

28 12:44 PM

# **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS DE DEFENSA Y PROTECCIÓN EN LAS RIBERAS DE LOS RÍOS**

## **INDICE**

### **I. Generalidades**

- 1.1. Antecedentes /3/
- 1.2. Marco de referencia /3/
- 1.3. Metodología de la investigación /4/

### **II. Objetivos del trabajo**

- 2.1. Objetivo general /5/
- 2.2. Objetivos específicos /5/

### **III. Conservación del suelo en el manejo de cuencas**

- 3.1. Definición de erosión /6/
- 3.2. Principales agentes y tipos de erosión /6/
- 3.3. Efectos de las prácticas conservacionista en los procesos erosivos /10/
- 3.4. Principios básicos del control de la erosión hídrica /10/
- 3.5. Principales prácticas conservacionistas /11/

### **IV. Prácticas mecánico-estructurales de conservación del suelo**

- 4.1. Zanjas o acequias de infiltración /13/
- 4.2. Diques para el control de cárcavas /22/
- 4.3. Barreras vivas /32/
- 4.4. Surcos en contornos /36/

### **V. Medidas agronómicas de prevención y control de la erosión en los cauces de los ríos y riberas**

- 5.1. Defensas vivas naturales /48/
- 5.2. Defensas vivas forestadas /48/

## **VI. Medidas estructurales permanentes de prevención y control de la erosión en los cauces de los ríos y riberas**

- 6.1. Generalidades /50/
- 6.2. Diques enrocados /51/
- 6.3. Estructuras de concreto /57/
- 6.4. Presas de regulación /80/
- 6.5. Gaviones /91/

## **VII. Medidas estructurales temporales de prevención y control de la erosión en los cauces de los ríos y riberas**

- 7.1. Generalidades /101/
- 7.2. Espigones /102/
- 7.3. Rayados o terraplenes /116/
- 7.4. Cestones /124/
- 7.5. Limpieza de cauce /131/

## **VIII. Prácticas forestales para el control de la erosión en las márgenes de los ríos y las superficies de las laderas**

- 8.1. Generalidades /136/
- 8.2. Construcción de colchones de ramas /137/
- 8.3. Recubrimiento con césped /140/
- 8.4. Encespedado comercial (turf) /144/
- 8.5. Siembra de heno /146/
- 8.6. Siembra hidráulica (hidrosiembra) /147/
- 8.7. Método de Schiechteln o siembra con paja a base de material de fibra larga /151/
- 8.8. Colocación de alfombras de semilla /155/

## **Bibliografía /157/**

# **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS DE DEFENSA Y PROTECCIÓN EN LAS RIBERAS DE LOS RÍOS**

## **I. GENERALIDADES**

---

### **1.1. Antecedentes**

Los estudios realizados durante la primera etapa de la investigación sobre los ríos de montaña, permitieron concluir que estos ríos se caracterizan por el apreciable contraste entre el elevado caudal que transportan en la época lluviosa y el poco caudal en la época de estiaje, lo cual hace necesario el conocimiento y la aplicación de medidas de prevención y control de la erosión de los cauces de los ríos, a fin de prevenir las inundaciones.

Las medidas de prevención y control de la erosión e inundaciones de los ríos facilitan sin lugar a dudas la ejecución de estructuras y obras que permiten la protección de las infraestructuras viales (carreteras, puentes, vías férreas entre otras), las infraestructuras hidráulicas (tomas, boca de tomas, centrales hidroeléctricas entre otras), centros poblados y del área de producción agrícola.

Por todas las razones antes mencionadas, en el presente trabajo, se pretende abordar la experiencia de aquellos aspectos básicos de diseño relacionados con las obras más usadas en la defensa y protección de las riberas de los ríos, como complemento a la primera etapa que antecede el presente trabajo.

### **1.2. Marco de referencia**

Por todos es conocido que en aquellos países donde existen poblaciones asentadas en las riberas de los ríos de montaña, año tras año la desolación se apodera de las mismas, debido a las acciones devastadoras de estos ríos sobre los bienes materiales y económicos de los pobladores de estas comunidades.

Acciones tales como la pérdidas de vidas humanas, las viviendas y sus cultivos, unidas a las consecuencias de las inundaciones en el campo de la salud, donde los que más padecen son los grupos más sensibles de la población, los niños, las mujeres y los adultos mayores, que comienzan a padecer enfermedades virales y estomacales, son las que han motivado al desarrollo de presente trabajo de investigación, donde se pretende al finalizar el mismo, poner en mano de los especialistas vinculados con el tema un documento que le sirva de guía para la elaboración de proyectos relativos a las obras de defensa y protección de las riberas de los ríos.

### **1.3. Metodología de la investigación**

Para lograr este objetivo, se plantea realizar una investigación teórica, basada en la experiencia de aquellos aspectos básicos de diseño relacionados con las obras más usadas en la defensa y protección de las riberas de los ríos, registrada en la literatura técnica especializada, de manera que al finalizar el trabajo, se pueda disponer de un manual para el diseño de las mismas.

Para lograr el objetivo propuesto se deberá proceder a la realización de los siguientes pasos:

- a. Revisión bibliográfica.
- b. Análisis de la información recolectada en la revisión bibliográfica.
- c. Elaboración de los métodos para el diseño de las diferentes obras de defensa y protección de las riberas de los ríos.
- d. Validación de las metodologías a través de la elaboración de ejemplos de cálculo.

## **II. OBJETIVOS DEL TRABAJO**

---

### **2.1. Objetivo general**

Elaborar un manual de diseño de obras de defensa y protección en las riberas de los ríos de manera de dotar a los proyectistas vinculados con el tema de una herramienta que les permita el diseño hidráulico de estas obras.

### **2.2. Objetivos específicos**

- a. Realizar una revisión bibliográfica acerca de las obras más usadas en la defensa y protección de las riberas de los ríos.
- b. Análisis de la información recolectada en la revisión bibliográfica.
- c. Elaborar las metodologías para el diseño de las diferentes obras de defensa y protección de las riberas de los ríos.
- d. Validación de las metodologías a través de la elaboración de ejemplos de cálculo.

### **III. CONSERVACIÓN DEL SUELO EN EL MANEJO DE CUENCAS**

---

#### **3.1. Definición de erosión**

La erosión es el fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas de suelo por la acción del agua, del viento o de la actividad biológica en general. La erosión puede ser: natural (normal o geológica) y acelerada.

La erosión es natural cuando se produce por los cambios naturales en el ambiente y en largos períodos geológicos, contribuyendo a la formación de los suelos y del relieve terrestre. Se considera como una erosión normal porque se presenta en una situación de balance natural entre la formación del suelo y la erosión en sí.

La erosión acelerada es uno de los problemas más serios que tiene que enfrentar cualquier acción encaminada a lograr el desarrollo agropecuario, ya que además de ser la causa de bajos rendimientos de los cultivos, acorta la vida útil de las obras de regulación por la cantidad de sedimentos que acarrea el agua que se almacena colmatando el lecho de los ríos, favoreciendo, en muchos casos, las inundaciones, los problemas de drenaje y la salinización de las tierras.

En la figura 3.1 se muestra un esquema de una situación de equilibrio en los procesos naturales.

#### **3.2. Principales agentes y tipos de erosión**

Los principales agentes de la erosión son el agua, el viento y el hombre. Existen dos tipos de erosión: EÓLICA E HÍDRICA.

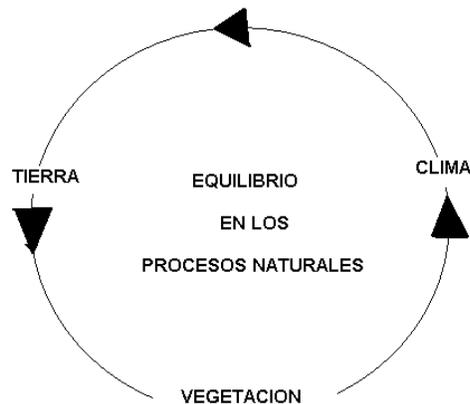


Figura 3.1. Representación esquemática del equilibrio en los procesos naturales

### **3.2.1. La erosión eólica**

Es la erosión causada por el viento. Este tipo de erosión se presenta mayormente en zonas planas y áridas.

### **3.2.2. La erosión hídrica**

Es la erosión causada por el agua. Predomina en zonas de ladera, donde la precipitación es de alta intensidad y donde están ausentes las prácticas agronómicas y el manejo inadecuado del agua en el riego.

#### **a. Factores que influyen en la erosión hídrica**

Los principales factores que inciden en este tipo de erosión son: el suelo, la topografía, el clima, la vegetación y el hombre mismo.

**a.1. El suelo.** Las características físicas del suelo (estructura, textura, contenido de materia orgánica, etc.) determinan el grado de resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y transporte por efecto del impacto del agua sobre el suelo, de la escorrentía y la capacidad de infiltración del suelo.

- a.2. La topografía.** Las características topográficas que inciden en la erosión hídrica son la pendiente y la longitud de la ladera, así como la forma y tamaño del área de drenaje.
- a.3. El clima.** Entre los factores climáticos que más inciden en la erosión hídrica están la precipitación, el viento y la temperatura. Existe una estrecha relación entre las características de la precipitación y la escorrentía. El viento en muchos casos cambia la velocidad de la lluvia y su ángulo de impacto sobre el suelo, afectando su fuerza erosiva.
- a.4. La vegetación.** La vegetación protege a la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea ésta proveniente de lluvia o escorrentía. La vegetación protege al suelo mediante:
- La intercepción y disminución o anulación de la energía con la que caen las gotas de lluvia ya sea mediante las hojas, tallos o los residuos de las plantas.
  - La reducción de la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la resistencia hidráulica debido al "colchón" que forman los residuos vegetales o cubierta vegetal.
  - El aumento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por efecto de las raíces, los residuos vegetales y la actividad microbiana.
  - El aumento de la resistencia del suelo a la erosión debido al "amarre" de las partículas que ocasionan las raíces de las plantas.
- a.5. El hombre.** El hombre es el agente principal y decisorio en todo proceso erosivo, debido fundamentalmente a su rol y participación en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, agua, suelo y cubierta vegetal.

## **b. Formas de Erosión hídrica**

La erosión hídrica se presenta en diferentes formas: laminar, por surcos, por cárcavas.

### **b.1. Erosión laminar**

El impacto de las gotas de lluvia contra la superficie descubierta del suelo produce el desprendimiento de sus partículas, las que al encontrarse sueltas y al ser trasladadas, "sellan" los poros del suelo, formando una delgada capa o costra poco permeable.

Cuando la cantidad de lluvia que cae excede a la tasa de infiltración del suelo, el agua empieza a fluir (correr) como escorrentía en el sentido de la pendiente, transportando las partículas finas del suelo que inicialmente ya fueron desprendidas.

### **b.2. Erosión por surcos**

En las pequeñas ondulaciones de la superficie del terreno se concentra el agua de escorrentía y luego por efecto de la pendiente, el suelo y el estado de la cubierta vegetal, se produce el movimiento del agua en el sentido de la pendiente y, en consecuencia, el arrastre y transporte de las partículas de suelo, originan pequeñas zanjas o surcos.

### **b.3. Erosión por cárcavas**

Una vez formados los pequeños surcos o zanjas, éstos se van agrandando por efecto de la escorrentía ya que continúa el arrastre de suelo en el lecho de los surcos o zanjas y el consecuente desprendimiento en los taludes, con lo cual se van agrandando los surcos hasta que se convierten en verdaderos zanjones o cárcavas.

### **3.3. Efectos de las prácticas conservacionista en los procesos erosivos**

Mediante las prácticas de conservación de suelos, se modifican los factores del proceso erosivo, lográndose con ello:

- Proteger la superficie del suelo contra el impacto directo de las gotas de lluvia y el arrastre del agua de escorrentía.
- Disminuir o anular la concentración del agua.
- Aumentar la capacidad de infiltración del suelo para reducir la cantidad de escorrentía.
- Reducir o anularla velocidad del agua de escorrentía por efecto de la disminución de la longitud y grado de la pendiente de la ladera.
- Construcción de sistemas mecánicos estructurales: surcos en contorno, terrazas, andenes, acequias de infiltración, diques para el control de cárcavas o el establecimiento de barreras vivas o cubierta vegetal.

### **3.4. Principios básicos del control de la erosión hídrica**

Para que una práctica de control de la erosión hídrica sea efectiva debe cumplir los siguientes requisitos:

- Anular o minimizar la velocidad del agua.
- Anular o minimizar el escurrimiento del agua sobre la superficie del suelo.
- Proteger la superficie del suelo contra la erosión.
- Aumentar la infiltración del agua en el suelo.

Las prácticas de control de la erosión deben iniciarse siempre de las partes más altas de la cuenca o ladera hacia abajo, nunca en sentido contrario; salvo que inicialmente en la cabecera de la zona a ser tratada se construya una zanja o acequia a nivel o con una ligera pendiente, a fin de que intercepte el agua procedente de la parte más alta (zona no tratada).

Cuando la zanja o acequia tiene una ligera pendiente, las aguas deben drenarse hacia lugares apropiados a fin de no generar cárcavas en su parte final.

Aplicando estos principios básicos se logra un efectivo control de la erosión hídrica. En caso contrario, se recomienda una revisión de la práctica conservacionista ubicando las fallas para corregirlas.

El método más adecuado para evaluar la efectividad de estas prácticas, es la observación durante las lluvias o inmediatamente después de ocurridas éstas.

### **3.5. Principales prácticas conservacionistas**

Las principales prácticas de conservación de suelos y aguas pueden reunirse en tres grandes grupos: mecánicas-estructurales, agronómicas y forestales.

#### **3.5.1. Prácticas mecánico-estructurales de conservación del suelo**

Entre las principales prácticas mecánicas-estructurales de conservación del suelo se encuentran:

1. Zanjas o acequias de infiltración.
2. Espejos de agua o "cochas".
3. Terrazas de absorción, de formación lenta, entre otras.
4. Andenes.

5. Muros de contención, enrocados y gaviones para la defensa ribereña y obras de encauzamiento.
6. Diques para el control de cárcavas.
7. Represas o reservorios de agua.

### **3.5.2. Prácticas agronómicas**

Entre las principales prácticas agronómicas se puede mencionar:

1. Barreras vivas.
2. Surcos en contorno.
3. Cultivo en fajas.
4. Ordenación territorial de cultivos.
5. Cobertura vegetal.
6. Labranza conservacionista o mínima labranza.
7. Rotación de cultivos.
8. Incorporación de materia orgánica.
9. Aplicación de fertilizantes y enmiendas químicas al suelo.
10. Manejo de pastos.

### **3.5.3. Prácticas forestales**

1. Manejo y plantaciones forestales.

## **IV. PRÁCTICAS MECÁNICO-ESTRUCTURALES DE CONSERVACIÓN DEL SUELO**

---

### **4.1. Zanjas o acequias de infiltración**

Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, generalmente asimétricos, que se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno (ver figura 4.1). El fondo de estos canales debe estar a nivel salvo que se trate de acequias o canales de desviación, en los que la pendiente recomendable es de 1 a 3<sup>0</sup>/<sub>00</sub> y su desembocadura debe efectuarse en una zona protegida a fin de evitar la formación de una gran cárcava.



Figura 4.1. Fotografía de una zanja o acequias

#### **4.1.1. Objetivo de la práctica**

- Interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera, anulando su velocidad y permitiendo una mayor infiltración.
- Aumentar la producción de pastos, árboles o cultivos, Reducir la erosión hídrica del suelo.

- Aumentar el número de manantiales y el caudal de agua de éstos en las partes más bajas.
- Disminuir los riesgos de inundación y deslizamientos.

#### **4.1.2. Condiciones de uso**

Las zanjas de infiltración se pueden usar en:

- a. Laderas con profundidad de suelo mayor de 30 cm y subsuelo permeable.
- b. Zonas con plantaciones forestales, con pasturas y en algunos casos en zonas agrícolas (ver figura 4.2).



Figura 4.2. Fotografía de una zanja o acequias en zonas agrícola

#### **4.1.3. Criterios para el diseño**

El diseño de la zanja de infiltración consiste en determinar el ancho del borde superior, ancho de la base, profundidad, inclinación de los taludes, espaciamiento entre zanjas y la gradiente longitudinal de la misma, este último aspecto sólo si fuera necesario.

El ancho del borde superior, profundidad, ancho de la base y la inclinación del talud (características que determinan la sección transversal), dependen principalmente del tipo de suelo y de la intensidad de la lluvia de la zona; siendo el ancho promedio del borde superior de 40 – 50 cm; el ancho de la base de 20 – 30 cm y la profundidad de 20 a 50 cm.

La inclinación del talud varía: en terrenos de textura suelta generalmente está entre 1:1 a 2:1 (horizontal: vertical) y en terrenos firmes entre 0,5:1 a 1:1 (horizontal: vertical), dependiendo del ángulo de reposo de los diferentes tipos de suelo.

En cuanto a la gradiente longitudinal de la zanja, normalmente debe ser cero, salvo condiciones especiales de suelo y precipitación, casos en los que se puede optar por una gradiente máxima hasta de 3<sup>0</sup>/<sub>00</sub> (3 por mil); en estas condiciones la zanja debe desembocar en una zona protegida o totalmente estabilizada.

Cuando la zanja está a nivel debe construirse a lo largo de ésta, pequeños tabiques de tierra (o dejarse pequeños espacios sin excavar), a fin de impedir que el agua corra de un lado a otro, distribuyendo de este modo uniformemente el agua captada.

La separación entre estos tabiques debe ser de 5 a 10 m. Los tabiques o espacios sin excavar deben ser pequeños y tener entre 10 – 15 cm de dimensión.

El espaciamiento entre zanjas está determinado por la pendiente del terreno, tipo de suelo y características de precipitación de la zona, sobre todo en lo referente a la intensidad y duración. El espaciamiento adecuado varía de 3 a 20 m.

#### 4.1.4. Trazo y construcción

El trazo de las zanjas de infiltración se hace con el nivel en “A”, en forma transversal a la máxima pendiente de la ladera.

El trazo debe iniciarse desde el extremo superior del campo, manteniendo fija una pata del nivel en “A” y moviendo la otra hacia arriba o hacia abajo hasta lograr que el cordel de la plomada coincida con la marca del nivel, lo que indicará que dichos puntos están a nivel. Luego se continúa trasladando el nivel en el mismo sentido y se van marcando los puntos con una herramienta para finalmente trazar o marcar la línea a nivel (ver figura 4.3).

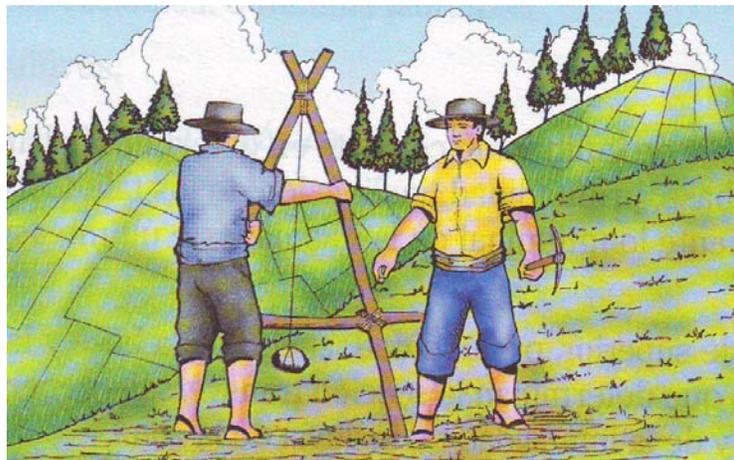


Figura 4.3. Trazado de zanjas de infiltración con el nivel en A

No es recomendable marcar con piedras o estacas las líneas trazadas, ya que pueden ser retiradas por extraños, borrándose el trazo.

Una vez marcadas las zanjas (ver figura 4.4), se inicia su construcción con pico y lampa u otro instrumento disponible.

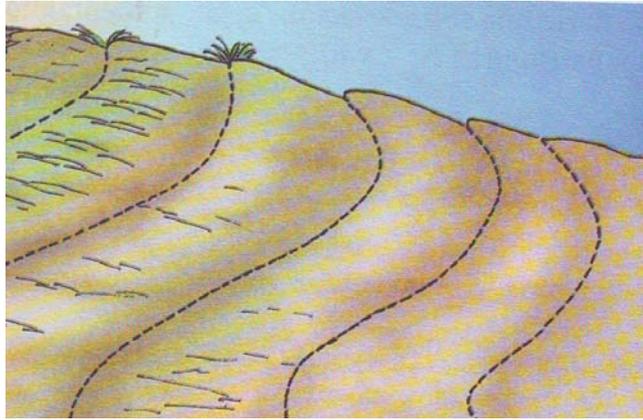


Figura 4.4. Zanjas marcadas en el terreno

En zonas con pastos, el espaciamiento apropiado entre zanjas puede ser de 3 m a fin de infiltrar el agua más uniformemente en la ladera. La profundidad de las zanjas podrá ser entre 20 a 30 cm.

Si la pendiente de la zanja es cero (a nivel), se recomienda construir tabiques o pequeños espacios sin excavar de unos 10 a 15 cm. A lo largo de la misma, a fin de facilitar que se uniformice la distribución e infiltración del agua recepcionada. El espaciamiento entre tabiques normalmente es de 5 a 10 m.

En el borde superior de la zanja se recomienda sembrar plantas de macollaje tupido (barrera viva) para darle mayor protección respecto de la sedimentación (ver figura 4.5).

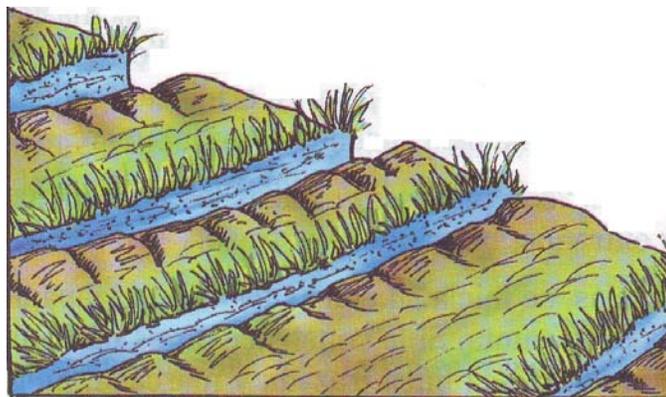


Figura 4.5. Zanjas con barreras vivas

Luego de removido el terreno, se abre la zanja con una lampa o pico, dándole al final el acabado según las características deseadas. En algunos casos y siempre que la naturaleza del terreno lo permita, después de abrir la zanja, se vuelve a pasar el pico y lampa para obtener mayor profundidad y posteriormente realizar el acabado respectivo. La tierra extraída debe ser colocada en el borde inferior de la zanja, a fin de darle una sobre elevación “ceja”, aumentando así la capacidad de captación de la misma (ver figura 4.6).

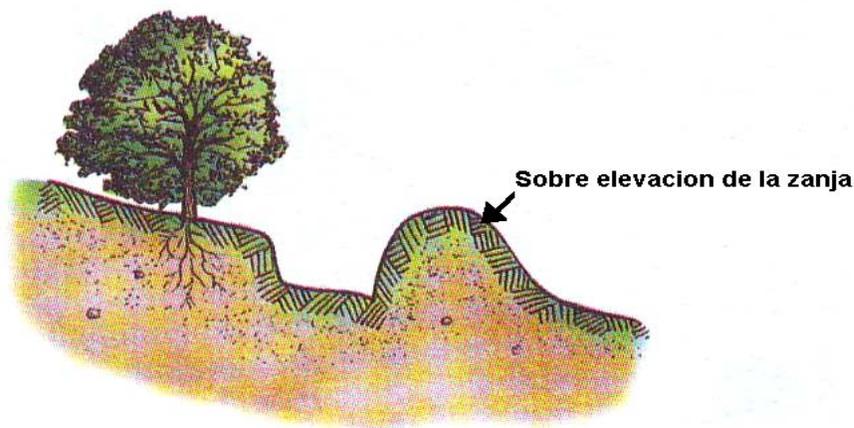


Figura 4.6. Sobre elevación de la zanja (ceja)

#### **4.1.5. Conservación de las Zanjas o Acequias**

- Las acequias se limpian una o dos veces por año dependiendo de la cantidad de suelo que entra con el agua. La entrada de agua se puede reducir a través de barreras vivas en el borde superior de la zanja para atrapar el suelo con la barrera y filtrar el agua.
- El material arrastrado con las lluvias que se queda atrapado en la zanja se puede mezclar con material orgánico en la acequia utilizando de esta manera la zanja como abonera.

#### **4.1.6. Condiciones ecológicas**

Las condiciones ecológicas requeridas son:

- a. Altura: Se utiliza en todas las alturas.
- b. Precipitación: La acequia a desnivel se construye en zonas húmedas y tiene el objetivo principal de mejorar la infiltración de agua permitiendo al mismo tiempo el drenaje de aguas excedentes.

#### **4.1.7. Metodología para diseño zanjas o acequias de infiltración**

**Información requerida:**

- Información sobre las características del suelo donde se va a construir las zanjas (tipo de suelo, permeabilidad).
- Indicación del área de cobertura de las zanjas.
- Datos hidrológicos de la zona para conocer acerca de la precipitación, intensidad y duración de la lluvia.

**Pasos a seguir:**

- 1°. Identificar el extremo superior del área donde se deberá empezara a trazar las zanjas de infiltración.
- 2°. Marcar las zanjas o líneas de nivel en base a puntos marcados por un nivel en "A" colocado en forma transversal a la pendiente máxima de la ladera (ver figura 4.3), manteniendo fija una de las patas y moviendo la otra hacia arriba o abajo hasta que el cordel de la plomada coincida con la marca del nivel.

- 3°. Iniciar la construcción de las zanjas con pico, lampa u otro instrumento similar con las siguientes características:
- El espaciamiento entre zanjas debe ser de 3 m aproximadamente para lograr la uniformidad en la ladera.
  - La profundidad de las zanjas deberá ser de 20 a 30 cm.
- 4°. En caso de que la pendiente de la zanja sea cero, se deberá construir tabiques transversales en el interior de la zanja, espaciados de 5 a 10 m o dejar espacios pequeños sin excavar de 10 a 15 cm de largo entre las zanjas.
- 5°. Realizar el sembrado de plantas de macollaje tupido (barrera viva) en el borde superior de la zanja, para protegerlas de la sedimentación (ver figura 4.7).

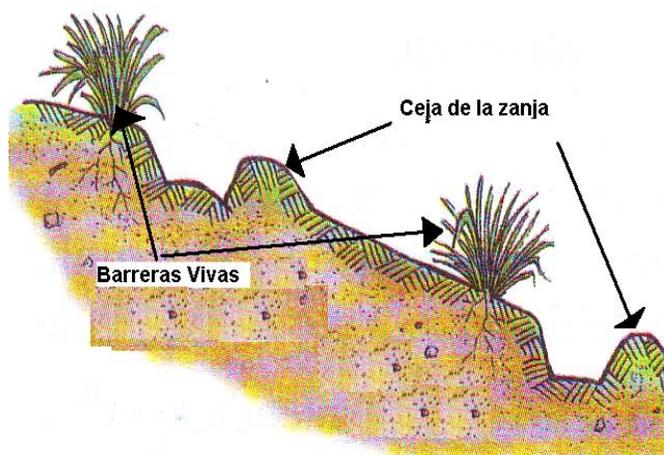


Figura 4.7. Ceja de la zanja

- 6°. Abrir las zanjas nuevamente utilizando una lampa o pico para darle el acabado deseado y en caso de que la naturaleza del terreno lo permita volver a pasar el instrumento empleado para lograr una profundidad mayor, dependiendo del tipo de suelo e intensidad de la lluvia (ver figura 4.8).



Figura 4.8. Proceso de acabado de una zanja

- 7°. Finalmente colocar en el borde inferior de la zanja, la tierra extraída dándole una sobre elevación (ceja) para aumentar la capacidad de captación de la misma (ver figura 4.9).



Figura 4.9. Colocación de la tierra extraída en el borde inferior de la zanja

- 8°. Conclusiones del diseño

Donde se deberán presentar la memoria de cálculo, recomendaciones para la ejecución y la explotación, así como todos los planos que sean necesarios para la ejecución de las zanjas.

