brazos paralelos a la orilla. Esta forma propicia la formación rápida de orillas evitando, a la vez, toda socavación en

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

la cabeza de los espigones. Empleado normalmente en zonas de pendientes baja y cauce no bien definido.

Espigones tipo Bayoneta.

Este tipo de espigones tiene un comportamiento similar a los tipos martillo. Con ellos se dirige la corriente hacia el centro del cauce.



WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Figuras. De acuerdo a su ubicación.

DISEÑO

Los datos necesarios para el diseño de espigones son:

- La topografía y batimetría del río en la zona por proteger. Abarcará todo el cauce y orillas. En río de planicie se cubrirán además 20 m a cada lado de las orillas y en cauce con orillas muy elevadas, hasta el máximo de inundación estimada.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- Para proteger las secciones transversales a lo largo de las orillas, la separación entre ellas puede variar entre 50 m y 200 m dependiendo de las dimensiones del cauce. Fuera del agua cubrirán lo indicado en el inciso anterior, se prolongara a lo largo del talud de la orilla y se extenderán sobre el fondo del río hasta una distancia de 1/3 el ancho del cauce, como mínimo.

- Características hidráulicas de la corriente. Normalmente se deben conocer: el gasto formativo y el gasto asociado a un periodo de retorno entre 50 y 100 años, la elevación de la superficie del agua correspondiente a esos gastos, así como las velocidades medias de los escurrimientos y, de ser posible, la velocidad del flujo a lo largo de las orillas por proteger.

  Cuando el gasto formativo transporta la misma cantidad de sedimentos que el hidrograma anual, recibe el nombre de ***gasto dominante***. Para obtenerlo conviene efectuar los cálculos utilizando fórmulas que tomen en cuenta el transporte total de fondo.

  El gasto formativo también se puede obtener en forma más sencilla ya que se ha observado que es aproximadamente igual al gasto máximo que escurre por el cauce principal, de los ríos de planicie, antes de desbordar.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

También se ha demostrado que esta asociado a un periodo de retorno entre 1 y 4 años con promedio de 1.4. Por tanto se puede aceptar en una primera aproximación que es aquel cuyo periodo de retorno es 1.4 años.

- Granulometría y peso específico de los materiales del fondo y orillas del cauce.
- Materiales de construcción disponibles. Incluye la localización de bancos de roca y él peso especifico del material de cada uno de ellos. Así como bancos de grava que puedan servir para rellenar gaviones.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Los aspectos más importantes a tener en cuenta cuando se diseña una protección con espigones son los siguientes:

1) Localización en planta
2) Longitud de los espigones
3) Forma de los espigones
4) Separación entre espigones
5) Pendiente longitudinal y elevación de la cresta de los espigones
6) Angulo de orientación de cada espigón, con respecto al flujo
7) Permeabilidad de los espigones
8) Materiales de construcción

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

9) Erosión al pie del espigón en el extremo dentro de la corriente.

A continuación se comentará cada uno de estos aspectos, varios de los cuales están relacionados entre sí. La mayoría de las recomendaciones de diseño que se presentan son válidas para espigones permeables. Lo referente a espigones permeables se trata en el inciso 7.

1. LOCALIZACION EN PLANTA

Para ubicar los espigones en planta, lo primero que se requiere es trazar el eje del río tal como quedará una vez que él sea rectificado, véase fig. 3 o bien el eje existente si sólo se va a proteger las orillas, sin efectuar ningún cambio a la geometría del río ni a la dirección de la corriente, fig. 4 a fig. 6. Al terminar el trazo del eje del río se conoce el radio o radios que forman cada curva y la longitud de los tramos rectos.

Posteriormente se trazan dos líneas paralelas a ese eje y separadas entre sí una distancia igual al ancho que tendrá el río una vez protegido. Dichas líneas se denominarán líneas extremas de defensa. Véase las figs 3 a 6. Todos los espigones partirán de las márgenes y llegarán hasta una de esas dos líneas, por lo que la longitud final de cada espigón es función de la separación que existe

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

entre cada una de esas líneas y su margen correspondiente. La separación entre las dos líneas extremas de defensa podrá ser igual al ancho estable del río, teniendo en cuenta el cambio de pendiente que se introduce cuando el tramo en estudio es rectificado y además si el río va a ser navegable o no. Se entenderá por ancho estable el que tiene un tramo de río cuando en él no hay islas o bifurcaciones y las márgenes son sensiblemente paralelas. Si en el tramo de estudio no se tiene la condición señalada, el ancho estable se puede conocer observando fotografías aéreas de los tramos aguas arriba y abajo, hasta localizar una zona donde haya un solo cauce, siempre y cuando el material del fondo y orillas sea el mismo. Analíticamente el ancho estable se obtiene en función del gasto formativo, características físicas del material del fondo y orillas y de la pendiente del río.

Cuando el río es navegable y se desea incrementar la profundidad, la separación entre ambas líneas puede ser menor que el ancho estable. El ancho de la superficie libre del cauce estable designará con B. Si el agua ocurre por un solo cauce, B es igual al ancho de la superficie libre cuando ocurre el gasto formativo. La separación entre dos líneas extremas de defensa se designará B_e. Si los espigones son utilizados para defensa y estabilización de las márgenes, sólo se colocan en los lados exteriores de las curvas, y por lo tanto la orilla

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

interior de las mismas la fijará el río libremente. De esta forma, el ancho de la superficie libre asociado al gasto informativo tenderá a ser B.

En cambio, si se desea mejorar la navegación y los espigones se construyen para reducir el ancho de B a B_e, se tendrá que colocar espigones en ambas márgenes uno frente a otro. Con ello el río pasa a tener únicamente dos grados de libertad.

En caso de que se desee rectificar un tramo de río o defender sus curvas y si las márgenes son arenosas o ligeramente limosas, los radios de curvaturas r, medidos hasta el eje del río convienen que estén comprendidos entre los siguientes límites.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$2\ B \leq \mathrm{r} \leq 8\ B \qquad (1)$$

donde B es el ancho medio de la superficie libre en los tramos rectos.

Con la recomendación dada por la ec1 se logra que las mayores profundidades siempre se encuentren cercanas a la orilla exterior de la curva y que en ésta no se formen islas o bancos de arena cercanos a la orilla cóncava.

Lo expresado por la ec. 1 ha sido obtenido de la observación de ríos con anchos no mayores a 150 m. En grandes ríos se han observado curvas con

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

relación r/*B* hasta de 20 que una vez protegidas se comportan satisfactoriamente; es decir, no hay bancos de arenas en medio de las secciones de la curva, el canal más profundo se forma cerca de la orilla exterior y el sedimento tiende a acumularse sólo en la orilla interior.

Las relaciones r / *B* posiblemente dependan de los gastos líquidos y sólidos transportados por el río, los materiales y resistencia de la margen, velocidad del flujo y distribución anual de los gastos mencionados; sin embargo, la relación entre los parámetros señalados aún no ha sido establecida para una amplia gama de ríos.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Por lo anterior, cuando se desea proteger un tramo de río conviene conservar los radios de curvatura de las curvas por proteger, modificando aquellas cuyo r / *B* sea menor que 2. En cambio, cuando se desea efectuar una rectificación, se deben observar las curvas estables del río aguas abajo y arriba del tramo por rectificar, o de alguna corriente semejante que se encuentre cercana a la que está en estudio. Este último presupone que los gastos, pendientes y materiales de ambas corrientes sean casi iguales o muy semejantes.

Si el radio de curvatura es menor que 2*B*, la distancia entre los espigones decrece y desde el punto de vista económico llega a ser preferible construir un revestimiento marginal. En cambio si el radio es mayor que 8*B*, el río puede

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

llegar a formar un cauce con radio menor que el de la curva y consecuentemente no todos los espigones trabajarán eficientemente y la corriente podrá incidir, aguas abajo de la curva, en lugares no previstos y por tanto no protegidos.

Si una curva es trazada con varios radios de curvatura, el tamaño de dichos radios debe decrecer hacia aguas abajo. Si no se cumple con esta recomendación el flujo podrá separarse de la margen exterior, véase fig. 5 y 6 dando lugar a la formación de bancos de arena cercanos o adyacentes a la margen cóncava.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Cuando se protege una curva trazada con un único radio de curvatura y la margen exterior es uniforme, todos los espigones tendrán la misma longitud y ángulo de orientación y, por tanto, la separación entre ellos será la misma, fig 5.

Si la margen es uniforme en una que se define con dos o más radios de curvatura, lo único que varía es la separación entre los espigones, la que es constante entre los segmentos con igual radio de curvatura. Esta separación será menor cuanto menor sea el radio, teniendo cuidado que ellos cumplan la recomendación dada por la ec 1.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Cuando no se efectúa ninguna rectificación sino que se desea proteger la margen actual de un río, la línea extrema de defensa deberá trazarse lo más uniforme y paralela posible a esa margen, cuidando que los radios de curvatura no crezcan hacia aguas abajo. Puesto que la margen actual puede tener entrantes y salientes o zonas más erosionadas que otras, la longitud de todos los espigones también puede ser diferente, fig 6.

Se ha mencionado que la línea extrema de defensa a la que llegan los espigones influye en la longitud de éstos y además, esta longitud influye en la separación entre espigones y en ocasiones en su orientación. Por tal motivo, en un proyecto dado, deben seleccionarse diferentes alternativas tanto de ubicación de las líneas extremas de defensa como de la colocación y distribución de los espigones, para seleccionar finalmente la más económica y también la que, por experiencia, se presuponga que pueda trabajar más adecuadamente.

Téngase en cuenta que si se protege una única curva de un río se debe tener la seguridad de que las márgenes de las curvas situadas aguas arriba no pueden ser erosionadas y por tanto, tener la seguridad de que la corriente incidirá aproximadamente con la misma dirección contra la margen protegida. Si esto último no ocurre, en pocos años el río escurrirá por otro sitio, abandonando

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

completamente los espigones que fueron colocados, véase la foto 3. Por ello, en ríos de planicie que son divagantes o que sufren erosión constantemente en sus curvas, se deben proteger tramos completos de río y no sólo una curva aislada; esto último se justifica únicamente como emergencia, cuando el río está erosionando una curva en la que hay una construcción importante, pero a sabiendas de que pasados dos o tres años, el río escurrirá por otro lado. Este proceder tiene el inconveniente de que nuevas erosiones se estarán presentando continuamente en otras curvas y aunque se protejan cuidadosamente, el río no es encauzado ni su cauce fijado permanentemente, foto 3.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

En ríos de planicie que corren sobre material aluvial, la longitud de los tramos rectos a_r, entre curvas, suele estar comprendida entre

$$0 \leq a_r \leq 3\,B \qquad (2)$$

Véanse las figs 5 y 6. Se deben evitar tramos rectos con mayor longitud, ya que de existir se forman bancos de arena alternados y cerca de las márgenes que obligan al flujo a seguir una trayectoria senoidal. Los tramos rectos sólo existen en forma natural en las zonas de montaña o intermedia con márgenes

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

rocosas o muy resistentes; por ejemplo cuando el río corre a lo largo de una falla.

Debe tenerse en mente, al diseñar una rectificación, que nunca puede haber dos curvas seguidas cuyo sentido de giro sea el mismo. Ellas se presentan siempre en forma alternada.

2. LONGITUD DE LOS ESPIGONES

La longitud total L, de un espigón queda definida por la longitud de trabajo, L_t que es aquella que esta dentro del cauce y la longitud de empotramiento L_e que está embebida dentro de la margen, véase la fig 7 y foto 4.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$L = L_t + L_e \tag{3}$$

La longitud de trabajo de los espigones está dada por su distancia entre el cruce de la margen con la corona del espigón, y la línea extrema de defensa comentada en el inciso anterior, y normalmente debe estar comprendida entre los siguientes límites

$$d \leq L_t \leq B/4 \tag{4}$$

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

donde

d es el tirante o profundidad del río, asociado al gasto formativo, en el sitio donde se construirá el espigón. En los ríos de planicie es igual a la distancia vertical entre la elevación de la margen y la elevación del fondo del río en el sitio donde se colocará el espigón.

Los espigones pueden empotrarse en la margen o bien terminar en contacto con ella; cuando esto último ocurre $L_e = 0$, véase la fig 8. La máxima longitud de anclaje recomendada es igual a un cuarto de la longitud de trabajo, $0.25L_t$.. de esta manera la longitud máxima de un espigón llega a ser

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$L = 1.25\, L_t \tag{5}$$

Se ha mencionado que la longitud de trabajo puede ser seleccionada en forma independiente; sin embargo, también ya se ha indicado que todos los espigones deben de llegar a la línea extrema de defensa preseleccionada, por lo que en realidad dicha longitud depende de la posición de esa línea.

Para anclar o empotrar un espigón se requiere excavar una trinchera con ancho de plantilla igual al de la base del espigón, cuyo fondo debe tener la misma

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

elevación que el fondo del río y cuya longitud es la que se seleccione sin sobrepasar la distancia $0.25L_t$; posteriormente dentro de la zanja hay que construir la parte del espigón que va en ella, foto 4. Como el procedimiento indicado es costoso no conviene empotrar los espigones y sólo se justifica cuando no se puede permitir que falle ninguno de ellos. Esto último también se logra reduciendo la separación entre los espigones.

Cuando se terminan o se apoyan directamente los espigones contra la margen, algunos de ellos pueden ser flanqueados, véase la foto 5. Se ha observado que en no más del 4 % de los espigones construidos ha ocurrido este fenómeno, siempre que se han respetado las recomendaciones dadas por las ecs 6 y 10. Al fallar un espigón, la orilla se erosiona rápidamente frente a él y parte del flujo escurre entre el espigón y la orilla erosionada, sin que esto repercuta en el buen funcionamiento de los ubicados inmediatamente aguas abajo. La reparación de esas fallas se lleva a cabo en el estiaje siguiente formando el cuerpo del espigón desde la nueva orilla hasta el espigón fallado, véanse la fig 9 y foto 5. Estas reparaciones, que son sencillas, tienen un costo menor que el que se tendría si todos los espigones se hubieran empotrado. La falla descrita tiene lugar, generalmente, durante la primera o segunda época de avenidas, cuando aún no se han formado depósitos de arena entre los espigones, y por

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

tanto, la orilla se encuentra menos protegida. Por último, cabe mencionar que cuando este tipo de falla no pueda permitirse, porque hay construcciones importantes cercanas a la orilla del río, conviene reducir la separación entre espigones.

3. FORMA DE LOS ESPIGONES EN PLANTA

La forma en planta de los espigones puede ser: recta, curveadas hacia aguas arriba o hacia aguas abajo, en L con el brazo también dirigido hacia aguas arriba o hacia aguas abajo y en T, véase la fig 10.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Lo más usuales son los rectos por su facilidad constructiva y ser más económicos. Los espigones en forma de L o T son lo más costosos, ya que su parte extrema debe construirse en la zona más profunda del río.

La principal diferencia entre los espigones y los diques marginales consiste en que los primeros se interponen a las líneas de corriente, mientras que éstas son paralelas a la cara exterior de los diques. Por ello, cuando las ramas extremas de los espigones en L o T tienen una longitud mayor que L_T, se consideran más como diques marginales que como parte de un espigón.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

4. SEPARACIÓN ENTRE ESPIGONES

La distancia entre espigones esta medida a lo largo de la margen entre los puntos medios de los arranques de cada espigón y depende de la longitud del espigón de aguas arriba y de su orientación, así como la configuración de la margen.

