



Curso: “Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto”

Profesora Alba J. Castillo

Profesora Aurora B. Piña

Caracas, 31 de Julio, 01 y 02 de agosto de 2008



Objetivo 3: Metodologías de control de Sedimentación para Explotaciones Mineras a Cielo Abierto.

Contenido:

- Técnicas físicas.
- Otras técnicas.
- Ejercicios prácticos.



Impactos de la minería en la hidrosfera

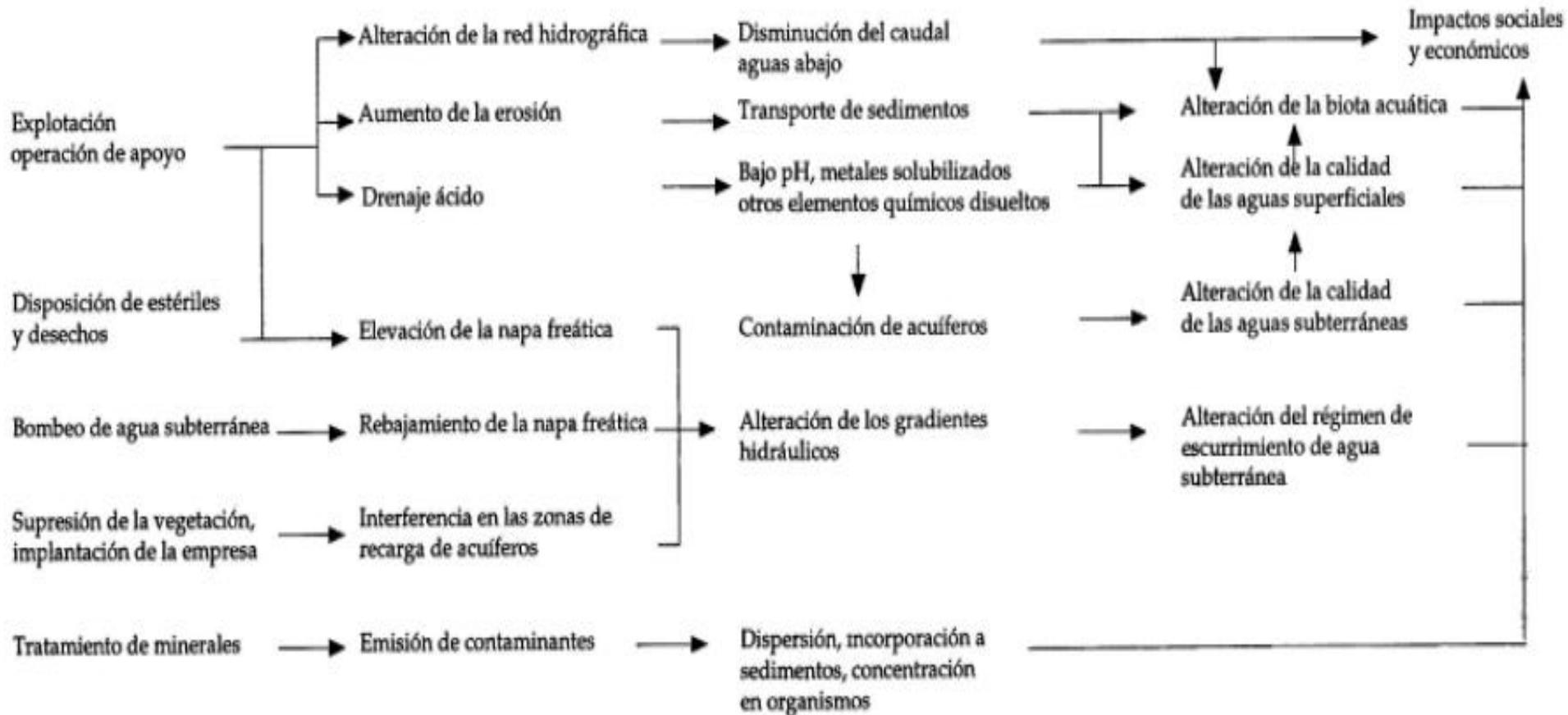


ACCIONES

EFECTOS

PROCESOS AMBIENTALES

IMPACTOS





TÉCNICAS FÍSICAS

Sistemas de Drenaje

- Diques y Canales
- Escombreras
- Muros de Gaviones



Criterios hidrológicos

Un sistema de drenaje debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente todo el año, particularmente durante lluvias intensas; sin embargo esos valores máximos de precipitación no son los únicos factores que influyen en el dimensionamiento de un sistema de drenaje.

