

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

DIVISION DE PRODUCCION

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

**CONSIDERACIONES SOBRE EL MANEJO DE CUENCAS
TORRENCIALES Y LA CORRECCION DE TORRENTES**

Guillermo Mejía Jaramillo

Santafé de Bogotá, abril de 1992

CONSIDERACIONES SOBRE EL MANEJO DE CUENCAS TORRENCIALES Y LA CORRECCION DE TORRENTES

INTRODUCCION

Con mucha frecuencia dentro de una cuenca se presentan microcuencas con altas pendientes tanto en las vertientes como en los cauces, donde el escurrimiento se concentra formando avalanchas, en las cuales el caudal líquido arrastra una gran cantidad de sedimentos producidos por procesos erosivos tanto en las vertientes como en los cauces dando origen a la formación de torrentes. //

Este fenómeno que puede producir daños considerables en una región, requiere un manejo integral que incluye tanto acciones en la cuenca como en el cauce. Estas acciones muchas veces requieren inversiones muy cotosas y producen beneficios muy difíciles de cuantificar y a muy largo plazo. Este exige una elaboración muy cuidadosa de los proyectos que requieren una gran comprensión del fenómeno.

En este capítulo se analiza el fenómeno torrencial y se plantean las posibles soluciones haciendo la salvedad de que en muchos casos se requieren obras de ingeniería cuyo diseño puede necesitar de personal especializado.

DEFINICIONES

Un torrente se puede definir de acuerdo con sus características; como una corriente natural de agua con una cuenca de recepción relativamente pequeña y altas pendientes tanto en las vertientes como en el cauce, con periodos de concentración muy bajos, que originan crecientes subitas muy elevadas que pueden arrastrar a su vez grandes cantidades de material sólido proveniente de procesos erosivos. Produciendo el riesgo de desastre considerables aguas abajo. //

La cuenca de recepción. Es la región más alta del torrente; de ella proviene la casi totalidad del caudal líquido y una gran parte de los materiales de arrastre. Frecuentemente tiene la forma de embudo, conformado por laderas muy pendientes, lo cual produce una concentración muy rápida de la escorrentía. Dada su importancia se considera por separado del torrente (corriente de agua) para efectos de su manejo.

Las cuencas de recepción pueden clasificarse en:

Tipo 1. En ellas la forma de embudo es poco aparente y consiste en una formación litica o de baja meteorización roca, muchas veces casi cortada a pica, cuya altura puede ser de centenares de metros; su superficie, descompuesta por los agentes atmosféricos, esta cortada por numerosos barrancos. La escorrentía se concentra muy rápidamente, arrastra grandes cantidades de material por la erosión que se presenta. Estas cuencas aunque pequeñas pueden originar torrentes muy peligrosos.

Tipo 2. Corresponden a cuencas en las cuales la forma de embudo está claramente definida, con terrenos fácilmente delesnables que cuando están desprotegidos, producen grandes cantidades de material de arrastre.

Tipo 3. Formados por rocas altas desnudas, en cuya base se encuentra el embudo característico del TIPO 2. Las aguas se concentran en tiempos muy cortos con caudales sólidos considerables, originando torrentes extremadamente dañinos.

Tipo 4. Conformado por varias cuencas de los tipos anteriores, pueden abarcar grandes extensiones y originan grandes torrentes.

Garganta: Corresponde al canal de drenaje, generalmente encañonado, con pendientes altas e irregulares originan flujos de líquidos y sólidos con grandes velocidades y gran poder erosivo que socava las orillas y taludes, desestabilizan la ladera y originan derrumbes que pueden formar represas muy peligrosas. Los procesos preponderantes son la erosión y arrastre de sólidos. (1

Lecho de Deyección: A la terminación de la garganta, cuando el torrente desemboca en la llanura empieza el lecho de deyección, en el agua corre por un lecho irregular formado por el depósito de los arrastres. Es la zona donde se presentan los mayores daños económicos producidos por el torrente.

Canal de desagüe: Corresponde a la parte en la cual las aguas libres de acarreo marchan tranquilas hasta el río.

DAÑOS CAUSADOS POR LOS TORRENTES:

- Pérdida de vidas humanas
- Deterioro o destrucción de obras civiles (puentes, carreteras, canales, represas, centrales hidroeléctricas, acueductos, etc.).
- Deterioro o destrucción de la propiedad (lotes de fincas, viviendas).
- Interrupción y destrucción de vías
- Inundación y colmatación de cultivos (avalanchas)
- Colmatación de embalses, canales
- Elevación de los lechos de los ríos

OBJETIVOS EN EL MANEJO DE CUENCAS TORRENCIALES Y CORRECCION DE TORRENTES.