Para calcular la separación entre dos espigones es necesario tener en cuenta la expansión teórica que sufre la corriente al pasar frente al extremo del espigón, véase la fig 11. Normalmente se considera que el ángulo de expansión β varia entre 9° y 11°. Dicho ángulo se mide en la punta del espigón, con respecto a la tangente a la línea extrema de defensa. En modelos hidráulicos se han observado ángulos de expansión hasta de 14°. Por tanto

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$9° \leq \beta \leq 14° \qquad (6)$$

La práctica usual consiste en considerar como ángulo de expansión 9° cuando se desea obtener un diseño económico y de 14° cuando se quiere un diseño más conservador.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Las fórmulas y recomendaciones que a continuación se presentan son válidas para $60° \leq \alpha \leq 90°$, siendo α el ángulo de orientación del espigón, véase el inciso 6

a) Separación entre espigones cuando la margen es paralela a la línea extrema de defensa.

Cuando la línea extrema de defensa y la margen del río son sensiblemente paralelas, es decir, que la margen no tiene irregularidades ni entrantes ni salientes, las separaciones que se recomiendan entre espigones se indican adelante y son aplicables únicamente a espigones que son utilizados para defender las márgenes de un río. Si se construyen para reducir el ancho de la superficie libre de agua e incrementar la profundidad en ríos navegables, las separaciones son menores a las que aquí se indican.

a.1) Separación en tramos rectos, S_S.

La separación entre espigones en un tramo recto, cuando la línea extrema de defensa y la margen son paralelas, está dada por la relación, véase la fig 11c

$$S_S = L_t \cos\alpha + L_t \frac{\operatorname{sen}\alpha}{tan\beta} \qquad (7)$$

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

que transformada se escribe como

$$S_S = L_t \frac{\operatorname{sen}(\alpha + \beta)}{\operatorname{sen} \beta} \qquad (8)$$

Al sustituir los valores de α y β señalados arriba, S_S varía entre los límites

$$4\,L_t \leq S_S \leq 6.3\,L_t \qquad (9)$$

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Desde el punto de vista práctico y económico conviene que la separación inicial sea $S_S = 6\ L_t$. Si así separados se observa que la corriente ataca e inicia la erosión de la orilla cerca del punto de arranque de alguno de los espigones, se deberá construir un nuevo espigón intermedio aguas arriba de él, con lo que la separación entre los espigones, en esa zona, se reduce a $3L_t$.Si por falta de observaciones o por la intensidad de la corriente durante una avenida, falla uno de los espigones y queda separado de la orilla por ser ésta erosionada, el espigón fallado se deberá prolongar hasta unirlo con la nueva orilla. Esta acción conviene efectuarla en el estiaje siguiente, véanse la fig 9 y foto 5.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

El espigón intermedio entre un espigón fallado o por fallar y el siguiente aguas arriba, puede no necesariamente quedar a $3L_t$ de cada espigón, sino a $2L_t$ del espigón por proteger. Bajo estas circunstancias la longitud de este nuevo espigón puede ser menor que la de los restantes.

Cuando en las márgenes de un tramo recto hay construcciones de importancia, la separación inicial entre espigones debe ser como máximo de $4L_t$.

a.2) Separación en curvas, S_c. La separación entre espigones ubicados en las márgenes exteriores de las curvas pueden variar entre los siguientes límites:

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$2.5\, L_t \leq S_c \leq 4L_t \qquad (10)$$

En curvas, la separación entre espigones depende del radio de curvatura. A menor radio menor separación. En algunas curvas con radios menores de $1.5B$ los espigones pueden llegar a quedar tan juntos y tan orientados hacia aguas abajo que, por economía, es preferible sustituirlos por un recubrimiento marginal.

Cuando una curva tiene un radio igual o mayor a 4 veces el ancho del río,

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$4B$,la práctica usual consiste en colocar los espigones con una separación igual a $4L_t$.Si al proteger una curva siguiendo esta recomendación uno de ellos llega a fallar, se efectúa la reparación ya mencionada en el inciso anterior y para mayor seguridad se podrá construir otro espigón aguas arriba del fallado, a una separación igual a $2L_t$.

b) Separación entre espigones cuando la margen es irregular.

Cuando la línea extrema de defensa no es paralela a la orilla del río, y esta última es irregular, la separación entre espigones deberá obtenerse en forma gráfica como se muestra en la fig 11.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

El procedimiento consiste en lo siguiente:

1) Trazar en la punta del espigón una tangente a la línea extrema de defensa.
2) Con respecto a esa línea, y hacia aguas abajo medir el ángulo β que se haya seleccionado, ec 6.
3) Con ese ángulo trazar una línea hacia aguas abajo hasta que intercepte la margen.
4) En el punto de intersección con la margen trazar un nuevo espigón al que se le dará el ángulo de orientación α deseado, véase el inciso 6 y la ec 11, y se prolongará hasta alcanzar la línea extrema de defensa. En ese

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

punto se traza la tangente a dicha línea y con respecto a esa tangente se mide nuevamente el ángulo de expansión β, para repetir el procedimiento ya descrito.

Al diseñar una protección con espigones, el primero por dibujar puede colocarse libremente en cualquier parte y todos los restantes quedarán situados siguiendo el procedimiento descrito. Si la margen y la línea extrema de defensa son paralelas, la longitud de trabajo de los espigones es la misma cualquiera que sea el lugar donde se ubique el primer espigón. Esto no ocurre si la margen es muy irregular, por lo que conviene proyectar dos o tres opciones para seleccionar al final la más económica, véase la fig 11. Siempre conviene que una de las alternativas contemple la colocación del primer espigón en la zona en la que la distancia entre la margen y la línea extrema de defensa es menor; es decir, donde la margen se acerca más a esa línea extrema de defensa, ya que ello se puede deber a que la margen sea localmente más resistente en ese sitio. Posteriormente la colocación de los espigones situados tanto aguas abajo como aguas arriba se obtendrá gráficamente.

En la situación extrema en que se desee encauzar un río en cuyas márgenes no haya construcciones ni cultivos de valor, se puede construir una protección

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

aun más económica separando los espigones hasta $8L_t$ en los tramos rectos y $6L_t$ en las curvas. Si esto se lleva acabo, debe observarse el comportamiento de la obra durante la primera época de avenidas para construir, en el siguiente estiaje, espigones intermedios en las zonas débiles o más atacadas por el flujo. Así, la separación final entre espigones, en dicha zonas, será igual a $4L_t$ o $3L_t$ respectivamente. Por supuesto, también en ese primer estiaje, se deberán reparar los espigones que pudieran haber fallado.

4.1 Separación y longitud de los primeros espigones

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Al diseñar la defensa marginal de un tramo de río, los primeros espigones de aguas arriba se diseñan como se indican en la fig 12. Para ello, en el tramo recto aguas arriba de la primera curva, la línea extrema de defensa se prolonga hacia aguas arriba hasta unirla con la margen. La línea de la margen y la extrema de defensa forman un ángulo γ , que varia entre 8° y 10°. Respetando las recomendaciones ya explicadas se obtiene la localización, longitud y separación de los espigones en el tramo en que convergen la línea extrema de defensa y la margen.

La pendiente longitudinal de la corona de estos espigones debe ser la misma que la de los espigones normales de la protección, véase la fig 12b.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Con la colocación de estos primeros espigones se evita un cambio brusco de la dirección del flujo al llegar al primer espigón de la defensa propiamente dicha.

A pesar de la utilidad y buen funcionamiento que se ha observado experimentalmente en modelos hidráulicos, en la practica pocos diseñadores usan y prefieren reforzar el primer espigón, de aguas arriba, de la protección.

5. PENDIENTE LONGITUDINAL, ELEVACIÓN Y ANCHO DE LA CRESTA DE LOS ESPIGONES

Los espigones pueden ser construidos con pendiente horizontal o teniendo una pendiente hacia el centro del río que puede llegar a ser hasta de 0.25.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Los espigones con cresta horizontal se construyen principalmente cuando se desea artificialmente el ancho del río, por ejemplo, cuando se desea mejorar la navegación. En cambio, cuando el propósito de los espigones consiste en proteger una margen o rectificar un tramo de río, la cresta del espigón debe tener una pendiente longitudinal de la margen hacia el extremo que se encuentran en el interior del río, como se muestra en las figs 7 y 8 y fotos 6 y 7. La elevación del punto de arranque de un espigón puede ser cualquiera de las que a continuación se indican, véase la figs 8 y 13.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

en el extremo del espigón y un pequeño tractor que empuja la roca y forma la corona. Cuando se utilizan gaviones o tabla-estacado esa pendiente longitudinal se da con escalones.

Los espigones construidos con pendiente longitudinal igual o mayor que 0.1 presentan las siguientes ventajas:

a. Favorecen el depósito de sedimentos entre ellos. Dicho depósito es mayor del que se hubiera tenido si la cresta fuera horizontal.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

b. Cuando los espigones tienen paredes verticales, como ocurre con los construidos con tabla-estacado, sólo se presenta una ligera erosión que tiene lugar al pie del talud de aguas arriba. Cuando el espigón tiene taludes, como ocurre con los construidos con enrocamiento, se forma un deposito de sedimentos en el talud aguas arriba que ayuda a proteger al espigón.

c. Son mucho más económicos, ya que cada espigón requiere entre 40 y el 70 porciento del material que necesita el mismo espigón con cresta horizontal. Los mayores ahorros se obtienen en espigones construidos con

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

enrocamiento o gaviones y el menor ahorro con los construidos con tabla-estacados.

d. No se han observado fallas de espigones cuando estos han tenido las pendientes que se mencionan, siempre y cuando la separación entre ellos no haya sobrepasado 4 veces la longitud de trabajo. No se han probado espigones con pendiente longitudinal, con separaciones mayores.

e. La erosión del fondo del río es mínima frente al extremo del espigón cuando la corona de dicho extremo ha quedado a 50 cm sobre el fondo.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

El ancho de la corona de los espigones depende de los materiales con que se construyen y del procedimiento de construcción empleado. Así, por ejemplo, si el espigón es construido con enrocamiento, el ancho de la corona debe ser tal que permita el acceso de camiones de volteo, los cuales entrarán en reversa para descargar la roca, la que será posteriormente empujada por un tractor, véanse las fotos 8 y 9; (en ellas apenas se inicia la construcción del espigón). Una condición extrema se presenta cuando el espigón es construido con

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

troncos, pilotes o tabla-estacados, ya que el ancho de la corona corresponderá al de las piezas que lo forman.

6. ORIENTACIÒN DE LOS ESPIGONES

Los espigones pueden estar orientados hacia aguas abajo, hacia aguas arriba o ser perpendiculares a la dirección del flujo. Su orientación está dada por el ángulo α que forma el eje longitudinal del espigón con respecto a la tangente trazada a la línea extrema de defensa en el punto de unión con el espigón y medido hacia aguas abajo, como se muestra en la fig 11 y fotos 10 a 13. El ángulo de orientación conviene que esté comprendido entre

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$60° \leq \alpha \leq 90° \qquad (11)$$

En curvas con márgenes uniformes se recomienda

$$\alpha = 70° \qquad (12)$$

En curvas con márgenes irregulares conviene, en ocasiones, variar el ángulo

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

de orientación de alguno de los espigones; esto ocurre sobre todo cuando una curva tiene un radio menor que 2*B*. Se ha llegado a situaciones extremas en que el ángulo α ha sido de 30°. Cuando esto ha ocurrido, hubiera sido preferible proteger la margen con un recubrimiento marginal y no utilizar espigones, ya que estos últimos resultaron más costosos.

Orientaciones con ángulos mayores de 90° requieren distancias menores entre espigones y por tanto, un mayor número de ellos para proteger la misma longitud de río. Experimentalmente se ha encontrado que espigones con orientaciones de 120° y con pendiente longitudinal en su corona, no trabajan satisfactoriamente y aún más, cuando un espigón falla, la erosión de la margen es mayor que la que se produce cuando los espigones tienen ángulos entre 60 y 70°.

Es importante destacar que los espigones con pendiente horizontal, sí se puede orientar hacia aguas arriba formando un ángulo no mayor de 115°. Para ángulos iguales o mayores que 120° ya se comentó que no trabajan satisfactoriamente.

Téngase en cuenta que el ángulo de orientación de los espigones repercute en la separación entre ellos.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

7. PERMEABILIDAD DE LOS ESPIGONES

Los espigones pueden ser impermeables o permeables. Los primeros alejan de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, mientras que los segundos reducen la velocidad del flujo por debajo de su límite erosivo, véase la fig 14. Estos últimos, cuando están bien diseñados, facilitan de inmediato la sedimentación de arena entre los espigones. Infortunadamente no existe un criterio confiable para determinar las pérdidas de carga producidas por espigones permeables, ni para cuantificar la reducción de la velocidad de flujo. Ello se determina experimentalmente en el sitio.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Los espigones permeables tienden con el tiempo a perder permeabilidad debido a toda la basura, ramas y troncos que llegan a detener. Por ello se deben diseñar para resistir, tanto el empuje del agua, como el de los elementos mencionados. La mayoría de los espigones permeables se construyen con troncos de árbol y pilotes de madera formando una pantalla en la que dichos elementos no están juntos, aunque unidos con travesaños de madera y en ocasiones con alambre, véase fig 14 y fotos 14 y 15. Usualmente, los espigones construidos con rocas o gaviones no son totalmente impermeables al inicio de su vida útil; lo llegan a ser cuando sus huecos se rellenan con la arena y limo que transporta el agua.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Los espigones permeables deben llegar también a la línea extrema de defensa. Su separación entre ellos es menor que para los espigones impermeables y depende de la reducción de la velocidad que se obtenga con cada unos de ellos; generalmente estan separados entre 10 a 50 m independientemente de su longitud. Su corona es siempre horizontal longitudinalmente y siempre deben empotrarse. Además requieren de una observación y mantenimiento constante, ya que pueden ser destruidos por troncos y árboles que arrastre la corriente.

8. MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Los espigones pueden ser construidos con una gran variedad de materiales, como por ejemplo: tabla-estacados de madera o concreto, troncos de árboles y ramas, foto 14 y 15, enrocamiento, fotos 3 y 4, elementos prefabricados de mortero o concreto, elementos prefabricados de acero y alambre, y con gaviones revestidos. En nuestro medio la mayoría de los espigones se construyen con enrocamiento o concreto Ciclópeo. En aquellos lugares donde la roca o grava se encuentra a grandes distancias o no hay, conviene utilizar bolsas o sacos de plástico rellenos con mortero o concreto (bolsacreto). Con bolsas comunes utilizadas, permiten crear estructuras de 0.50 m de alto y pesos variables entre 4,6 y 8 Toneladas.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Los materiales de construcción deben ser suficientemente resistentes para soportar la velocidad de la corriente y sobre todo para resistir el impacto directo de troncos y árboles que puedan arrastrar la corriente durante grandes avenidas. Por esta razón los que son construidos con troncos de árboles o madera pueden llegar a ser destruidos.