## **4.2. Diques para el control de cárcavas**

### **4.2.1. Definición de cárcava**

Cárcava es una zanja causada por la erosión hídrica del suelo, que sigue generalmente la máxima pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias.

El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo, producto de la erosión.

### **4.2.2. Formación de la cárcava**

Las cárcavas son zanjas creadas por las aguas de escorrentía. Una de las condiciones esenciales para su formación es la existencia de materiales no consolidados sobre la superficie; puede tratarse de, por ejemplo, suelos conformados por arena, arcilla o por la mezcla de distintas texturas. Si estas capas de materiales blandos no son profundas, por consiguiente, las cárcavas serán de poca profundidad.

Los lugares más proclives a la erosión en cárcavas son aquellos carentes de vegetación, como en vertientes de climas áridos o semiáridos. También en zonas deforestadas por diversas actividades antrópicas (agricultura, minería, etc.), donde los suelos han quedado al descubierto.

En paisaje de altiplanicies cuyos topes alcanzan hasta los 140 m. Estos relieves elevados han sido recortados por los cuerpos de agua dando lugar a escarpes, los cuales tienden a retroceder ante los distintos procesos erosivos, destacándose entre ellos la erosión en cárcavas (ver figura 4.10).

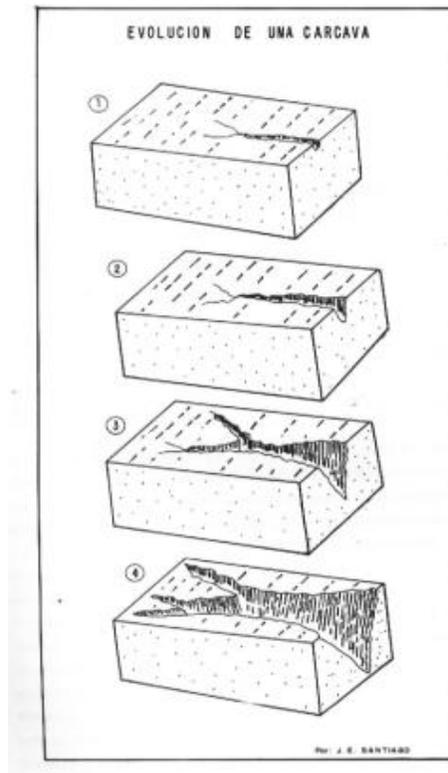


Figura 4.10. Evolución de una cárcava en cuatro etapas

En la figura anterior se puede ver que a partir de un surco puede surgir una cárcava. Se dice que una cárcava es activa cuando su crecimiento es incesante; en cambio, se dice que una cárcava es estable cuando no hay un crecimiento significativo a lo largo de varios años.

La inestabilidad puede determinarse a simple vista, especialmente cuando el barranco se ha encargado de colapsar una que otra infraestructura.

La estabilidad es propia de aquellos lugares pocos o no intervenidos, donde los procesos de infiltración y escorrentía se mantienen casi inalterados. El exceso de capas impermeabilizantes (cemento, asfalto, zinc) es responsable de romper el equilibrio, creándose grandes cantidades de agua que se vierten sobre los escarpes. Muchas veces el desagüe cae libre sobre el talud, sin ninguna estructura que controle la erosión, dando lugar a la formación de las cárcavas en las laderas de las montañas (ver figura 4.11).

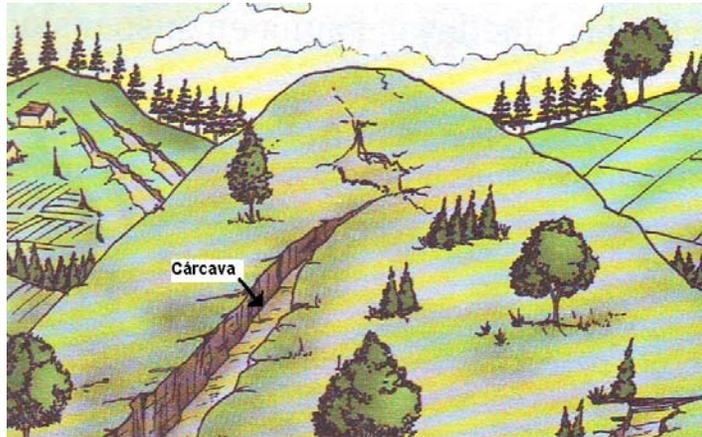


Figura 4.11. Formación de una cárcava en una ladera de montaña

### 4.2.3. Control de cárcavas

La primera acción que se debe llevar a cabo para controlar una cárcava es eliminar la causa que la originó, para lo cual se tiene que efectuar trabajos a dos niveles:

1. A nivel de ladera o área de drenaje, que en muchos casos resulta ser suficiente, cuando con las prácticas conservacionistas ejecutadas se controla o anula el escurrimiento superficial en esa zona.
2. A nivel de la cárcava misma, si después de haber tratado la ladera todavía sigue corriendo agua por la cárcava (ver figura 4.12).



Figura 4.12. Formación de cárcavas debido a drenajes mal encausados

#### **a. Prácticas conservacionistas aplicadas a nivel de ladera**

Cualquier práctica que se aplique a nivel de ladera debe encaminarse fundamentalmente a evitar o controlar totalmente el escurrimiento superficial de agua y permitir su infiltración uniforme o su evacuación. Entre las prácticas apropiadas se tienen:

- Repoblación de pastos y bosques, fundamentalmente con especies adaptadas a la zona y de valor económico.
- Buen manejo de pastos (pastoreo de corta duración y frecuente) y bosques, Construcción de zanjas o acequias de infiltración en áreas de bosques y pastizales.
- Construcción de terrazas de absorción.
- Construcción de surcos en contorno.
- Construcción de zanjas de infiltración o acequias de desviación.
- Construcción de pequeños reservorios o "cochas".
- Prácticas a nivel de cárcavas.

#### **b. Prácticas conservacionistas aplicadas a nivel de la cárcava misma**

Si después de haber tratado la ladera (ver figura 4.13) y si todavía hay escurrimiento en la cárcava misma, se efectuarán trabajos a nivel de ésta, consistentes en la construcción o colocación de diques o pequeñas barreras u obstáculos transversales a la cárcava, a fin de disminuir la velocidad del agua y favorecer la sedimentación de las partículas que lleva el agua en suspensión.

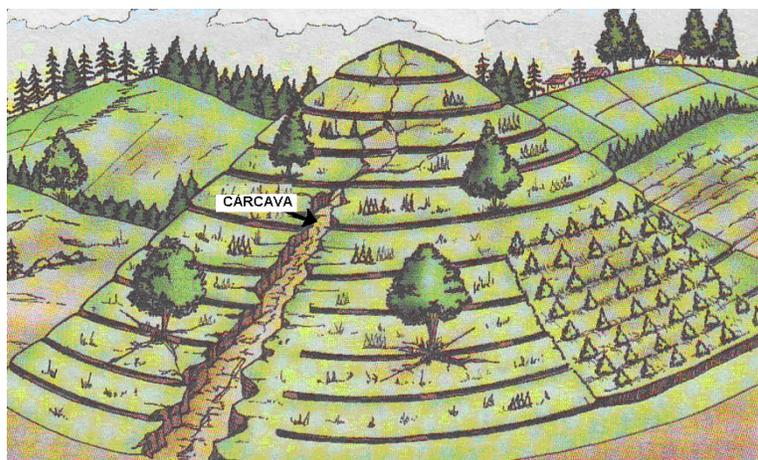


Figura 4.13. Ladera tratada con cárcava

Los diques son construidos a lo largo de la cárcava y pueden ser hechos de sacos llenos de arena; de piedra (ver figura 4.14); de ramas, pajas y palos (ver figura 4.15); de barreras vivas (ver figura 4.16).

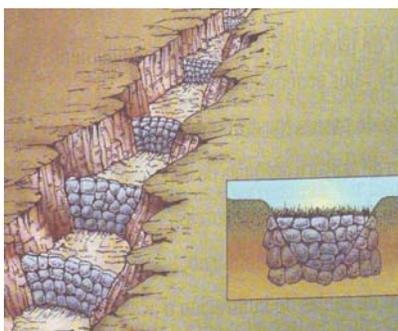


Figura 4.14. Cárcava tratada con diques de piedras



Figura 4.15. Cárcavas tratadas con palos, ramas

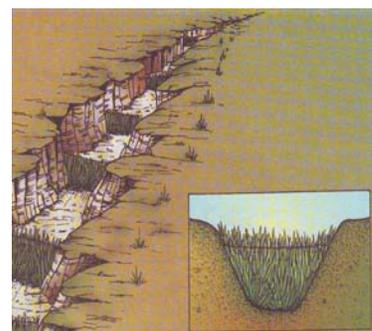


Figura 4.16. Cárcavas tratadas con barrera viva

Un aspecto importante es el espaciamiento entre diques. El principio fundamental que se debe tener presente para la determinación del espaciamiento entre diques es que el borde superior de un dique esté al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba.

Las paredes mismas de las cárcavas deben estar cubiertas por vegetación natural o sembradas especialmente con pastos u otras especies vegetales.

#### **4.2.4. Características de los diques de piedra**

Las características que se deben considerar para la construcción de diques de piedra son las siguientes:

- Espesor mínimo del borde superior del dique de piedra oscilará entre 20 y 30 cm. y el del borde inferior por lo menos de 30 a 50 cm.
- Altura efectiva del dique entre 50 y 100 cm.
- El dique debe ser empotrado de 30 a 50 cm. en el fondo y en las paredes laterales de la cárcava, para darle mayor estabilidad.
- Debe contar con un aliviadero de forma parabólica en el borde superior del dique a fin de darle mayor capacidad de desagüe y evitar que el agua caiga en forma de chorro y erosione los bordes laterales, la base del dique y la superficie del suelo.
- El espaciamiento entre diques depende de la pendiente del cauce de la cárcava. Pero debe tenerse presente como condición básica que el centro del borde superior del dique debe estar al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba, determinándose así el espaciamiento entre diques. Cuanto mayor es la pendiente del cauce de la cárcava, menor resulta el espaciamiento entre diques.
- Normalmente, al pie del dique se debe construir un colchón hidráulico de piedras, ramas o paja, a fin de disipar la energía del agua y evitar que el golpe del agua socave la base del dique y cause el derrumbe o volteo de la estructura (ver figura 4.17 y figura 4.18).

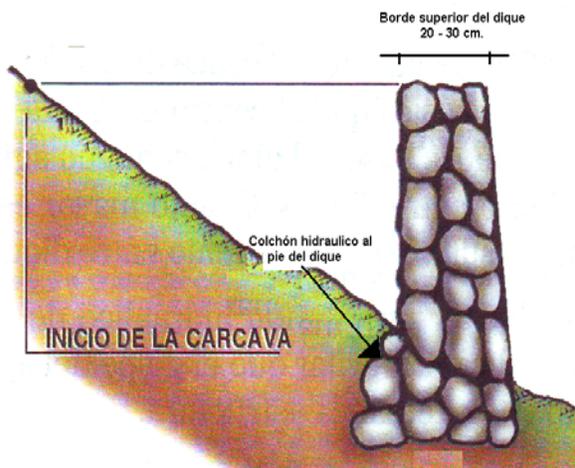


Figura 4.17. Características de un dique de piedra

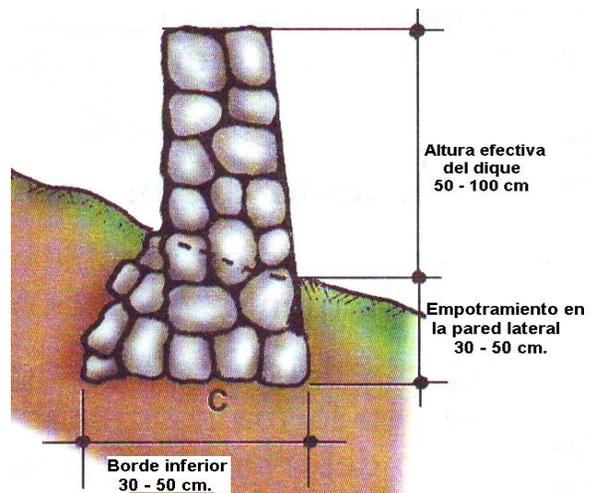


Figura 4.18. Características de un dique de piedra

#### 4.2.5. Ubicación de los diques

El primer dique estará ubicado en un punto "B" del terreno, muy cerca del inicio de la cárcava (punto "A"). Los siguientes diques se ubicarán de la siguiente manera:

- A partir del punto "B" se extiende un cordel aguas abajo, el cual debe estar tendido en forma horizontal. La ubicación del siguiente dique estará dada por el punto del terreno cuya distancia vertical al cordel sea igual a la altura efectiva determinada que debe tener el dique (50 - 100 cm.).
- Luego, a partir de este punto, se repiten los pasos anteriores a fin de determinar la ubicación de los siguientes diques aguas abajo (ver figura 4.19).

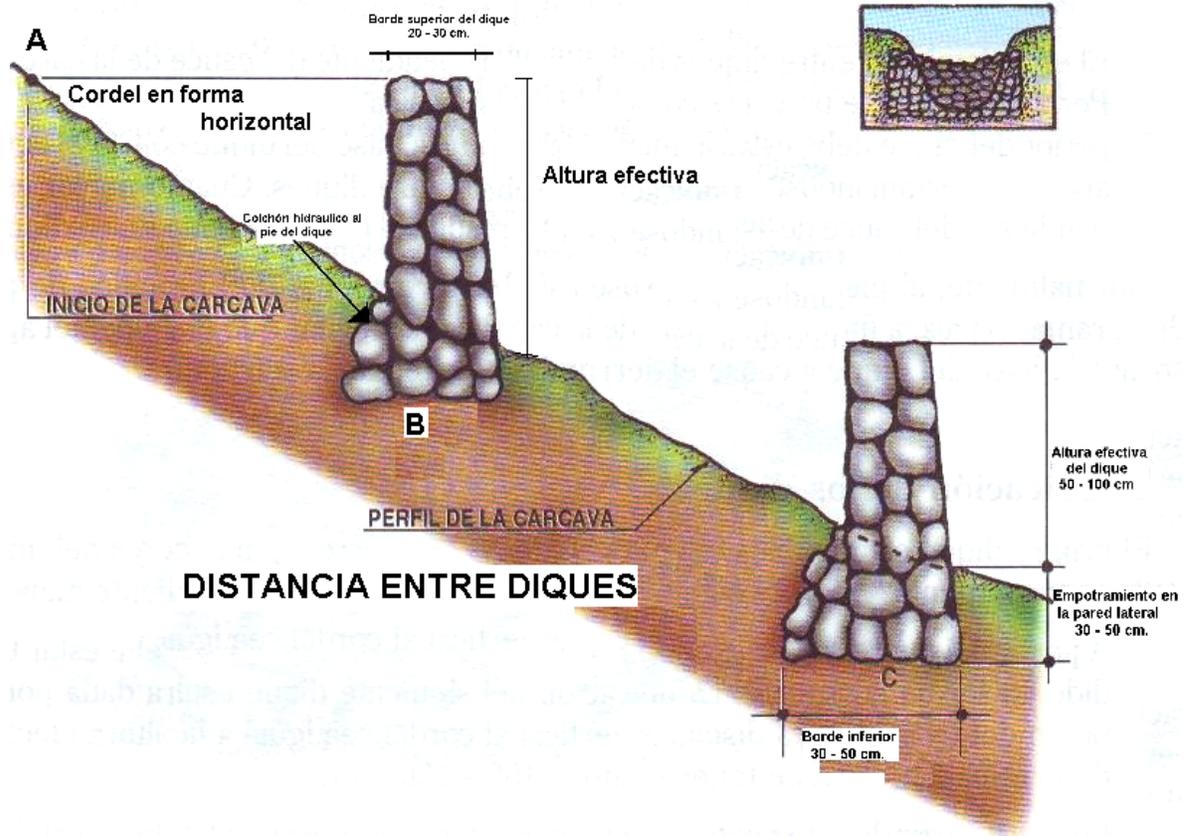


Figura 4.19. Forma en que se ubican los diques de piedra

#### 4.2.6. Construcción de los diques

La construcción de los diques siempre se debe iniciar desde la parte más alta de la cárcava hacia abajo, con el objeto de disminuir o controlar el escurrimiento superficial que se pueda presentar durante la construcción de los diques a lo largo de la misma, ya que si la construcción se iniciara desde la parte más baja hacia arriba y se presentara un escurrimiento superficial durante la etapa de construcción, los diques podrían ser derrumbados dado que la energía del agua no se ha disipado progresivamente desde el inicio de la cárcava.

Muchas plantas perennes pueden ser trasplantadas directamente en los taludes de las cárcavas y de las "terrazas en formación".

Cualquier planta que luego de cosecharse mantiene sus raíces en el suelo y la vegetación permanente cubre la superficie del terreno, es adecuada para ser colocada en los taludes. Este cultivo debe ser pasto bueno para forraje u otro de la misma variedad para que siempre sirva de protección de los taludes (ver figura 4.20).



Figura 4.20. Forma en que se protegen con plantas los diques de piedras en cárcavas

#### **4.2.7. Metodología para el diseño de los diques de piedra**

##### **Información requerida:**

- Identificación de las cárcavas a ser tratadas, indicando el área cubierta por las mismas.
- Información de las características del suelo donde se van a construir los diques de protección para las cárcavas (tipo del suelo, permeabilidad).

### **Pasos a seguir:**

- 1°. Identificar la parte mas alta de la cárcava que será el lugar donde se empezara la construcción de los diques.
- 2°. Marcar los puntos de ubicación de los diques (ver figura 4.19), los cuales se localizarán de la siguiente manera:
  - 2.1. El primer dique estará ubicado en un punto “B” del terreno próximo al inicio de la cárcava (punto A).
  - 2.2. A partir del punto B, se extiende un cordel aguas abajo en forma horizontal, y el punto del terreno cuya distancia vertical al cordel sea igual a la altura efectiva que debe tener el dique (50 a 100 cm.) será la ubicación del siguiente dique y así continuamente hasta llegar a la parte inferior de la cárcava.
- 3°. Iniciar la construcción de los diques (ver figura 4.17 y 4.18) con las siguientes características:
  - 3.1. Espesor mínimo del borde superior del dique de 20 a 30 cm. y del borde inferior de 30<sup>a</sup> 50 cm.
  - 3.2. Altura efectiva de 50 a 100 cm.
  - 3.3. Debe se empotrado de 30 a 50 cm. en el fondo de las paredes laterales.
  - 3.4. Colocar un aliviadero en la parte superior.
  - 3.5. Debe contar con un colchón hidráulico de piedras, ramas o pajas al pie del dique (ver figura 4.21).



Figura 4.21. Vista de un colchón hidráulico de piedra al pie de un dique

4°. Realizar el transplante de plantas perennes en los taludes de las cárcavas y terrazas en formación como pastos de forraje, plantas aromáticas para la protección de los taludes, evitando la erosión de los mismos.

5°. Conclusiones del diseño

Donde se deberán presentar la memoria de cálculo, recomendaciones para la ejecución y la explotación, así como todos los planos que sean necesarios para la ejecución de los diques.

### **4.3. Barreras vivas**

#### **4.3.1. Descripción**

Las barreras vivas son hileras simples, dobles o triples de especies vegetales preferiblemente perennes y de crecimiento denso, establecidas en curvas a nivel y a distanciamientos cortos.

Se recomienda el establecimiento de barreras vivas como práctica adecuada en terrenos con pendiente menor a 10%.

En terrenos con pendientes mayores a 10%, el establecimiento de las barreras debe estar acompañado con otras prácticas conservacionistas tales como en fajas, surcos en contorno, acequia o zanja de infiltración, terrazas, entre otras.

#### **4.3.2. Objetivo**

El objetivo principal de las barreras vivas, es el de reducir la velocidad de escorrentía superficial y retener el suelo que en ella se transporta. Para que este objetivo se cumpla, las especies se plantan lo más unidas posibles, para que en el menor tiempo la barrera sea continua.

#### **4.3.3. Características**

Las plantas que se van a establecer como barrera viva, deben sembrarse en hileras dobles, distanciadas entre sí entre 15-20 cm. aproximadamente. En zanjas o acequias de infiltración, la barrera viva debe sembrarse entre 10-20 cm. por encima del lado o borde superior (ver figura 4.22).



Figura 4.22. Vista de una barrera viva sembrada en hileras dobles

El distanciamiento entre barreras vivas dependerá del tipo de cultivo y de la pendiente del terreno (ver tabla 4.1).

Se debe practicar un mantenimiento frecuente de las barreras vivas a fin de su buen funcionamiento.

Pendiente del Terreno (‰)	Distanciamiento entre Barreras (m)	
	Cultivo Limpio	Cultivo Denso
2	30-35	40-50
4	20-30	30-40
6	15-25	26-30
8	10-20	23-26
10	8-15	16-23
15	7-10	12-16
20	6-8	10-12
30	5-7	8-10
40	4-6	6-8
50	3-5	5-6
> 50	<4	<5

**Tabla 4.1.** Distanciamiento entre barreras vivas según pendiente y cultivos

#### **4.3.4. Ventajas**

Entre las ventajas de las barreras vivas se tienen que:

1. Disminuyen la velocidad de escorrentía.
2. Retienen suelo.
3. Mejoran la infiltración de agua en el terreno.
4. Constituyen una fuente alternativa de forraje.
5. Sirven de guía para la siembra apropiada de cultivos.
6. Bajos costos de establecimiento.
7. Alto porcentaje de aceptación por parte de los agricultores.

#### **4.3.5. Metodología para el diseño de barreras vivas**

##### **Información requerida:**

- Identificación de los lugares erosionados.
- Información sobre las características del suelo (tipo de suelo, permeabilidad, entre otras.).
- Información del terreno (un plano de levantamiento topográfico o curvas de nivel espaciado cada metro donde se pueda observar la pendiente del terreno).
- Identificación de la pendiente del terreno donde serán colocadas las barreras vivas.

##### **Pasos a seguir:**

- 1°. Determinar la ubicación de las barreras vivas, conociendo la pendiente del terreno en la cual se debe considerar:
  - 1.1. Se recomienda ubicar las barreras vivas para una pendiente menor a 10 %.
  - 1.2. Para pendientes del terreno mayores a 10 % las barreras vivas deben ir acompañadas con zanjas, surcos con contornos, terrenos, etc.
- 2°. Trazo y estaquillado de línea guía, las cuales se ubican a favor de la pendiente y en el sector del terreno con inclinación representativa. Las estacas, se colocarán de arriba hacia abajo y a un distanciamiento de 10 a 12 m., que es el recomendado para esta práctica.
- 3°. Construir las barreras vivas con plantas sembradas en doble hilera distanciadas entres si, de 15 a 20 cm. aproximadamente, cubriendo toda el área deseada (ver figura 4.23).



Figura 4.23. Forma en que se siembran la barrera viva en grupos de a dos

- 4°. En caso de emplear zanjas o acequias de infiltración (para pendiente mayores a 10 %) las barreras vivas deben sembrarse de 10 a 20 cm. por encima del borde superior del terreno.
- 5°. Se deben programar mantenimientos en las barreras vivas a fin de asegurar su buen funcionamiento.
- 6°. Conclusiones del diseño.

Donde se deberán presentar la memoria de cálculo, recomendaciones para la ejecución y la explotación, así como todos los planos que sean necesarios para la construcción de las barreras vivas.

#### **4.4. Surcos en contornos**

##### **4.4.1. Definición**

Los surcos en contorno son prácticas conservacionistas que se construyen en dirección transversal a la máxima pendiente del terreno.

El objeto de esta práctica es reducir la velocidad del escurrimiento superficial, favorecer una mayor infiltración del agua, disminuir la erosión del suelo y aumentar la producción y productividad de los cultivos. Las acequias o regueras de cabecera están orientadas en el sentido de la pendiente o ligeramente desviadas de ella, por lo cual es necesario protegerlas para evitar la erosión.

#### **4.4.2. Clases**

Los surcos en contorno pueden ser de dos clases:

1. A nivel (de fondo horizontal).
2. Con una ligera pendiente en el fondo.

#### **4.4.3. Condiciones de uso**

Esta es una práctica que se recomienda para suelos con pendientes no muy pronunciadas (menores de 20%); en pendientes mayores pueden ocurrir daños por erosión sobre todo durante los aguaceros fuertes (ver figura 4.24).

Los surcos en contornos, se utilizan en muchas ocasiones para el riego de determinados cultivos.

Entre los cultivos en hileras que utilizan surcos en contornos profundos, se encuentran la papa y el pimiento, los cuales pueden regarse en pendientes de hasta 8% en suelos de textura media a pesada.



Figura 4.24. Vista de la construcción de los surcos en contornos

En suelos de textura liviana, no conviene regar por surcos en contorno con una pendiente superior al 5% por temor a la ruptura de los surcos. Para obtener un riego eficiente en cultivos que utilizan surcos poco profundos, las siembras en contorno deben limitarse a terrenos que tienen una pendiente inferior a 3%.

Las plantaciones permanentes como huertos frutales, citrus, viñas, entre otras, pueden regarse exitosamente mediante surcos en contorno. Si estos surcos no son afectados por otras labores, pueden emplearse en pendientes de hasta 20%.

#### **4.4.4. Tipos de surcos en contornos**

Al emplear este método de riego, debido a las diferentes condiciones topográficas de cada predio, durante la construcción de los surcos, pueden originarse varios tipos de éstos, entre los que se pueden mencionar:

1. **Surcos completos**, que nacen de las acequias o regueras y atraviesan todo el campo hasta la próxima acequia de riego o de desagüe.
2. **Surcos incompletos**, que también nacen desde la acequia de cabecera pero terminan en otro surco.

3. **Surcos de relleno**, que nacen a cierta distancia de la acequia de cabecera y se unen a otro surco después de recorrer una distancia corta. En el punto de nacimiento de estos surcos, se taquea el surco inferior para permitir el escurrimiento del agua por los surcos de relleno.
4. **Surcos bifurcados**, que nacen a cierta distancia de la acequia de cabecera y se extienden hasta la acequia de desagüe. Como en el caso de los surcos de relleno, el agua se obtiene desde el surco superior.

Un terreno que tenga pendientes uniformes, permitirá construir el máximo de surcos completos y el mínimo de surcos incompletos, de relleno y bifurcados. Asimismo, el riego se efectuará con más facilidad. Si la topografía es irregular, se hace más difícil la planificación y construcción de los surcos.

#### **4.4.5. Diseño de los surcos en contornos**

El diseño de los surcos en contornos consiste en determinar su profundidad, distanciamiento, pendiente y longitud.

La profundidad del surco depende del tipo de suelo y cultivo a instalar. Cuando el cultivo se aporca, la profundidad puede alcanzar 30 cm. o más.

El distanciamiento o espaciado entre surcos es la distancia que debe existir entre las hileras de plantas, dependiendo principalmente de la naturaleza del cultivo y de la tecnología empleada.

Los surcos deben tener pendiente cero (a nivel) o pueden tener una ligera pendiente del orden del uno al cinco por mil (1-5 ‰), de acuerdo a las condiciones del suelo, precipitación de la zona y según se trate de terrenos bajo riego o en secano.

En el caso en que se tenga que trazar surcos con pendientes, la longitud no debe ser mayor de 100 m. bajo ningún motivo. Los criterios de diseño pueden variar de acuerdo a las condiciones locales. En la figura 4.25, se muestra un corte de una ladera con surcos en contorno.

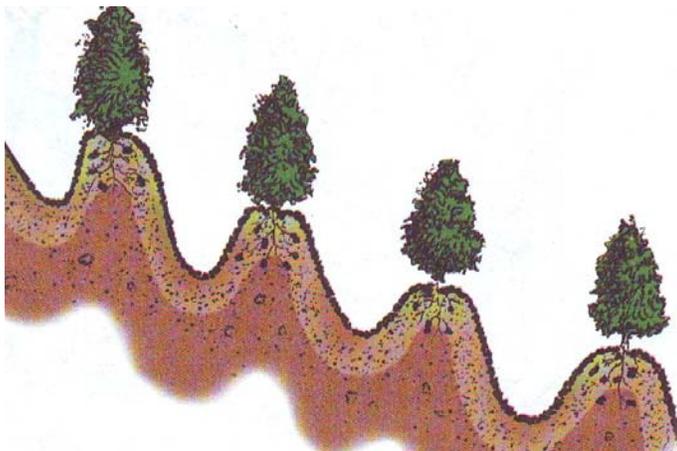


Figura 4.25. Corte de una ladera con surcos en contorno

#### **4.4.6. Ventajas**

1. Es una de las prácticas más sencillas y de más fácil aplicación para la conservación del suelo y el agua.
2. Su construcción no implica gasto adicional importante en comparación al surcado tradicional (a favor de la pendiente).
3. Puede servir como una práctica inicial para la futura adopción de otras prácticas más eficaces en el control de la erosión del suelo.