Se pueden plantear:

- Reducir la cantidad de agua de escorrentía incrementando la evapotranspiración y la capacidad de infiltración mediante manejo de la vegetación en la cuenca, siempre y cuando no haya problemas activos de remoción en masa, los cuales deben estabilizarse previamente.
- Incrementar la retención temporal del agua en la superficie y el subsuelo, manejando la cobertura vegetal o la construcción de pequeños embalses cuando la topografía y el suelo lo permiten.
- Retardar la escorrentía ya sea por la reducción de la pendiente de las vertientes y del cauce y el incremento de la rugosidad en la cuenca mediante vegetación multiestrata y en el cauce.
- Facilitar el desagüe ampliando el perfil transversal del cauce o mediante la construcción de canales de desagüe.
- Desviar el agua de la zona amenazada construyendo muros y vertederos laterales.
- Reducir la producción de material sólido mediante el control de la erosión.

- Retener el material sólido con diques de retención.
- Reducir la capacidad de arrastre del agua disminuyendo su velocidad.

Obras a ejecutar: En el Cuadro 1 se indican las principales acciones para el manejo de una cuenca torrencial.

CUADRO 1. ACCIONES CORRECTIVAS EN UNA CUENCA TORRENCIAL

AREA GEOGRAFICA AFECTADAS	PROGRAMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR	ACCIONES DESTINADAS A COMBATIRLAS	
		CLASIFICACION	DESCRIPCION
CUENCA RECEPTORA	EROSION LAMINAR Y POR SURCOS	BIOLOGICAS Y OBRAS MECANICAS.	REFORESTACION MEJORA DE LAS COBERTURAS VEGETALES.
	EROSION EN CARCAVAS Y REMONTANTES. REMOCIONES EN MASA		MULTIESTRATOS, BARRERAS VIVIAS, EMPALIZADAS.
	PROBLEMAS EN LA INFILTRACION Y EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGUA EN EL SUELO.	BIOLOGICAS Y MECANICAS.	
	AVENIDAS ORIGINADAS POR LOS AGUACEROS TORRENCIALES.	PRACTICAS MECANICAS PEQUEÑAS OBRAS HIDRAULICAS.	TERRAZAS PALIZADAS DRENAJES ALBARRADAS TRINCHOS PALIZADAS FAJINAS
CAUCES DE DRENAJE (TORRENTES Y RIOS TORRENCIALES).	PERFILES NO EQUILIBRADOS EN LOS TORRENTES.	OBRAS TRANSVERSALES	DIQUES DE CONSOLIDACION DIQUES DE RETENIDA TOTAL O SELECTIVA.
	LECHOS NO CONSOLIDADOS, POR TANTO INESTABLES.		
	LADERAS INESTABLES	OBRAS LONGITUDINALES	ESPIGONES MUROS DE DEFENSA DE MARGENES (MALECONES ESCOLLERAS).
	IMPORTANTE TRANSPORTE DE MATERIALES (SEDIMENTOS Y ACARREOS) QUE AMENAZAN CON COLMATAR OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y EMBALSES.	OBRAS MIXTAS	UMBRALES DE FONDO PERFILES ESCALONADOS CON TRAMOS EROSIONABLES.
	MARGENES INESTABLES CON CAUCES DIVAGANTES E INUNDACIONES POR AVENIDAS.	BIOLOGICAS	CUBIERTAS VEGETALES A LO LARGO DE LOS MARGENES DE LOS CAUCES.

Estas acciones se analizarán mas en detalle a continuación:

RECUERDE: El manejo de una cuenca torrencial implica acciones tanto en la ladera como en el cauce. Siempre es mejor prevenir que lamentar. Si suprimimos la erosión en la cuenca de recepción y en la garganta, todos los daños causados por el torrente quedarán fácilmente eliminados.