9. EROSIÓN LOCAL AL PIE DE ESPIGONES

La erosión más importante que se produce al pie de un espigón ocurre en el extremo que se encuentra dentro del agua, véase la foto 7. Cuando los espigones son construidos en ríos que casi no tienen escurrimiento durante la época de estiaje, no existe socavación durante su construcción. Si además se les da una pendiente longitudinal y su extremo final queda casi a la elevación del fondo, como se indicó en el inciso 5, tampoco sufren erosiones durante su vida útil.

No ocurre lo mismo cuando son construidos en ríos que llevan aguas todo el año, y aún la velocidad de la corriente, en estiaje es elevada. Si ello ocurre, a medida que se construye el espigón se produce una socavación en su extremo y por tanto, al continuar la construcción también se tiene que ir rellenando la depresión que se forma por efecto de esa erosión, véase la fig 15. Esto trae

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

como consecuencia un incremento en el volumen de material de construcción, y por tanto, en el costo final de la obra. Si ello se desea evitar, conviene primero colocar una capa de grava o enrocamiento de unos 30 a 50 cm de espesor, cuyos elementos no sean arrastrados por la corriente, y que ocupe toda la base del futuro espigón, véase las figs 13 y 16. Esto necesariamente tendrá que hacerse desde gabarras. Posteriormente se construirá el espigón iniciándolo desde la orilla.

Para cuantificar la erosión del fondo del río adyacente al extremo de un espigón, se puede utilizar la ecuación que a continuación se indica, la cual fue obtenida por Maza con base en los datos y criterio inicial de Latuischenkov. Dicha relación establece

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$d_e = 0.85 d_o \left[4.17 + L_n \frac{Q_1}{Q} \right] e^{(0.0028\alpha - 0.24K)} \qquad (13)$$

donde

d_e profundidad máxima en la zona erosionada al final del espigón, medida de la superficie, asociado al gasto Q

d_o profundidad del flujo en una zona cercana al extremo del espigón no afecta por la erosión, asociado al gasto Q

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

α ángulo entre el eje longitudinal del espigón y la dirección del flujo, medido hacia aguas abajo, según se muestra en la fig 11

k talud del extremo del espigón. Es igual a $k = \cot\phi$, en que ϕ es el ángulo que forma el talud del extremo del espigón con la horizontal, véanse las figs 7 y 8

Q_1 gasto teórico que podría pasar por la zona ocupada por el espigón. Para obtenerlo, se obtiene el gasto unitario q = Q / b y se multiplica por la longitud del espigón proyectada en un plano perpendicular a la dirección del flujo

Q gasto total del río. Para el cálculo de la socavación se utiliza el gasto asociado a un período de retorno entre 25 y 50 años. El gasto así obtenido es mayor que el formativo y puede producir desbordamientos.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

La ec 13 es dimensionalmente correcta, por lo que puede usarse con cualquier sistema congruente de unidades.

Cuando la erosión mencionada se desea evitar, se debe colocar un delantal de roca, con ancho aproximado a 0.5 veces el tirante del río, espesor igual o mayor a dos capas de material y cuya longitud cubra la mitad extrema del espigón. Esta protección es costosa y por eso no se utiliza con frecuencia, a

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

pesar de que con ella el mantenimiento de los espigones se reduce drásticamente.

SOCAVACIÓN LOCAL EN LOS ESPIGONES

La socavación local en la punta de los espigones es de importancia durante su construcción, cuando se utilizan elementos que están sueltos entre sí, (bolsas, piedras, gaviones, etc). Si la velocidad de la corriente > 50 cm / seg conviene recubrir el fondo, sobre el que descansará el espigón, con una capa de piedra, de unos 30 a 50 cm de espesor y después construir el espigón de la orilla hacia el centro del cauce. De no colocar ese piso que evita la socavación local durante la construcción, se muestra mayores volúmenes de material. La socavación local en el extremo del espigón deja de tener importancia si el espigón se construye con una fuerte pendiente longitudinal.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CAPITULO III

USO DE MATERIALES NO CONVENCIONALES

En ríos de montaña se han utilizado elementos como los bloques Dolosse, o concreto ciclópeo por ejemplo los colocados en el sector Chama Mérida, Río negro (Chama 2), Valle Hermoso del Edo Mérida-Venezuela.

En río de los llanos como los espigones elásticos, gaviones, Jacks tipo Kellner y colchonetas (gavión de poco espesor) por ejemplo, los colocados en la protección Hidraulico-Fluvial del Puente Cornelio Muñoz sobre el río Apure Edo Apure-Venezuela.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Bloques Dolosse.

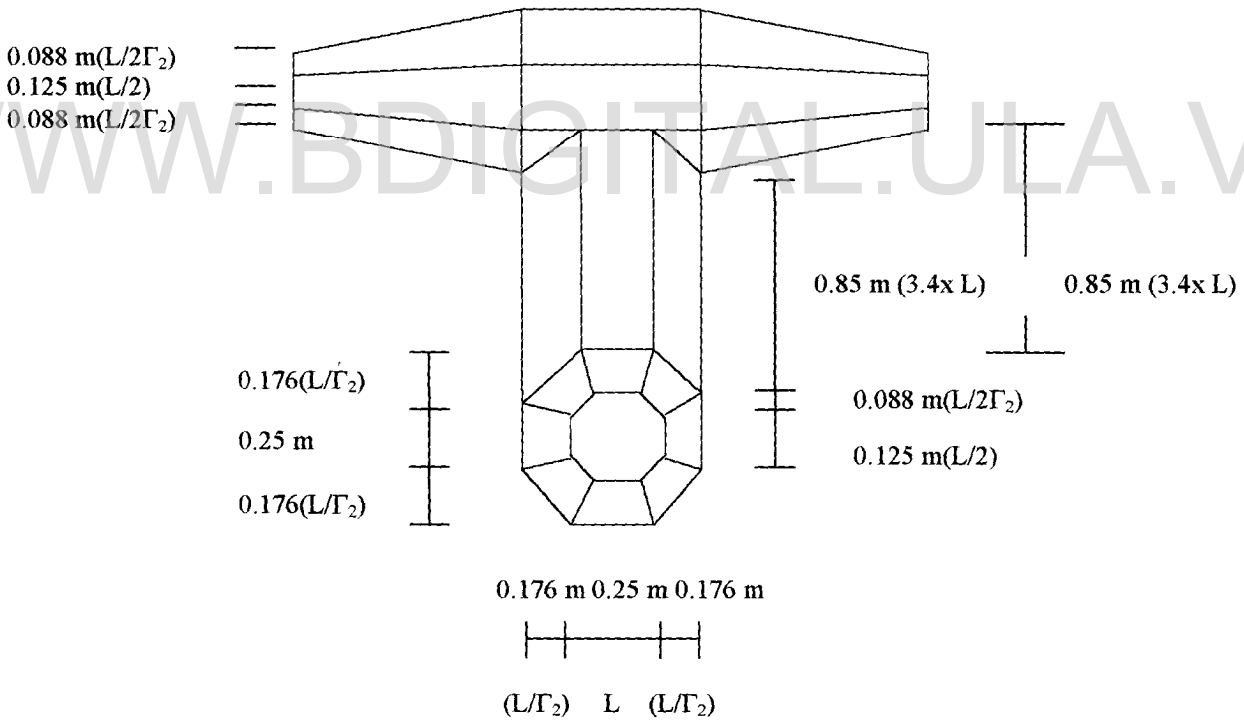
Los bloques Dolosse fueron por primera vez introducidos en el mercado como una forma de barrera o armadura rompeolas hace alrededor de 10 años. Ellos ofrecían la ventaja de que solo necesitaban alrededor de 1/5 a 1/6 del peso de la piedra natural para resistir olas de la misma altura. La ventaja surge del hecho de que los bloques son diseñados para entrelazarse uno con otro y así no comportarse bajo la arremetida (ataque) de la ola como se comportan los bloques de piedra natural. El uso en ríos de montaña de los espigones

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

construidos con los Dolosse, ha sido muy exitoso, siempre y cuando se tenga en cuenta la capacidad de arrastre de sedimentos, que debe ser inferior al peso de los elementos, véase la foto 1.

También el uso de concreto Ciclópeo ha dado muy buenos resultados, por ejemplo los colocados en Chama Mérida, Río Negro (Chama 2) y Valle Hermoso, véase la foto 2.

BLOQUES DE DOLOSSE
PUENTE MUCUJUN



WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Espigones Elásticos.

Por efecto de la supresión de la corteza vegetal, la mayoría de los cursos de agua en la región de Los Llanos fueron desequilibrados formando causes divagantes, erosión y sedimentación. El problema que nos ocupa es el de rectificar los meandros que amenazan con abandonar su curso natural y formar nuevos cursos con graves afectaciones a los terraplenes de acceso a las obras de arte que cruzan sus lechos.

Consiste en la ejecución de espigones elásticos construidos con pilotes de madera y malla de doble torsión, consideramos que este tipo de obra es una solución a los problemas inicialmente descritos

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

La permanencia de la obra radica en la profundidad de hincado de los pilotes llevándolas a mas de 5.00 m lo hace que difícilmente podrían ser arrancados, aventajando este aspecto a las pirámides que tiene una fundación superficial y colapsan cuando los lechos de agua presentan pendientes agresivas o erosión en sus suelos. Es posible modificar la altura del espigón así como la profundidad de hincado en función de las necesarias.

Los materiales para este tipo de espigón son: pilotes de madera de primera, pilotes de madera de segunda, malla de doble torsión, cabillas de entre 12 y 6 mm de diámetro, troncos, ramas y alambre galvanizado.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

La metodología de trabajo para el espigón elástico, una vez definido el sitio de la obra así como el ángulo en que estará ubicado el espigón, consiste en preparar los pilotes de madera mediante el cortado de la punta, utilizando motosierras para conseguir menor resistencia del pilote en la punta durante el proceso de hincado.

Posteriormente se procede al hincado de los pilotes con el equipo adecuado, para ello se recubre la cabeza del pilote con una funda de hierro para evitar su fallo por aplastamiento al ser sometido al impacto de la masa de 1200 Kg del martinete, claro este puede variar.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Los pilotes serán hincados en la posición que formen tresbolillo cuyos espaciamientos longitudinales y transversales dependerán del diseño del espigón.

Una vez hincados los pilotes, se procede al colocado de la malla de hexagonal de doble torsión para lo cual se suspende la malla dependiendo de la altura, en el cuerpo del espigón y se deja una longitud de 0.50 m en la base para proteger los corrimientos. La solapa de 0.50 m de longitud se entierra y queda simplemente tapada con la arena del lecho de río sin anclajes. Cuando se produzcan secciones de traslape de la malla, se preverá 0.20 m de traslape cociendo los bordes con alambre galvanizado de ϕ 2.2 mm.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

La construcción de espigones permeables de tubos hincados, este es del tipo permeable, formado por tubos de acero hincados, incluyendo los elementos de arriostramiento, con perfiles longitudinales y la malla electrosoldada.

Los espigones cumplirán la función de retardar el flujo, evitar la erosión de la margen y propiciar la sedimentación entre ellos. En conclusión, estos espigones no interceptan totalmente el flujo, ya que son permeables, sino que producen una disminución de su velocidad y una disipación parcial de su energía, lo que origina áreas de agua casi estancada entre los espigones sucesivos, donde se induce la sedimentación de la carga sólida transportada por la corriente. Las mallas de acero también cumplen la función de detener los cuerpos flotantes arrastrados por el río, lo que a su vez crea un obstáculo adicional que propicia aun más la sedimentación.

Las colchonetas son gaviones de poco espesor, en este caso de 23 cm, que tiene la propiedad de ser muy flexibles, esta característica las hace especialmente adecuadas para proteger contra la socavación a estructuras fundadas sobre suelos poco resistentes.

La superficie a proteger se cubre totalmente con las colchonetas, las cuales constituyen un manto continuo, ya que van fuertemente ligadas entre sí. Al producirse la socavación en el extremo inferior de este manto, las colchonetas

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

sé flexan hacia abajo protegiendo el suelo de un posterior avance de la socavación. La colchoneta queda flexada y al cesar la socavación y producirse sedimentación al terminar la creciente, su parte inferior queda enterrada, protegiendo así a la estructura contra las crecientes futuras.

Unos elementos permeables llamado Jacks tipo Kellner que están formados por perfiles estructurales de acero, unidos entre sí y anclados mediante cables. Los Jacks se alinearon a lo largo de la margen y en forma transversal a ella. Su función es retardar el flujo, a lo que contribuyen los palos arrastrados por la corriente, que son atrapados entre los alambres que ligan los perfiles, formando caramas que favorecen la sedimentación.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

En el talud de aguas arriba del terraplén vial que conduce al puente, en la zona donde esta ubicado el bloque de anclaje de los cables, se construyo un muro de gaviones en forma de protección directa contra la erosión. En el terraplén vial, en especial en torno al bloque de anclaje norte se colocaron cantos rodados y peñones, así como sacos de arena-semento (bolsacreto),En torno al bloque de anclaje norte se construyó una pared de tablestacas hincadas que comienza en la margen aguas arriba del puente, con un alineamiento recto, inclinado aguas arriba respecto ala corriente, para después adoptar una forma elíptica, su función de este espolón de tablestaca es desviar

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

el flujo procedente de la planicie norte, en forma gradual e hidrodinámica, conduciéndolo hacia el cauce y alejándolo del bloque de anclaje.

Como se pudo explicar anteriormente todas las protecciones mencionadas, son de gran utilidad para la conservación del cauce del río y la protección de las márgenes del mismo. Este es un ejemplo que se puede observar en la fig 2 se han esquematizado algunas de las obras para estabilizar el canal de navegación. Se indican las obras más próxima al puente, con influencia directa sobre este.

Las obras para la mejora de las condiciones de navegación son las siguientes:

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

1.-Revestimiento de la margen izquierda del río entre el puente y el puerto, mediante sacos de arena-cemento.

2.- Construcción de dos espigones formados por sacos de arena-cemento en la punta de la isla Panaco, para deflectar el flujo hacia el puerto.

3.- Construcción de espigones permeables, formados por tubos hincados, para fijar la futura margen sur del río.