La expresión de la fórmula racional para obtener el caudal será:

$$Q = \frac{C * i * A}{3,6}$$

donde:

Q: caudal (m³ / s);

C: coeficiente de descarga (no dimensional);

i: intensidad de precipitación pluviométrica (mm / h);

A: área de la cuenca de drenaje (km²).



Criterios importantes.

Para el dimensionamiento del sistema es necesario conocer el caudal afluente, particularmente en el caso de las cuencas de decantación.

El caudal obtenido dependerá del tipo de precipitación adoptada. Es necesario recordar, que presentan interés en el dimensionamiento de sistemas de drenaje los caudales pico o más altos.

El período de retorno deberá adoptarse en función del tipo de obra.





DIQUES Y CANALES

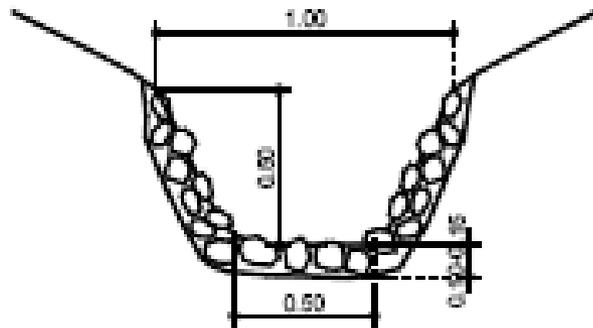
Algunas de las funciones de estas obras son:

1. Evitar el paso de las aguas a áreas fuertemente erosionables, o en operación y conducirlos de forma adecuada.
2. Reducir la longitud de los taludes para complementar la resistencia a la erosión aportada por la vegetación.
3. Impedir las acumulaciones de agua en superficies irregulares y/o cóncavas.
4. Eliminar la llegada de las aguas a zonas con edificaciones o instalaciones mineras, y
5. Proteger las tierras bajas frente a la depositación de sedimentos.



Diques y canales

En función de las características de los materiales sobre los cuales pueden ser construidos los canales, se define la velocidad máxima de circulación.



Canal de piedra

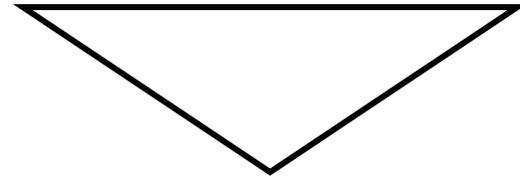
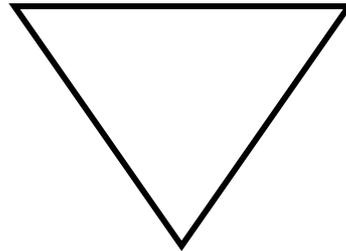
Velocidad máxima admisible

<i>Tipo de revestimiento</i>	<i>Velocidad admisible (m/s)</i>
Hierba bien cuidada en cualquier clase de terreno	1,80
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,6 – 1,20
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0,30 – 0,60
Arena arcillosa dura	0,60 – 0,90
Arcilla dura muy coloidal	1,20
Arcilla con mezcla de grava	1,20
Grava gruesa	1,20
Pizarra blanda	1,50
Mampostería	4,50
Hormigón	4,50



Secciones de canales más comunes

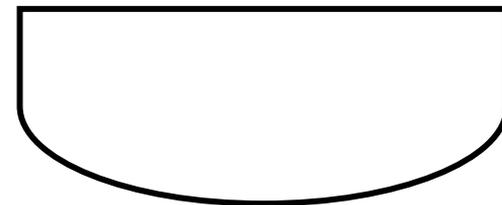
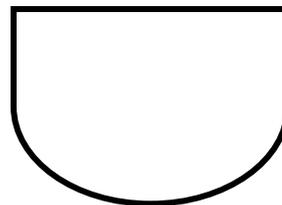
Triangulares:



Trapezoidales:



Parabólicas:





Elementos geométricos de las secciones de canales

SECCIÓN	AREA A	PERIMETRO HOJADO P	RA. HIDRAULICO R	ANCHO TOTAL T	PROF. HDR. D	FACTOR DE SECCION Z
	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b	y	$by^{1.48}$
	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\frac{[(b+zy)y]^{1.48}}{\sqrt{b+2zy}}$
	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$1/2y$	$\frac{\sqrt{2}}{2} zy^{2.48}$
	$1/8(8-\text{sen}\theta)do^2$	$1/2\theta do$	$1/4\left(1-\frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right)do$	$(\text{sen}^2\theta/2)do$ $2\sqrt{y(do-y)}$	$\frac{1}{2}\left(\frac{\theta-\text{sen}\theta}{\text{sen}^3\theta}\right)do$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta-\text{sen}\theta)^{1.48}}{(\text{sen}^3\theta)^{1.48}}do^{2.48}$