Acciones en la cuenca receptora:

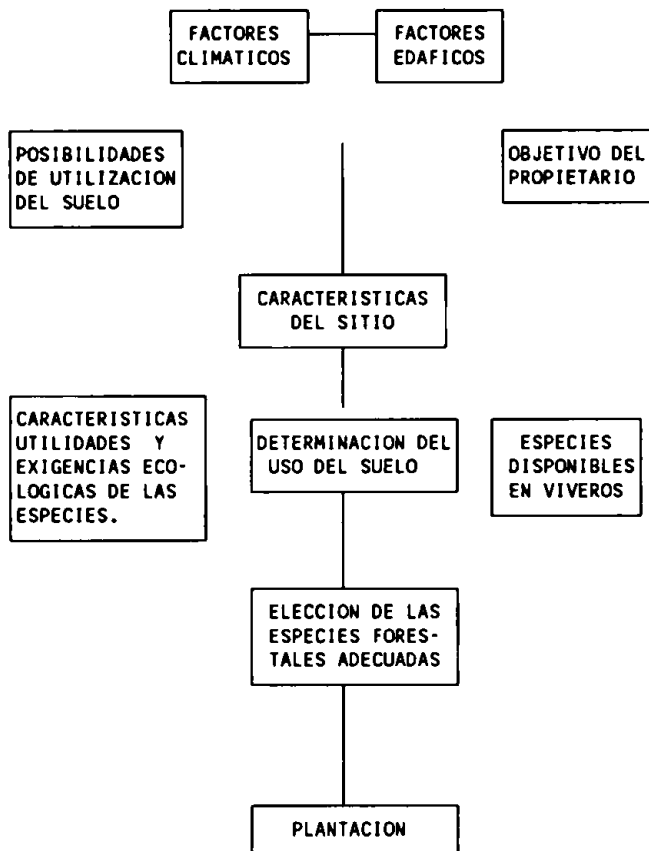
Reforestación: García Najera afirma "La vegetación abarca el bosque propiamente dicho, es la mas eficaz protección del suelo, ya que ésta afecta a toda la considerable profundidad a que alcanzan las raíces de los árboles"... "Además, a la protección debida a los árboles suele sumarse la de las hierbas y matorral que pueden crecer bajo aquellos; y cuando se trata de especies que no permiten el desarrollo de un subpiso, ello es debido a la abundancia de raíces ya que estas especies forman una cubierta muy tupida y espesa factores ambos que ofrecen una protección eficacísima.

Por otra parte, la capa muerta formada por las hojas caídas, ramillas, etc., es muy abundante y da lugar a una absorción grande, aumentada por la acción de esponjamiento del terreno, que se extiende a la profundidad a que llegan las raíces".

"La acción de los arbustos es importantísima. En efecto de ninguna manera tratándose de arboles, puede establecerse la hipótesis de la que distancia entre plantas tiende a cero; pero si se trata de arbustos, sí. Generalmente el frenado de la escorrentía superficial se deberá más a estos que a los arboles; lo que ocurre es que, salvo en laderas de poca pendiente, la vegetación arbórea es necesaria y la protección completa del suelo la suministra la combinación adecuada de arboles y arbustos dando los primeros una protección mas profunda y los segundos una mas superficial y entre ambos franando la escorrentía y modificando favorablemente las condiciones del suelo".

En la Figura 1 se ilustra el proceso de selección de especies forestales apropiadas de acuerdo con CDMB, ACDS.

FIGURA 1



Además vale la pena buscar plantas con las características siguientes:

- Follaje grande y fuerte
- Raíces largas y fuertes
- Crecimiento rápido
- Resistencia contra la sedimentación
- Crecimiento en suelos estériles
- Reproducción simple y económica de semillas y estacas
- Métodos simples de siembra y plantación
- Ciertas características desde el punto de vista de la estética.

OBRAS PARA ESTABLECER EL BOSQUE

Para poder establecer el bosque se requieren obras como Terrazas, bancales, drenajes, albarradas, palizadas, fajinas y barreras vivas.

Las terrazas son terraplenes o banquetas escalonadas, que siguen las curvas de nivel, y se construyen para disminuir la escorrentía superficial e incrementar correlativamente la infiltración, requieren un diseño cuidadoso.

Los bancales son un tipo de terraza angosta e inclinada, los bancales siempre escalonados se adaptan a terrenos pendientes son contruidos generalmente sin diseños.

Drenajes son obras complementarias asociadas con la construcción de terrazas y bancales para la evacuación de la escorrentía superficial.

La construcción de este tipo de estructuras se debe hacer en suelos estables, profundos bien desarrollados, de lo contrario pueden convertirse en un factor desestabilizador adicional.