Los resultados de estas obras que se hizo en el estado Apure fueron con un resultado muy satisfactorio.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

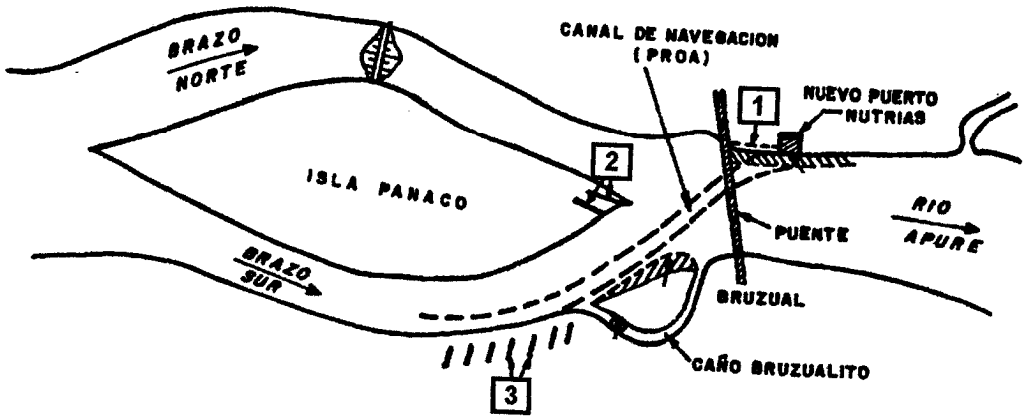


Fig 2 Esquema indicativo de algunas de las obras, para fijar el canal de navegación Puente Cornelio Muñoz Edo Apure - Venezuela

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

RESUMEN DE LAS RECOMENDACIONES MÁS IMPORTANTES

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

RECOMENDACIONES MÁS IMPORTANTES

a. PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESPIGONES

a.1 Trazar el eje del río o de la rectificación.

a.1.1 Radios de curvaturas, r

$$2B \leq r \leq 8B \qquad \text{(ec1)}$$

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

a.1.2 Cuando una curva se traza con más de un radio de curvatura, estos deben decrecer hacia aguas abajo.

a.1.3 Longitud de los tramos rectos, a_r

$$0 \leq a_r \leq 8B \qquad \text{(ec2)}$$

a.2 Trazar las dos líneas extremas de defensa a igual separación del eje. A ellas deberán llegar todos los extremos de la corona de los espigones, figs 7,8,13,15 y 16.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

a.2.1 Se deben analizar dos o tres diseños, modificando la ubicación de estas líneas, para seleccionar el más económico.

a.3 Empotrar los espigones es más costoso que reducir su separación. Para aumentar la seguridad de una protección con espigones, se recomienda reducir su separación.

a.4 En ríos con márgenes paralelas al eje del río y las líneas extremas de defensa, se recomienda que la longitud de trabajo de los espigones no sea mayor que B/4, ni menor que una vez la profundidad de la corriente d, medida desde el nivel de la planicie, o desde el nivel del agua asociado al gasto formativo.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

$$d \leq L_t \leq B/4 \qquad \text{(ec4)}$$

a.5 En ríos con márgenes irregulares, la longitud de los espigones será la que resulte de seguir lo indicado en la fig 11.

a.6 Se recomienda que los espigones sean rectos. Si se considera conveniente pueden también ser en L o T.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

a.6.1 Cuando la zona más profunda de la curva de un río coincide con la ubicación de la línea extrema de defensa, no se recomienda los espigones en L o T.

a.7 Ángulo de orientación de los espigones, α

Los espigones deben estar orientados hacia aguas abajo. El ángulo de orientación varía entre los límites

$$60° \leq \alpha \leq 90° \qquad \text{(ec11)}$$

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

a.7.1 Se recomienda

$$\alpha = 70° \qquad \text{(ec12)}$$

a.8 Ángulo de expansión, β . este ángulo teórico vale

$$11° \leq \beta \leq 14° \qquad \text{(ec6)}$$

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

a.8.1 En diseños conservadores

$$\beta = 11°$$

a.8.2 En diseños más económicos

$$\beta = 14°$$

a.9 Separación entre espigones; en curvas, S_c

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

a.9.1 Cuando la margen es paralela a la línea extrema de defensa

$$2.5L_t \leq S_c \leq 4L_t \qquad \text{(ec10)}$$

a.9.1.1 Si $r > 4B$ se recomienda

$$S_c = 4\ L_t$$

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

a.9.1.2 En diseños muy conservadores o cuando no se puede permitir la erosión de la orilla entre ellos

$$S_c = 2\ L_t$$

a.9.2 cuando la margen es irregular, la ubicación de los espigones, y por tanto su separación, se obtiene según lo indicado en la fig 11.

a.9.2.1 En diseños conservadores conviene reducir la separación entre espigones en un 20 %. Para ello, al seguir lo indicado en la fig 11, se debe dibujar la ubicación de un espigón ya reducida su separación, con respecto al anterior, en un 20 % aproximadamente. Una vez ubicado se repite el procedimiento señalado para localizar el siguiente espigón aguas abajo, y así sucesivamente.

a.10 Separación entre espigones; en tramos rectos, S_s .

a.10.1 cuando la margen es paralela a la línea extrema de defensa

$$4\ L_t \leq S_s \leq\ 6L_t$$

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

a.10.1.1 En un diseño económico

$$S_s = 6\ L_t$$

a.10.1.2 En un diseño muy conservador o cuando no se puede permitir la erosión de la margen entre ellos.

$$S_s = 3L_t$$

a.10.2 Cuando la margen es irregular.

Se recomienda lo indicado en los puntos a.9.2 y a.9.2.1 arriba mencionados.

a.11 Separación y longitud de los primeros espigones.

Véase lo indicado en 4.1. lo ahí mencionado no es indispensable respetarlo

a.12 Pendiente longitudinal de la corona.

La corona de los espigones debe tener una pendiente hacia dentro del río. Ella estará limitada por la elevación del agua durante la construcción de las obras. Si se trabaja en seco, la corona debe terminar a unos 0.50 m sobre el fondo del río, ver fig 8. En espigones de enrocamiento la pendiente

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

seleccionada debe permitir, en forma segura, el desplazamiento de los camiones y equipo de construcción. Cuando se construyen con gaviones o tabla-estacados, la corona tiene escalones.

a.13 Elevación de la corona.

En su parte inicial, o unión con la orilla del río, debe ser igual a la elevación de la margen en ríos de planicie, o igual a la elevación de la superficie libre del agua asociada al gasto informativo cuando las márgenes son muy elevadas.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

En su parte final deben alcanzar la elevación mínima que permita el agua durante la temporada de estiaje. En ríos sin agua, durante la construcción, conviene que llegue a 0.50 m sobre el fondo.

a.14 Ancho de la corona o del espigón.

Es necesario según los materiales y método constructivo utilizado.

a.15 Erosión en su extremo.

Los espigones apoyados directamente sobre el fondo del río pueden sufrir erosión en su extremo. Cuando la obra descansa sobre una carpeta de enrocamiento colocada previamente, esa erosión se evita.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

a.16 Conservación y reparaciones.

Se deben llevar a cabo durante el primer estiaje posterior a su construcción, y en ocasiones durante el segundo o tercer estiaje siguiente. Las principales acciones son:

a.15.1 Prolongar los espigones hasta su longitud de diseño, cuando sus extremos hayan sido erosionados (aplicar espigones formados con enrocamiento).

a.15.2 Unir los espigones, que hayan fallado, a la margen, ver fig 9.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Maza Alvarez, J.A., "Contribución al diseño de espigones" , Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Vol 3, Montevideo, Nov 1990, pp 1397 – 1408

Maza Alvarez, J.A. y García Flores, M., "Estabilización y Rectificación de ríos" Cap 14 manual de Ingeniería de ríos, Nov 1996, pp 7 – 25

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Maza Alvarez, J.A., "Desing of groins and spur diques", Proc. Of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering. ASCE, New Orleans, 1989, pp 296 – 301

Maza Alvarez, J.A., "Introduction to river engineering", Lecture notes. Advance course on Water Resources Management. Universitá Italiana per Stranieri, Perugia, italia, June 1990, 373 pps

Petersen, M.S., "Rivers engineering",Prentice-Hall,New Jersey,1986,561 pps

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

ANEXOS

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

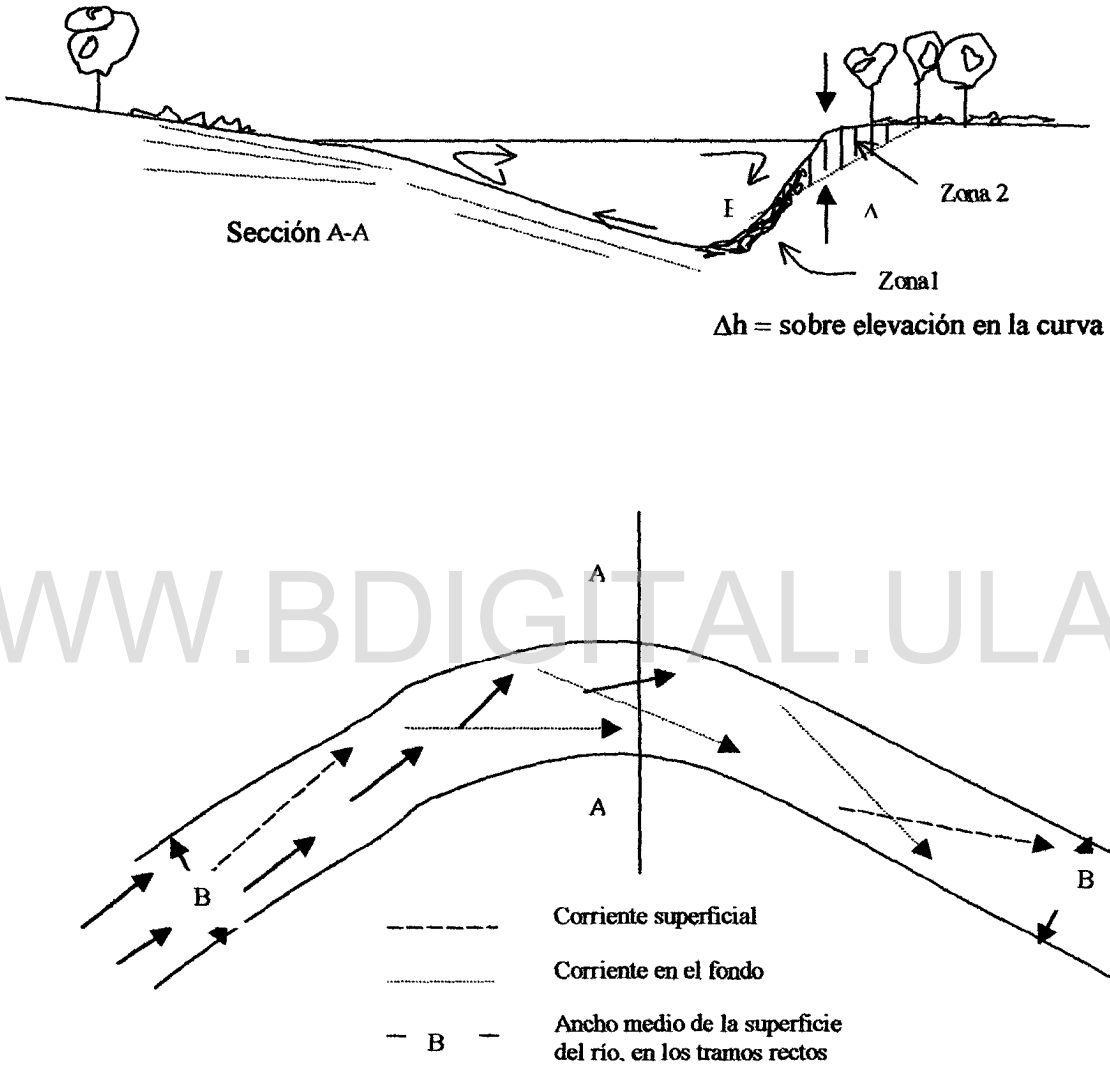
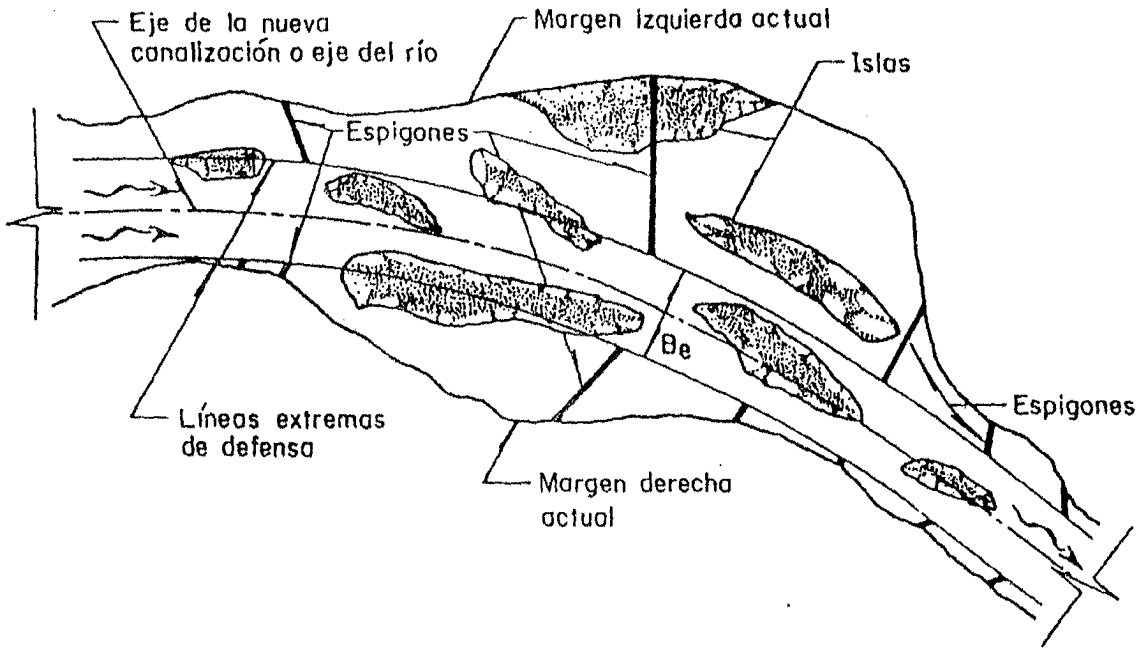


Fig 1 Esquema sobre las corrientes que se presentan en las curvas de los ríos

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Fig 3 Trazo del eje del río y líneas extremas de defensa en una rectificación

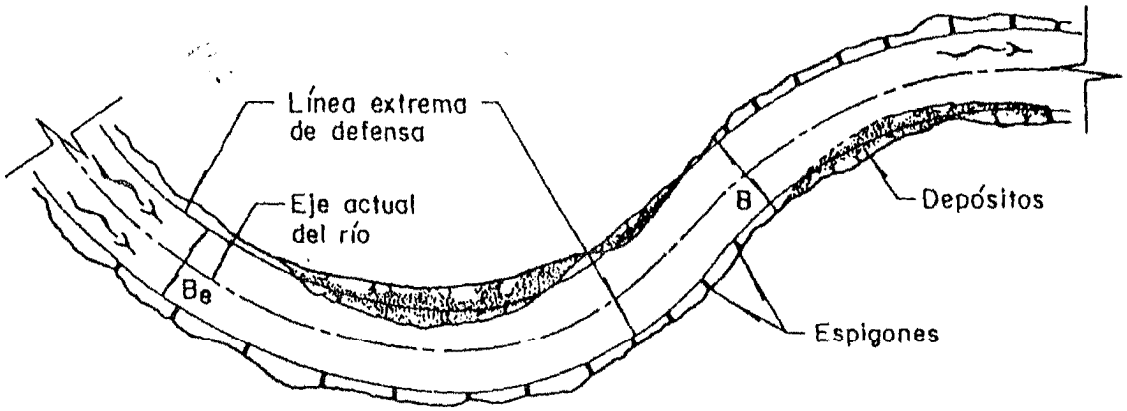
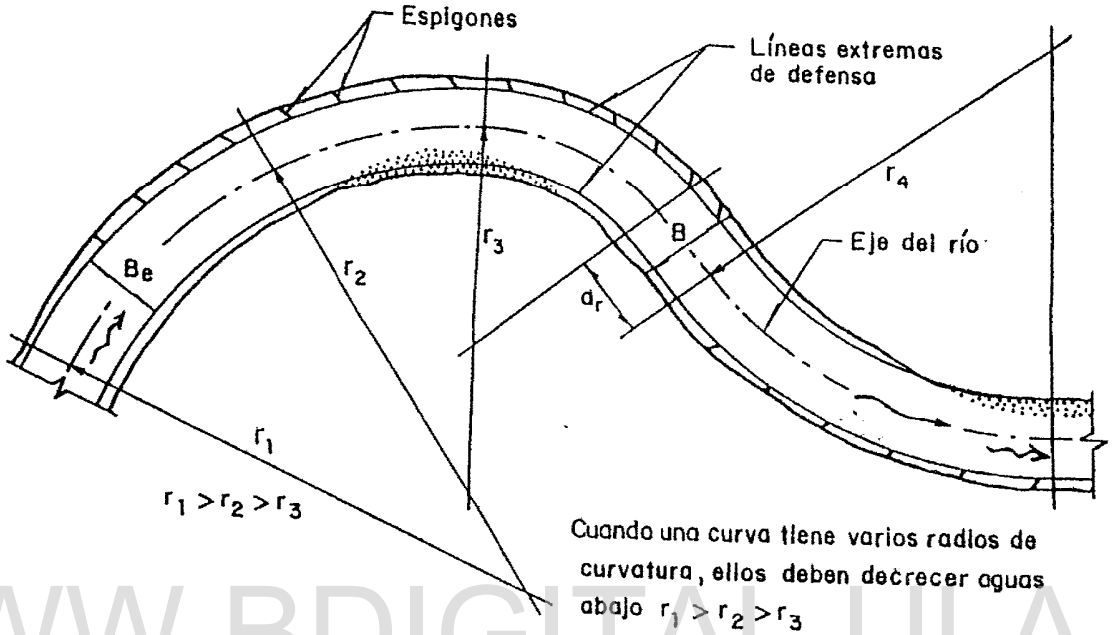