#### **4.4.7. Trazo y Construcción**

Una vez definidos los parámetros del diseño se procede a localizar en el terreno las líneas "guía" llamadas también líneas "base" o líneas "maestras", las mismas que servirán de base para el surcado. Las líneas guía se trazan cada 5-30 m según la pendiente y naturaleza de la ladera.

El distanciamiento entre "líneas guía" será menor cuando la pendiente del terreno no es uniforme o cuando el surcado se hace a mano. Si la pendiente es uniforme, las líneas guía pueden estar más distanciadas y más aún cuando se usa maquinaria.

El distanciamiento entre líneas guía también depende de la habilidad y destreza del operador. Una vez definido el distanciamiento entre líneas guía, el trazo se empieza a partir de la línea de máxima pendiente del terreno, utilizándose para el trazado el nivel en "A" o cualquier otro método de nivelación al alcance (ver figura 4.26).

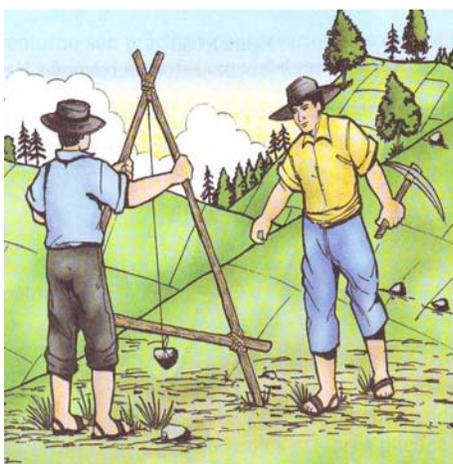


Figura 4.26. Trazado de surcos en contorno empleando un nivel en A

Las líneas guía pueden ser marcadas con piedras, terrones grandes y estacas, entre otros, es usual el delineado de una señal continua con el pico o pasar una doble reja con el arado por los puntos marcados con el nivel.

El trazo y construcción de los surcos en contorno se efectúa tomando como base "las líneas guía", o sea surcando o sembrando en hileras paralelas a éstas. De este modo una "línea guía" servirá como base para el surcado o la siembra en contorno de un área de terreno comprendida desde la mitad de la faja superior hasta la mitad de la faja inferior a la línea guía.

Operando de este modo y si la pendiente del terreno es irregular quedarán espacios libres entre los surcos a nivel. En estos espacios se trazan surcos cortos o también llamados surcos muertos, paralelos a los surcos a nivel más próximos. En la figura 4.27, se muestra una ladera con surcos en contorno.



Figura 4.27. Ladera tratada con surcos en contorno

#### **4.4.8. Métodos para trazar las líneas guías**

Para el trazado de las líneas guías existen varios métodos. Entre los principales están los que se describen a continuación:

- 1. Método del nivel de ingeniero:** para este método se debe contar con un nivel de ingeniero, una mira topográfica, una huincha de 10 m o más. Un combo de 7 lb y estacas. Para el empleo de este procedimiento se comienza por trazar las líneas matrices a una distancia de unos 10 m una de otra.

Dichas líneas se trazan directamente sobre el terreno con el nivel topográfico y mira, haciendo desplazarse el alarife hasta obtener la lectura correspondiente al desnivel elegido. Por ejemplo, si la pendiente adoptada es de 0,4% y la lectura de la mira en el borde de la acequia es 1,84, ello significa que la primera lectura a 10 m de distancia deberá ser 1,88 m, la segunda 1,92 m. y así sucesivamente.

Una forma práctica de obtener rápidamente la distancia de 10 m entre cada lectura es amarrar a la parte inferior de la mira una soga de 10 m. El otro extremo de la soga lleva un bozal que se introduce en la estaca. El alarife va girando para encontrar la diferencia de altura deseada, moviéndose siempre a una distancia de 10 m del punto anterior.

- 2. Método del nivel del carpintero:** los materiales que se utilizan para trabajar con este método son: un bastidor, un nivel de carpintero, estacas y un combo de 7 libras. El bastidor tiene un punto de apoyo A y uno B (regulable) y debe ser rígido en todo su largo. El tamaño del punto de apoyo regulable B se fija de acuerdo a la pendiente que se desee dar al surco en conformidad a la tabla 3.1. Por ejemplo: para obtener un surco con una pendiente del 0,4, el punto de apoyo B (regulable) deberá ser 2 cm. mayor que el punto de apoyo A.

Una vez ajustado el bastidor, se coloca el punto de apoyo A próximo a la acequia alimentadora y se ubica con B el punto del terreno donde la burbuja del nivel de carpintero (colocado en el bastidor) queda centrada.

En este punto se coloca una estaca. Luego se traslada el bastidor, colocando el punto de apoyo A en el punto determinado anteriormente, repitiendo sucesivamente la operación. Determinados los puntos, se traza el surco a través de ellos.

- 3. Método de la manguera:** para usar este método deberá contarse con los siguientes materiales: una manguera de plástico transparente de 13 m de largo, dos listones de 1,60 m de largo, un combo de 7 libras y estacas.

En un listón (A) se coloca una marca a una altura de 1,50 m. A otro listón (B) se le marca una altura correspondiente a la pendiente que se desea dar al surco. Por ejemplo, si se desea obtener un surco con una pendiente del 0,4% y considerando que la manguera permite colocar los listones a 10 m de distancia, el listón B de altura de 1,54 m. El paso siguiente consiste en colocar el listón A en el lugar donde se va a comenzar el surco, colocando un extremo de la manguera llena con agua, de tal forma, que el nivel del agua coincida con la marca del listón. El otro listón debe moverse en un radio de 10 m hasta que el nivel del agua en el otro extremo de la manguera coincida con la marca del listón B. Ubicado este punto, se coloca una estaca, luego se traslada el listón A al punto señalado y se repite sucesivamente la operación. Una vez colocadas las estacas que señalan la trayectoria del surco, se procede a su trazado.

#### **4.4.9. Metodología de diseño**

##### **Información requerida:**

- Información de las características del suelo (tipo de suelo) del lugar donde se van a construir los surcos en contorno.
- Un plano de levantamiento topográfico con curvas de nivel espaciadas cada metro.
- Delimitar la zona donde se va a construir los surcos en contorno (suelos con pendiente no muy pronunciadas, menor a 20 %).
- Información hidrológica de la zona (precipitación, intensidad de lluvia).

### **Pasos a seguir:**

- 1°. Identificar el área donde se va a construir los surcos, con pendiente no mayor al 20 %, ya que pueden producirse daños por erosión si la pendiente es mayor.

Recordar que la máxima pendiente del terreno donde se deberán construir los surcos deberá ser no mayor al 20 %, en la cual los surcos se construirán en dirección transversal a dicha pendiente.

- 2°. Definir los parámetros de diseño como profundidad, distanciamiento, pendiente y longitud de los surcos en contorno (ver figura 4.28), teniendo la información necesaria; debiéndose considerar:
  - 2.1. La profundidad de los surcos que depende del tipo de suelo, variando de 15 a 40 cm.
  - 2.2. El espaciamiento entre surcos (distancia entre las hileras de plantas) depende de las características del suelo, y varía de 60 a 100 cm.
  - 2.3. La pendiente de los surcos debe ser de cero, pudiendo tener una ligera pendiente (de 1 a 5%) dependiendo de las condiciones del suelo, precipitación de la zona.

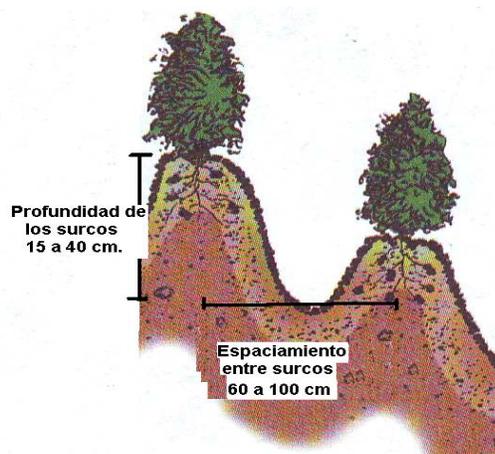


Figura 4.28. Parámetros de diseño de los surcos de construcción

- 3°. Localizar las líneas base o líneas guía en de acuerdo a uno de los métodos de trazado (ver punto h), a una distancia entre si de 5 a 30 m. según la pendiente y la naturaleza de la ladera empezando a partir de la línea de máxima pendiente del terreno.

La distancia entre líneas guías será menor cuando la pendiente no sea uniforme o cuando el surcado se hace a mano y será mayor cuando la pendiente sea uniforme. Una vez localizada se deben marcar con piedras, terrones grandes, estacas, etc. (ver figura 4.29).

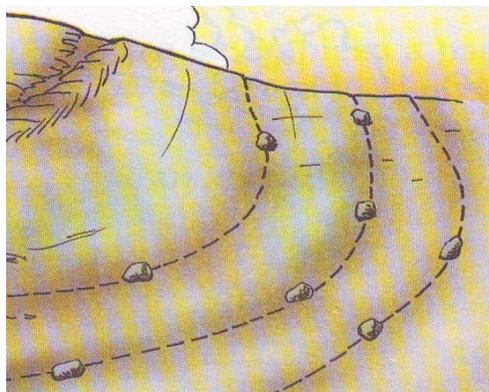


Figura 4.29. Trazado y marcado de los surcos con piedras

- 4°. Construir los surcos en contorno tomando como referencia las líneas guías, es decir, surcando o sembrando en hileras paralelas a estas (ver figura 4.30).

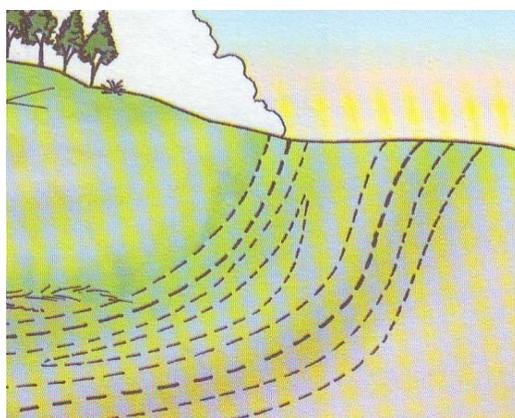


Figura 4.30. Líneas guías para la construcción de los surcos en contorno

De esta manera una línea guía servirá de base para el surcado en contorno de un área de terreno comprendido desde la mitad de la faja superior hasta la mitad de la faja inferior de la línea guía.

En caso de que el terreno sea irregular se trazan surcos cortos (surcos muertos) paralelos a los surcos de nivel más próximos, en los espacios libres; de manera que se cubra toda el área requerida.

#### 5°. Conclusiones del diseño

Donde se deberán presentar la memoria de cálculo, recomendaciones para la ejecución y la explotación, así como todos los planos que sean necesarios para la construcción de los surcos en contornos.

## V. MEDIDAS AGRONÓMICAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA EROSIÓN EN LOS CAUCES DE LOS RÍOS Y RIBERAS

---

### 5.1. Defensas vivas naturales

La acción del hombre, y la inadecuada explotación del área que comprende las riberas de los ríos, originan el debilitamiento de los cauces y las riberas, ocasionando que el río se desborde provocando serios daños materiales y de pérdidas de vidas humanas en muchas ocasiones.

Las defensas vivas naturales, son las mejores defensas contra la inundación y la erosión del río. Esta solución se caracteriza por el sembrado de variedades de árboles y arbustos de buena densidad dispuestos en ambos márgenes del lecho del río, manteniendo un ancho entre 30-40 m (ver figura 5.1).

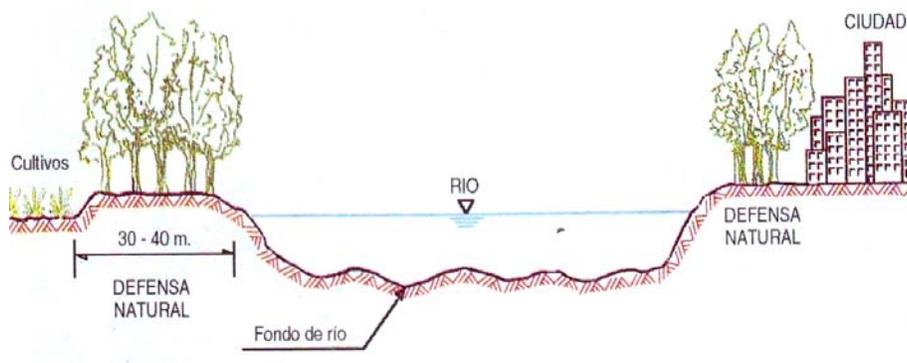


Figura 5.1. Defensas vivas naturales

### 5.2. Defensas vivas forestadas

Están basadas en la plantación de arbustos y árboles de raíces profundas que se realiza una vez determinada la sección estable del río. Su densidad debe estar en función de las características de las especies.

Esta plantación se efectúa en sectores críticos, o como complemento a las estructuras o defensa artificial. El ancho de plantación en cada margen varía de acuerdo a las características del río, por lo general de 10 a 30 m. Las especies más empleadas son los “Sauces”, “Huarango”: arbustos como “Chilca”, la caña en sus variedades “Guayaquil”, “Castilla”, “Caña brava”, etc. (ver figura 5.2).

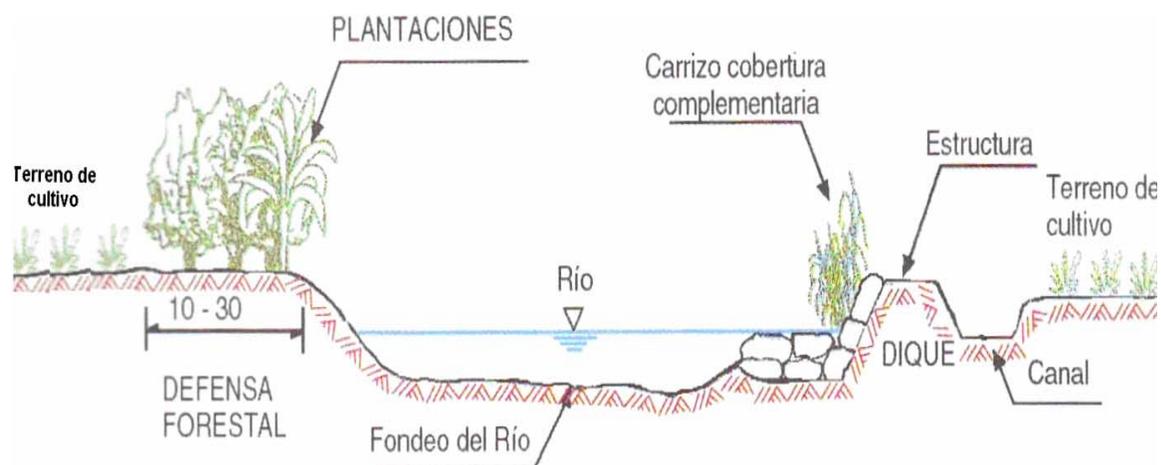


Figura 5.2. Defensas vivas forestales

## **VI MEDIDAS ESTRUCTURALES PERMANENTES DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA EROSIÓN EN LOS CAUCES DE LOS RÍOS Y RIBERAS**

---

### **6.1. Generalidades**

Son aquellas medidas que controlan la erosión producto de la escorrentía superficial. Consisten en estructuras diseñadas sobre la base de los principios de la ingeniería. En el aspecto de diseño se toma en cuenta la hidrología y la hidráulica fluvial.

En la hidrología, es necesario considerar los registros hidrológicos (descargas de los ríos) y la frecuencia con las que éstas se producen. Por lo general se recomienda 50 años de registro, anteriores al año de ejecución, para determinar el periodo de retorno y la descarga máxima de diseño.

En la hidráulica, se deben recabar datos en lo concerniente a pendiente, sección estable, tirante, sedimentación y socavación entre otros; elementos básicos para realizar el diseño de la estructura.

Las estructuras permanentes son aquellas estructuras que se construyen utilizando hormigón armado, ciclópeo, rocas y/o gaviones. Su diseño y ejecución requieren conocimientos y experiencia especializados. Se emplean para prevenir y controlar la erosión hídrica de terrenos de cultivo y otros efectos, desviando el flujo del agua y encauzando el río en los sectores críticos.

Entre los tipos de estructuras permanentes más utilizadas en la previsión y control de la erosión en las riberas de los ríos se encuentran:

1. Diques enrocados.
2. Estructuras de concreto.

3. Tetrápodos.
4. Losas.
5. Colchones.
6. Gaviones.

## 6.2. Diques enrocados

### 6.2.1. Descripción

Los diques enrocados son estructuras conformadas sobre la base del material del río, dispuesto en forma trapezoidal y revestido con roca pesada en su cara húmeda; pueden ser continuos o tramos priorizados donde se presenten flujos de agua que actúan con gran poder erosivo.

Las canteras de roca deben ser de buena calidad, y estar ubicadas lo más cercano posible a la zona de trabajo (ver figura 6.1).

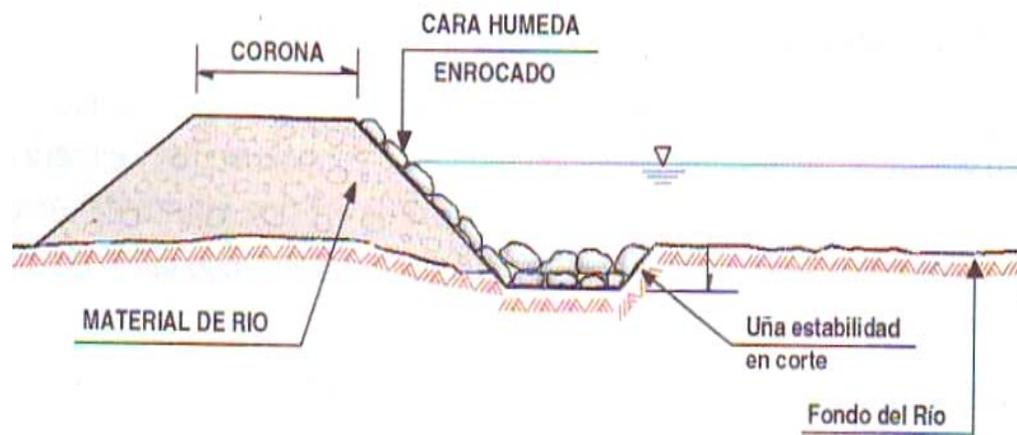


Figura 6.1. Dique enrocado

Los muros de enrocados resultan la protección mas efectiva contra la acción del oleaje por su bajo costo de colocación y mantenimiento.

### **6.2.2. Objetivo de la práctica**

Entre los objetivos fundamentales de esta práctica se encuentra el de proteger los taludes de los diques contra las acciones erosivas del:

1. Oleaje
2. Lluvia
3. Viento

### **6.2.3. Tipos de diques enrocados**

Los diques enrocados pueden ser de dos clases:

- a. Enrocados con roca al volteo.
- b. Enrocado con roca colocada.

#### **a. Enrocados con roca al volteo**

##### **a.1. Características**

Son estructuras revestidas con roca pesada al volteo o colocada en forma directa por los volquetes, pudiendo ser en forma parcial, sólo la cara húmeda o en forma total, uña y cara húmeda (ver figura 6.2).

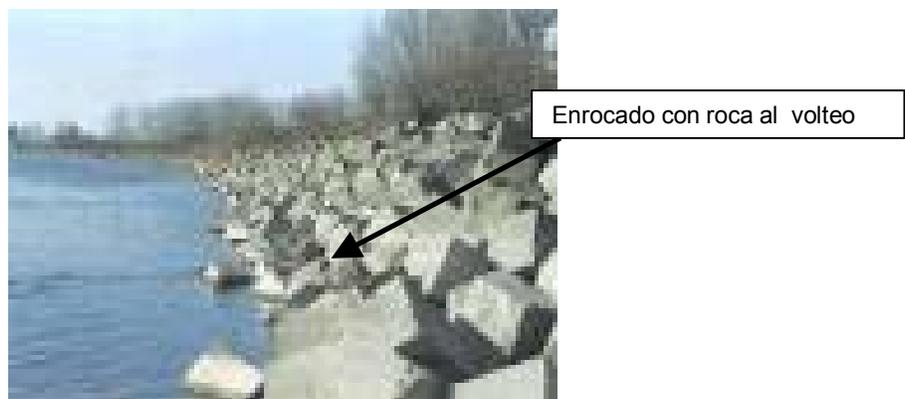


Figura 6.2. Fotografía de un enrocado con roca al volteo

### **a.2. Criterios para el diseño**

El enrocado esta formado por bloques de piedras colocados sobre una capa base que funciona como una especie de filtro, donde el enrocado debe extenderse de 1,5 a 2,4 m. por debajo del nivel de aguas. El volumen de roca empleado es mayor y su talud de acabado no es muy estable (ver figura 6.3). Este tipo de enrocado es mas efectivo contra la acción erosiva del oleaje debido a la superficie rugosa que se obtiene.

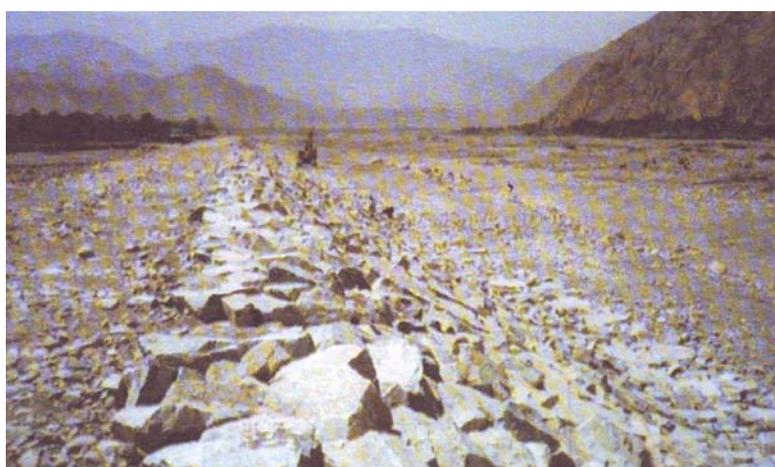


Figura 6.3. Fotografía de un enrocado con roca colocada al volteo

### **a.3. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria:**

- Dimensiones del talud del dique sobre el cual se va a colocar el enrocado.
- El intensidad del flujo del agua en contacto con el enrocado.
- La profundidad del río, quebrada, presa.

### **Pasos a seguir:**

- 1°. Peinar la superficie o talud húmedo sobre el cual se va a colocar el enrocado con maquinaria empleando un tractor o moto niveladora (ver figura 6.4).



Figura 6.4. Talud peinado con maquinaria

- 2°. Colocar una capa base con las siguientes características:
  - 2.1. El material empleado para su construcción es grava o piedra picada con arena bien gradadas.
  - 2.2. Dependiendo del tipo de material de relleno del dique, esta debe ser diseñada como filtro para impedir la migración de partículas y evitar el lavado del material de la superficie del talud aguas arriba.
  - 2.3. La longitud de la capa base varia dependiendo de la profundidad del terraplén.
- 3°. Volcar el enrocado sobre la capa base desde el camión o volquete, formado por piedras, rocas de diámetros variables entre 50 a 100 cm. evitando así el arrastre del material por la corriente del agua.

4°. Acomodar las piedras, rocas con una barra metálica u otro tipo de herramientas tratando de uniformizar la superficie del enrocado.

## **b. Enrocado con roca colocada**

### **b.1. Características**

Cuando la roca es colocada con la ayuda de un cargador frontal, excavadora o pala mecánica, en la cara húmeda de terraplén. El volumen de roca empleado es menor y el talud que se logra es estable y guarda las especificaciones de diseño (ver figura 6.5).



Enrocado con roca colocada

Figura 6.5 Fotografía de un enrocado con roca colocada

### **b.2. Criterios para el diseño**

El material empleado para este tipo de enrocado consiste en piedras seleccionadas, acomodadas y trabadas.

Las piedras son planas de forma cuadrada o rectangular que se colocan sobre una capa base (ver figura 6.6).



Figura 6.6. Forma de colocar las piedras para un enrocado colocado a mano

Este tipo de enrocado tienen poca flexibilidad y su superficie es poco rugosa, por lo que es menos efectivo para disipar la energía del oleaje.

### **b.3. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria:**

- Dimensiones del talud de la presa sobre la cual se va a colocar el enrocado.
- Intensidad del flujo de agua en contacto con el enrocado.
- La profundidad del río, quebrada, presa, donde será colocado.

#### **Pasos a seguir:**

- 1°. Peinar la superficie o talud húmedo sobre el cual se va a colocar el enrocado con maquinaria empleando un tractor o moto niveladora.
- 2°. Construir la capa base sobre la cual se apoyará la losa de hormigón, debiéndose cumplir con las siguientes características:
  - 2.1. El material empleado para su construcción es grava o piedra picada con arena bien gradadas.

- 2.2. Dependiendo del tipo de material de relleno de la presa, esta debe ser diseñada como filtro para impedir la migración de partículas y evitar el lavado del material de la superficie del talud aguas arriba.
- 2.3. Longitud de la capa base varia dependiendo de la profundidad del terraplén.
- 3°. Volcar el enrocado formado por piedras, rocas de forma cuadrada o rectangular sobre la capa base, con la excavadora o pala mecánica, evitando el arrastre del material por la corriente del agua o una crecida de la misma (ver figura 6.7).



Figura 6.7. Volcado del enrocado con maquinaria

### **6.3. Estructuras de concreto**

Estas obras son construidas sobre la base de concreto y sirven para la protección de la acción erosiva del río. Sobresalen, dentro de estas obras, los muros de encauzamiento; destacándose dentro de ellos los muros de contención.

### 6.3.1. Muros de contención

#### a. Definición

Un muro de contención es una estructura de material diverso (mampostería, hormigón, entre otros,), que se construye para:

- Controlar el flujo de agua de un río.
- Evitar el empuje de tierras.
- Prevenir y disminuir las erosiones en las márgenes de los ríos.
- Otros.

#### b. Características

Los muros de contención pueden ser construidos con hormigón, mampostería común, en masa o armado, previa ejecución del encofrado correspondiente.

Aunque, casi todos se construyen actualmente en hormigón armado, están formados según el tipo de muro de una escarpa, puntera y un talón (ver figura 6.8).

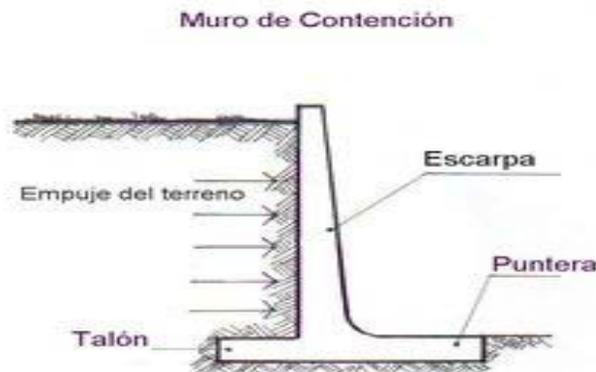


Figura 6.8. Sección típica de un muro de contención

Es importante tener en cuenta la disposición correcta de las armaduras, de acuerdo al diseño de la zapata en relación al empuje de las tierras.

Para mejorar la estabilidad, en lugar de construir un muro macizo y grueso, de sección uniforme, se ejecuta el muro con una sección trapezoidal, generalmente protegido con enrocado en la cara que estará en contacto con el agua (ver figura 6.9).



Figura 6.9. Muro de contención protegido con enrocado

Cuando las condiciones de edificación lo permiten, conviene que la parte exterior del muro forme un plano inclinado (escarpa) (ver figura 6.8); de esta manera se aumenta el ancho de la base asegurando la estabilidad del conjunto y se baja el centro de gravedad.