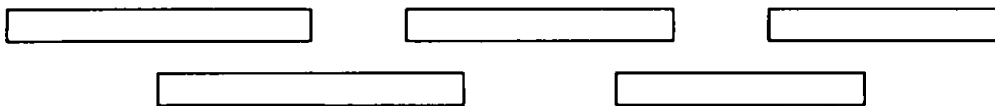
Albarradas, palizadas y fajinas, las palizadas consisten en estacas clavadas en la ladera a distancias de unos 60 cm y de tal modo que la sigan las curvas de nivel. Las estacas sirven de soporte para entretejer barreras de máximo 50 a 60 cm de altura, con ramas flexibles.

Las fajinas son haces en forma de salchichón, formados con ramas largas entrelazadas se colocan soportadas sobre estacas clavadas a distancias de 80 cm aproximadamente.

Las albarradas son pequeños muros de piedra, maximo de 60 cm de altura que se colocan en la misma forma que las palizadas y fajinas en zonas donde hay abundancia de piedra. En su construcción se debe poner especial cuidado en la terminación de la parte superior utilizando pidras grandes.

La disposición de este tipo de estructura debe ser en forma alternada discontínua en forma de tiras de 5 a 7 m, como se indica en la Figura N° 2 y tienen como objetivo producir un escalonamiento de terreno que sirva para establecer la vegetación, factor, éste último que determina su duración que debe ser de 4 a 5 años.

FIGURA 2



Barreras vivas. Son hileras de plantas perennes de crecimiento denso, sembradas siguiendo las curvas de nivel a través de la pendiente. Reducen la velocidad y energía del agua de escorrentía y retienen el suelo arrastrado.

OBRAS EN EL CAUCE

Paralelamente a las acciones de manejo de la cuenca receptora hay que desarrollar una serie de éstas en el cauce que tienen por objeto, aumentar la capacidad de transporte de agua del mismo, disminuir la velocidad de flujo y disipar la energía del agua.

Son tan necesarias como las de conservación de la cuenca porque si no se reduce el poder erosivo del agua en los cauces, estos se profundizan y se pierde la capacidad de soporte de las laderas y se desestabilizan llegando a producir derrumbes de consideración que agravan el fenómeno torrencial.

Se debe tener especial cuidado con estas obras dado su costo, su efecto estabilizador y los esfuerzos a que están sometidas.

A continuación se describen estas obras, indicando su objetivo y funcionamiento sin entrar a detallar su diseño, el cual se insiste debe ser hecho por personal especializado, idóneo y capacitado.

Estas obras se construyen para modificar la pendiente del cauce, mediante la construcción de diferentes tipos de diques transversales, o para proteger las orillas caso en el cual se construyen espigones, se recubren las orillas con colchones de piedras de gran tamaño o se canaliza el cauce.

Diques. Son estructuras transversales a la dirección del flujo del río y tienen por objeto regular los caudales en épocas de crecimientos o promover la sedimentación aguas arriba de tal manera que se formen colchones de sedimentos y un escalonamiento a lo largo del cauce.

La secuencia del diseño de un dique (dimensionamiento preliminar) se ilustra en las figuras 3 y 4.