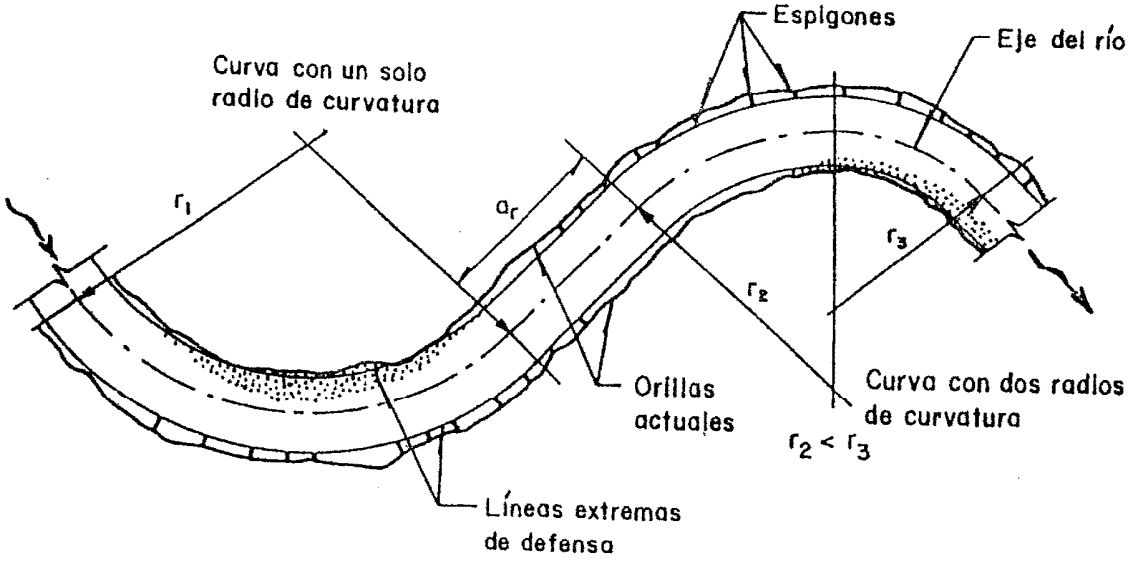
Fig 4 Trazo del eje del río y líneas extremas de defensa para proteger márgenes sensiblemente paralelos al eje del río

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Fig 5 Trazo del eje del río



Licencia Creative Commons:

Fig 6 Eje del río y radios de curvatura

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

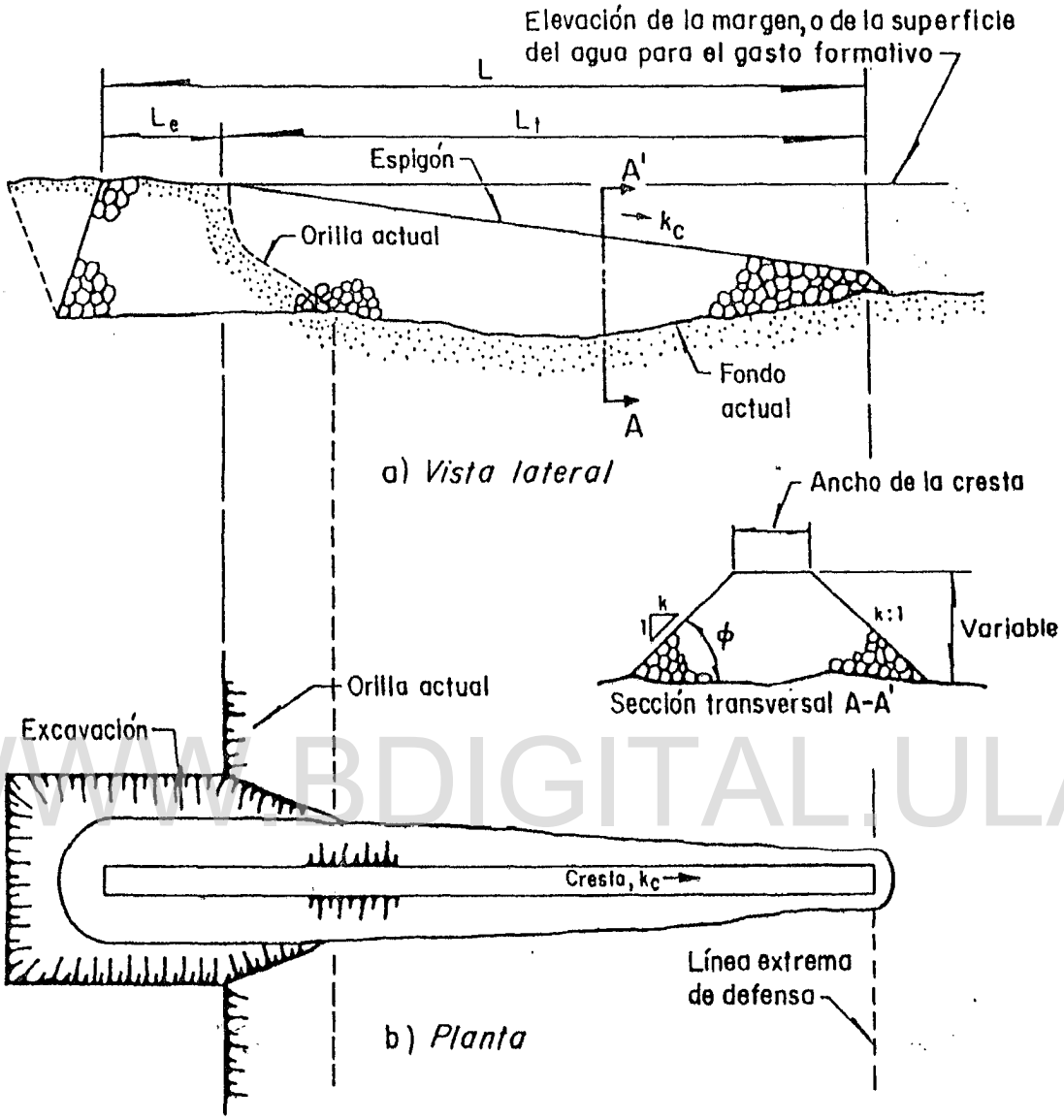


Fig 7 Espigón empotrado

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

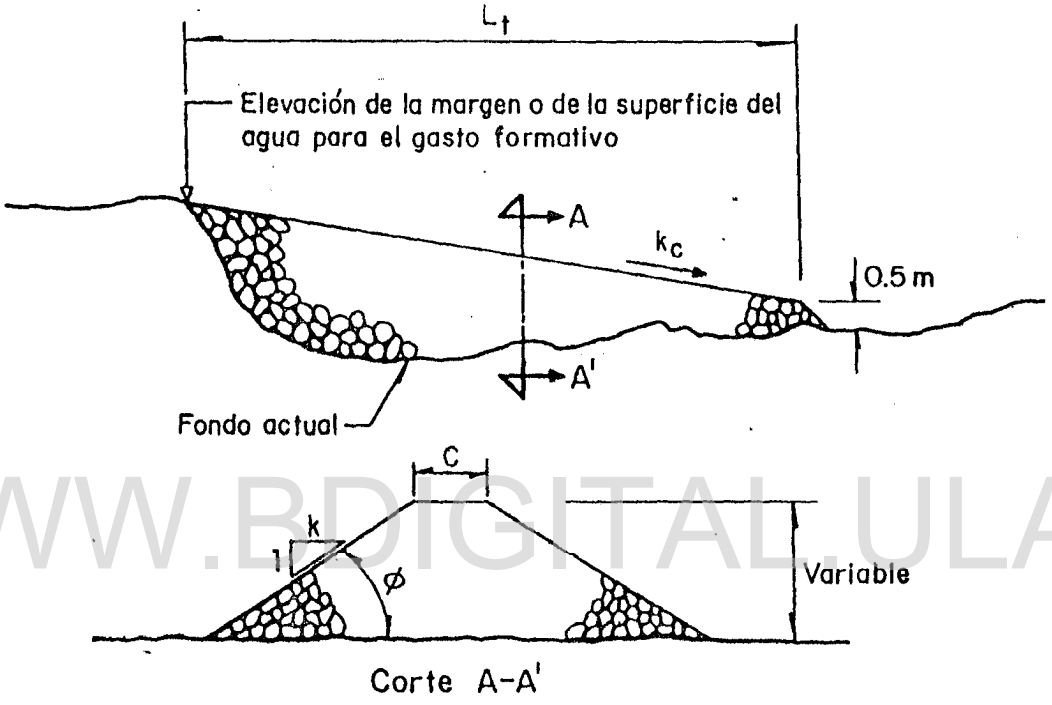


Fig 8 Espigón apoyado en la margen y en un río sin escurrimiento en estiaje

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

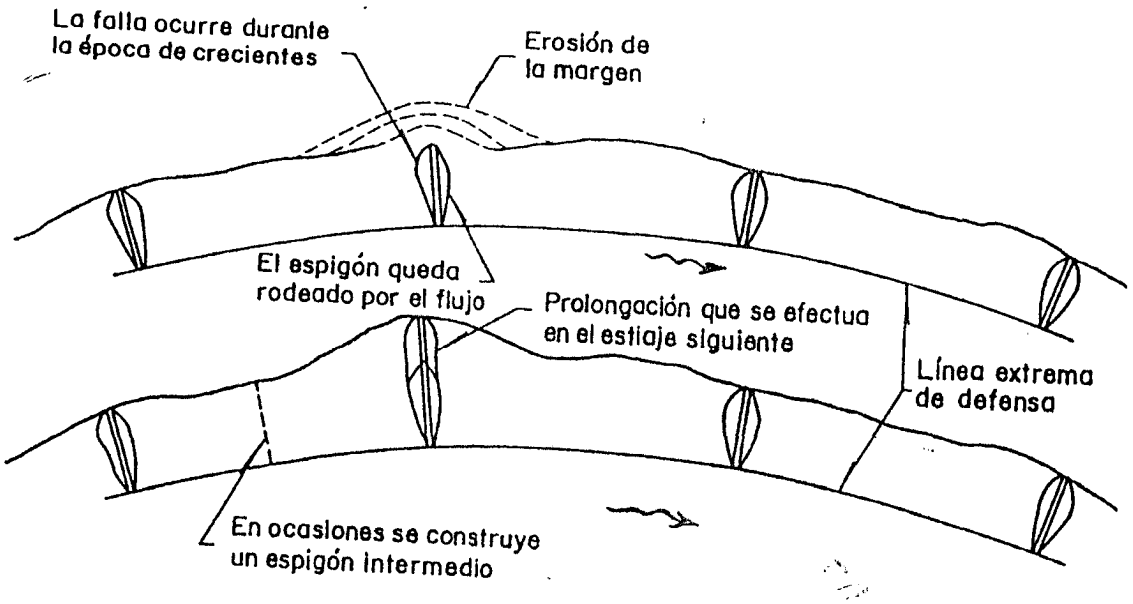


Fig 9 Falla de un espigón

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

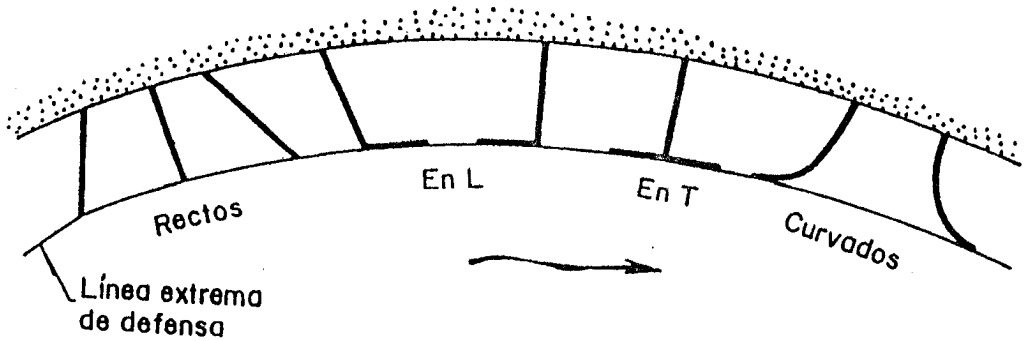


Fig 10 Forma en planta de los espigones

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

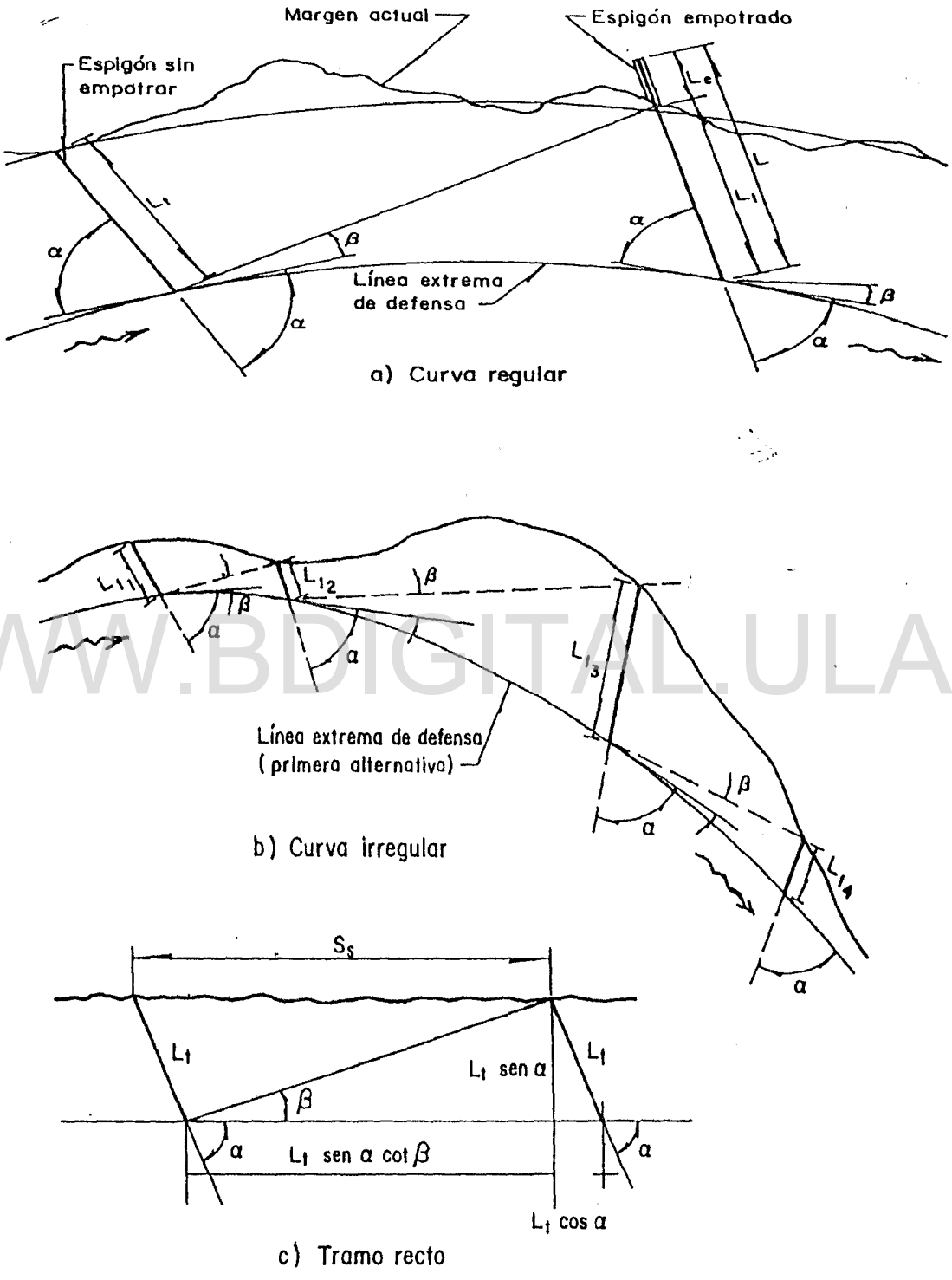


Fig 11 Método para obtener el espaciamiento entre espigones

WWW.BDIGITAL.ULA.VE
Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

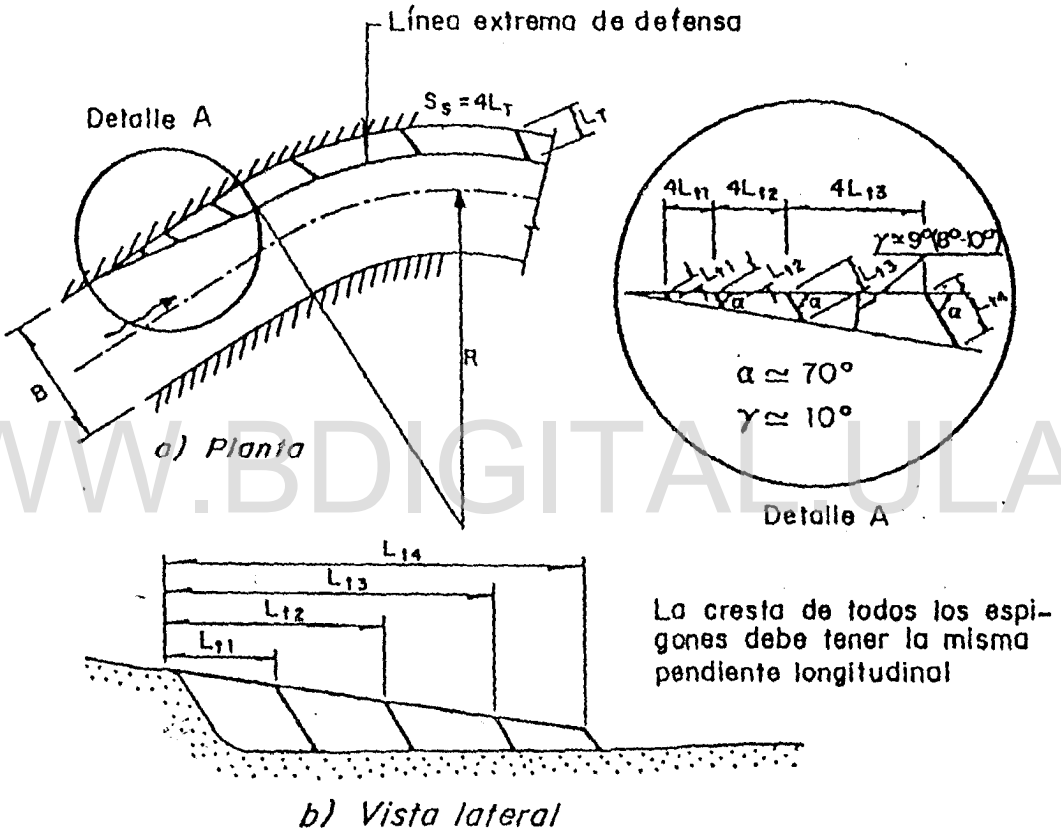
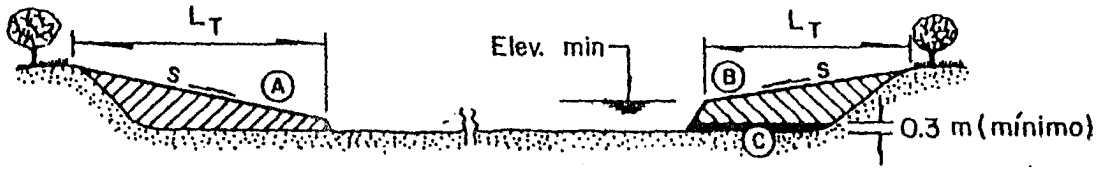


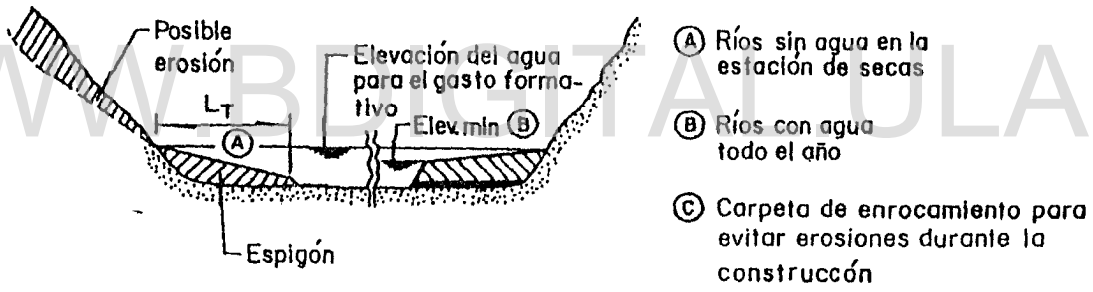
Fig 12 Diseño de los primeros espigones en una obra de protección

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



a) Construcción de espigones en zona de planicie



b) Construcción de espigones cuando las márgenes son altas

Fig 13 Construcción de espigones en función de la altura de las márgenes

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

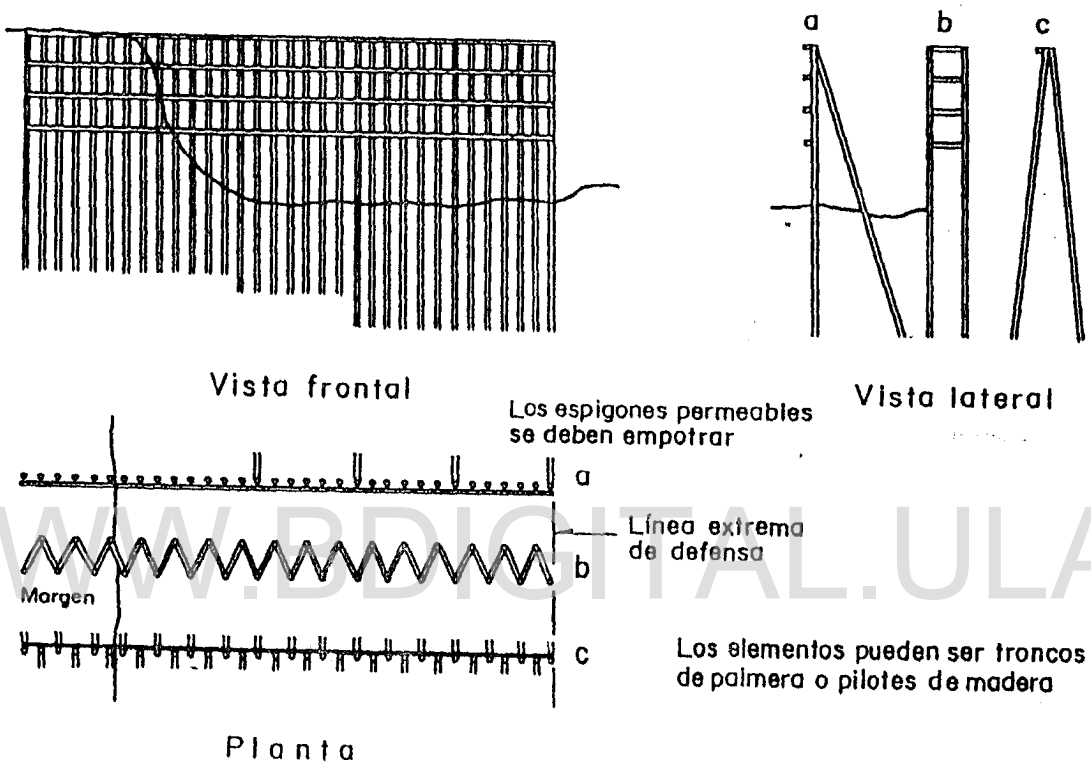


Fig 14 Esquemas de espigones permeables

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

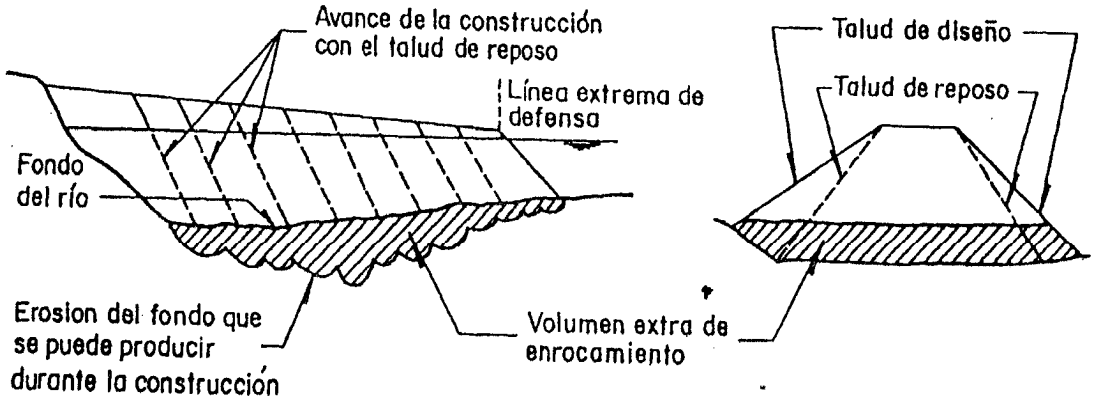


Fig 15 Erosión del fondo durante la construcción

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

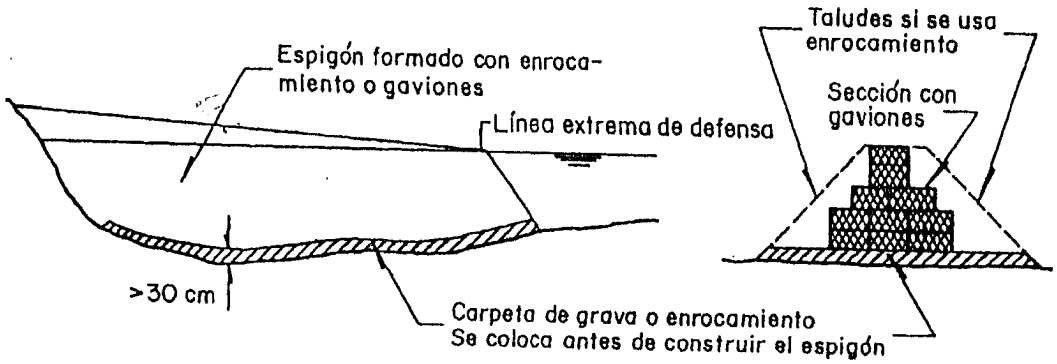


Fig 16 Forma de evitar la erosión durante la construcción

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



Foto 1 Bloque Dolosse, situado en el río Chama Mérida Edo Mérida(en funcionamiento).

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

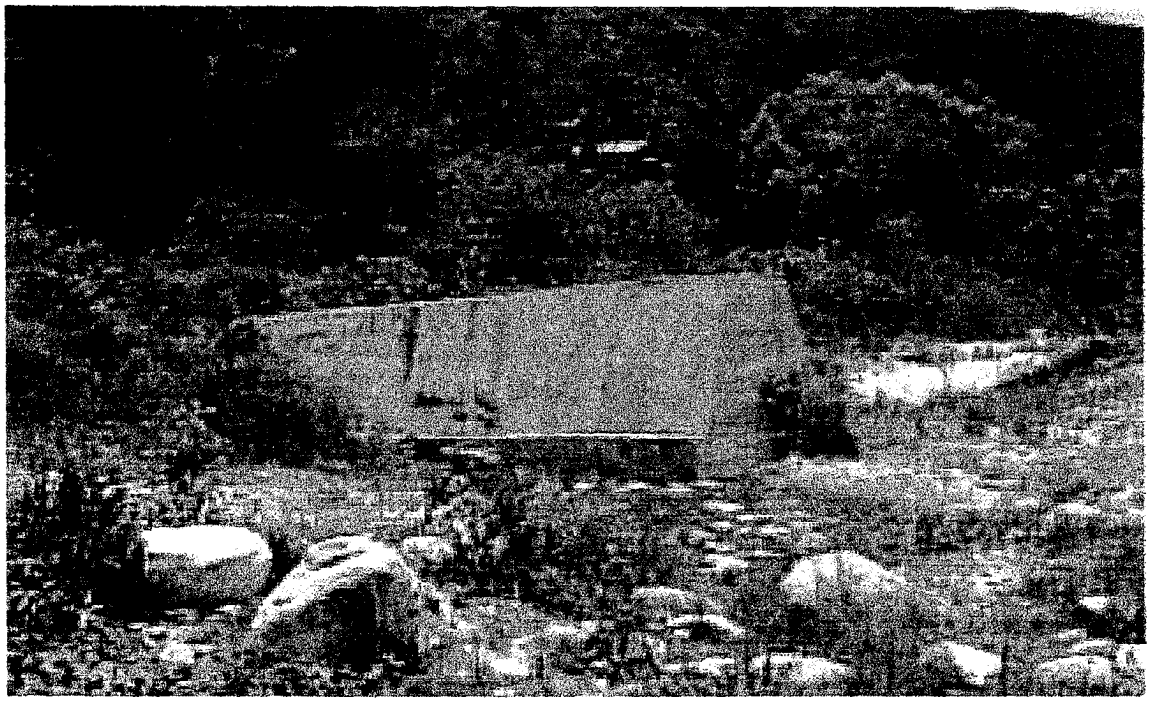


Foto 2 Espigón de concreto ciclópeo, ubicado en la margen del río Chama, sector Valle Hermoso (no en funcionamiento)Mérida Edo Mérida Venezuela.