### **c. Tipos de Muro de Contención**

En línea general los muros más frecuentes que se construyen son:

#### **1. Muros de concreto ciclópeo**

Son de forma longitudinal, de dimensiones variables en función al caudal máximo de diseño y el nivel de socavación. Son construidos con material de río (ver figura 6.10 A).

## 2. Muros de concreto armado

Construidos con armadura de acero y son de dimensiones menores que los muros de concreto ciclópeo (ver figura 6.10 B).

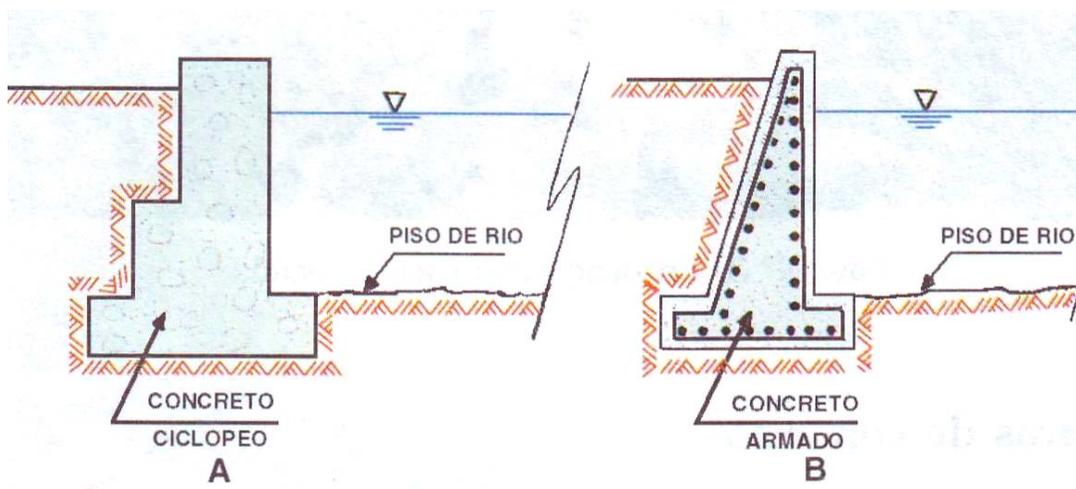


Figura 6.10 (A y B) Muros de concreto ciclópeo y armado respectivamente

En la figura 6.11 se puede ver un muro de concreto armado en fase de construcción.



Figura 6.11. Construcción de un muro de contención previa desviación del río

### **3. Muros de gravedad**

Son muros de hormigón en los que la resistencia se consigue por su peso propio, su ventaja es que no van armados.

### **4. Muros de Criba**

Son muros de piezas prefabricadas de hormigón de muy diversos tipos que forman una red espacial que se rellena con el peso propio.

### **5. Muros Ménsula**

Son los más empleados aunque su campo de aplicación depende de los costos relativos de excavación, hormigón, acero, encofrados y relleno (ver figura 6.12).



Figura 6.12. Muro de ménsula

### **6. Muros de Contrafuertes**

Constituyen una solución más costosa debido a que su hormigonado es más difícil, al manejarse espesores más reducidos.

## **7. Muros prefabricados**

Los muros prefabricados son los empleados últimamente debido a las características y ventajas que presentan, entre las cuales se pueden mencionar:

- Mínima excavación, la necesaria para el empotramiento de sus elementos y piezas.
- El relleno posterior no necesita cumplimentar especificaciones especiales de granulometría, características químicas o compactación.
- El relleno posterior puede postergarse en el tiempo según las necesidades de obra, ya que las placas se construyen en fábrica, específicamente para cada ubicación, se entregan con la conformación necesaria en el borde superior, que evita la construcción en obra de una viga de coronamiento para terminación.
- Mínima utilización de mano de obra (3 operarios no especializados) y un equipo de izaje chico (puede emplearse una cargadora) dado el reducido peso de los elementos.
- El montaje de los muros y estribos en obra es totalmente independiente de las condiciones climáticas.
- En estribos, el cargadero no es flotante, sino que apoya en los nervios de las placas, con los consiguientes beneficios económicos.
- El sistema no presenta elementos metálicos descubiertos en contacto con el ambiente o con el suelo, motivo por el cual no está afectado por el riesgo de corrosión, brindando así un importante grado de seguridad para la integridad del muro.

- Se alcanzan hasta 13 m de altura con una sola placa.
- El diseño de las juntas asegura el drenaje en toda la altura del muro, eliminando la posibilidad de manchas en la cara vista del parámetro, al canalizar adecuadamente las aguas.
- En los casos con dificultades operativas para efectuar la excavación por imposibilidad de afectación de calzadas en servicio o presencia de instalaciones de servicios públicos, la excavación del trasdós puede ser minimizada utilizando un tipo de panel diseñado a tal efecto.
- La utilización de mano obra en el frente de trabajo se reduce al mínimo. Se elimina la necesidad de utilización de encofrados y el empleo de armadores en obra.

En la figura 6.13 se presenta una foto de un muro de contención después de finalizada su construcción.

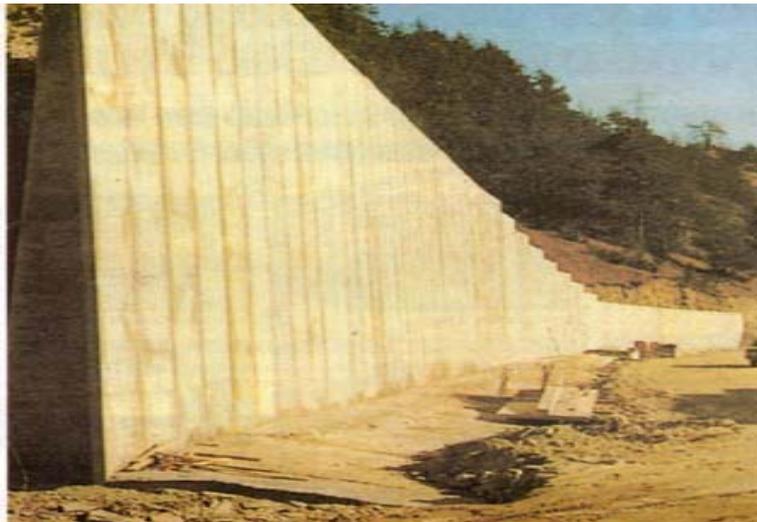


Figura 6.13. Muro de contención finalizado

#### **d. Metodología de Diseño**

##### **Información necesaria**

- Plano en planta del río, con curvas de nivel espaciadas 1m.
- Características del suelo en el fondo del río.
- Datos hidrológicos de la zona (máxima crecida del río, mínimo estiaje, intensidad de la corriente, entre otros).

##### **Pasos a seguir:**

- 1°. Realizar el replanteo del sistema de defensa en base a muros de contención, para lo cual se debe considerar:
  - 1.1. La alineación de los muros.
  - 1.2. Trazado de ejes para el dique.
  - 1.3. Delimitación de áreas de corte de tierra para la conformación del dique.
  - 1.4. Ubicación de los diques respecto a la corriente del río.
  - 1.5. La estabilidad del suelo donde se asentaran los muros.
- 2°. Proceder a la excavación y el movimiento de tierras según lo previsto en el replanteo, conteniendo el agua del río mediante una desviación, pudiéndose construir una ataguía pequeña empleando el mismo material de excavación.
- 3°. Colocar una capa de hormigón pobre, o de limpieza en la base de la fundación del muro una vez terminada la excavación.
- 4°. Disponer la armadura de la zapata y realizar su hormigonado correspondiente, de acuerdo al diseño previsto.

- 5°. Realizar el encofrado de la cara interior del muro (intradós) y colocar la armadura del muro de contención; de la misma manera encofrar la cara exterior (extradós).
- 6°. Vaciar el hormigón en los encofrados cuidando la uniformidad de la masa, cuidando de no dejar espacios vacíos, realizando el vibrado del hormigón.
- 7°. Una vez alcanzada la consistencia deseada, desencofrar el muro y rellenar las zonas de la cara posterior del río, mediante el uso de la maquinaria adecuada (ver figura 6.14).



Figura 6.14. Relleno de la cara posterior del muro con maquinaria

- 8°. Normalizar el curso del río, y realizar el mantenimiento necesario por lo menos una vez al año (ver figura 6.15).



Figura 6.15. Muro de contención antes de la normalización del curso de agua

### **6.3.2. Elementos precolados**

#### **a. Definición**

Son piezas de forma geométrica específica, prefabricadas con concreto hidráulico simple, del tamaño, masa y durabilidad apropiados para resistir la acción de las corrientes y del oleaje, que se emplean en la coraza y eventualmente en la capa secundaria de las obras de protección, tales como los rompeolas, escolleras, espigones y enrocamientos, en zonas donde no se dispone económicamente de roca en cantidad o tamaños adecuados para formar esas capas.

#### **b. Clasificación**

Los elementos más comúnmente empleados son los cubos, tetrápodos, cuadrípodos, tribarra, dolos y Core-Loc.

Entre los más empleados se tienen:

##### **b.1. Tetrápodos**

Son estructuras individuales que se asemejan a un "Yack" por apoyarse en sus cuatro brazos. Son empleados como disipadores de energía y permiten el control de la erosión hídrica (ver figura 6.16).

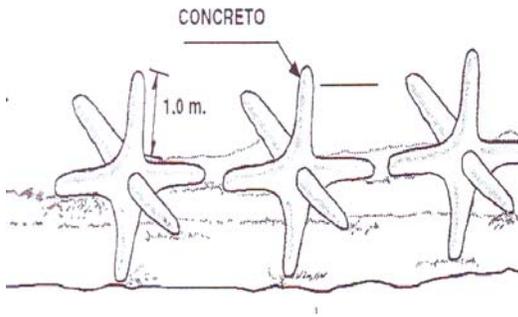


Figura 6.16. Tetrápodos

## b.2. Datos

Son cubos de concreto de 1,0 a 1,5 m de lado, contruidos in situ y superpuestos entre sí con empleo de maquinaria pesada. Se utiliza para su elaboración el material del río. Su ventaja es que, conforme se van hundiendo, pueden colocarse uno encima del otro, hasta que se estabilicen. Son considerados por su tamaño y peso estructuras de gravedad.

## c. Construcción

Para la construcción de los elementos precolados se deben considerar los siguientes aspectos:

### c.1. Equipo de elaboración

- **Revolvedoras;** que cuenten como mínimo con un tanque dosificador de agua debidamente calibrado y con dispositivo de cierre; un aditamento para cerrar automáticamente la tolva de descarga y evitar que se vacíe, antes de que los materiales hayan sido mezclados. Las revolvedoras serán capaces de girar a una velocidad tangencial periférica aproximada de un 1m/s.

- **Camiones mezcladores o agitadores;** serán capaces de producir, mantener y descargar una mezcla uniforme de concreto hidráulico, sin provocar segregación.
- **Vibradores;** del tipo, frecuencia y potencia, de acuerdo con el elemento por colar, para obtener un concreto compactado con textura uniforme y superficie tersa en sus caras visibles.

### **c.2. Equipo de transporte**

Dependiendo de las características de los elementos precolados de concreto, del terreno y de las vías de comunicación existentes, así como de la ubicación del patio de colado, el equipo de transporte puede ser:

- Góndolas de ferrocarril con descarga lateral.
- Camiones de volteo ordinarios o fuera de carretera, con una capacidad entre 20 y 90 m<sup>3</sup>.
- Charolas con las dimensiones mínimas que garanticen el adecuado acomodo de los elementos precolados con la ayuda de una grúa de alcance y con la capacidad de carga necesaria para soportar la masa de los mismos.
- Chalanas o barcazas con grúas propias o con grúas de tierra montadas sobre ellas, que cuenten con almejas, con garras de dos o más dedos o con cucharones de gajos, así como con los aditamentos necesarios para izar y colocar los elementos precolados de concreto en la posición que, en su caso, indique el proyecto.

### **c.3. Normas de diseño**

- **Cimbras o moldes**

Las cimbras o moldes serán del material indicado en el proyecto, y en el caso de que sean de madera, no se aceptará el uso de piezas torcidas y cuando vayan a trabajar a tensión no tendrán nudos.

Las cimbras o moldes serán estancos para evitar la fuga de la lechada y de los agregados finos durante el colado y el vibrado; tendrán la rigidez suficiente para evitar deformaciones debidas a la presión del concreto, al efecto de los vibradores y a las demás cargas y operaciones correlativas al colado o que puedan presentarse durante la fabricación de los elementos precolados; se construirán de manera que los elementos colados puedan ser retirados sin dañar el concreto.

Todas las aristas interiores llevarán un chaflán que consistirá en un triángulo rectángulo con catetos de 2,5 cm. Cuando se considere necesario se dejarán aberturas temporales en la base y otros lugares de las cimbras o moldes, para facilitar su limpieza, inspección y la colocación del concreto.

Terminada la fabricación de las cimbras o moldes, se revisará que cumplan con lo indicado en el proyecto, no permitiéndose el colado en cimbras o moldes con juntas que presenten aberturas mayores de 10 mm; en este caso, las juntas serán calafateadas con un material adecuado que garantice un buen sello, que resista sin deformarse o romperse el contacto con el concreto y que no produzca depresiones.

Los separadores de madera no se dejarán ahogados en el concreto. Las varillas o tirantes usados para afianzar los moldes, pueden quedar ahogados en el concreto y cortarse a no menos de 3 cm hacia el interior de las caras amoldadas del concreto.

- **Colado**

Después de elaborado el concreto hidráulico será transportado hasta la cimbra o molde en que se colocará, de manera que prevenga cualquier segregación o clasificación de los componentes de la mezcla, tomando en cuenta lo establecido en la Normas para el concreto hidráulico.

Previamente al vaciado de la mezcla en la cimbra o molde, se habilitarán los dispositivos del elemento por colar, que faciliten su manejo, según lo indique el proyecto.

A menos que el proyecto indique otra cosa, la colocación y acomodo del concreto se hará dentro de los 30 minutos posteriores a la incorporación del agua a la mezcla.

El colado será continuo hasta llenar totalmente la cimbra o molde del elemento precolado, sin dejar huecos dentro de la masa de concreto. El lapso entre un vaciado y el siguiente, para el mismo elemento, será como máximo de 30 minutos.

No se dejará caer la mezcla desde alturas mayores de 1,5 m, ni se amontonará para después extenderla en la cimbra o molde.

Las cimbras o moldes de los elementos ya colados se retirarán después de 24 horas de efectuado el colado, o de acuerdo con lo indicado en el proyecto.

Los elementos precolados solamente se podrán manejar, transportar y colocar en el sitio de la obra, cuando su resistencia a la compresión alcance el 75 % de la resistencia de proyecto.

- **Vibrado**

Inmediatamente después de colado el concreto hidráulico, se consolidará uniformemente mediante vibrado, con vibradores de cabeza de inmersión de operación manual, mesas vibratorias o vibradores de moldes, de acuerdo con el tipo de los elementos que se fabriquen, en número suficiente para asegurar el correcto acomodo de la mezcla, de acuerdo con el volumen que se cuele, de manera que no entren en contacto con las cimbras o moldes y que se obtenga un concreto compacto, que presente una textura uniforme y una superficie tersa en sus caras visibles.

Los vibradores de cabeza se operarán verticalmente; por ningún motivo se aceptará introducir el cabezal en posición horizontal. Cuando el concreto se coloque en diferentes capas, la cabeza vibradora penetrará aproximadamente 5 cm en la capa subyacente, la que estará en estado plástico y sin haber alcanzado su fraguado inicial.

Se evitará el vibrado excesivo, para impedir cualquier segregación o clasificación en la mezcla.

Cuando así lo establezca el proyecto, no se usarán vibradores, en cuyo caso la mezcla se acomodará perfectamente, picándola con varillas metálicas del diámetro y en la cantidad que indique el proyecto.

- **Fraguado y curado**

Durante las 10 primeras horas que sigan a la terminación del colado, se evitará que el agua de lluvia o alguna corriente de agua, deslave el concreto.

Una vez iniciado el fraguado y por lo menos durante las primeras 48 hr de efectuado el colado, se evitará toda clase de sacudidas, trepidaciones y movimientos bruscos que interrumpen el estado de reposo del concreto o alteren su acabado superficial con huellas u otras marcas.

Se evitará la pérdida de agua del concreto, para que alcance su resistencia y durabilidad potencial, protegiéndolo mediante el curado. Si el proyecto no indica otra cosa, el curado se hará aplicando riegos de agua sobre las superficies expuestas y las cimbras o moldes, tan pronto dichos riegos no marquen huellas en esas superficies. Los riegos se aplicarán durante 7 días cuando se empleen cementos Pórtland de clase resistente de 20, 30 y 40, y durante 3 días cuando se empleen cementos Pórtland de clase resistente de 30R y 40R. El agua que se utilice para el curado, será de la misma calidad que la que se emplee en la elaboración del concreto.

#### **d. Metodología de diseño**

##### **Información necesaria**

- Un plano en planta del tramo del río, con curvas de nivel espaciadas a 1 m para identificar la zona a proteger.
- Estudios hidrológicos (intensidad del río, periodo de máxima crecida, periodo de estiaje, entre otros).
- Características del suelo (tipo de suelo del lecho y de las orillas del río).
- Materiales disponibles en la zona (gravas, arenas, entre otros).

## **Pasos a seguir**

- 1°. Realizar una visita de inspección previa al inicio de los trabajos, para identificar el área de colocación de los elementos de concreto.
- 2°. Acondicionar los patios de descarga o almacenamiento de materiales, así como los patios o mesas de colado y cualquier otro espacio que se requieran para la fabricación de los elementos precolados de concreto.
- 3°. Delimitar la zona de colocación de los elementos precolados de concreto mediante estacas en la parte de tierra y boyarines en la de mar, de acuerdo con lo indicado en el proyecto, considerando:
  - 3.1. Si existe una berma de protección contra la socavación al pie de la coraza de la obra de protección, el marcado corresponderá al borde interior de la berma.
  - 3.2. Si los elementos se coloquen en dos capas pero sin berma de protección, el marcado corresponderá a la traza del pie de la capa exterior con el fondo.
  - 3.3. Cuando los elementos se colocan en una sola capa pero sin berma, el marcado corresponderá a la traza del pie de la coraza con el fondo.
- 4°. Instalar las señales y los dispositivos de seguridad antes de iniciar la colocación de los elementos precolados de concreto, para garantizar la salvaguarda de los trabajadores.
- 5°. Seleccionar la forma de colocación de los elementos precolados de concreto, el cual se podrá realizar:

5.1. Desde tierra, donde los elementos precolados se colocarán:

- De acuerdo con el trazo y niveles indicados en el proyecto.
- Mediante la utilización de una grúa equipada con garras de dos o más dedos o con los aditamentos necesarios para izarlos y colocarlos.
- Con tirantes de agua menor a 3 m.

5.2. Desde mar, donde los elementos precolados se colocarán:

- De acuerdo con el trazo y niveles indicados en el proyecto.
- Mediante la utilización de barcazas con grúas propias o con grúas de tierra montada sobre ellas, equipadas con garras de dos o más dedos o con los aditamentos necesarios para izarlos y colocarlos.
- Con un tirante de agua de por lo menos 3 m, para facilitar las operaciones de las barcazas.

6°. Proceder a la colocación de los elementos precolados de concreto para construir la obra de protección, debiéndose considerar:

6.1. La colocación se realizara a partir del pie del talud, hasta la corona o la cota que se establezca en el proyecto garantizando una buena trabazón entre ellos.

6.2. Durante la colocación de los elementos precolados de concreto y con el propósito de no provocar su rotura, se evitará que éstos caigan libremente sobre el material o sobre los elementos de la capa subyacente.

- 6.3. Si la capa secundaria de la obra de protección se construye con elementos precolados de concreto, antes de iniciar la construcción de un nuevo tramo, se construirá la coraza del tramo anterior, acomodando los elementos precolados correspondientes de acuerdo con el trazo y niveles indicados en el proyecto.
  - 6.4. Durante el proceso constructivo, cuando la obra se realice desde tierra, la corona de la capa secundaria o del núcleo, podrá emplearse como camino de trabajo, mediante la construcción de una capa de rodadura y, de tramo en tramo, de retornos para facilitar las maniobras del equipo de construcción, considerando que el ancho de la corona ha de permitir siempre la circulación adecuada de los camiones de volteo fuera de carretera, construyendo, en caso necesario, ampliaciones para el cruce de dos camiones o de un camión con una grúa.
  - 6.5. Cuando la corona del núcleo o, en su caso, de la capa secundaria, se utilice como camino de trabajo su elevación durante la etapa de construcción será por lo menos de uno coma cincuenta (1,50) metros sobre el nivel de marea alta, para reducir el efecto de las raciones producidos por el oleaje.
- 7°. Realizar una inspección final de la colocación de los elementos precolados, asegurándose del acoplamiento o trabazón entre ellos.

### **6.3.3. Losas de concreto**

#### **a. Características**

Consisten en losas de concreto armado que se colocan en la cara húmeda de un dique trapezoidal (ver figura 4.8); y constituyen una de las formas más comunes de protección del paramento aguas arriba de un dique o una presa.

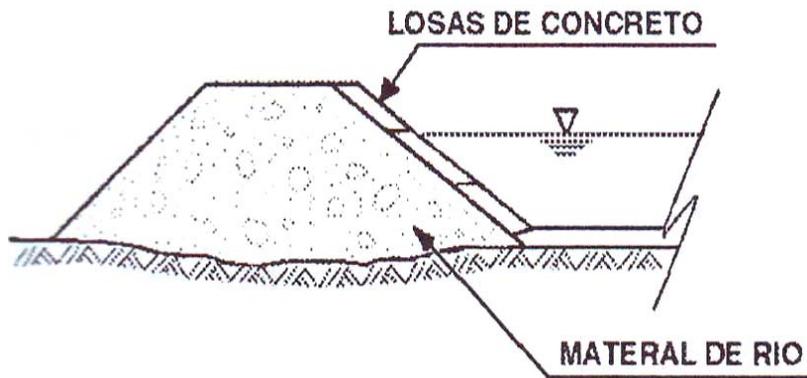


Figura 6.17. Losa de concreto armado colocadas en la cara húmeda de un dique

## b. Clasificación

Las losas de concreto pueden ser colocadas de dos formas:

- Como placas monolíticas.
- Como placas articuladas.

## c. Losas colocadas como placas monolíticas

Dentro de las características de las placas monolíticas se tienen que:

- El espesor de la losa varia desde 1% de la altura total del dique, cerca del fondo, hasta 0.20 m en la cresta del dique.
- Las membranas o mallas utilizadas deberán llevar refuerzo, considerándose como norma usar acero de áreas entre 0.5% y 0.7% del área del concreto, vertical y horizontalmente en forma respectiva.
- El concreto empleado es necesario que sea denso y durable para evitar las filtraciones y los daños al concreto debidos al efecto del oleaje y del interperismo.

- Las placas tienen juntas de dilatación y su agrietamiento es inevitable, teniendo un alto costo de construcción y mantenimiento.

### **c.1. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria**

- Información necesaria sobre las propiedades del material del relleno que va a quedar detrás del muro (resistencia, tipo de suelo, etc.).
- Empujes en los rellenos de tierra en los muros sostenidos; para poder conocer las cargas activas de la tierra sobre los muros de sostenimiento.
- Intensidad de la corriente del río.
- Resistencia admisible del suelo en el que se apoyaran las zapatas de las estructuras auxiliares del dique.

#### **Pasos a seguir:**

- 1°. Una vez construido el terraplén de la presa se peina el talud con una moto niveladora, tractor o una maquinaria similar.
- 2°. Construir la capa base sobre la cual se apoyara la losa de hormigón, con las siguientes características:
  - 2.1. El material empleado para su construcción es grava o piedra picada con arena bien gradadas.
  - 2.2. Dependiendo del tipo de material de relleno del dique, esta debe ser diseñada como filtro para impedir la migración de partículas y evitar el lavado del material de la superficie del talud aguas arriba.
- 3°. Colocar la capa base sobre la cara húmeda del dique o presa compactándola posteriormente.

- 4°. Construir la losa de hormigón sobre la capa base con las siguientes características:
- 4.1. El espesor de la losa varia desde 1% de la altura total del dique, cerca del fondo, hasta 0.20 m en la cresta del dique.
  - 4.2. El concreto a emplear deberá ser denso y durable para evitar las filtraciones y los daños al concreto debidos al efecto del oleaje y del interperismo.
  - 4.3. Las membranas o mallas utilizadas deberán llevar refuerzo, considerándose como norma usar acero de áreas entre 0.5% y 0.7% del área del concreto, vertical y horizontalmente en forma respectiva.
  - 4.4. Las placas deben llevar juntas de dilatación vertical y horizontal.

#### **d. Placas articuladas**

Entre las características principales de las placas articuladas se tienen que:

- Son placas individuales de forma cuadrada o rectangular de dimensiones de 1 a 1,5 m. de largo.
- El espesor de las placas varía de 10 a 15 cm.
- Pueden o no tener armaduras de refuerzo.
- No son necesarias para su construcción juntas de dilatación horizontal, ni vertical.
- En casos de diques bajos de longitud considerable, las juntas verticales se pueden emplear para compensar la dilatación horizontal de los diques o para fines constructivos.
- Las juntas de dilatación son de material asfáltico.
- Requieren de una capa base para asentarse.

##### **d.1. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria**

- Información necesaria sobre las propiedades del material del relleno que va a quedar detrás del muro (resistencia, tipo de suelo, etc.).
- Empujes en los rellenos de tierra en los muros sostenidos; para poder conocer las cargas activas de la tierra sobre los muros de sostenimiento.
- Intensidad de la corriente del río.
- Resistencia admisible del suelo en el que se apoyan las zapatas de las estructuras auxiliares de los diques.

**Pasos a seguir:**

- 1°. Una vez construido el terraplén del dique se peina el talud con una moto niveladora, tractor o una maquinaria similar.
- 2°. Construir la capa base sobre la cual se apoyara la losa de hormigón, en la cual se deberá considerar:
  - 2.1. El material empleado para su construcción es grava o piedra picada con arena bien gradadas.
  - 2.2. Dependiendo del tipo de material de relleno del dique, esta debe ser diseñada como filtro para impedir la migración de partículas y evitar el lavado del material de la superficie del talud aguas arriba.
- 3°. Colocar la capa base sobre la cara húmeda del dique o presa compactándola posteriormente.
- 4°. Construir la losa de hormigón en base a placas articuladas sobre la capa base, con las siguientes características:
  - 4.1. Placas individuales de forma cuadrada o rectangular de dimensiones de 1 a 1,5 m. de largo.
  - 4.2. Espesor de las placas de 10 a 15 cm.
  - 4.3. Pueden o no tener armaduras de refuerzo.

- 4.4. No son necesarias para su construcción juntas de dilatación horizontal, ni vertical.
- 4.5. En casos de diques bajos de longitud considerable, las juntas verticales se pueden emplear para compensar la dilatación horizontal de los diques o para fines constructivos.
- 4.6. Las juntas de dilatación deben ser de material asfáltico.

## 6.4. Presas de regulación

### 6.4.1. Definición

Las presas de regulación se emplean en aquellos lugares donde es necesario almacenar agua para los temporales de estiaje, o donde la estabilización de los ríos no es suficiente con la protección de las riberas (ver figura 6.18).



Figura 6.18. Presa de regulación

Estas presas regulan el caudal de descarga, almacenando el agua en los momentos de descarga máxima, permitiendo la amortiguación de los picos de las avenidas o crecidas (ver figura 6.19).

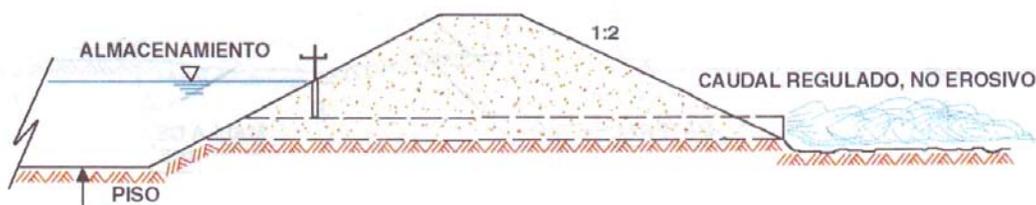


Figura 6.19. Esquema de una presa de regulación

### **6.4.2. Características de las presas de regulación**

Entre las características de una presa de regulación se tienen:

- **Altura de la presa;** En presas de regulación el factor más importante es la capacidad de almacenamiento, donde el volumen de agua embalsada es mayor cuanto más alta es la presa.
- **Aliviadero;** Los aliviaderos son necesarios para descargar el excedente de agua para que este no dañe la presa. El tipo de aliviadero más común es el derrame, el cual consiste en que una zona de la parte superior es más baja para poder permitir el aprovechamiento máximo de la capacidad de almacenamiento.
- **Obras de toma;** Las obras de toma son conductos o túneles cuyas entradas se encuentran a la altura del nivel mínimo del embalse, son necesarios para extraer de modo constante agua del embalse.