FIGURA N° 3 DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE UN DIQUE

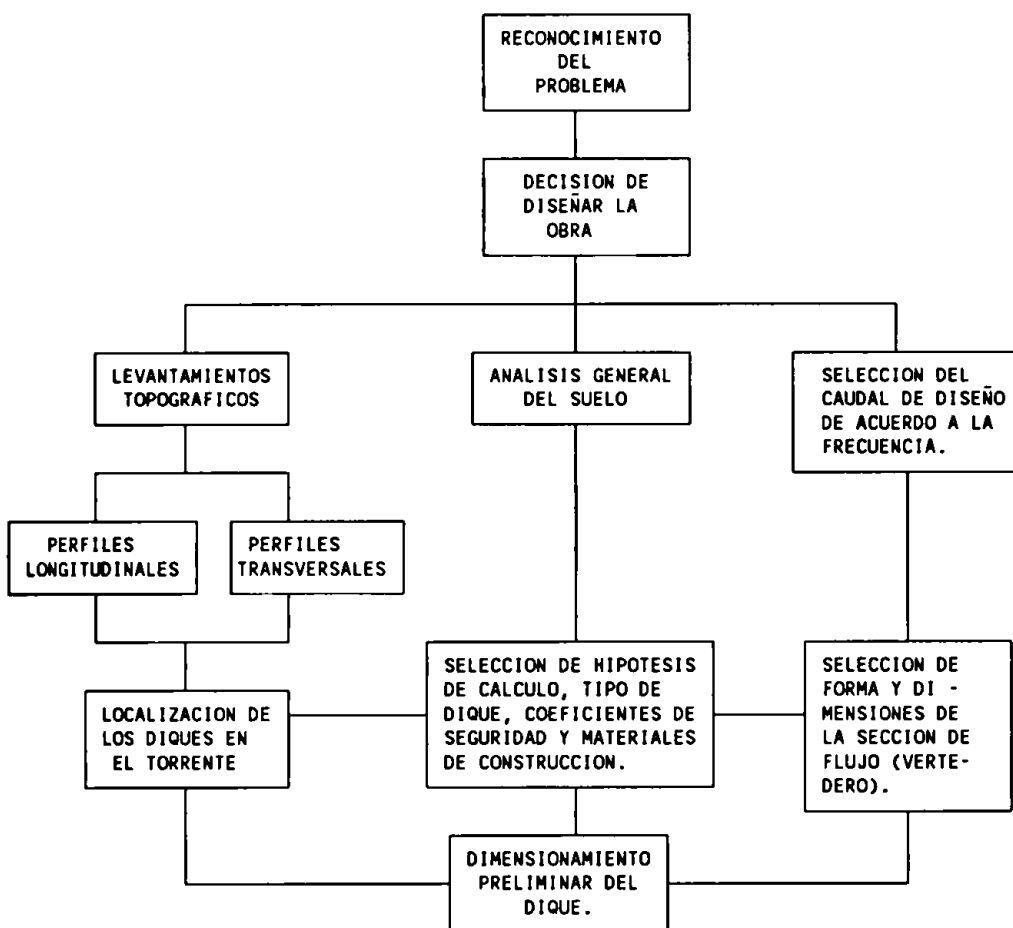
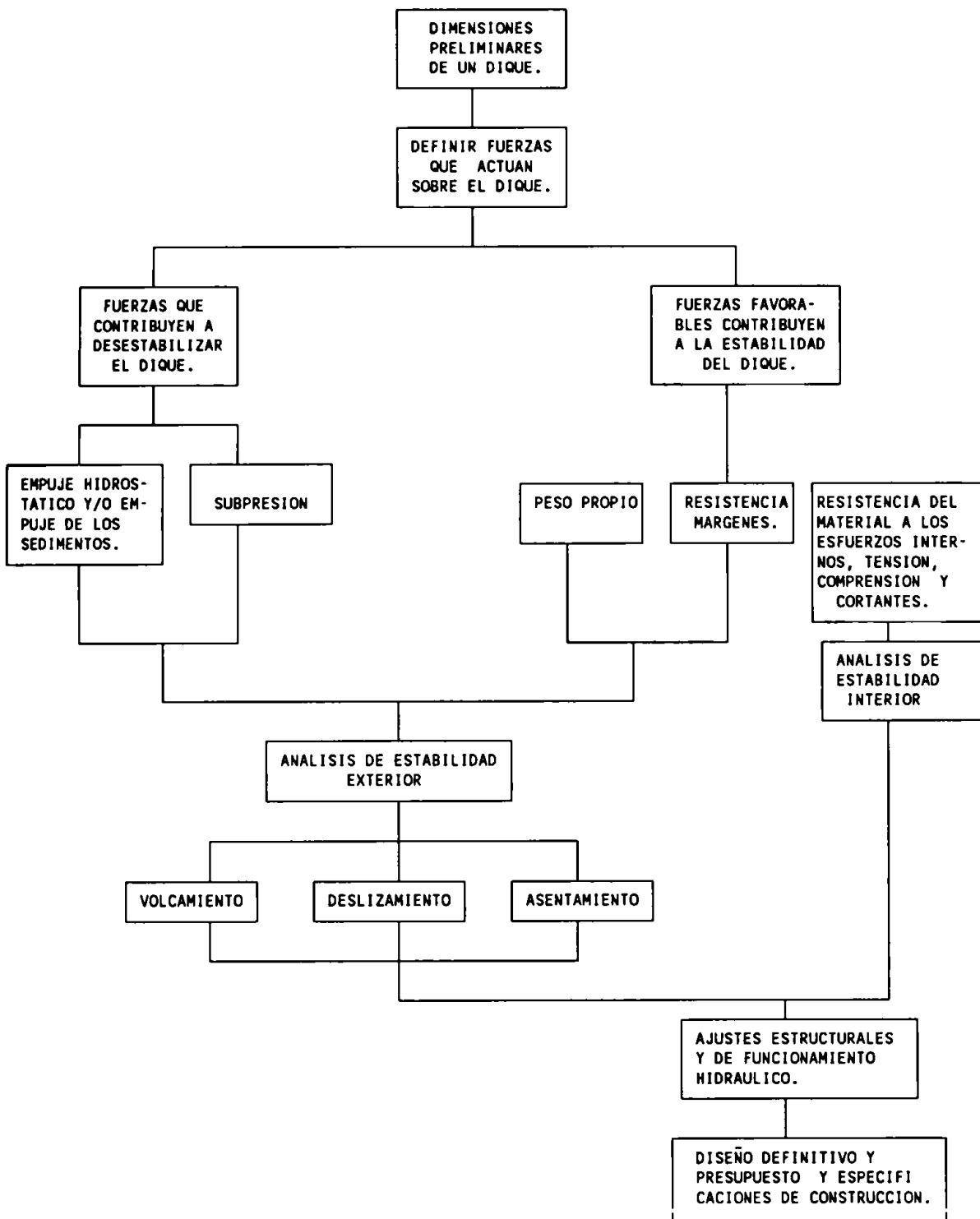