Licencia Creative Commons.
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

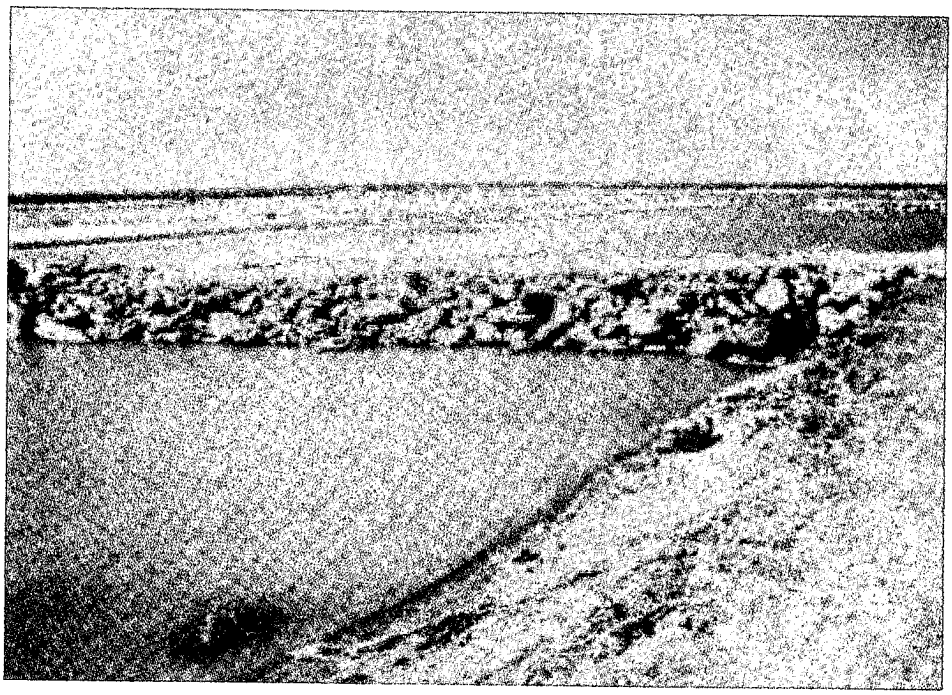


Foto 3 Espigones de enrocamiento con carrocerías de automóvil en su extremo. La zona fue protegida de emergencia. Se aprecia el corrimiento que esta sufriendo el río y la isla que se empieza a formar, por lo que los espigones ya no están en contacto con el flujo.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

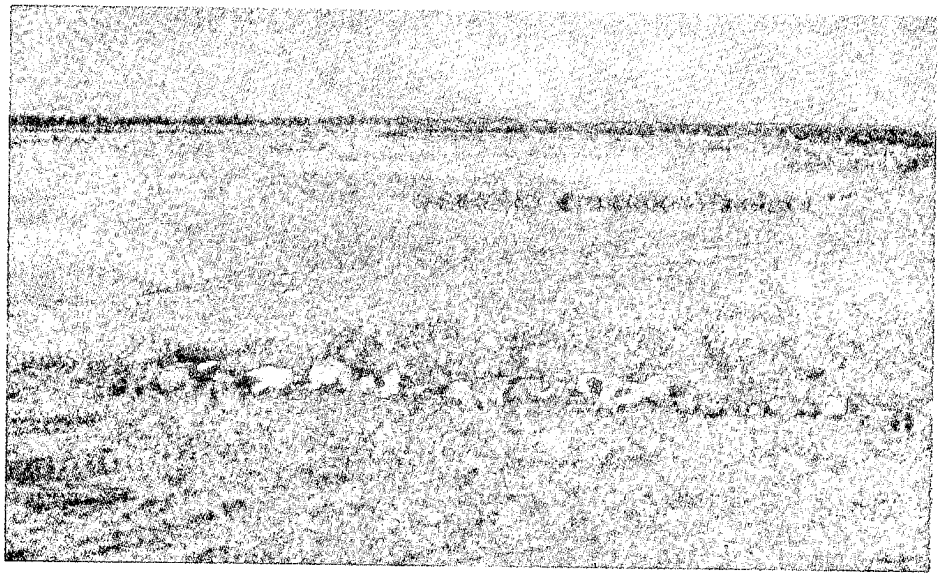


Foto 4 Espigones empotrados. Se aprecia la trinchera que fue excavada y posteriormente rellenada con enrocamiento

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



Foto 5 Espigón fallado. La foto fue tomada desde la orilla erosionada y muestra la condición que existía al final de la época de avenidas. Se aprecia el deposito de arena aguas abajo del espigón. Aprovechando el estiaje se unió el espigón nuevamente a la margen.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

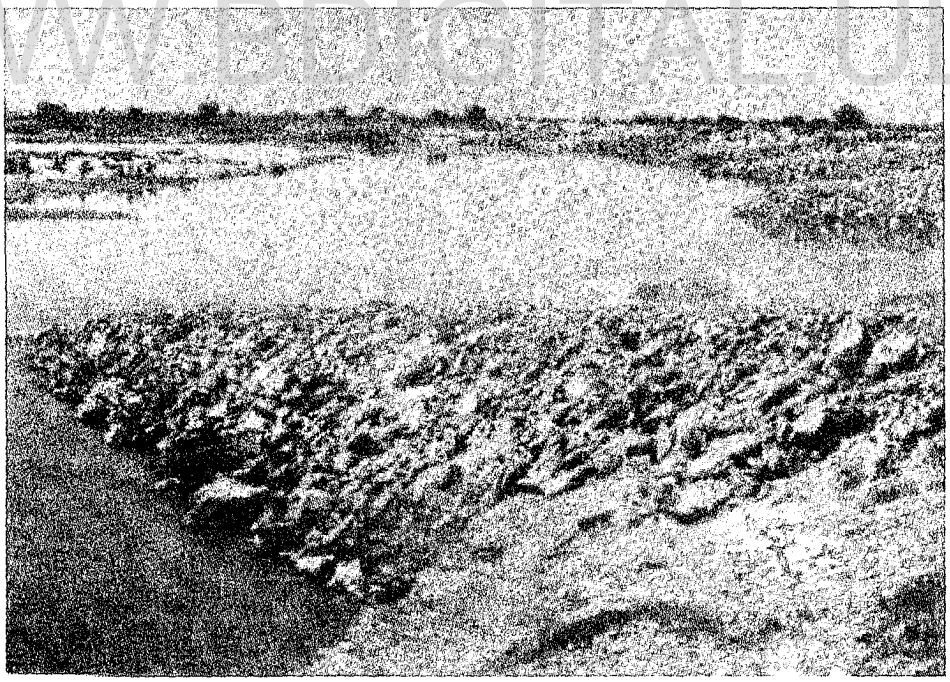


Foto 6 El espigón muestra la erosión en el extremo y el deposito de arena que se han formado en la orilla interior de la curva.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

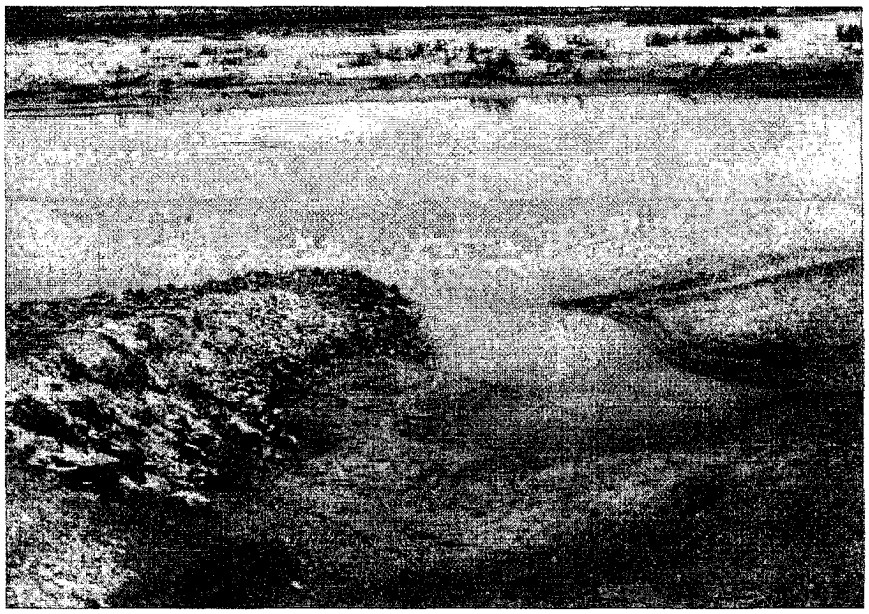


Foto 7 Detalle de uno de los espigones de la foto 6. Se aprecia la forma del deposito de arena aguas abajo del espigón. En el depósito que se ha formado en el intradós de la curva empieza a crecer vegetación

WWW.BDIGITAL.UCLA.VE

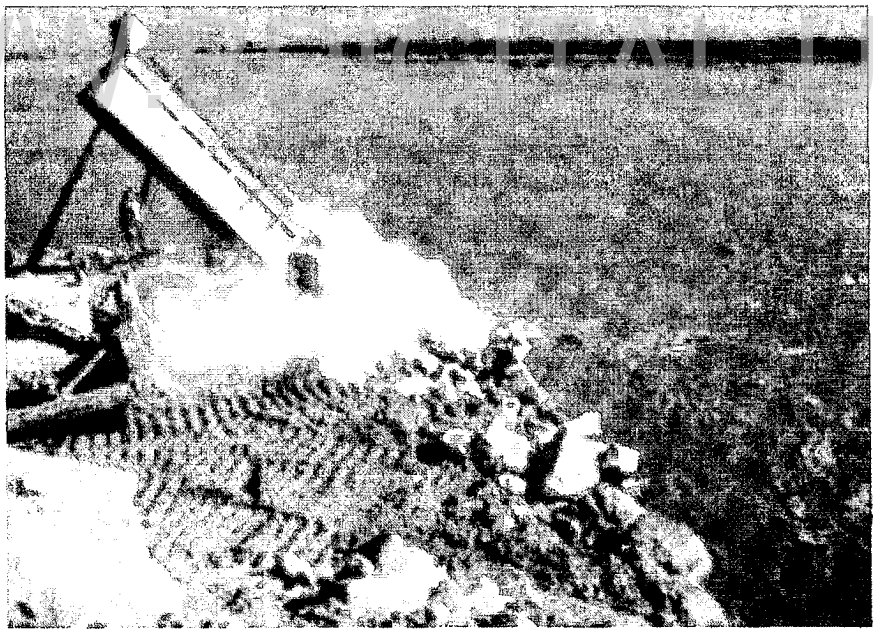


Foto 8 Construcción de emergencia de un espigón. Nótese la turbulencia de la corriente. Se utilizaron volúmenes adicionales de enrocamiento, ya que avanzaba la construcción se producía erosión del fondo en el extremo del espigón y esa depresión tenia que ser rellenada al continuar la prolongación del espigón

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

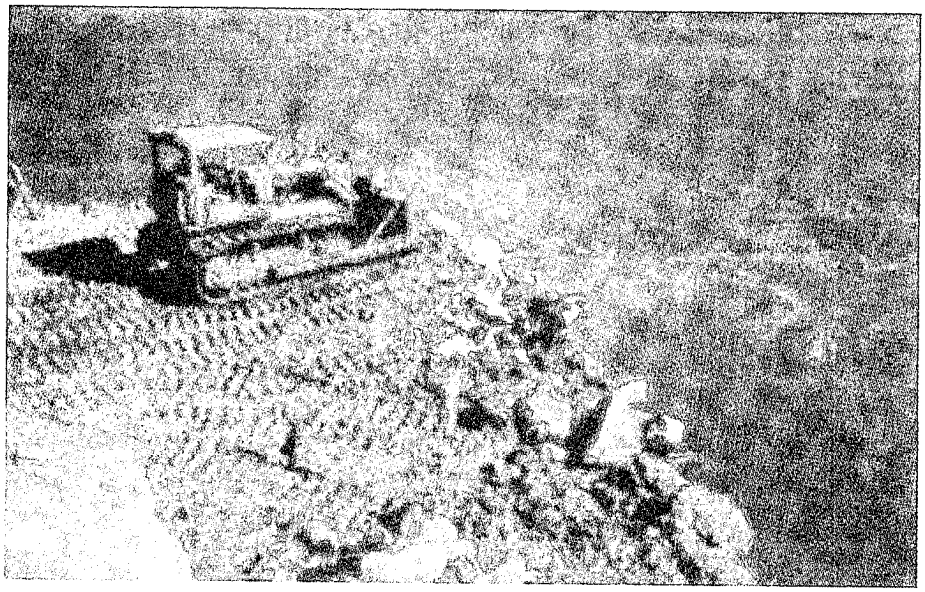


Foto 9 Otra etapa de construcción del espigón de la foto 8. El tractor empuja las rocas hacia el extremo del espigón

WWW.BDIGITAL.UBA.VE



Foto 10 Margen bajo proceso erosivo. Una parte de la orilla se ha deslizado dentro de la corriente. El material es arcillo-arenoso. Al fondo s aprecian otras etapas del mismo proceso.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

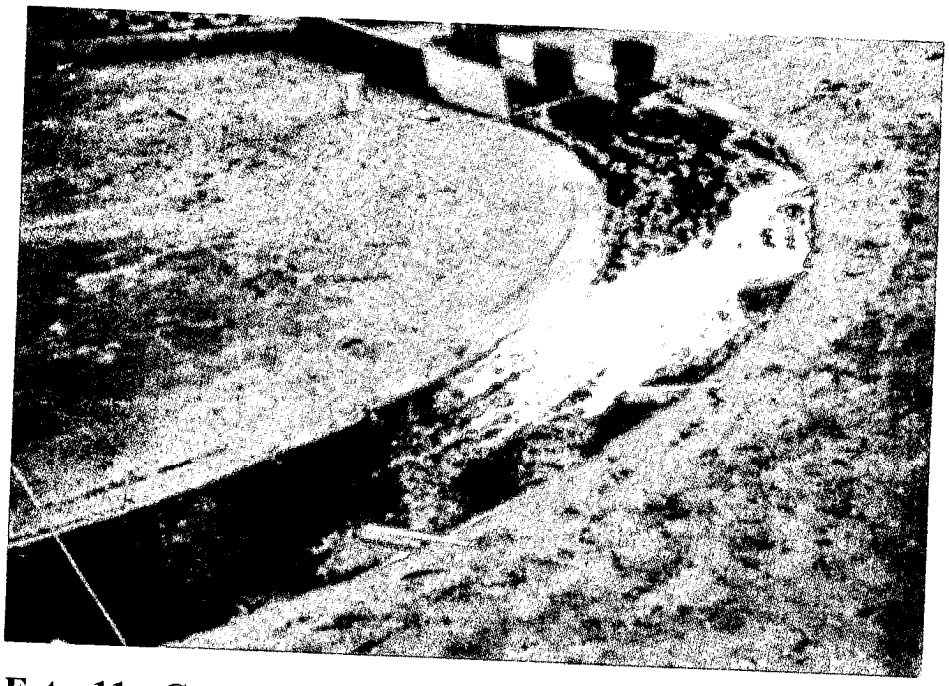


Foto 11 Comportamiento de espigones orientados hacia aguas abajo.