El agua extraída puede descargarse río abajo, puede utilizarse para riego, o llevarse a los generadores para obtener energía hidroeléctrica. Estas tomas poseen unas compuertas o válvulas que regulan la entrada de agua.

### **6.4.3. Partes de una presa de regulación**

La principal característica de una presa de regulación es la obra de toma, la cual esta formada por:

#### **a. Estructura de entrada**

Son estructuras de hormigón armado y pueden ser:

- **Toma sumergida;** es una estructura que trabaja a presión donde el control del gasto se ubica en el túnel o conducto; son más empleadas para sistemas de riego formadas por una abertura con un cuerpo de rejilla con capacidad para el gasto máximo del embalse.
- **Torre toma;** consta con varias aberturas a diferentes niveles provistos de rejillas y compuertas. Estas torres deben calcularse cuidadosamente contra el oleaje y el sismo.

#### **b. Túneles o Conductos**

Los túneles deben tener las siguientes características:

- El lugar de apoyo de los estribos deben consistir en roca de buena calidad.
- Los portales de entrada y salida deben tener una cubierta de 3 veces el diámetro del túnel.
- La cota fondo del río debe estar mínimo a 2 m. por debajo del nivel de entrada del túnel.
- El túnel debe tener una pendiente longitudinal de aproximadamente 0.1 % para facilitar el drenaje durante la construcción.

Los conductos se construyen cuando la calidad de la roca de los estribos no permite la construcción de túneles, y tienen las siguientes características:

- El terreno donde se apoya el conducto debe ser firme.
- La compactación del terraplén en la región o zona del conducto debe realizarse con equipo portátil a mano para evitar daños en él.

- Se deben proyectar juntas flexibles a lo largo del conducto, que permitan pequeños asentamientos diferenciales.

### **c. Estructuras de salida**

Es por donde la obra de toma descarga las aguas, su función es disipar en la salida los efectos del flujo que pueden ser destructivos y causar socavación debido a la energía excesiva del agua.

Las estructuras de salida más empleadas son:

- Pozo o estanque amortiguador; que disipa la energía del agua por medio del salto hidráulico.
- Tanque de impacto; donde el chorro de agua choca contra una placa de hormigón armado, produciendo gran turbulencia que origina la disipación de la energía del agua.
- Válvulas de chorro; Sirven para regular el flujo y la energía producida por él.

### **d. Tipos de presas**

Entre las distintas presas que se pueden construir, estas se clasifican según la forma de su estructura y los materiales empleados, pudiendo ser:

#### **1. Presas de gravedad**

Las presas de gravedad son estructuras de hormigón de sección triangular; donde la base es ancha y se va estrechando hacia la parte superior (ver figura 6.20); la cara que da al embalse es prácticamente vertical. Vistas desde arriba son de forma rectas o de curva suave.

La estabilidad de estas presas radica en su propio peso. Es el tipo de construcción más duradero y el que requiere menor mantenimiento. Debido a su peso las presas de gravedad son de más de 20 m de altura y se construyen sobre roca.

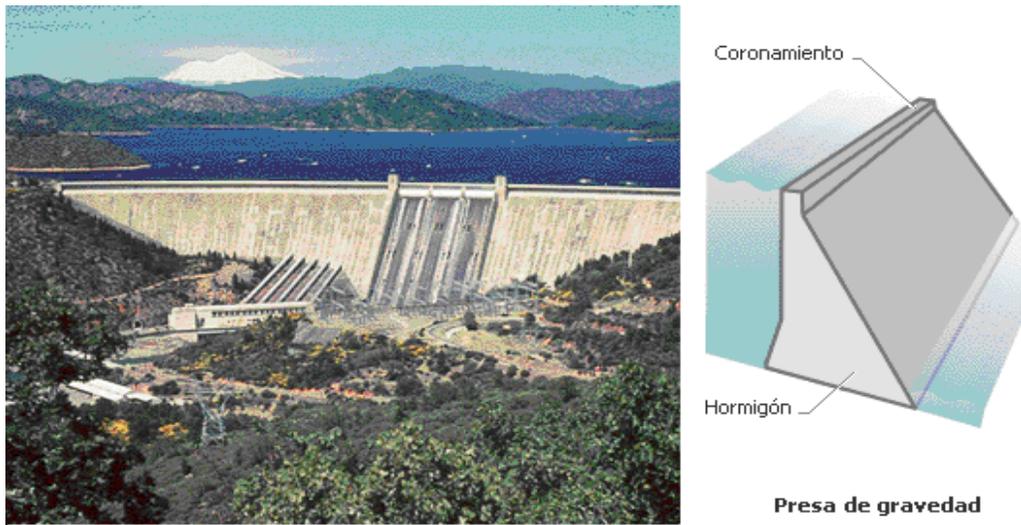


Figura 6.20. Presa de gravedad. Sección transversal

## 2. Presas de bóveda

Este tipo de presa utiliza los fundamentos teóricos de la bóveda. La curvatura presenta una convexidad dirigida hacia el embalse, así la carga se distribuye por toda la presa hacia los extremos; las paredes de los estrechos valles y cañones donde se suele construir este tipo de presa.

## 3. Presas de contrafuerte

Las presas de contrafuertes tienen una pared que soporta el agua y una serie de contrafuertes o pilares, de forma triangular, que sujetan la pared y transmiten la carga del agua a la base.

Estas presas precisan de un 35 a un 50% del hormigón que necesitaría una de gravedad de tamaño similar.

#### **4. Presas de elemento sin trabar**

Las presas de piedra o tierra y los diques son las estructuras más usadas para contener agua empleando en su construcción desde arcilla hasta grandes piedras. La escasa estabilidad de estos materiales obliga a que la anchura de la base de este tipo de presas sea de cuatro a siete veces mayor que su altura; donde la base debe estar bien asentada sobre un terreno cimentado.

##### **e. Criterios de diseño**

Las dimensiones de las presas de regulación están asociadas a los volúmenes de retención deseados, por lo que sus dimensiones serán función de la altura de represamiento.

El dimensionamiento hidráulico tomará en cuenta la regulación de la trayectoria del curso principal, las condiciones geológicas, el caudal y las necesidades de disipación de energía cinética al pie del muro.

Los dos primeros aspectos tienen que ver con la ubicación del vertedor, que definirá la trayectoria de la corriente y la conveniencia de ubicar esta obra cerca de la ribera que ofrezca mejores condiciones geológicas.

La determinación de los caudales de crecida, definirá las dimensiones geométricas del vertedor. El flujo, al superar la estructura, se precipitará en caída libre sobre la solera por lo que es necesario construir obras complementarias que logren disipar la energía cinética y devolver las aguas al medio físico en condiciones menos agresivas.

Y como toda presa, la presa reguladora debe ser impermeable a las filtraciones, a través o por debajo de ella deben ser controladas al máximo para evitar la salida del agua y el deterioro de la propia estructura.

Desde el punto de vista de la estabilidad de la estructura, pueden ser considerados los siguientes aspectos:

1. Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo de la presa, las cuales son:
  - La gravedad (que empuja a la presa hacia abajo).
  - La presión hidrostática (la fuerza que ejerce el agua contenida).
  - La presión hidrostática en la base (que produce una fuerza vertical hacia arriba que reduce el peso de la presa).
  - La fuerza que ejercería el agua si se helase.
  - Las tensiones de la tierra, incluyendo los efectos de los sismos.
2. Para presas de retención o regulación que se construyan de hormigón con armadura se recomienda una dosificación de  $300 \text{ Kg/m}^3$ .
3. Para presas sin armadura se recomienda una dosificación de cemento de 250 Kg.
4. La excavación para las fundaciones se realizará de manera escalonada o paralela a los flancos de la presa.
5. El hormigonado se realizará en capas horizontales, de manera que sea posible que las juntas dentadas permitan conformar un cuerpo sólido compacto y de una sola unidad.
6. En los casos de estructuras armadas, la armadura deberá contar con un revestimiento de por lo menos 5 cm.

## **f. Condiciones de uso**

Una presa de regulación que interrumpe el cauce natural de un río, pone a disposición del operador del embalse un volumen de almacenamiento potencial que puede ser utilizado para fines múltiples, así también pone a disposición un potencial energético derivado de la elevación del nivel del agua.

Entre los usos de una presa de regulación se tienen:

- Abastecimiento de agua potable o industrial.
- Control de avenidas.
- Generación de energía eléctrica.
- Riego.

## **g. Metodología de Diseño**

### **Información necesaria**

- El caudal a regular.
- Estudio geológico de la zona (existencia de fallas, características del suelo, capacidad portante, entre otros).
- Curvas de nivel del río.
- Ubicación de las zonas de erosión.
- Tipo de material existente en la zona, para la selección del tipo de presa.
- Estudio hidrológico referente a la intensidad de lluvia y crecidas.
- Un plano en planta del río, para la ubicación de la presa.

### **Pasos a seguir:**

- 1°. Ubicación del sitio de la ubicación de la presa en el lugar más favorable, pudiendo ser:

- 1.1. Lugar con buena capacidad para almacenar grandes volúmenes.
  - 1.2. Un buen sitio de ubicación de la presa, el cual debe ser angosto y tener estribos estables.
  - 1.3. Una zona de poca producción de sedimentos.
  - 1.4. Una zona geológica favorable a su construcción.
- 2°. Proceder a la desecación y preparación de cimiento (ver figura 6.21), donde la desecación se consigue normalmente mediante una o varias ataguías, diseñadas para eliminar el agua del terreno donde se va a construir la presa. Las ataguías pueden ser:
- 2.1. Presas de tierra o conjuntos de chapas de acero asentadas sobre pilotes y sujetas con tierra.
  - 2.2. Construidas a los lados del río para evitar el desbordamiento de su curso antes y después de la presa, y túneles rodeando la presa para conducir el agua.
  - 2.3. Si las condiciones topográficas impiden la construcción de túneles, la presa se debe realizar en dos etapas. Primero se instala una ataguía que deseca la mitad del ancho del río y se construye la base de esa mitad de la presa. Después se elimina esta ataguía y se construye una en la otra mitad.



Figura 6.21. Preparación de cimientos para la construcción de una presa

- 3°. Iniciar la construcción de la presa, la cual varía dependiendo del tipo de presa (ver figura 6.22).



Figura 6.22. Construcción de una presa

- 4°. Localizar la obra de toma en uno de los estribos de la presa con pendiente suave, perforando un túnel o construyendo un conducto a cielo abierto, indicando la ubicación de las estructuras de entrada y salida, así como del túnel o conducto.
- 5°. Construir la obra de toma o desaguadero de la siguiente manera:
  - 5.1. Construir la estructura de entrada, la cual es una estructura de hormigón armado, la misma que puede ser:
    - Una toma sumergida; que trabaja a presión y consta de una abertura con un cuerpo de rejilla con capacidad para el gasto máximo del embalse.
    - Una torre de toma, que tiene el control del gasto, sobre la misma torre y el agua fluye libre a través del túnel o conducto.
  - 5.2. Construir el túnel o conducto con las siguientes características:
    - Los portales de entrada y salida del mismo deben tener una cubierta de 3 veces el diámetro del túnel.
    - La cota fondo del río debe estar mínimo 2 m debajo el nivel de entrada del túnel.

- La pendiente longitudinal del túnel debe ser de aproximadamente de 0.1% para facilitar el drenaje durante la construcción.
- En caso de ser necesario se puede excavar un túnel pequeño de exploración para elegir el tramo más adecuado o para ventilación.
- Revestir el túnel con concreto lanzado a presión y con un espesor de 30 cm. aproximadamente y con 2 hierros de refuerzos en ambas direcciones.

5.3. Construir la estructura de salida la cual puede ser del tipo:

- Pozo o estanque amortiguador; que disipa la energía del agua por medio del salto hidráulico.
- Tanque de impacto; donde el chorro de agua choca contra una placa de hormigón armado, produciendo gran turbulencia que origina la disipación de la energía del agua.
- Válvulas de chorro; que sirven para regular el flujo y su energía.

6°. Una vez concluida la obra de toma y alcanzada la altura de diseño de la presa, se deberá iniciar la construcción del aliviadero, de acuerdo a lo previsto.

## **6.5. Gaviones**

### **6.5.1. Definición**

Son estructuras flexibles construidas por una red de malla hexagonal tejida a doble torsión. El alambre galvanizado tiene un recubrimiento plastificado que debe garantizar una vida útil adecuada del alambre.

El llenado de las cajas del gavión se hace normalmente sobre la base de cantos rodados, que se encuentran en los cauces de los ríos.

Estas estructuras son apropiadas en zonas donde el río presenta una pendiente entre suave y media (ver figura 6.23).



Figura 6.23. Representación de un gavión

Como las operaciones de armado y relleno de piedras no requieren ninguna pericia, utilizando gaviones se pueden ejecutar obras que de otro modo requerirían mucho más tiempo y operarios especializados. Los gaviones son estructuras hidráulicas de bajo costo y larga duración.

### **6.5.2. Objetivos de la práctica**

Los gaviones se emplean:

- Para la contención de la tierra.
- Como recubrimientos para el fondo de los ríos.
- Como muros de contención para excavaciones y diques.
- Para evitar y disminuir la erosión en los bordes de los ríos y canales, en pequeñas represas, aliviaderos, azudes, rompeolas.
- Como protección en las orillas de los ríos.

### 6.5.3. Condiciones de uso

1. **Muros de contención;** los muros de gaviones están diseñados para mantener una diferencia en los niveles de suelo en sus dos lados constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en lechos de ríos (ver figura 6.24).



Figura 6.24. Muros de contención formados por gaviones

2. **Conservación de suelos;** la erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende en las partes media y alta de la cuenca provoca el azolvamiento de la infraestructura hidráulica, eléctrica, agrícola y de comunicaciones que existe en la parte baja (ver figura 6.25).



Figura 6.25. Protección de suelos fértiles empleando gaviones

3. **Control de ríos;** en los ríos el uso del gavión acelera el estado de equilibrio del cauce, evita erosiones, transporte de materiales y derrumbamientos de márgenes, además el gavión controla las crecientes protegiendo valles y poblaciones contra inundaciones (ver figura 6.26).



Figura 6.26. Control de ríos usando gaviones

4. **Decorativos;** recientemente se han utilizado como un nuevo recurso decorativo en muchos parques que son atravesados por ríos (ver figura 6.25).

#### **6.5.4. Características de los gaviones**

El armazón de tela metálica que forma la estructura del gavión, relleno de piedras, le brinda grandes propiedades como la flexibilidad del armazón de los gaviones, sujetos a tensión y compresión alternantes, les permite trabajar sin romperse, y así se evita que pierdan su eficacia estructural.

Como estructura deformable, todo cambio en su forma por hundimiento de su base o por presión interna es una característica funcional y no un defecto. Así pues, se adapta a los pequeños movimientos de la tierra y, al deformarse conserva su solidez estructural sin fracturas.

Como los gaviones se sujetan entre sí, la tela metálica resiste mucho la tensión, a diferencia del concreto. Una estructura de gaviones soporta un grado de tensión que comprometería mucho a una estructura de piedra seca y sería francamente peligrosa para el concreto y la mampostería simples.

El armazón de tela metálica no es un recipiente para el relleno de piedras, sino un refuerzo de toda la estructura. Un gavión bien hecho puede tolerar años de castigo; recientemente se sometió a examen uno utilizado para protección de la ribera de un río hace más de 100 años, y se concluyó que está en perfectas condiciones.

#### **6.5.5. Diseño de los gaviones**

La forma de los gaviones ha evolucionado y sus bordes se han reforzado con alambre de mayor diámetro. Esto refuerza los lados del armazón durante la construcción, facilita las operaciones de sujeción y refuerza en general las estructuras de gaviones. Los diafragmas verticales sujetos a la base de los gaviones tienen como propósito limitar el movimiento interno del relleno de piedras y reforzar más el armazón.

La tela metálica con forma de hexágonos es de doble torsión y está galvanizada para darle resistencia a la presión y la corrosión. Las piedras de relleno (canto rodado) ofrecen un mayor grado de permeabilidad en toda la estructura, lo que elimina la necesidad de un sistema de desagüe (ver figura 6.27).

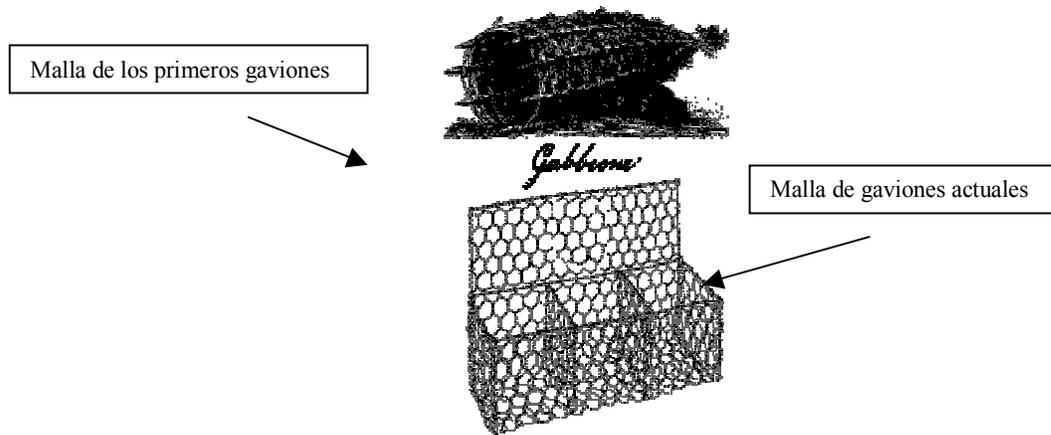


Figura 6.27. Amazon de tela metálica de un gavion

En las obras hidráulicas también se eliminan así las presiones contrarias ejercidas en las orillas de los ríos por la variación de la profundidad del agua debida a las crecidas y los estiajes. En algunos casos se debe considerar un colchón antisocavante, para la protección del gavión, de dimensiones según la agresividad del río (ver figura 6.28).

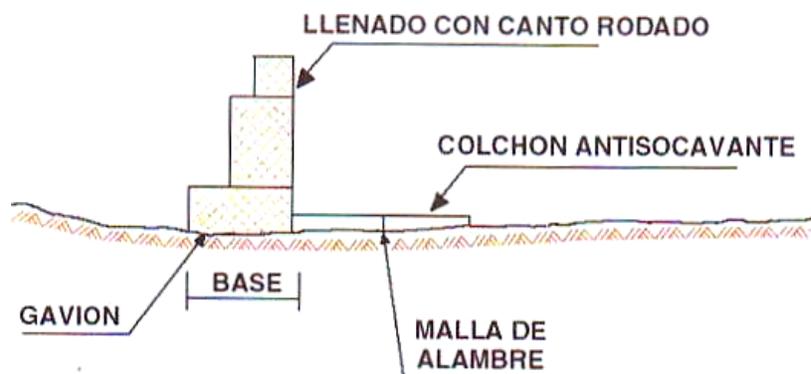


Figura 6.28. Esquema de la instalación de un gavión con colchón antisocavante

### **6.5.6. Construcción de los gaviones**

Los gaviones pueden tener diferentes formas, es muy frecuente encontrarlos con forma de cajas, que pueden tener largos de 1.50, 2.00, 3.00 y 4.00 m, un ancho de 1,00 m y una altura de 0.50 ó 1,00 m.

Los gaviones se fabrican con mallas (de triple torsión y escuadradas del tipo 8,00x10,00 cm.), de alambre de acero (con bajo contenido de carbono) de espesor igual 2,7 mm, al que se le recubre con tres capas de galvanizado, con 270 gr de zinc. Las aristas de los gaviones se refuerzan también con alambre de 3,4 mm. También se utiliza alambre para el amarre de las piezas de 2,2 mm (ver figura 6.27).

Para rellenar las armazones metálicas se pueden utilizar piedras de poca calidad, o aun de desecho, comúnmente encontradas cerca del sitio de la obra, y no se requieren materiales ni mano de obra especializada, como encofradores, albañiles, ni herreros. Los costos de mano de obra son mínimos ya que es posible capacitar rápidamente trabajadores no calificados, con supervisión de algunos calificados, para armar los gaviones, rellenarlos y sujetarlos entre sí con alambre de hierro galvanizado.

Todo esto facilita la introducción de esta técnica entre la población rural, que también puede participar activamente en la construcción y en el mantenimiento posterior de las estructuras hidráulicas.

Los gaviones también se pueden fabricar en la comunidad, literalmente a mano. Esto tiene una doble ventaja, pues rebaja el costo de compra de las cestas y crea una pequeña industria rural, con mano de obra local no calificada.

Así se sigue la tendencia a incrementar el uso de técnicas de mano de obra de alta densidad en los proyectos modernos de desarrollo.

Es común colocar como protección de la base del gavión colchones antisocavantes, los cuales aumentan la resistencia y durabilidad del gavión.

### **6.5.7. Ubicación de los gaviones**

Las estructuras de gaviones se pueden hacer sin equipo mecánico y la obra puede iniciarse enseguida porque las primeras etapas de excavación y colocación de los cimientos son mínimas y se pueden realizar a mano; en los lugares previstos expuestos a erosión.

De la misma manera, para las estructuras que van debajo del agua, la primera capa de gaviones puede colocarse en el agua o en el lodo sin que haga falta avenar el sitio.

Al terminar, los gaviones pueden recibir de inmediato toda su carga sin los periodos de espera (de hasta un mes), normalmente asociados a las construcciones de concreto. Es más, resulta relativamente fácil lograr una buena calidad de construcción por la simplicidad de los dos materiales utilizados, es decir, los gaviones y las piedras.

Para estructuras más grandes se pueden fabricar estructuras hidráulicas de gaviones, como soleras para el fondo de los ríos, incluso en distintas etapas, para permitir a los sedimentos depositarse tras la primera hilera de gaviones. Una vez consolidados, se coloca la segunda fila de gaviones sobre la primera y sobre los sedimentos ya depositados, y así hasta alcanzar la altura prevista de la solera.

### **6.5.8. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria:**

- Características del suelo donde se van a apoyar los gaviones (tipo de suelo, consolidación).

- Intensidad de la corriente del río, arroyo u otro, donde se van a ubicar los gaviones.
- Grado de socavación ocasionado por el río, arroyo u otro.

**Pasos a seguir:**

- 1°. Identificar el área que va a ser protegida con gaviones, señalando la ubicación de los mismos, los cuales pueden ser:
  - 1.1. A orillas del río, arroyo u otro.
  - 1.2. Dentro de la corriente.
  - 1.3. Entrando o saliendo.
  - 1.4. A los pies del talud.
  
- 2°. Iniciar la construcción de los gaviones, fabricando inicialmente las mallas de alambre de acero (ver figura 6.29), a partir de considerar las siguientes características:
  - 2.1. Las cajas pueden tener largos de 1.50, 2.00, 3.00 y 4.00 m, un ancho de 1.00 m y una altura de 0.50 ó 1.00 m dependiendo de la intensidad de la corriente.
  - 2.2. Las mallas de alambre serán conformadas con acero de triple torsión y con forma escuadrada del tipo 8,00 x10,00 cm.
  - 2.3. Las mallas de alambre de acero con bajo contenido de carbono de 2.70 mm, se les deberá dar tres capas de galvanizado, con 270 gr de zinc en caso de que la intensidad del río sea considerable.



Figura 6.29. Armado de la malla de alambre

- 3°. Rellenar las mallas de alambre con piedras (cantos rodados) de tamaño mediano, y no necesariamente de buena calidad cuidando de no dejar espacios vacíos (ver figura 6.30).



Figura 6.30. Llenado de los gaviones con piedras

- 4°. Reforzar las aristas de los gaviones con alambre de 3,40 mm (ver figura 6.30).
- 5°. Ubicar los gaviones siguiendo las siguientes recomendaciones:
  - 5.1. Para ubicar los gaviones en las márgenes de los ríos, la colocación debe realizarse colocando los gaviones en fila, uno sobre otro, cuidando el alineamiento vertical y horizontal del mismo.

- 5.2. Para las estructuras que van debajo del agua, la primera capa de gaviones puede colocarse en el agua o en el lodo sin que haga falta avenar el sitio. Al terminar, los gaviones pueden recibir de inmediato toda su carga.
  
- 5.3. Para grandes estructuras se pueden fabricar estructuras hidráulicas de gaviones, como soleras para el fondo de los ríos, incluso en distintas etapas, para permitir a los sedimentos depositarse tras la primera hilera de gaviones.
  
- 5.4. Una vez consolidados, se coloca la segunda fila de gaviones sobre la primera y sobre los sedimentos ya depositados, y así hasta alcanzar la altura prevista de la solera.

## **VII. MEDIDAS ESTRUCTURALES TEMPORALES DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA EROSIÓN EN LOS CAUCES DE LOS RÍOS Y RIBERAS**

---

### **7.1. Generalidades**

Son aquellas medidas que al igual que las estructurales, controlan la erosión producto de la escorrentía superficial. Consisten en estructuras diseñadas sobre la base de los principios de la ingeniería. En el aspecto de diseño se toma en cuenta la hidrología y la hidráulica fluvial.

En la hidrología, es necesario considerar los registros hidrológicos (descargas de los ríos) y la frecuencia con las que éstas se producen. Por lo general se recomienda 50 años de registro, anteriores al año de ejecución, para determinar el periodo de retorno y la descarga máxima de diseño.

En la hidráulica, se deben recabar datos en lo concerniente a pendiente, sección estable, tirante, sedimentación y socavación entre otros; elementos básicos para realizar el diseño de la estructura.

Las estructuras temporales, a diferencia de las permanentes, son construidas eventualmente y generalmente duran un período de avenida, de costos relativamente bajos, y su construcción no requiere de mayor especialización. Su finalidad es desviar el flujo del agua de los terrenos de cultivo.

Entre los tipos de estructuras temporales más utilizadas en la previsión y control de la erosión en las riberas de los ríos se encuentran:

1. Espigones.
2. Rayados o terraplenes.
3. Cestones.
4. Limpieza del cauce.

## 7.2. Espigones

### 7.2.1. Definición

Son estructuras en forma de diques o pantallas interpuestas a la corriente y empotradas en uno de sus extremos a la orilla, que sirven para alejar las líneas de corriente de la orilla con lo cual las partículas de la misma no pueden ser erosionadas (ver figura 7.1).



Figura 7.1. Vista de un espigón colocado en la orilla de una costa

Los espigones van dispuestos en forma perpendicular o paralelos al flujo del río, con longitudes variables de 50 a 100 m y espaciamientos entre sí de 50 a 200 m; en este caso se denominan deflectores disipadores (ver figura 7.2).

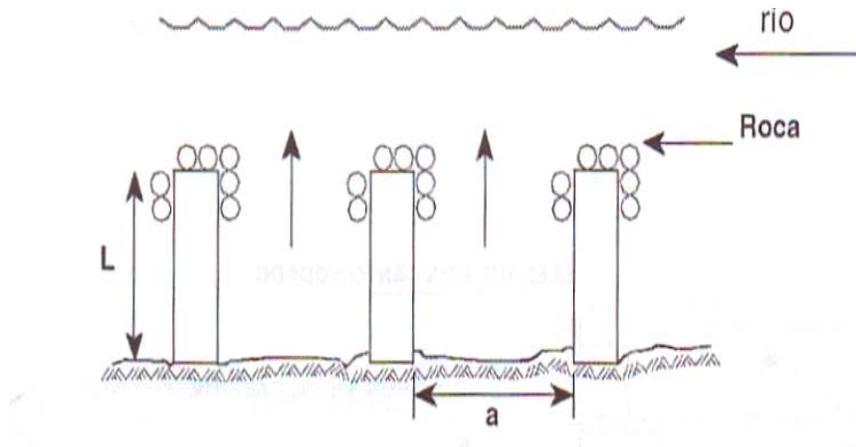


Figura 7.2. Vista en planta de la colocación de los espigones

Las principales desventajas de los espigones consisten en que disminuyen el área hidráulica y aumentan la rugosidad de las orillas. Por otra parte, no se pueden utilizar en curvas con radio de curvatura muy reducido.