FIGURA N° 4 DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE UN DIQUE



Utilización de Gaviones. La mampostería gavionada ofrece una alternativa práctica y económica especialmente:

- a) Cuando hay dificultades para la cimentación de una estructura rígida.
- b) Cuando hay disponibilidad de materiales adecuados para el relleno de los gaviones.
- c) Dificultad de transporte de otros materiales que no sean los gaviones vacíos y de disponibilidad de mano de obra.

Presentan el inconveniente de que la malla de alambre puede oxidarse o romperse por la acción de los materiales transportados por las aguas. Aunque esta limitación se ha superado con la fabricación de mallas de alambre galvanizado y plastificado, o revistiendo las mallas con una capa de hormigón.

Las principales obras de gaviones empleadas son: presas de vertederos, graderías de disipación de energía y presas permeables. Las primeras pueden ser formadas por una o varias hileras de gaviones según sea el caso y pueden requerir paredes de acercamiento y comportamiento del talud para evitar separación por erosión.

Las segundas son similares a las primeras, con la diferencia de que la corona debe diseñarse para que facilite el flujo de agua por encima de ésta y tienen forma escalonada.

Las presas permeables se construyen con el propósito de disminuir la velocidad de la corriente y crear pequeñas zonas de nivel de agua más profundo así como de proveer pasos peatonales o para ganado se utilizan en cauces de pendientes bajas.

En el diseño de las estructuras gavionadas se debe dar especial consideración no solo a la estabilidad y el volcamiento sino también a los esfuerzos tangenciales que puedan producir el deslizamiento de los gaviones. También se deben prevenir los problemas de socavación mediante la profundización de los cimientos o la construcción de soleras. En el anexo se detalla un poco más el diseño de las estructuras gavionadas.

BIBLIOGRAFIA

CDMB-ACDI. Guía de Reforestación, reproducido por el SENA Regional Santander, Bucaramanga.

HATLINGER H. Corrección de Torrentes II Hidráulica Torrencial y obras de ingeniería Merida (Venezuela), reproducido por el centro de publicaciones de la Universidad del Tolima. Ibagué (Colombia) 1979. 94p.

LOPEZ C.F. Corrección de Torrentes y estabilización de Cauces Roma (Italia). FAO. 1988. 182p.

LOPEZ C.F. Diques para la corrección de cursos torrenciales y métodos de cálculo Madrid (España). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias 1965. 216p.

GARCIA N.JM. Principios de Hidráulica Torrencial su aplicación a la corrección de Torrentes. Madrid (España). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias 1962. 350p.

Santafe de Bogotá, junio de 1992
GMJ/manc

ANEXO 1. OBRAS EN GAVIONES

La mampostería gavionada está constituida en esencia por jaulas de alambre rellenos de piedra. Los gaviones, según su forma, una vez rellenos, pueden ser cilíndricos o prismáticos.