Foto 12 Espigones perpendiculares al eje del cauce.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

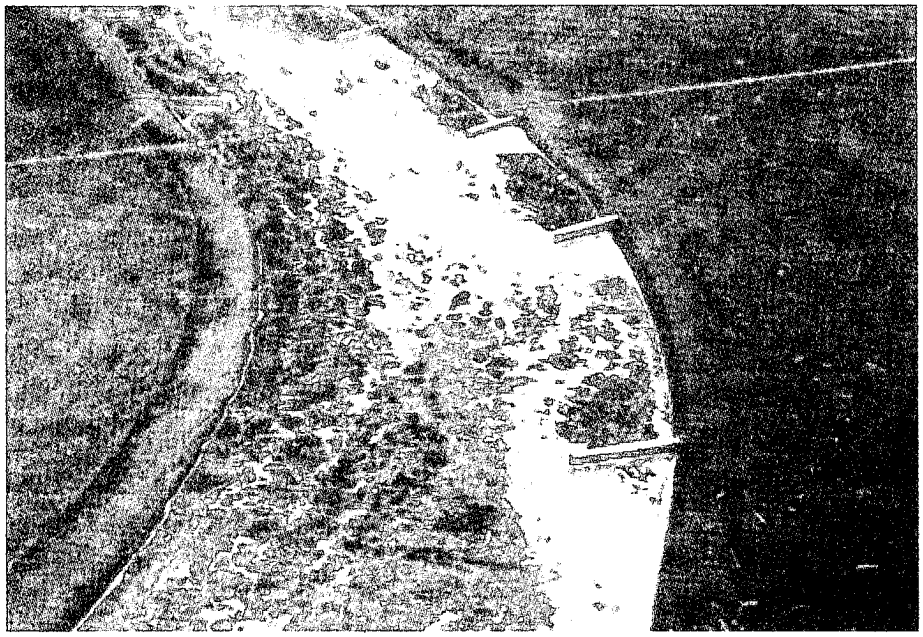


Foto 13 Espigones orientados hacia aguas arriba. En las fotos 11, 12, y 13 los espigones tenían cresta horizontal.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

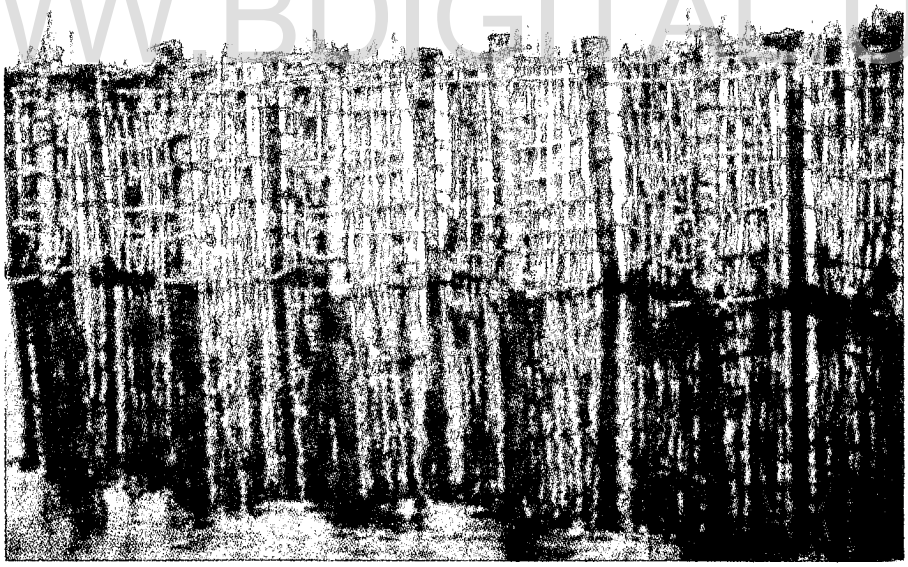


Foto 14 Espigón permeable construido con troncos de palmera y ramas. Estos espigones son fácilmente destruidos por los troncos que arrastra la corriente.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

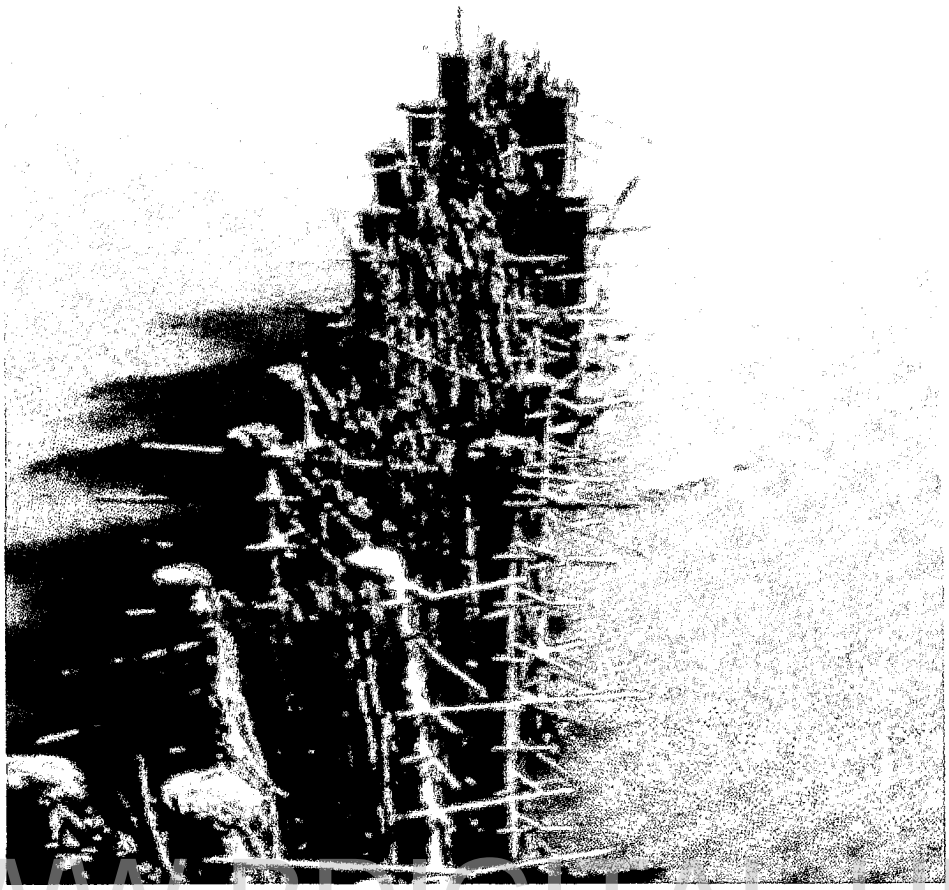


Foto 15 Vista desde arriba del espigón de la foto 14.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

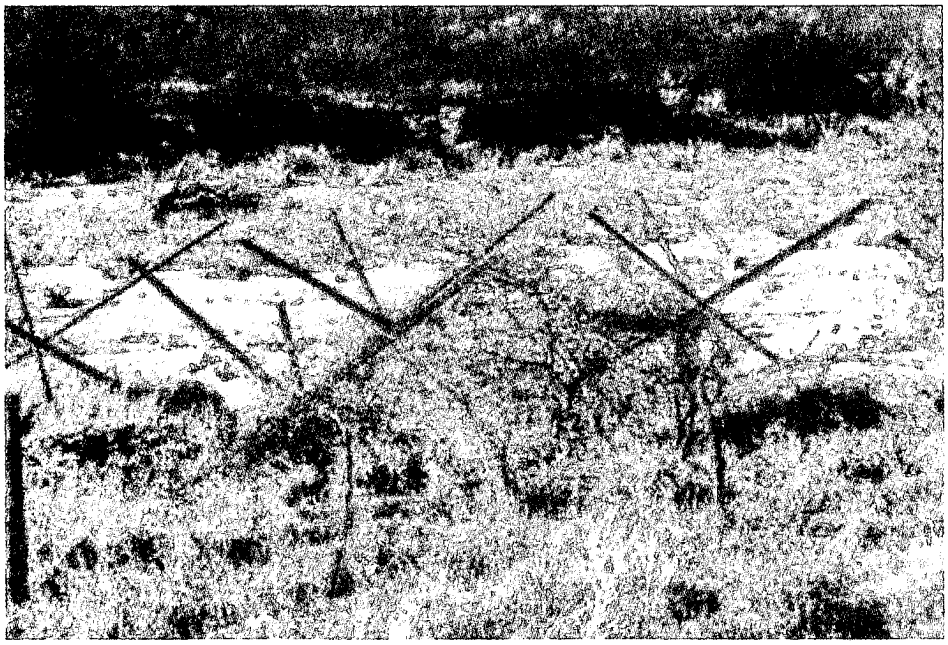


Foto 16 Recubrimiento permeable construido con Jacks.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



Foto 17 Recubrimiento permeable construido con pilotes de madera y tablones. Aun no hay vegetación y basura detenida en el espigón.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE



Foto 18 Espigón construido con tubos de acero hincados, incluyendo los elementos tubulares de arriostramiento, los perfiles longitudinales y la malla electrosoldada

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

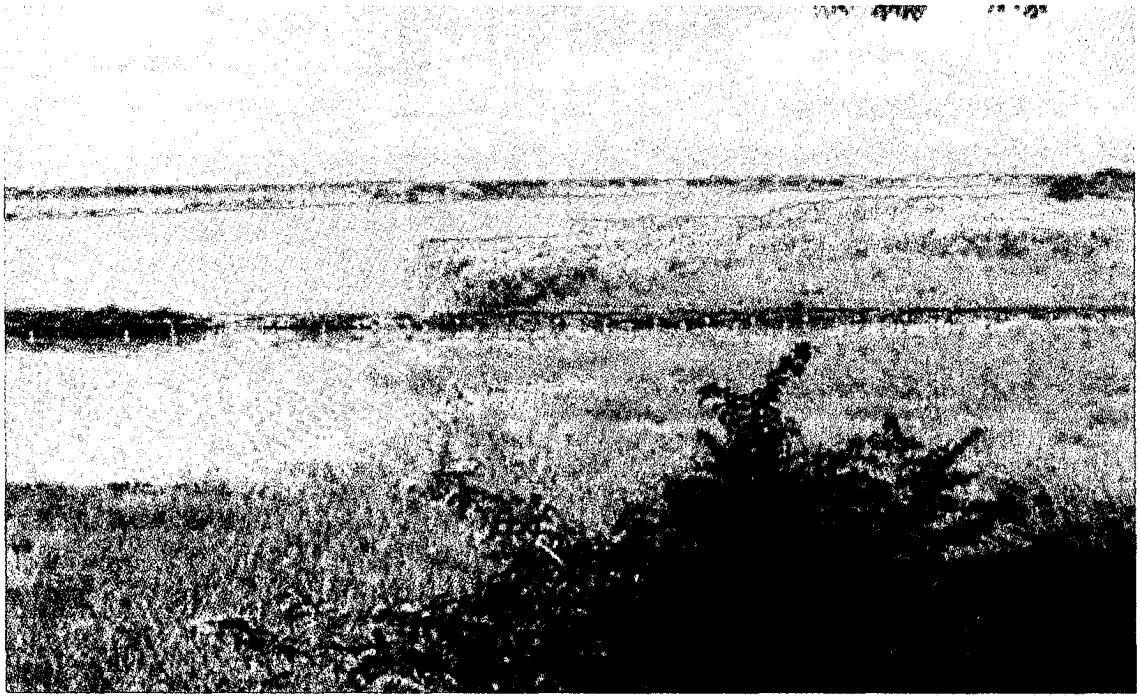


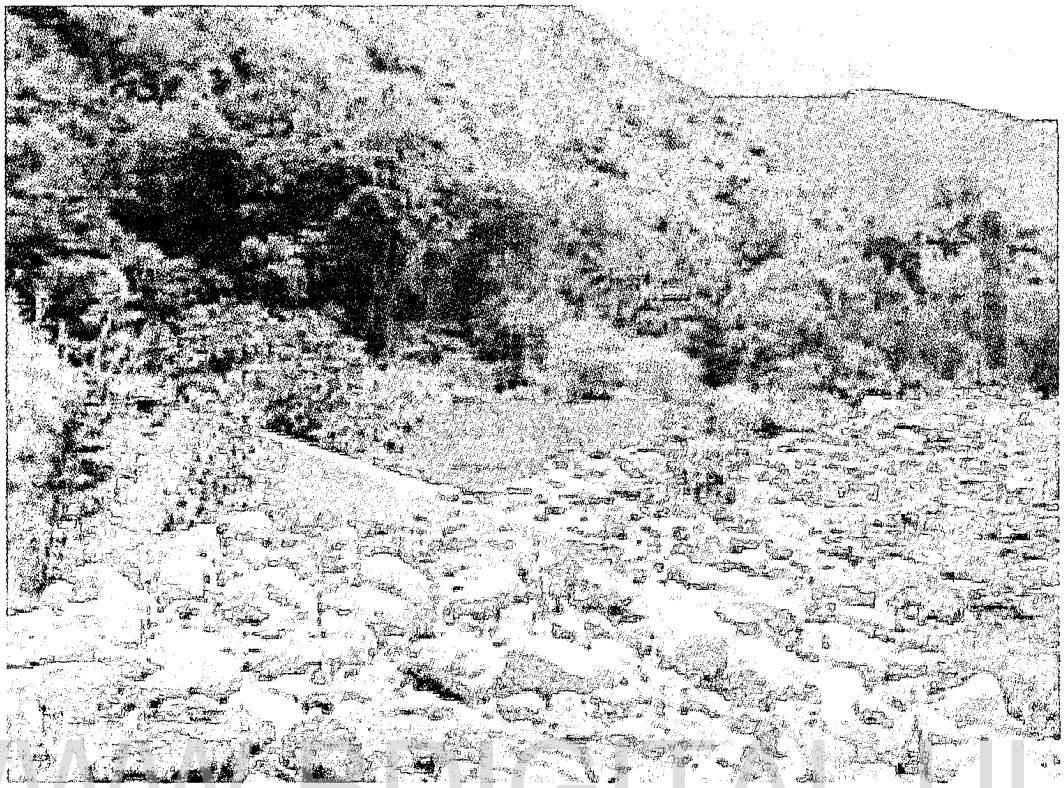
Foto 19 Espigón perpendicular a la margen del río Apure Venezuela

WWW.BDIGITAL.ULA.VE



Foto 20 Espigón de concreto ciclópeo situado en el río Chama sector Valle Hermoso del Edo Mérida Venezuela

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Foto 21 Espigón de concreto ciclópeo fallado. Se observa que posteriormente fue construido un recubrimiento marginal con enrocamiento. Esta obra fue protegida por la vegetación que creció en las orillas y entre el enrocamiento, río Chama Edo Mérida.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)