Los puntos más importantes a tomar en cuenta al diseñar una protección a base de espigones son:

#### a. Localización en planta

Al proyectar una obra de defensa, ya sea respetando la orilla actual, o bien en una nueva margen (al hacer una rectificación), se requiere trazar en planta el eje del río (ver figura 7.3) y en las orillas delinear una frontera, generalmente paralela a dicho eje, a la cual llegarán los extremos de los espigones.

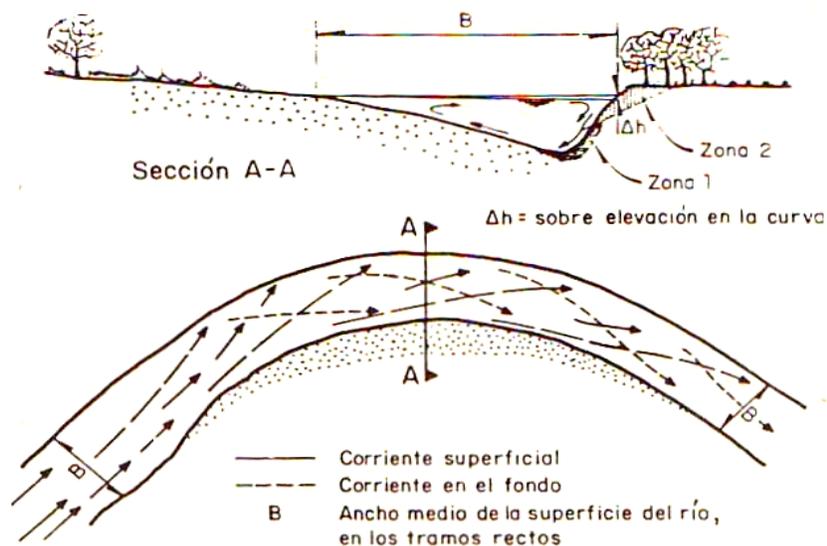


Figura 7.3. Esquema sobre las corrientes que se presentan en los ríos

La longitud de cada espigón estará dada por la distancia de la orilla real a esa línea. La separación entre las nuevas orillas, es decir, el ancho,  $B$ , estará dado por el estudio de estabilidad de la corriente que se haya hecho, el cual tomará en cuenta si el tramo será navegable, el cambio de pendiente si se rectificó el río, entre otros.

Cuando se trata de una rectificación en cauces formados por arenas y limos, conviene dentro de lo posible que los radios de las curvas, medidos hasta el eje del río, tengan la longitud siguiente:

$$2.5 B < r < 8 B$$

Donde:

B: ancho medio de la superficie libre en los tramos rectos, expresado en (m)

Cuando la curva por proteger es uniforme, es decir, radio de curvatura único, todos los espigones tienen la misma longitud, ángulo de orientación y, por tanto, la separación entre ellos es uniforme (ver figura 7.4).



Figura 7.4. Esquema de la protección de una curva con espigones

Al proteger una sola curva o un tramo completo los primeros tres espigones aguas arriba deben tener longitud variable, el primero será el de menor longitud posible (igual al tirante) y los otros dos aumentar uniformemente, de tal manera que el cuarto ya tenga la longitud de proyecto (ver figura 7.5), la pendiente longitudinal de la corona debe ser uniforme en todos ellos.

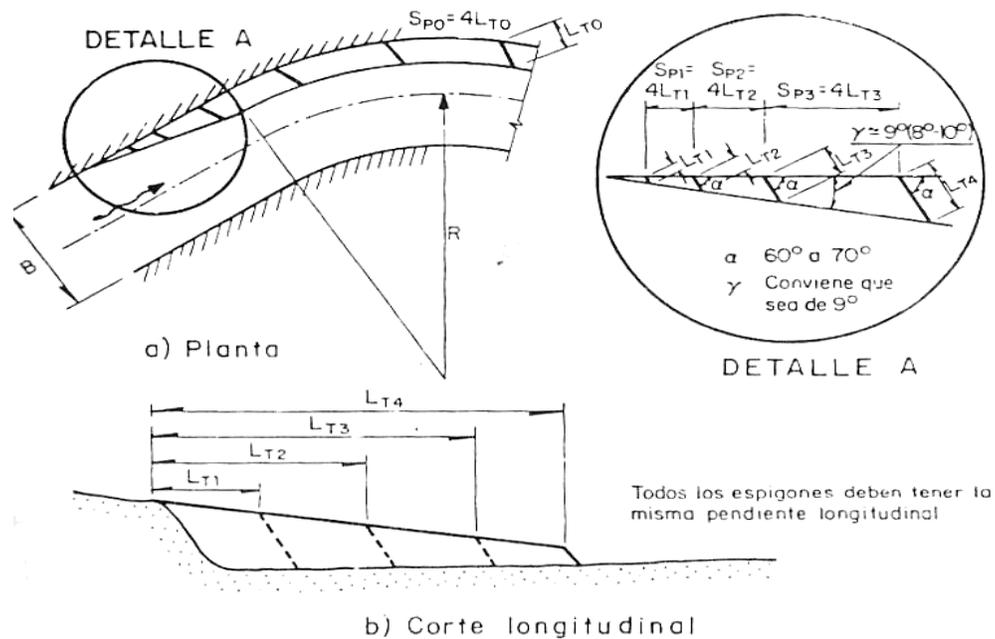


Figura 7.5. Vista de un espigón con pendiente longitudinal

## b. Longitud de los espigones

La longitud total de un espigón se divide en dos:

**b.1. Longitud de anclaje o empotramiento**, que es la que inicialmente está dentro de la margen.

Respecto a la longitud de anclaje o empotramiento, los espigones se pueden construir sin tener longitud de anclaje, es decir, sin que penetren en la margen.

Cuando hay una población asentada en la margen, siempre deberán anclarse; si la falla de un espigón no causa problemas locales conviene no anclarlos, ya que el costo de la obra es menor.

**b.2. Longitud de trabajo**, que es la que está dentro de la corriente.

La longitud de trabajo,  $L_T$ , medida sobre la corona se selecciona de manera independiente. Se ha comprobado la conveniencia de que esté dentro de los límites siguientes:

$$d < L_T < B/4$$

Donde:

B: ancho medio del cauce, expresado en (m)

d: tirante medio, expresado en (m)

Los valores de B y d deben ser los correspondientes al gasto de diseño.

### c. Separación entre espigones

Se mide en la orilla entre los puntos de arranque de cada uno; y depende primordialmente de la longitud del espigón aguas arriba. Para calcularla se toma en cuenta la inclinación del espigón respecto a la orilla de aguas abajo y la ampliación teórica de la corriente al pasar por el extremo del espigón. El ángulo de esa ampliación es de  $9^\circ$  a  $11^\circ$ .

#### c.1. Separación entre espigones en tramos rectos

Cuando se requieran construir espigones en tramos rectos sin empotramiento en la margen, la separación ( $S_p$ ), entre sus arranques deberá ser asumido según lo recomendado en la tabla 7.1.

ángulo $\alpha$ ( $^\circ$ )	Separación $S_p$ (m)
70 a 90	(4.5 ~ 5.5) $L_T$
60	(5 ~ 6) $L_T$

Tabla 7.1. Separación de los espigones recomendada entre los arranques para tramos rectos

### c.2. Separación entre espigones en curvas

La separación ( $S_p$ ), entre espigones colocados en curvas, conviene encontrarla gráficamente como se indica en la figura 7.6. Si la curva es regular y tiene un radio único de curvatura, la separación que se ha probado con buenos resultados es:

$$S_p = (2.5 \sim 4) L_T$$

Donde:

$L_T$ : Longitud total del espigón, expresada en (m)

Si la curva es irregular o con un radio de curvatura pequeño, la separación entre espigones necesariamente debe encontrarse en forma gráfica (ver figura 7.6). Al mismo tiempo quedan fijados sus longitudes y ángulos de orientación.

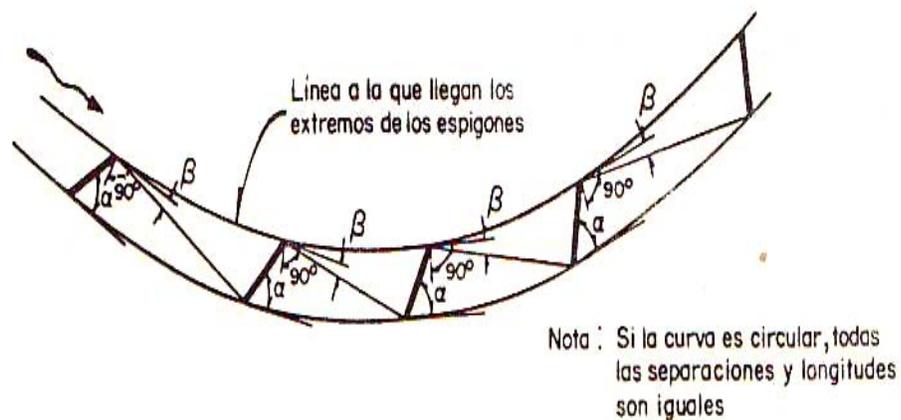


Figura 7.6. Trazado de espigón en una curva

#### **d. Elevaciones y pendientes de la corona**

Los espigones deberán construirse con pendiente longitudinal hacia adentro del río. Necesitan iniciarse a la elevación de la margen o a la elevación de la superficie libre al escurrir el gasto de diseño.

El extremo dentro del cauce deberá tener alturas máximas de 50 (cm) sobre el fondo actual; con ello se logran pendientes de 0.05 % a 0.25 % que han trabajado satisfactoriamente.

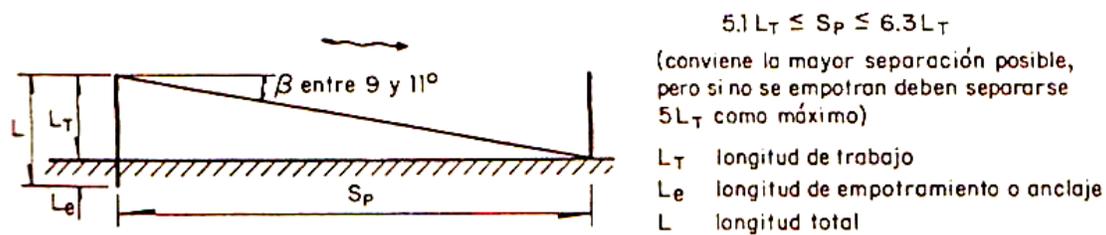
#### **e. Orientación de los espigones**

Los espigones pueden estar dirigidos hacia aguas abajo o aguas arriba, o también ser normales a la corriente (ver figura 7.7).

La orientación de los espigones se mide por el ángulo que forma el eje longitudinal del mismo con la tangente a la orilla, hacia aguas abajo, en el punto de arranque (ver figura 7.8).

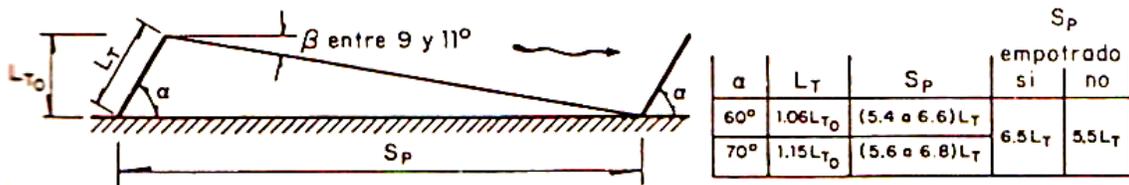


Figura 7.7. Espigones dirigidos aguas arriba



a) Espigones normales a la corriente (planta)

$$S_P = L_T (\cos \alpha + \tan \alpha \cot \beta) = L_{T_0} (\cot \alpha + \cot \beta)$$



b) Espigones inclinados hacia aguas abajo (planta)

Figura 7.8. Trazado de espigones en tramos rectos

En un tramo recto de una curva regular conviene que los espigones formen un ángulo de  $70^\circ$  con la dirección de la corriente.

Si la curva es irregular y, aún más, si tiene un radio de curvatura menor de  $2.5B$ , los ángulos de orientación serán menores de  $70^\circ$  y pueden alcanzar valores hasta de unos  $30^\circ$ .

#### f. Permeabilidad del espigón. Materiales de construcción

Los espigones se pueden construir con una gran variedad de materiales, entre los que se encuentran:

1. madera.
2. Troncos.
3. Ramas de árboles.
4. Piedra.
5. Elementos prefabricados de concreto, acero y alambre, entre otros.

Los más usados en el medio nacional son los formados con tablestacados y los contruidos con enrocamiento, ya sea colocado suelto o dentro de gaviones (cajas firmadas con malla de alambre).

#### **g. Socavación local**

La socavación local en la punta de los espigones es de suma importancia durante su construcción cuando se utilizan elementos que están sueltos entre sí, como por ejemplo bolsas, piedras y gaviones entre otros.

Si la velocidad de la corriente es mayor de 50 (cm/s) conviene recubrir el fondo sobre el que descansará el espigón con una capa de piedra de 30 (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 necesitarán mayores volúmenes de material.

### **7.2.2. Metodología de diseño para la colocación de espigones en tramos rectos y curvos**

#### **Información necesaria:**

- Un plano en planta del río donde se van a construir los espigones indicando el eje del río y sus orillas; en las cuales en caso de no estar indicados se pueden designar paralelos al eje.
- Estudios hidrológicos del río de manera de conocer la estabilidad e intensidad de la corriente.
- Curva de nivel del área del río, indicándose la pendiente del mismo y sus variaciones.
- Información de las características de los estratos del río, indicándose el tipo de suelo que lo compone (arena, limo, entre otros).

- Un plano en planta de la localización de los espigones como obra de defensa en el río.

**Pasos a seguir:**

- 1°. Delimitar en el plano en planta del río el tramo completo del mismo a ser protegido con espigones, indicándose el ancho (B) del río (ver figura 7.8 y figura 7.9).

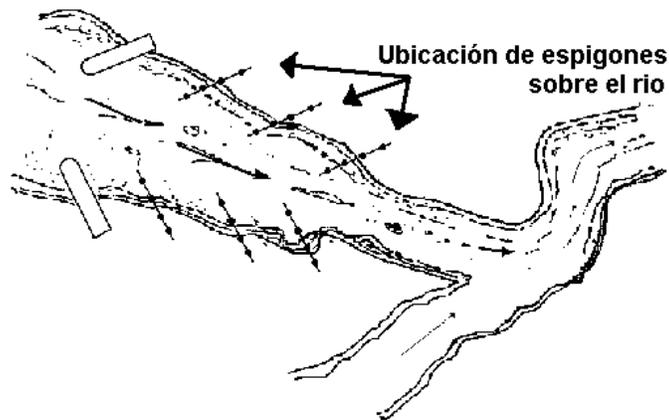


Figura 7.9. Ubicación de espigones en el plano en planta

- 2°. Definir la longitud de los espigones.

La longitud total de un espigón se divide en dos:

- 2.1. **Longitud de trabajo**; correspondiente a la parte del espigón dentro de la corriente del río, que se asume:

$$d < L_T < B/4$$

Donde:

B: ancho medio del cauce, expresado en (m)

D: tirante medio, expresado en (m)

2.2. **Longitud de anclaje o empotramiento;** correspondiente a la parte del espigón dentro de la margen del río, se determinan cuando hay población asentada en la margen del río.

3°. Definir la separación entre espigones.

Se mide en la orilla entre los puntos de arranque de cada uno; depende primordialmente de la longitud del espigón aguas arriba. Para calcularla se toma en cuenta la inclinación del espigón respecto a la orilla de aguas abajo y la ampliación teórica de la corriente al pasar por el extremo del espigón. El ángulo de esa ampliación es de 9° a 11°.

3.1. Separación entre espigones en tramos rectos.

Cuando se requieran construir espigones en tramos rectos sin empotramiento en la margen, la separación,  $S_p$ , entre sus arranques deberá ser asumido según lo recomendado en la tabla 7.1.

ángulo $\infty$ (°)	Separación $S_p$ (m)
70 a 90	(4.5 ~ 5.5) $L_T$
60	(5 ~ 6) $L_T$

Tabla 7.1. Separación de los espigones recomendada entre los arranques para tramos rectos

3.2. Separación entre espigones en curvas.

La separación ( $S_p$ ), entre espigones colocados en curvas, conviene encontrarla gráficamente como se indica en la figura 7.6. Si la curva es regular y tiene un radio único de curvatura, la separación que se ha probado con buenos resultados es:

$$S_p = (2.5 \sim 4) L_T$$

Donde:

$L_T$ : Longitud total del espigón, expresada en (m)

Si la curva es irregular o con un radio de curvatura pequeño, la separación entre espigones necesariamente debe encontrarse en forma gráfica (ver figura 7.6). Al mismo tiempo quedan fijados sus longitudes y ángulos de orientación.

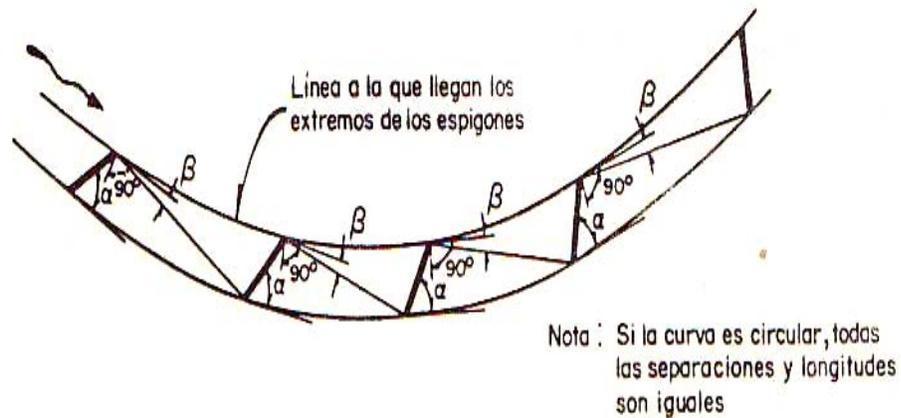
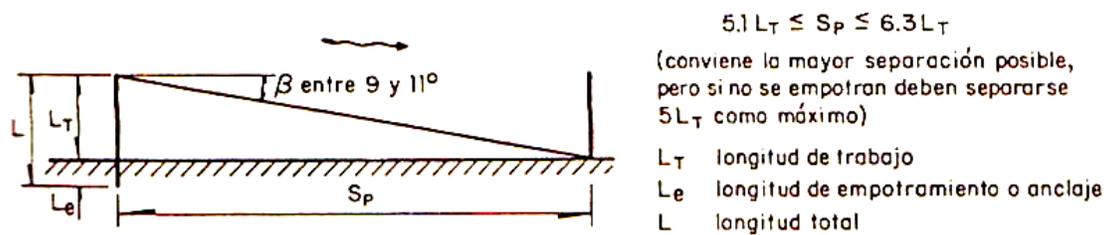


Figura 7.6. Trazado de espigón en una curva

4°. Determinar la orientación de los espigones.

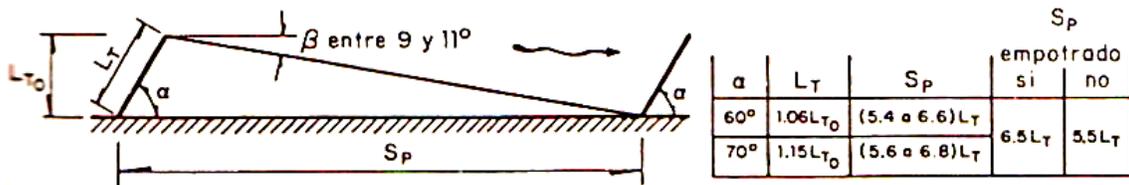
Los espigones pueden estar dirigidos hacia aguas abajo o aguas arriba, o también ser normales a la corriente (ver figura 7.8).

La orientación de los espigones se mide por el ángulo que forma el eje longitudinal del mismo con la tangente a la orilla, hacia aguas abajo, en el punto de arranque (ver figura 7.8).



a) Espigones normales a la corriente (planta)

$$S_P = L_T (\cos \alpha + \tan \alpha \cot \beta) = L_{T0} (\cot \alpha + \cot \beta)$$



b) Espigones inclinados hacia aguas abajo (planta)

Figura 7.8. Trazado de espigones en tramos rectos

La orientación de los espigones se realizará según los siguientes criterios:

1. En tramos rectos con curva regular se aconseja que los espigones formen un ángulo de 70° con la dirección de la corriente.
2. Si la curva es irregular y, aún más, si tiene un radio de curvatura menor de  $2.5B$ , los ángulos de orientación serán menores de 70° y pueden alcanzar valores hasta de unos 30°.
- 5°. Una vez seleccionada la orientación de los espigones, se deberá proceder a ubicar los espigones de la siguiente manera:

Los primeros 3 espigones deben ser colocados aguas arriba con longitud variable (ver figura 7.5). El primero de menor longitud (igual al tirante) y los otros 2 de longitud mayor aumentado uniformemente de manera que el cuarto ya tenga la longitud del proyecto.

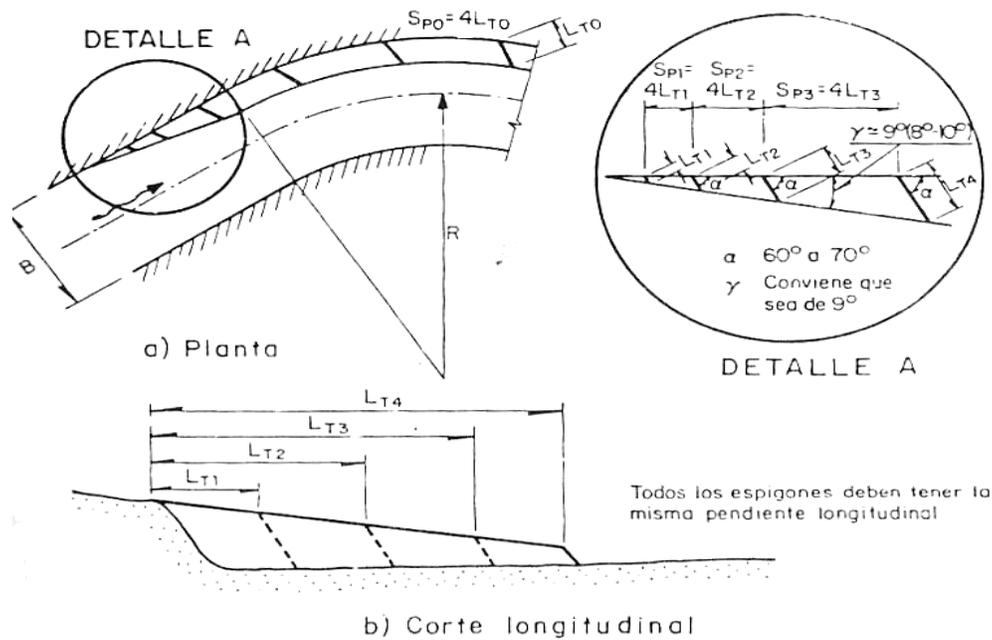


Figura 7.5. Vista de un espigón con pendiente longitudinal

6°. Si existe la necesidad de una rectificación en cauces formados por arenas y limos, se debe procurar que los radios de las curvas medidos hasta el eje del río, tengan la longitud siguiente:

$$2.5 B < r < 8 B$$

Donde:

B: ancho medio de la superficie libre en los tramos rectos, expresado en (m)

7°. En caso de que la velocidad de la corriente sea mayor a 50 (cm/s) durante la construcción de espigones se recomienda recubrir el fondo sobre el que descansan con una capa de piedra de 30 (cm) de espesor para evitar la socavación local en la punta de los espigones.

8°. Conclusiones del diseño.

Donde se procederá a elaborar los planos necesarios para la ejecución de la solución adoptada.

### 7.3. Rayados o terraplenes

#### 7.3.1. Definición

Los terraplenes consisten en la acumulación de material de río mediante maquinaria pesada, por lo general tractores de oruga. Esta acumulación se efectúa con el objeto de desviar el flujo y proteger terrenos de cultivo, poblaciones, entre otras (ver figura 7.10).

La resistencia de dicha acumulación de tierra varía de acuerdo al tipo de suelo que se use y de acuerdo al uso que se pretenda dar a tal obra.

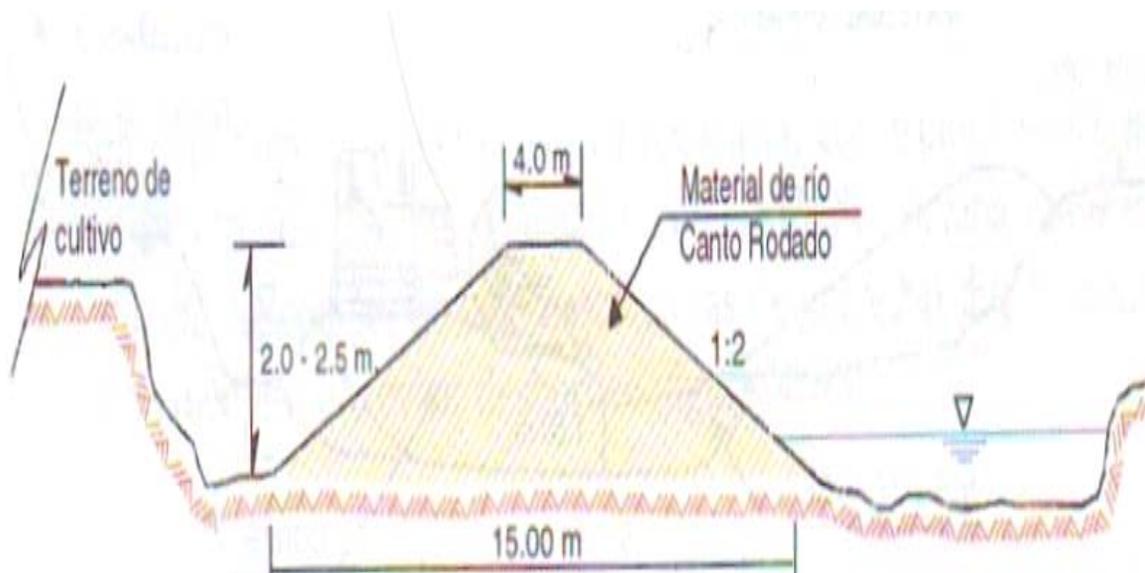


Figura 7.10. Esquema de un terraplén

### **7.3.2. Características**

Entre las características del terraplén se tienen:

- El material arrimado que forma el terraplén generalmente toma la forma trapezoidal con dimensiones de 15 (m) de base mayor por 4 (m) de corona y alturas variables de 2,00 a 2,50 (m) en función del caudal y el propósito de lograr una sección estable.
- Los materiales para la construcción del cuerpo del terraplén, la ampliación de la corona o el tendido de los taludes de los terraplenes existentes, cuando procedan de cortes, pueden ser compactables o no compactables y cuando provengan de bancos y se utilicen en la construcción de las capas subyacentes y subrasantes, siempre serán compactables.

### **7.3.3. Clasificación**

Los terraplenes se pueden clasificar de acuerdo a la capacidad de carga del suelo en:

- Taludes o laderas y terraplenes con pendientes pronunciadas sobre suelos con adecuada capacidad de carga.
- Muros de contención sobre suelos con adecuada capacidad de carga.
- Refuerzo de suelos con baja capacidad de carga.
- Terraplenes sobre suelos con baja capacidad de carga.
- Control de erosión en taludes, laderas y muros.

En los dos primeros casos, el muro, talud o terraplén de suelo reforzado, se supone que esté desplantado sobre un suelo firme incompresible o roca, los cuales impiden a las potenciales superficies de falla, presentarse por la base o por el pie del talud al revisarse por estabilidad global la estructura (ver figura 7.11).