Los gaviones cilíndricos se dedican, principalmente a obras hidráulicas, sumergidas razón por la cual no es posible rellenos en el mismo sitio de emplazamiento, por lo que se arman en un sitio contiguo al lugar que deben ocupar y se les sitúa por rodamiento, por esta razón ofrecen poco interés en las obras de control torrencial. En la construcción de diques se usan principalmente gaviones prismáticos que consisten en paralelepípedos rectangulares formados de malla metálica debidamente galvanizada.

Fuerzas a considerar en el dimensionamiento de diques de mampostería gavionada:

- a) Peso de las piedras. Es determinante en la estabilidad del dique, por lo que se debe utilizar piedra del mayor peso específico posible, colocada en forma tal que el volumen de vacíos se reduzca al mínimo, está dado por la expresión.

$$W = \frac{100 - C}{100} V \gamma_s$$

W = peso de dique kg

V = Volumen del dique m³

γ_s = Peso específico de la piedra kg/m³

C = Tanto por ciento de vacíos.

- b) Empuje hidrostático sobre el parámetro aguas arriba. Se calcula como para cualquier dique. En el supuesto de que el parámetro está dado por la expresión: (se supone que se está trabajando con un dique de 1 m de ancho).

$$Fh = \gamma \frac{H^2}{2}$$

(Se supone un dique de 1 m de ancho)

Fh = Fuerza hidrostática horizontal kg
 γ = Peso específico del agua kg/m³
h = Altura del agua m

Esta expresión está del lado de la seguridad ya que la existencia de huecos en el parámetro hace que no se ejerza toda la presión sobre él.

- c) Efectos ejercidos por el agua al introducirse en el cuerpo de la obra. Para efectos prácticos se reduce el peso específico, dando origen al concepto de peso específico efectivo (Γ_{se}), para el cual se recomienda un valor comprendido entre 1.400 y 1.700 kg/m³.

Cálculo de un dique gavionado. Se hace de acuerdo con las siguientes condiciones:

- a) No deslizamiento que se da cuando las fuerzas de rozamiento y de cizalladura son mayores que el empuje hidrostático.
- b) Que no se produzcan esfuerzos de tracción en el cuerpo de la obra, que requiere que la resultante de las fuerzas que actúan sobre el dique pase por el tercio medio. López Cadena considera tres tipos de diques así:

TIPO I. De paramento aguas arriba vertical y paramento aguas abajo escalonado. La longitud de los resaltos horizontales variable. El empleo de este perfil supone un mínimo de obra.

TIPO II. De paramento aguas arriba vertical y paramento aguas abajo escalonado. La longitud de los resaltos horizontales la misma. Su empleo supone un volumen de obra mayor que el anterior, algunos lo consideran más estético.

TIPO III. Tiene los dos paramentos escalonados. El paramento de aguas arriba con resaltos de longitud

horizontal variable, el de aguas abajo con resaltos de longitud igual.

En el Gráfico 1 se muestran los esquemas de los tres tipos y en el Cuadro 1 las ecuaciones de diseño correspondientes.

CUADRO 1. ECUACIONES DE DISEÑO PARA DIQUES GAVIONADOS.

TIPO I.

$$a_i \geq \frac{2i^2\gamma}{3\gamma_{se}} - (a_1 + a_2 + \dots + a_{i-1})$$

$$a_i \geq -2(a_1 + a_2 + \dots + a_{i-1}) + \sqrt{4(a_1 + a_2 + a_{i-1})^2 + 3(a_1^2 + \dots + a_{i-1}^2) + i^3 \frac{\gamma}{\gamma_{se}}}$$

TIPO II.

$$d \geq \frac{2}{i-1} \left(\frac{2i\gamma}{3\gamma_{se}} - a_i \right)$$

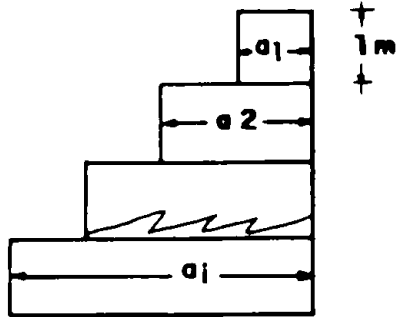
$$d \geq \frac{1}{2i-3} \left[-3a_1 + \sqrt{9a_1^2 - (2i-3) \frac{\gamma}{\gamma_{se}} (a_1^2 - i^2 \frac{\gamma}{\gamma_{se}})} \right]$$

TIPO III.