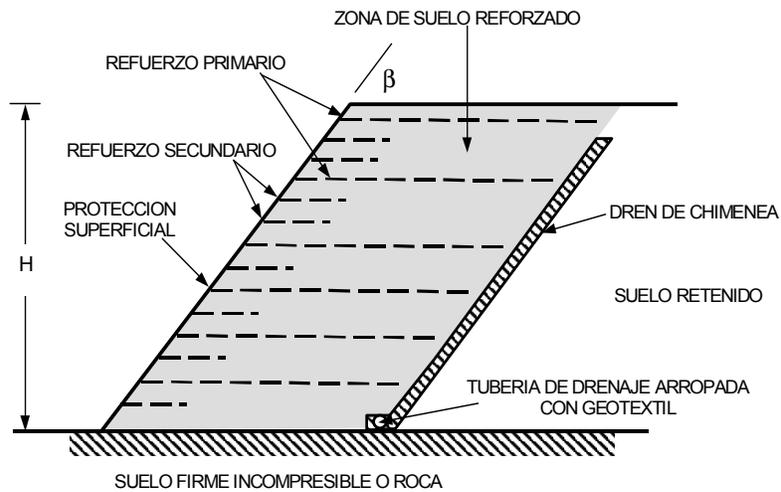


Figura 7.11. Principales componentes de un talud de suelo reforzado sobre un suelo con adecuada capacidad de carga

Para el caso de terraplenes sobre suelos blandos (baja capacidad de carga), la resistencia del suelo de cimentación y su compresibilidad controlan, con mucho, la estabilidad de la estructura ya que, aunque se pueda reforzar de manera adecuada el suelo blando subyacente, éste tiene una gran deformabilidad (ver figura 7.12).

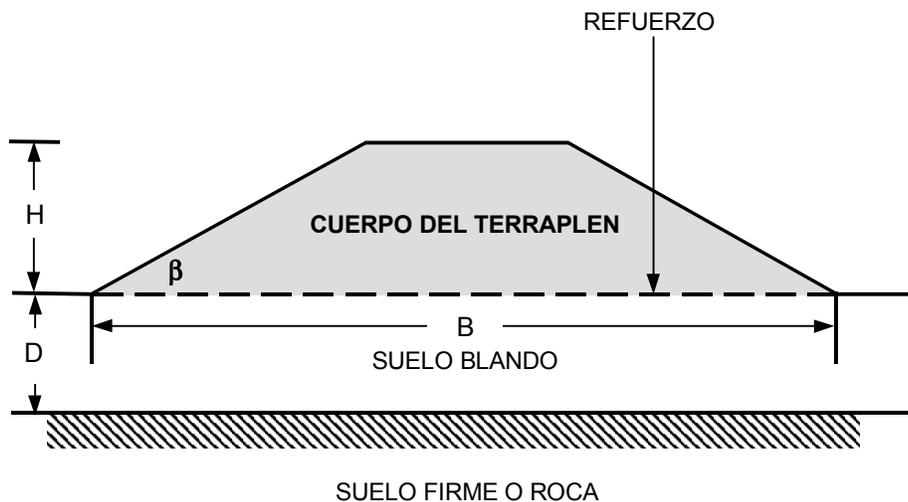


Figura 7.12. Principales componentes de un terraplén sobre suelos blandos

El refuerzo debe colocarse, en una o varias capas, en su parte inferior, para tomar las tensiones que se generen y minimizar la deformación que se presente, sobretodo en la parte central de la estructura, que es la que mayor deformación va a sufrir.

El estrato compresible (D) es el que va a presentar las deformaciones por compresibilidad.

#### **7.3.4. Taludes**

Los taludes forman parte del cuerpo del terraplén (ver figura 7.13) y están formados por:

- Una zona de suelo reforzado: que es la masa de suelo conformada por el relleno y las capas horizontales de refuerzo.
- Un suelo retenido: que es el suelo natural o relleno localizado detrás de la zona de suelo reforzado.
- Un dren de chimenea: que generalmente se hace necesario, como medida de seguridad, el colocar un dren que elimine o intercepte las aguas subterráneas provenientes del respaldo.
- Un suelo de cimentación: que es aquel suelo o roca localizada por debajo de la zona de suelo reforzado.
- Un refuerzo primario: que comprende a las capas horizontales, que se colocan de manera horizontal desde la cara del talud hacia adentro del mismo, dando la resistencia a la tensión a la zona de suelo reforzado.
- Un refuerzo secundario: que está formado por capas horizontales cortas de geosintéticos que permiten estabilizar de manera local la cara del talud, durante y después de su construcción.
- Una protección superficial de la cara del talud contra la erosión: Esto se logra de muchas maneras entre las que se encuentran revegetando el talud, colocando concreto, entre otras formas.
- Una altura (H): que es la altura medida verticalmente desde el pie del talud hasta la cresta del terraplén.

### 7.3.5. Criterios para el diseño

Para realizar el diseño de un terraplén se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Conocer el tipo y las características del suelo, para lo cual se debe:
  - Realizar pruebas de contenido de humedad, que se efectuarán simultáneamente con las determinaciones de compactación en materiales de terracerías, sub-base y base.
  - Determinar los pesos volumétricos máximos; donde la frecuencia de las pruebas de estos pesos se indican en la tabla 7.2.

CONCEPTOS	NÚMERO MÍNIMO DE PRUEBAS
Terraplén o relleno en vialidades, estacionamientos y plataformas cada 200 (m) o cada para edificación.	1(una) prueba Proctor o Porter por 500 (m <sup>3</sup> ).
Terraplén o relleno para banquetas.	1(una) prueba Proctor o Porter por cada 500 (m <sup>3</sup> ).
Relleno de cepas.	1(una) prueba Proctor o Porter por cada 100 (m <sup>3</sup> ) o por cada 200 (m)m.
Capas de sub-rasante, mejoramiento, sub-base.	1 (una) prueba Proctor o Porter por cada 400 (m <sup>3</sup> ).

Tabla 7.2. Frecuencia recomendada para las pruebas de determinación de pesos volumétricos

2. Realizar el análisis de la estabilidad global del terraplén que involucra a las fallas superficiales que se extienden a través de todo el cuerpo del terraplén, del talud o del muro y por debajo del suelo de desplante.

Siempre debe realizarse este análisis, para todo tipo de terraplenes, taludes o muros, reforzados y no reforzados. Para esto se debe aplicar el método de las dovelas, de bishop modificado (Ver figura 7.13).

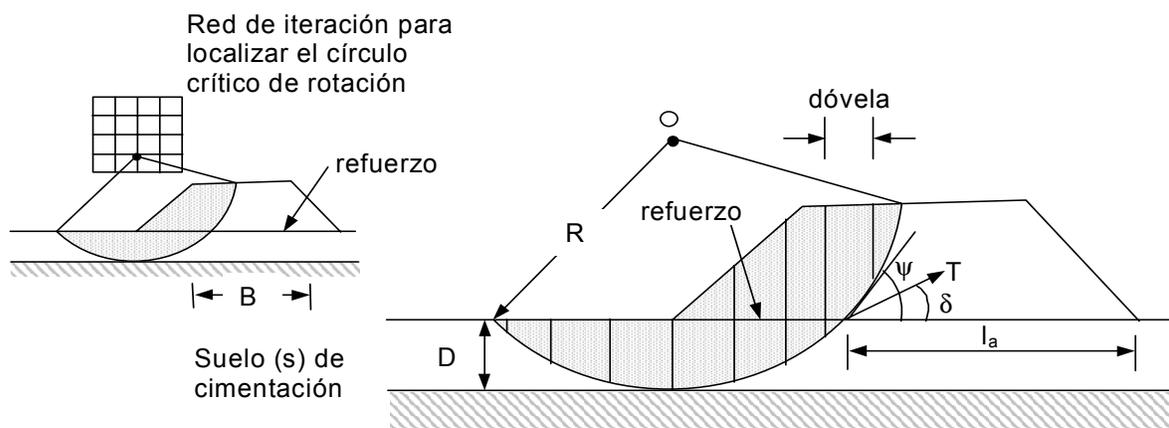


Fig. 7.13. Análisis de deslizamiento circular para terraplenes sobre suelos suaves con propiedades de resistencia constante

3. El equipo que se utilice para la construcción de los terraplenes, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra. El equipo requerido generalmente es el siguiente:
  - Las motoconformadoras que se utilicen para el extendido y conformación de terraplenes, serán autopropulsados, con cuchillas cuya longitud no será menor de 3,65 m, y una distancia entre ejes mayor de 5.18m.
  - Los tractores serán montados sobre orugas, reversibles, con la potencia y capacidad compatibles con el frente de ataque.
  - Las motoescrepas serán autocargables en el menor tiempo, con capacidad de 8.4 m<sup>3</sup> como mínimo, con descarga plena.

- Los compactadores serán autopropulsados y reversibles. Los compactadores vibratorios estarán equipados con controles para modificar la amplitud y frecuencia de vibración.
- El camión pipa será utilizado para transportar agua hacia el lugar en donde se estén realizando los trabajos la capacidad de dichos camiones dependerá de lo estipulado en el contrato.
- Los cargadores frontales serán autopropulsados y reversibles, de neumático o sobre orugas, con la potencia y capacidad compatible con el frente ataque.

### **7.3.6. Sistemas de revestimiento**

#### 1. Sistemas de revestimiento rígido.

Estos revestimientos incluyen a los “preformados de geotextiles” (geobolsas, geosacos, colchacreto, bolsacretos, entre otros), confinamiento geocelular, gaviones, bloques articulados de concreto, adocretos y por supuesto, enrocamientos.

Cuando se coloca un sistema de revestimiento rígido el agua puede entrar y salir, pero la fuerza del agua la resiste el revestimiento.

En un sistema de revestimiento rígido, bien construido, se coloca una capa filtrante entre el suelo del terraplén y el revestimiento, para prevenir un deslave. Las capas filtrantes tradicionales han sido capas de arena y de agregados. Estos filtros graduados son muy costosos, porque se construyen con material selecto, clasificado; de la misma manera, la capa filtrante debe ser de un espesor controlado, sobre una ladera.

La especificación AASHTO M 288 proporciona una guía para seleccionar las propiedades adecuadas para el geotextil.

## 2. Sistemas de revestimiento flexible.

Los revestimientos flexibles (geomatrices), son unas mallas, generalmente tridimensionales, que, por una parte, retienen los sólidos y las partículas pétreas in-situ, evitando que sean arrastrados por el agua al caer (antes de haber sido vegetados) y al mismo tiempo retienen el suelo orgánico, recién colocado para reforestar o revegetar y las semillas de los pastos y/o vegetales con los que se desea vegetar esa obra.

Al uso indiscriminado de la vegetación para el control de la erosión se le ha mencionado como *ingeniería verde* y produce los siguientes beneficios a largo plazo:

- Costo moderado.
- Mejora la estética visual.
- Funcionamiento demostrado.
- Fácil de instalar.
- Aumenta la infiltración y recarga de acuíferos.

### **7.3.7. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria:**

- Estudio completo de las características del suelo (tipo de suelo, humedad, tensión admisible, entre otros).
- Un plano en planta del lugar donde se va a construir el terraplén.

#### **Pasos a seguir:**

- 1°. Delimitar la zona de desplante del terraplén mediante estacas u otras referencias, de acuerdo con lo indicado en el proyecto.

- 2°. Realizar el desmonte previamente al inicio de los trabajos, ya que la zona de desplante del terraplén deberá estar debidamente desmontada.
- 3°. Realizar el despalme del sitio de desplante del terraplén desalojando la capa superficial del terreno natural, cuando lo indique el proyecto para eliminar el material que se considere inadecuado. El despalme se ejecutará solamente en material, el cual será colocado en un lugar dispuesto lejos de la ejecución del proyecto.
- 4°. Compactar el terreno natural y posteriormente conformar capas de un espesor tal que el equipo de compactación a utilizar en capas de terracerías, cumpla con una compactación mínima del 90% (noventa por ciento) del peso volumétrico seco máximo (según sean las características del material, se podrán realizar pruebas Proctor, Porter, AASHTO, u otras). En lo general, el espesor suelto de las capas a trabajarse deberá ser máximo del orden de 25 cm.
- 5°. La corona de estas terracerías, será la Sub-rasante, la cual será de un espesor igual al fijado en el proyecto, la compactación de esta capa de subrasante será del 95% de su peso volumétrico seco máximo (P.V.S.M.).
- 6°. En caso de ser necesario un mayor espesor de las capas del terraplén se debe considerar la eficiencia de los equipos de compactación, los cuales combinan el planchado estático con vibración siempre y cuando cumplan con los grados de compactación señalados.

## **7.4. Cestones**

### **7.4.1. Definición**

Son depósitos de forma cilíndrica o canasta, contruidos sobre la base de ramas o troncos flexibles y llenados con piedra de río, amarrados en la parte terminal. Se comportan como estructura de gravedad (ver figura 7.14).

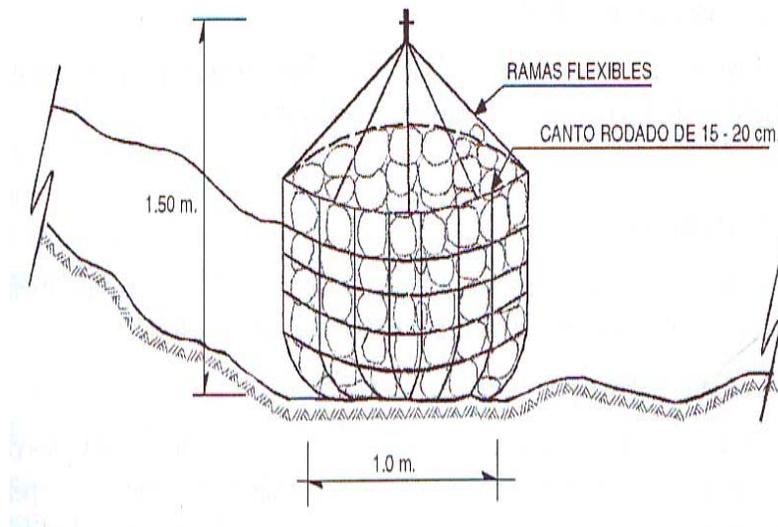


Figura 7.14. Cestones

#### 7.4.2. Características

Las cestones son jaulas de mallas de alambre rellenos de piedras y dispuestos formando paredes de contención para terraplenes y despeñaderos que puedan desplomarse debido a la erosión.

Generalmente su uso en proyectos será básicamente a lo largo de terraplenes, de barrancos y arroyos, que sostienen directamente la tierra por debajo de un cruce de tubería (ver figura 7.15).

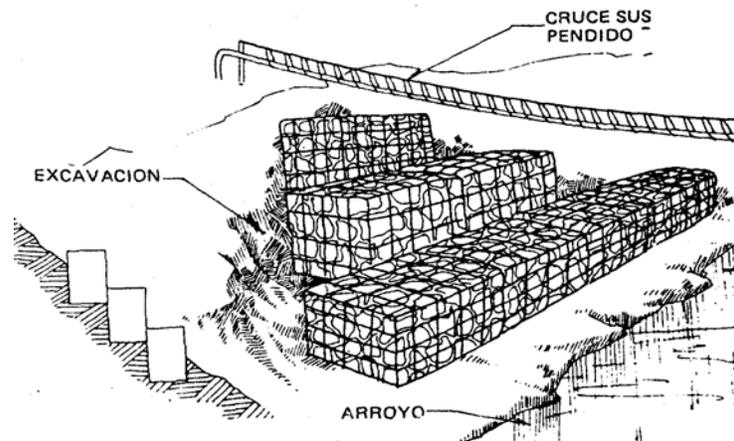


Figura 7.15. Construcción de un dique de Cestones

### 7.4.3. Condiciones de uso

Los cestones pueden usarse para:

- Estabilizar terrazas y terrenos alrededor de los orificios de entrada de tanques, tuberías, entre otros.
- Contención de terraplenes que puedan desplomarse con la erosión.
- En crecientes como medida para evitar desbordes.
- Contención de despeñaderos.
- Otros.

### 7.4.4. Criterios para el diseño

Para el diseño de cestones se debe considerar los siguientes aspectos:

- Los cestones pueden fabricarse en diferentes tamaños y formas (canasta, bolsa, entre otros), dependiendo de las necesidades del proyecto.
- Los cestones se rellenan cuidadosamente con piedras (como las mamposterías de piedras secas) y las tapas se alambran cerrándolas.

- Los cestones grandes se subdividen en dos o tres compartimentos mediante tabiques denominados diafragmas.
- Cuando los cestones se doblan para adoptar su forma final, sus bordes se alambran (estos bordes se denominan cabeceras).
- Es muy caro construir cestones, y deben ser utilizados solo en condiciones extremadamente inestables, cuando no exista una solución alternativa, por ejemplo el diseño mismo de un dique de cestones debe hacerse en consulta con ingenieros bien informados.
- La construcción propiamente dicha de los cestones requiere sea ejecutada por un trabajador calificado que ya tenga experiencia en el "tejido de jaulas de alambre".
- El diseño será igual al que se usa para puentes colgantes suspendidos.

Las dimensiones de los cestones son variables dependiendo de la erosión existente, los más empleados son los mostrados en la tabla 7.3.

Detalles	Dimensiones de los cestones (m)			
	2x1x1	3x1x1	2x1x1/2	3x1x1/2
Volumen (m <sup>3</sup> )	2	3	1	1 1/2
Alambre de malla (Kg)	36.00	52.35	24.55	36.00
Alambre de cabecera 3.759 (kg)		4.85	3.00	3.90
Mano de obra (hombre-días)	5.53	7.38	4.18	5.43
Nº de diafragmas	1	2	1	2
Dimensiones de las mallas	1x1	1x1	1 x 1/2	1 x 1/2

Tabla 7.3. Dimensiones típicas de los cestones

### **7.4.5. Construcción de Cestones**

#### **a. Materiales**

Los materiales utilizados en los proyectos serán iguales a los que se usan para puentes colgantes suspendidos, es decir:

- Tamaño de malla: 80 x 100 mm
- Alambre de malla: 9 SWG (diámetro 4.88 mm.).
- Alambre de cabecera: 6 SWC (diámetro 4.88 mm.).
- Alambre de ligadura: 11 SWG (diámetro 2 .95mm.).
- El alambre utilizado debe ser galvanizado.

#### **b. Ensamblaje**

Para el ensamblaje se debe considerar:

- Los cestones se ensamblan atándolos a las cabeceras con alambre de atadura de 6 SWG.
- Las jaulas deberán "tejerse" con un alambre continuo, no "atarse" con pedazos cortos.
- Las jaulas deben colocarse en posición estando vacías, extendidas en toda su amplitud (asegurar los bordes en la tierra resultara útil) y se alambrarán juntas.
- Se insertan los diafragmas y se alambran en su lugar.

#### **c. Relleno**

Los cestones se llenan con piedras de grava, limpias, duras, angulares, colocando individualmente cada piedra en su lugar (ver figura 7.14), de similar forma a como se hace al construir una pared de mampostería de piedra seca (no se deberá tirar las piedras dentro de las jaulas).

Las dimensiones de las gravas limpias y piedras deben oscilar de 15 a 20 cm.

Cuando se llenan las jaulas, las tapas se cierran alambrándolas para conseguir estabilidad adicional. Los cestones deberán ser cuidadosamente rellenos para lograr estabilidad adicional. Cuando se termine de hacer esto, los cestones deberán estar completamente llenos, estar en forma de paralelepípedo y ajustarse a sus verdaderas dimensiones.

#### 7.4.6. Metodología de diseño

##### Información necesaria:

- Características del suelo (tipo de suelo, consistencia, permeabilidad, entre otros).
- Intensidad de la corriente.
- El lugar de colocación de los cestones.

##### Pasos a seguir:

- 1°. Diseñar los cestones considerando la intensidad de la erosión existente en la zona, seleccionando las características del mismo de la tabla 7.3.

Detalles	Dimensiones de los cestones (m)			
	2x1x1	3x1x1	2x1x1/2	3x1x1/2
Volumen (m <sup>3</sup> )	2	3	1	1 1/2
Alambre de malla (Kg)	36.00	52.35	24.55	36.00
Alambre de cabecera 3.759 )kg)		4.85	3.00	3.90
Mano de obra (hombre-días)	5.53	7.38	4.18	5.43
Nº de diafragmas	1	2	1	2
Dimensiones de las mallas	1x1	1x1	1 x 1/2	1 x 1 1/2

Tabla 7.3. Dimensiones típicas de los cestones

2°. Iniciar la construcción o tejido de los cestones de la forma requerida, usando alambre galvanizado con las siguientes características:

- 2.1. Tamaño de malla: 80 x 100 mm.
- 2.2. Alambre de malla: 9 SWG (diámetro 4.88 mm.).
- 2.3. Alambre de cabecera: 6 SWC (diámetro 4.88 mm.).
- 2.4. Alambre de ligadura: 11 SWG (diámetro 2 .95mm.).
- 2.5. El alambre utilizado debe ser galvanizado.

Las jaulas deberán "tejerse" con un alambre continuo, no "atarse" con pedazos cortos (ver figura 7.14).

3°. Ensamblar los cestones una vez construidas o tejidas las mallas, con las siguientes características:

- 3.1. Los cestones se ensamblan atándolos a las cabeceras con alambre de atadura de 6 SWG.
- 3.2. Las jaulas deberán "tejerse" con un alambre continuo, no "atarse" con pedazos cortos.
- 3.3. Las jaulas deben colocarse en posición estando vacías, extendidas en toda su amplitud (asegurar los bordes en la tierra resultara útil) y se alambrarán juntas.
- 3.4. Se insertan los diafragmas y se alambran en su lugar.

4°. Rellenar las mallas con piedras de grava limpias, duras, angulares, de diámetro de 15 a 20 cm; colocando individualmente cada piedra en su lugar, de similar forma a como se hace al construir una pared de mampostería de piedra seca, no debiéndose tirar las piedras dentro de las jaulas. Los cestones deberán ser cuidadosamente rellenos para lograr estabilidad adicional.

- 5°. Una vez llenadas las jaulas, las tapas se cierran alambrándolas para conseguir estabilidad adicional.
- 6°. Finalmente se debe verificar que los cestones están completamente llenos y ajustados a las dimensiones previstas.

## **7.5. Limpieza de cauce**

### **7.5.1. Definición**

Consiste en realizar la limpieza y darle uniformidad al cauce del río para lo cual se utilizan maquinarias pesadas, con la finalidad de recuperar la pendiente y obtener una sección estable en un tramo crítico, controlando el impacto ambiental causado por la naturaleza o por la acción del hombre (ver figura 7.16).



Figura 7.16. Fotografía de una limpieza de cauce

### **7.5.2. Características principales de la limpieza de cauce**

Entre las características principales de la limpieza de cauce, está la de obtener secciones estables para lo que se deben realizar cortes cuya profundidad en la parte central oscila en un promedio 1,5 m con respecto al nivel de las formaciones de la terraza última o nivel de terreno a proteger; estableciéndose un ancho mínimo estable de 50 m, lo cual permite en las primeras avenidas definir un cauce no erosivo (ver figura 7.17).

Así también una limpieza de cauce consiste en mantener los árboles más pequeños y eliminar del cauce los grandes para evitar que puedan formar un tapón si se produce una crecida.

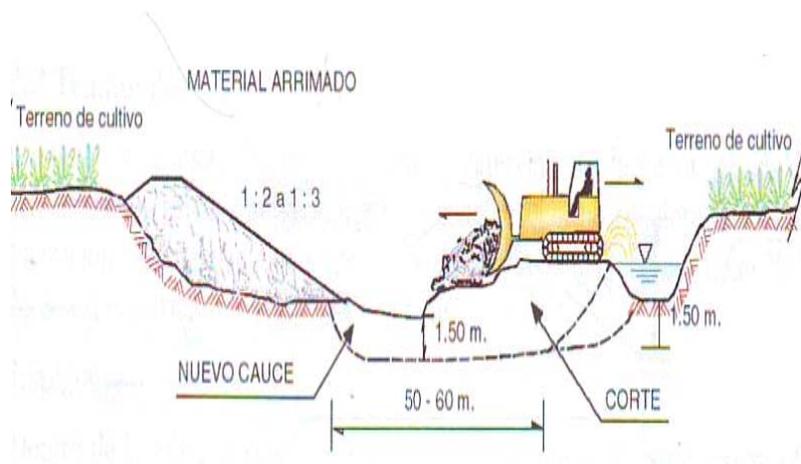


Figura 7.17. Esquema de una limpieza de cauce

### 7.5.3. Objetivo de la práctica

Los objetivos de la limpieza de cauce y las acciones que deben ser llevadas a cabo son las siguientes:

#### a. Regeneración del cauce

Esta serie de actuaciones pretende rehabilitar condiciones favorables en los tramos degradados del cauce (ver figura 7.18), e incrementar la diversidad de hábitats, y consiste en las actuaciones siguientes:

- Mantenimiento de la vegetación palustre emergente y sumergida.
- Diversificación del cauce, está previsto actuar en el cauce para potenciar la mayor heterogeneidad de formas y condiciones hidráulicas.
- Eliminación de la vegetación autóctona en las orillas y en el agua.

**b. Eliminación de la vegetación invasora**

Este trabajo se centra en la eliminación manual del plumero y de la chilca en su totalidad, debido a su gran facilidad de dispersión y los efectos negativos que ocasiona a la vegetación.

**c. Desbroce selectivo en los hábitats que se conservan**

Esta actuación consiste en el desbroce (manual y con desbrozadora) de la vegetación herbácea y arbustiva y la eliminación de los restos de desbroce.

Así se procederá a labores de desbroce selectivo en varias zonas (orillas de las formaciones boscosas, talud y cunetas del camino, sobre matorrales y praderas para frenar el proceso de sucesión).

**d. Limpieza de residuos sólidos y eliminación de vegetación muerta**

Parte de estos residuos son retirados y llevados a vertedero, y otra parte (escombros, adoquines, ladrillos, etc.) seleccionados y reutilizados en la construcción de infraestructuras.

**e. Rehabilitación paisajística**

Esta serie de actuaciones comprende las citadas anteriormente como la rehabilitación y diversificación de los bosques, la eliminación de la vegetación invasora, así como la implantación de una pantalla vegetal.

Esta actuación cumple varias funciones como minimizar el impacto del viento, del ruido, crear nuevos biotipos y actuar como barrera física entre el ecosistema natural y las carreteras e industrias.

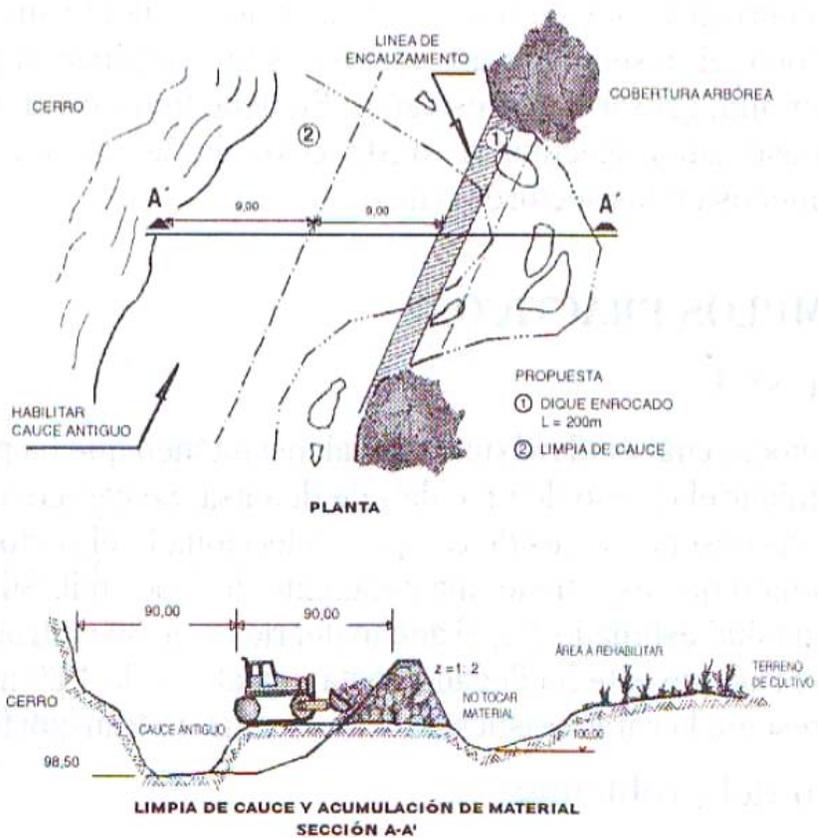


Figura 7.18. Limpieza de cauce y acumulación de material

#### f. Acondicionamiento para el uso público

Consiste en el trazado y acondicionamiento de las sendas peatonales en caso de que existan.