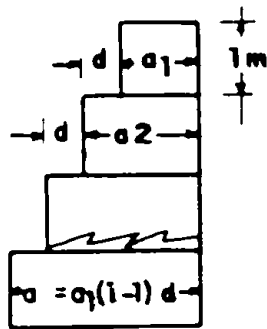
$$a_i \geq \frac{2\gamma}{3\gamma_{se}} i^2 - (a_1 + a_2 + \dots + a_{i-1})$$

$$\frac{i^3\gamma}{6} \leq \sum_{j=1}^{j=i} \left[d(i-j) - \frac{a_j}{2} - \frac{a_i}{3} \right] a_j \gamma_{se}$$

TIPO I



TIPO II



TIPO III

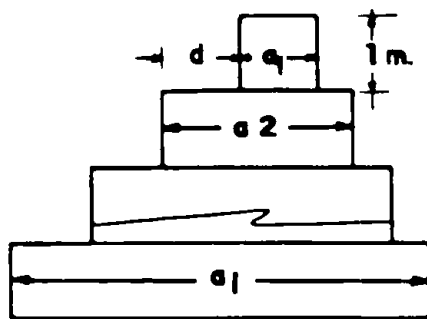


Gráfico N° 1 TIPOS DE DIQUES GAVIONADOS

En el Cuadro 2 se dan las dimensiones de diques gavionados de perfiles I y II.

ALTURA	PERFIL	HILADAS							VOLUMEN m3
		a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	
1	I	1							1
	II	1							
2	I	1	1.62						2,62
	II	1	1.63						2,63
3	I	1	1.62	2.44					5,06
	II	1	1.73	2.46					5,19
4	I	1	1.62	2.44	3.31				8,37
	II	1	1.77	2.54	3.31				8,62
5	I	1	1.62	2.44	3.31	4.38			12,75
	II	1	1.79	2.58	3.37	4.16			12,90
6	I	1	1.62	2.44	3.31	4.38	5.61		18,36
	II	1	1.82	2.65	3.46	4.30	5.12		18,36
7	I	1	1.62	2.44	3.31	4.38	5.61	6.63	24,99
	II	1	1.86	2.71	3.57	4.42	5.28	6.14	24,99

$$\gamma = 1.200 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{se} = 1.550 \text{ kg/m}^3 \quad p62$$

Tomado de López Cardenas del Llano Filiberto "Diques para la corrección de cursos torrenciales y métodos de cálculo". Madrid (España) Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias 1.965.

Condiciones de calidad que deben exigirse para la adquisición de gaviones.
La malla de la armadura, debe ser siempre con triple torsión.

El calibre del alambre debe ser el apropiado para el hueco de la malla.

Debe indicarse las dimensiones del gavión (largo, ancho, altura) y las dimensiones del hueco de la malla Ej. 4 m x 1 m x 0.5 m malla 8 x 11 triple torsión hilo No. 17 (ϕ 3 mm).

Calidad de alambre:

Características del acero, carga mínima de rotura (42 kg/mm²), alargamiento mínimo 10% en una longitud de 10 cm, características de flexión, enrollamiento, torsión y espesor del zinc.

Colocación del gavión en su sitio:

- a) Colocar el gavión en el sentido conveniente, de modo que el número de lados libres de la tapa, en contacto con las aristas de los gaviones vecinos sea mínimo.
- b) Amarrar con cuidado y sólidamente las aristas verticales del gavión con las aristas verticales de los gaviones vecinos.
- c) Aplanar convenientemente las caras que van a estar en contacto con los gaviones vecinos.
- d) Estirar las caras con una barra metálica para que las caras exteriores queden bien alineadas de acuerdo con el plano correspondiente.
- e) Llene cuidadosamente el gavión utilizando piedras redondeadas de tal manera que las más grandes queden en la parte exterior del gavión. Procure además que los espacios vacíos sean mínimos.

BIBLIOGRAFIA

LOPEZ CADENAS DEL LLANO F. "Diques para la corrección de cursos torrenciales y métodos de cálculo". Madrid (España). Instituto de Investigaciones Forestales y Experiencias. 217 pp. 1965.

Secretaría de OOPP Departamento de Antioquia. "Gaviones Metálicos". Medellín (Antioquia). Imprenta Departamental de Antioquia. 81 pp. 1976.