#### 7.5.4. Metodología para la limpieza de cauce

##### Información necesaria:

- Delimitación del área en la cual se va a realizar la limpieza de cauce.
- Características del suelo sobre el cual se va a asentar la maquinaria (selección de maquina a emplear).
- Ubicación en el lugar de depósito de los desechos.
- Plano en planta del río con curvas de nivel.

## **Procedimiento:**

- 1°. Identificar en el plano en planta del río el lugar donde se va a realizar el corte del terreno, basándose en el plano con curvas de nivel, en el cual podemos observar las distintas profundidades del cauce del río, definiéndose así el tipo de maquinaria a emplear para realizar la limpieza del cauce (ver figura 7.18).
- 2°. Iniciar el corte en la parte central con respecto al nivel de las formaciones de la terraza última o nivel a proteger tomándose en cuenta las siguientes características:
  - Profundidad de aproximadamente 1,5 a 2 m.
  - Ancho mínimo estable de corte de 50,60 o 90 m.

La profundidad y el ancho de cortes a realizar son variables y dependen del área a proteger y de la intensidad de la corriente del río.

- 3°. Acopiar el material excedente del corte realizado, depositándolo en un área de depósito determinada previamente, o bien reutilizada en la construcción de defensivos en las márgenes del río o para la protección de alguna obra existente (ver figuras 7.17 y 7.18).
- 4°. Realizar el desbroce en las márgenes del río, retirado de troncos y otros objetos que puedan alterar el cauce del río previsto, ocasionando un tapón en una crecida.
- 5°. Realizar mantenimiento a la limpieza de cauce realizada por lo menos dos veces al año y después de cada crecida.

## **VIII. PRACTICAS FORESTALES PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN LAS MÁRGENES DE LOS RÍOS Y LAS SUPERFICIES DE LAS LADERAS**

---

### **8.1. Generalidades**

La finalidad principal de los métodos que se describen a continuación es la de cubrir y proteger las márgenes de los ríos y las superficies de las laderas adenañas amenazadas o dañadas.

Utilizando un gran número de plantas, semillas, o trozos de plantas por unidad de superficie, se protege la superficie del suelo contra el impacto de lluvias intensas, granizo, corrientes de agua, viento, hielo y otras formas de erosión. El efecto en la profundidad del suelo tiene una importancia secundaria.

La protección de la superficie mejora las condiciones microclimáticas, especialmente la humedad y la temperatura, tanto en el suelo como en la capa de aire más próxima al terreno. Esto favorece el desarrollo de la vegetación natural.

Los métodos de protección superficial deben aplicarse siempre que se necesite una protección rápida en una gran extensión.

Entre estas prácticas más comunes se tienen:

- Construcción de colchones de ramas.
- Recubrimientos con césped.
- Encespedado comercial (turf).
- Siembra de heno.
- Siembra en seco.
- Método de Schiechteln.

- Siembra con paja a base de material de fibra larga.
- Con clavijas y clavos.
- Con tela metálica.
- Colocación de alfombras de semilla.

## **8.2. Construcción de colchones de ramas**

### **8.2.1. Materiales**

Deben emplearse ramas largas y derechas por lo menos de 150 cm de longitud que enraícen fácilmente. Dependiendo del grueso y del número de ramas laterales, se necesitarán aproximadamente de 20 a 50 ramas por metro de recorrido, siempre que la longitud de las ramas sea igual que la de la ladera.

El peso por metro cuadrado de ramas lisas será por lo menos de 5 Kg. y con ramas con abundantes ramillas, de 5 a 10 kg. Si no se dispone de suficientes plantas vivas, podrán sustituirse en parte con plantas leñosas muertas, pero deberá entremezclarse muy bien el material vivo y el material muerto para lograr un crecimiento homogéneo.

### **8.2.2. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria**

- Características del suelo (tipo de suelo, permeabilidad, consistencia, entre otros).
- Topografía del lugar donde se va a construir los colchones de ramas (pendiente).
- Disposición del material.

### **Pasos a seguir:**

- 1°. Una vez identificada el área de construcción de los colchones de ramas (ver figura 8.1); introducir en el suelo estacas de madera muertas o piquetes de acero con ganchos con una profundidad de unos 20 cm. y a una distancia de 60 a 80 cm.



Figura 8.1. Construcción de un colchón de ramas

- 2°. Colocar ramas vivas en los suelos suficientemente próximos como para establecer una cubierta completa, teniendo en cuenta que:
  - 2.1. Los extremos de las ramas queden bien cubiertos con una capa superior de suelo, de tal modo que puedan enraizar, en lugar de secarse o ser arrastrados por el agua.
  - 2.2. Los colchones de ramas se protegen normalmente con fajinas, postes de madera, empalizadas trenzadas o rellenos de piedra.

- 2.3. Si la longitud de las ramas no es suficiente para cubrir toda la ladera, deben colocarse en capas múltiples; las ramas de la capa inferior deben solaparse con las de la capa superior por lo menos 30 cm.
- 3°. Sujetar el colchón de ramas seguidamente al terreno con alambre, ramas cruzadas, fajinas o empalizadas trenzadas en hileras distanciadas de 80 a 100 cm. (ver figura 8.2). El método más sencillo es su anclaje con alambre fuerte.

El alambre se ata a las estacas que se colocaron previamente y éstas se hincan más profundas, de tal modo que el colchón de ramas quede fuertemente presionado contra el terreno aumentando para ello la tensión del alambre.

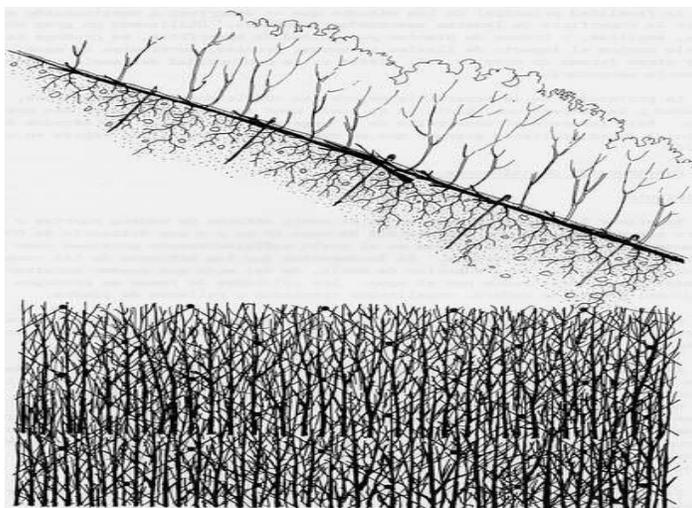


Figura 8.2. Construcción de un colchón de ramas

- 4°. Asegurar el enrizamiento y desarrollo del colchón de ramas, haciendo que el ramaje en su conjunto se apoye fuertemente contra el terreno, estando en estrecho contacto con éste; cuidando de que todo el colchón debe cubrirse ligeramente con tierra o material de relleno, sin embargo, no es necesario hacerlo con suelo de la capa superior.

- 5°. Si se emplean fajinas o empalizadas trenzadas para atar el colchón de ramas, la distancia entre las estaquillas puede aumentarse a 100 cm. Sin embargo, este sistema de sujeción es más caro y no es más eficaz que el uso de alambre.

En áreas especialmente peligrosas (por ejemplo, de lluvias intensas y topografía ondulada), los colchones de ramas pueden anclarse con mayor seguridad mediante tela metálica o un material similar.

### **8.2.3. Eficacia ecológica y técnica**

Los colchones de ramas proporcionan una cubierta inmediata y ofrecen una buena protección incluso contra la erosión ocasionada por las olas y por las corrientes de agua.

El empleo de materiales vivos ayuda a lograr un efecto permanente. Además, la protección con ramas vivas que continúan su desarrollo acelera el establecimiento de la vegetación climática.

La penetración de las raíces de las plantas que constituyen el colchón de ramas será más profunda si el suelo subyacente está seco y es permeable; por ello, no es aconsejable añadir compost.

En la construcción de colchones de ramas, al colocarse éstas extendidas sobre el terreno, el suelo se estabiliza con menos profundidad que en la construcción de lechos de ramaje.

## **8.3. Recubrimiento con césped**

### **8.3.1. Características**

Este método es especialmente conveniente en laderas muy inclinadas, márgenes de ríos, y en áreas en que sería demasiado caro el transporte de césped.

La ventaja de este método es que se pueden producir y transportar con facilidad grandes cantidades de césped. Si se emplea adecuadamente este método puede ser más eficaz que el empleo de tepes extraídos a mano de zonas de hierba natural.

### **8.3.2. Materiales**

Los materiales empleados pueden ser:

- 1. Planchas de césped extraídas a mano;** con las siguientes características:
  - Se riegan prados de pasto natural y a continuación se cortan y extraen trozos cuadrados de unos 40 por 40 cm. aproximadamente. Estos trozos deben ser por lo menos de 8 cm. de grueso, con una profundidad de suelo considerablemente mayor que en el caso del césped comercial.
  - Si hay que almacenar los tepes, deben apilarse con una altura no superior a 60 cm. (con una anchura máxima de 100 cm.) de modo que la hierba no se seque o se sofoque.
  - Es especialmente importante evitar que penetren los ratones en los tepes durante el almacenamiento invernal. En el verano, los tepes se pueden almacenar hasta 4 semanas.
- 2. Césped comercial;** el césped comercial es muy apropiado para emplearlo en zonas llanas y en cursos de agua empradizados porque se suele cortar en tiras largas y uniformes, debiéndose considerar:

- La mayoría del césped comercial se ofrece en tiras de 30 a 40 cm. de anchura y 150 a 200 cm. de longitud y de 2 a 4 cm. de grueso. Al calcular la cantidad necesaria de césped, debe darse un cierto margen de merma por desecación.
- El césped comercial fresco y plano no sólo enraíza con mayor rapidez y eficacia que los tepes de césped extraídos a mano, sino que las raíces se adhieren también mejor al suelo y no se secan tan fácilmente.
- El césped comercial se transporta o en rollos o en placas sobre bandejas de madera. No debe apilarse con más de 6 tongadas de altura. No debe almacenarse más de 4 días, debiendo protegerse el césped contra la desecación. Cada metro cuadrado de césped comercial pesa de 25 a 30 kg dependiendo del substrato, del contenido de humedad y del espesor.
- El césped comercial se suele cultivar en hojas especiales de plástico, sobre todo de cloruro de polivinilo. Sobre la hoja se coloca una red de plástico cubierta con una mezcla de tierra y semillas, y seguidamente se riega. A las tres o cuatro semanas la red de plástico está cubierta de césped listo para su colocación (ver figura 8.3). Como las raíces no pueden atravesar la hoja de plástico, la red completa de césped de hierba se puede enrollar sin tener que cortarla. Por lo tanto, las raíces del césped comercial, cultivado sobre material impermeable, no suelen dañarse durante el transporte y colocación.

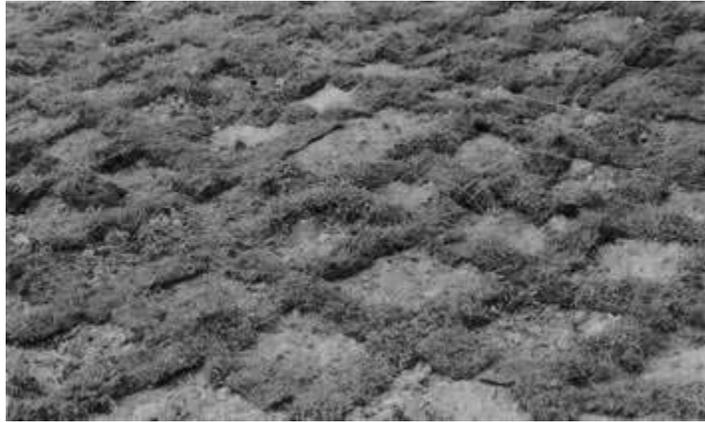


Figura 8.3. Aplicación de césped comercial en forma de tablero de ajedrez

### **8.3.3. Época**

Si se dispone de cantidad suficiente de agua, la colocación del césped se puede hacer durante todo el período vegetativo.

### **8.3.4. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria**

- Topografía del área de recubrimiento con césped.
- Características del suelo (permeabilidad, tipo de suelo, entre otros).

#### **Pasos a seguir:**

- 1°. Delimitar el área donde se va a realizar el recubrimiento con césped, considerando la pendiente y tipo de suelo favorable al crecimiento del césped.
- 2°. Colocar las planchas de césped, las cuales pueden ser cavadas a mano; con las siguientes características:

- 2.1. Las planchas de césped o tepes cuadrados deben ser de unos 40 cm. x 40 cm. aproximadamente, los cuales se sacan de prados, pastizales, etc., y se colocan (con todo el suelo que cuelga) en laderas o superficies que se han cubierto previamente con 1 a 5 cm. de capa superficial de suelo (ver figura 8.4).
- 2.2. En laderas con grandes pendientes, cada cuatro o cinco trozos de tepes se atan con una estaca de madera o de acero de 50 cm. de longitud. Las estacas se clavan en el tepe lo suficiente para que queden enrasadas con el terreno. El empleo de estacas vivas en planchas compactas de césped no es eficaz porque es difícil que se desarrollen las estaquillas.
- 2.3. Puede utilizarse una tela metálica o de plástico para fijar los tepes en laderas expuestas a la erosión del agua.



Figura 8.4. Protección de una ladera mediante recubrimiento con planchas de césped de pastizal natural

## **8.4. Encespedado comercial (turf)**

### **8.4.1. Forma de colocación**

En el empleo de este tipo de encespedado, se deben tener en cuenta las siguientes características:

- La colocación de césped comercial depende del tamaño y forma de los tepes. Por ejemplo, si los tepes vienen en tiras largas y han de colocarse con un cierto ángulo en pendientes inclinadas y en márgenes de cauces, puede ser necesario colocar en primer lugar una tela metálica como base. Esta debe sujetarse en la parte superior de la ladera.
- También es posible obtener tepes que se han cultivado en tela metálica o en redes de nylon. Suele tratarse de trozos más pequeños y se colocan como las planchas de césped. Dependiendo de la ladera y de la corriente de agua, puede ser necesario sujetar los tepes con estacas.
- El césped se debe apisonar después de instalado para lograr un contacto firme y uniforme entre las raíces del césped y el suelo que está debajo.
- A menos que el césped comercial se haya cultivado específicamente para áreas sin capa superior de suelo, será necesario también una base de la capa superior del suelo de 1 a 5 cm. de espesor.

#### **8.4.2. Eficacia ecológica y técnica**

Tan pronto como esté colocado el césped, la superficie está totalmente cubierta y, por lo tanto, protegida. La unión adecuada con el suelo que está debajo no se inicia hasta que el césped enraiza, lo que suele tardar de una a dos semanas. Sin embargo, en condiciones climáticas muy favorables, o si el césped es muy fino, puede llegar a enraizar a los pocos días de colocarlo.

## **8.5. Siembra de heno**

### **8.5.1. Características**

El sistema de siembra de heno es sin ninguna duda uno de los métodos de siembra más antiguos. Hay documentación veraz que data de la Edad Media sobre el sistema de siembra de heno, en el cual las semillas recogidas del fondo de un almiar se empleaban para diversos fines, incluyendo la alimentación del ganado y aplicaciones medicinales.

Echar semillas de heno en zonas desnudas lo hacían los agricultores antes de que se pudieran comprar semillas de herbáceas y de otro tipo en el comercio.

### **8.5.2. Materiales**

Se necesitan por metro cuadrado de 0,2 a 0,82 kg de semilla de heno. Las semillas de heno se obtienen recogiendo los restos del fondo de una pila de heno que contienen semillas.

Cuando sólo se emplean semillas de heno, no es necesario separar los trozos de tallo que van con ellas, pero cuando se emplea la siembra hidráulica debe tamizarse el heno para garantizar un porcentaje elevado de semilla.

### **8.5.3. Época**

La siembra de heno se puede realizar durante toda la estación vegetativa, pero los mejores resultados se logran realizando la aplicación durante el primer tercio de la temporada.

#### **8.5.4. Metodología de diseño**

##### **Información necesaria**

- Topografía del área de recubrimiento con césped.
- Características del suelo (permeabilidad, tipo de suelo, entre otros).

##### **Pasos a seguir:**

- 1°. Delimitar el área donde se va a realizar la siembra con heno, considerando la pendiente y tipo de suelo necesario para el crecimiento del heno.
- 2°. Aplicar de 40 a 70 g de fertilizante mineral o de humus por metro cuadrado de superficie a sembrar; extendiendo por la superficie una capa de heno (de 2 a 8 cm. de grueso) que contenga semillas locales, considerando:
  - 2.1. El mejor efecto se logra cuando se extiende el heno sobre suelo húmedo.
  - 2.2. Si el suelo está seco, hay que humedecer el heno antes o después de echarlo para evitar que el viento se lleve las semillas.
  - 2.3. Se pueden lograr mejores resultados si la siembra de heno se combina con métodos modernos de siembra, obteniéndose las ventajas de una siembra bajo cubierta vegetal y de la siembra de heno.

#### **8.6. Siembra hidráulica (hidrosiembra)**

##### **8.6.1. Materiales**

Se necesitan de uno a 30 litros de emulsión de semilla (semilla, fertilizante, material mejorador del suelo, adhesivos, y agua) por metro cuadrado de superficie a recubrir.

### **8.6.2. Época**

La siembra hidráulica es posible durante toda la estación vegetativa. En zonas de lluvia moderada, la mejor época es el comienzo de la temporada, normalmente la primavera; en regiones secas, suele recomendarse la siembra de otoño.

La siembra hidráulica sin cubierta de paja sólo se recomienda en temporadas húmedas y en zonas húmedas y sombreadas. La siembra hidráulica con cubierta de paja amplía el período en que puede realizarse el recubrimiento con vegetación, no debiendo intentarse en períodos con fuertes lluvias, vientos violentos o heladas.

#### **a. Siembra en seco**

La siembra en seco consiste:

- En contraste con la siembra hidráulica, en que se emplea el agua como medio portador, en los métodos de siembra en seco el material se distribuye manualmente o mecánicamente (lo corriente es emplear sistemas de siembra a voleo) sin el empleo de agua.
- En países muy industrializados la siembra en seco se aplica con sopladores o esparcidores montados en vehículos terrestres, helicópteros o aviones. Se suelen aplicar conjuntamente el fertilizante y la semilla.

- En países donde se dispone fácilmente de mano de obra barata, suele ser más económico el esparcir la semilla a mano. A excepción de la diferencia en cuanto al método de distribución, la siembra en seco y la siembra hidráulica son básicamente análogas; por lo tanto, pueden aplicarse también los procedimientos descritos al tratar de la siembra hidráulica.

#### **b. Siembra con cubierta de paja**

La siembra con cubierta de paja consisten que después de la siembra hidráulica o en seco, se extiende sobre el terreno una capa de paja triturada o de material similar, con un distribuidor de paja.

### **8.6.3. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria**

- Topografía del área de recubrimiento con césped.
- Características del suelo (permeabilidad, tipo de suelo, entre otros).

#### **Pasos a seguir:**

- 1°. Delimitar el área donde se va a realizar la hidrosiembra, considerando la pendiente y las condiciones favorables a la misma.
- 2°. Mezclar en un tanque las semillas con agua, fertilizante, materiales que mejoran las características físicas y químicas del suelo, y adhesivos.
- 3°. Rociar, mediante una bomba acoplada, la emulsión por la superficie a recubrir de vegetación (ver figura 8.5), donde la mezcla debe mantenerse homogénea durante toda la operación de rociado, tomando en cuenta:

- 3.1. Se rocía en una sola aplicación una capa de 0,5 a 2 mm de espesor.



Figura 8.5 Siembra mediante sistema hidráulico (hidrosiembra)

- 3.2. Si la superficie a sembrar corresponde a suelos pedregosos o pobres, es necesario aplicar una mayor cantidad de material fertilizador del suelo. En este caso, hay que aplicar la mezcla por etapas; hay que dejar que se afirme cada capa rociada antes de la aplicación siguiente.
- 3.3. La siembra hidráulica de grandes superficies puede realizarse incluso con helicópteros o aviones especialmente equipados. Entre todos los métodos de siembra, la siembra hidráulica es la más eficaz para sembrar plantas leñosas; representa el método más económico para el establecimiento de vegetación arbustiva o arbórea en laderas desnudas.
- 3.4. En el caso de la siembra con cubierta de paja después de la siembra hidráulica o en seco, la paja se extiende sobre el terreno una capa de paja triturada o de material similar, con un distribuidor de paja (ver figura 8.6).



Figura 8.6. Siembra de recubrimiento con distribuidor de paja después de la siembra hidráulica

- 3.5. La paja hay que triturlarla con un dispositivo especial, haciéndola pasar a presión por la tubería mediante un ventilador. Se suele agregar una emulsión inestable de alquitrán para garantizar una adherencia inmediata.
- 3.6. La distancia media de soplado es de unos 25 m; con una tubería complementaria se puede ampliar hasta un máximo de 35 m. Este método no se puede aplicar con eficacia a mayores distancias.

## **8.7. Método de Schiechteln o siembra con paja a base de material de fibra larga**

### **8.7.1. Materiales**

Para realizar la siembra con paja a base de material de fibra larga se requiere:

- Se necesitan de 10 a 50 g de semilla por metro cuadrado, dependiendo de las condiciones del sitio y de los objetivos del recubrimiento con vegetación.
- Además, para cada metro cuadrado a sembrar se necesitarán de 300 a 700 g de paja, heno u otro material similar o de fibras orgánicas sintéticas; de 40 a 60 g de abono mineral o de 100 a 150 g de abono orgánico; y alrededor de 0,25 litros de alquitrán.
- El alquitrán u otros adhesivos deben emplearse de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes (aunque tienden a quedarse cortos para este tipo de trabajo).
- Se necesitan distintos preparativos técnicos y biológicos que dependen de las condiciones del sitio.

### **8.7.2. Época**

Este método puede aplicarse en cualquier momento durante la estación vegetativa.

### **8.7.3. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria**

- Topografía del área de recubrimiento con césped.
- Características del suelo (permeabilidad, tipo de suelo, entre otros).

## **Pasos a seguir:**

1°. Delimitar el área donde se va a realizar siembra con paja a base de material de fibra larga, considerando la pendiente y las características del suelo favorable a la siembra de la paja.

2°. Seleccionar uno de los métodos de Schiechtein para el sembrado, estos métodos pueden ser:

**2.1. Método normal de Schiechtein**, donde se procede de la siguiente manera:

- En primer lugar, se coloca sobre la ladera paja larga sin cortar, de tal modo que se forme una capa completa sin interrupción.
- En segundo término, dependiendo de las condiciones del sitio y de los objetivos del recubrimiento de vegetación, se produce una mezcla específica de semilla, inoculada, y se extiende sobre la capa de recubrimiento de paja, junto con fertilizante mineral y orgánico. Si es necesario, pueden incorporarse en esta etapa productos aditivos para mejorar el suelo, para estabilizarlo o para favorecer el desarrollo vegetativo.
- En tercer término, se protege la cubierta de paja contra el movimiento y el arrastre del viento esparciendo emulsiones de betún u otros adhesivos. Dependiendo de las condiciones del sitio, el método Schiechtein puede realizarse manualmente, o parcialmente con empleo de maquinaria.
- El método puede ajustarse muy fácilmente a las condiciones específicas del lugar (ver figura 8.7). El rendimiento diario del trabajo depende del equipo humano y de las condiciones del sitio.



Figura 8.7. Estabilización de grandes laderas y de cauces erosionados mediante la construcción de diques de retención (a la izquierda), el método de Schiechteln (en el centro) y plantación (a la derecha)

## 2.2. Método de Schiechteln con clavijas y clavos; el cual consiste en:

- Si no se puede fijar convenientemente la capa de paja con los adhesivos (incluyendo el alquitrán), hay que modificar el método normal de Schiechteln del modo siguiente: antes de colocar la paja, se introducen en el suelo, a intervalos de 1,00 m, clavos o clavijas, normalmente barras de refuerzo (de las que se emplean en el hormigón) de 35 cm. de longitud.
- La capa de paja se mantiene pegada al terreno con alambre amarrado a estos clavos y tirante. Los clavos pueden hincarse aún más en el terreno martillándolos para sostener firmemente la paja. Este método sólo debe emplearse cuando sea absolutamente preciso, para evitar esfuerzos, gastos y pérdidas de tiempo innecesarios.
- El rendimiento diario del trabajo es de 500 a 1000 m<sup>2</sup> con un equipo de 6 hombres.

**2.3. Método de Schiechteln con tela metálica;** el cual consiste en:

- Aquellas partes del área que estén fuertemente amenazadas de erosión por el viento o por el agua (o por el paso de animales), se pueden proteger colocando una malla metálica o de plástico o tiras de nylon sobre la paja.
- La malla debe sujetarse mediante estaquillas o grapas grandes.
- El rendimiento diario del trabajo es de 400 a 700 m<sup>2</sup> con un equipo de 6 hombres.

## **8.8. Colocación de alfombras de semilla**

### **8.8.1. Materiales**

Se necesitan alfombras de semilla prefabricadas, que contengan material orgánico y sintético, que consiste normalmente en una o dos capas distintas de fibras y un refuerzo entre ellas. Existen en el mercado varios tipos.

### **8.8.2. Época**

La colocación se puede hacer durante toda la estación vegetativa.

### **8.8.3. Metodología de diseño**

#### **Información necesaria**

- Topografía del área de recubrimiento con césped.
- Características del suelo (permeabilidad, tipo de suelo, entre otros).

### **Pasos a seguir:**

- 1°. Delimitar el área donde se va a realizar la colocación de las alfombras de semilla, considerando la pendiente y las características del suelo favorable a las semillas.
- 2°. Colocar las alfombras de semilla tomándose en cuenta los siguientes criterios:
  - 2.1. En laderas húmedas y bien igualadas, preferentemente.
  - 2.2. En superficies pedregosas o desiguales, hace falta una capa adicional de material aglutinante. Sin embargo, no es necesario hacer rugoso el terreno.
- 3°. Apisonar las alfombras después de colocadas para asegurar un estrecho contacto con el suelo. Para evitar el desplazamiento de las alfombras, es necesario asegurarlas con piquetes o con alambre, o enterrar las partes iniciales y finales (ver figuras 8.8 y 8.9).



Figura 8.8. Colocación de alfombras de semilla reforzadas en laderas inclinadas



Figura 8.9. Desarrollo de las alfombras de semilla cuando están en contacto con el suelo

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

1. **Biblioteca Encarta 2008** Microsoft office.
2. **Calavera J.:** Muros de contención y muros de sótano, Primera Edición.
3. **Calvin V. D.:** Tratado de Hidráulica Aplicada, ED. Revolucionaria, La Habana, Cuba, 1968.
4. **Comisión federal de electricidad:** Manual de Diseño de Obras Civiles Hidrotecnia, Hidráulica Fluvial, México, 1981.
5. **Gobierno de Coahuila:** Manual de Diseño de Obras Civiles Hidrotecnia, Normas de construcción de obra publica, México.
6. **Field Manual for Research in Agricultural Hydrology:** Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1979, Washington DC.
7. **<http://www.construaprende.comesis>**
8. **<http://www.construaprende.com/tesis03/2006/09/paramento-aguas-arriba-datos-p.html>**
9. **<http://ces.iisc.ernet.in/energy>**
10. **<http://www.usbr.gov>**
11. **Kraatz D. B:** Majan I. K; Pequeñas obras hidráulicas, FAO, Roma, 1976.
12. **Martín J.P.:** Ingeniería de Ríos, Primera Edición.

13. **Ministerio de la construcción:** Manual práctico de hidráulica. Tomo I. Vd. MICONS.
14. **Sotto A. L., March A. C.:** Temas de Ingeniería Hidráulica, Vd. Pueblo y Revolución, La Habana, Cuba, 1985.
15. **USBR:** Diseño de presas pequeñas / MiCons. La Habana 1972.
16. **Vásquez A.:** Manejo de cuencas Alto andinas Tomo I, Perú 2000.
17. **Vásquez A.:** Manejo de cuencas Alto andinas Tomo II, Perú 2000.