Diseño de canales de drenaje en taludes

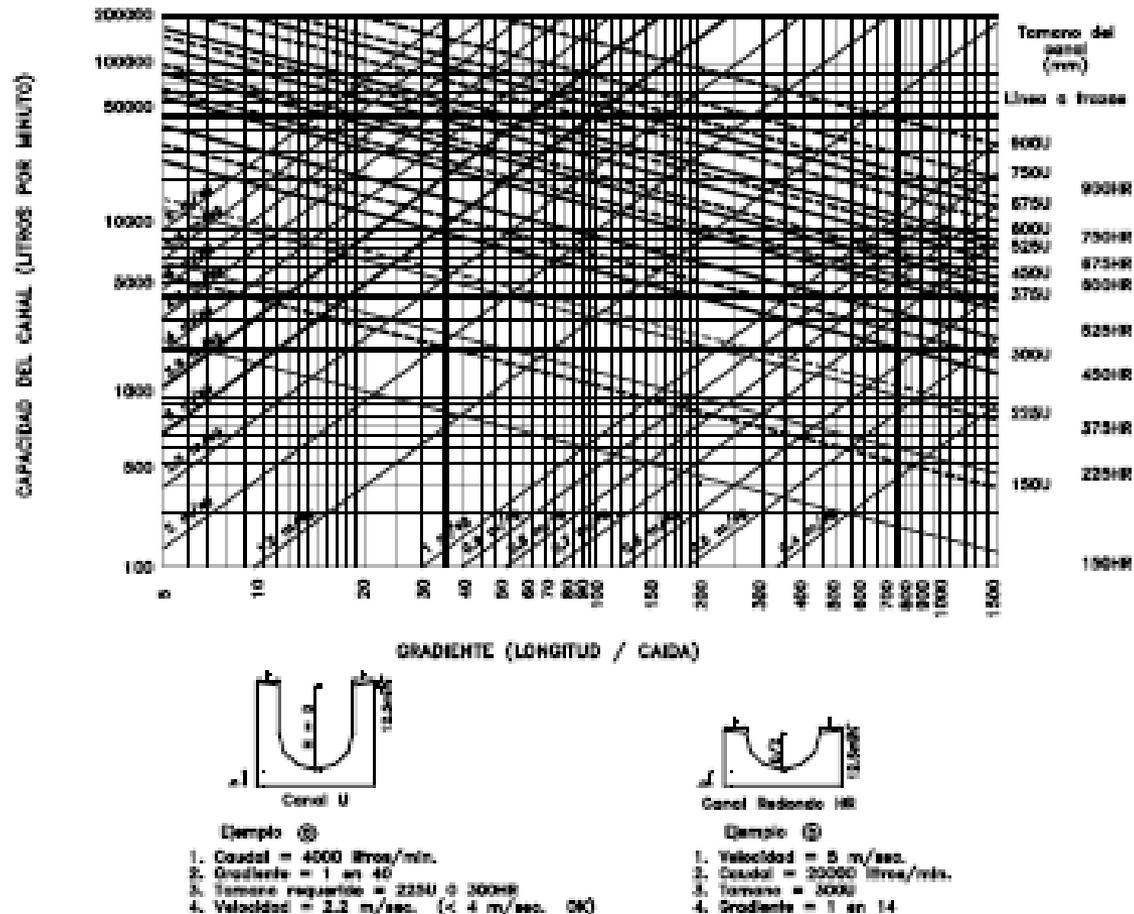


Figura 13.4 Abaco para el diseño rápido de canales de drenaje en taludes (Geotechnical engineering office, Hong Kong).



Dimensionamiento de canales

El caudal proporcionado por un canal es dado por la siguiente expresión:

$$Q = V * A$$

donde:

V: velocidad del agua (m / s)

A: área de la sección mojada (m²).

La velocidad del agua es dada por la “fórmula de Manning”:

$$V = (1,49/n) * R^{2/3} * S^{1/2}$$

donde:

V: velocidad del agua (m / s);

n: coeficiente de rugosidad del canal (no dimensional);

R: radio hidráulico (m) [área de la sección transversal / perímetro mojado];

S: gradiente de la sección longitudinal del canal (%).



Dimensionamiento de canales. Número de Manning

Número de Manning

<i>Tipo de revestimiento</i>	<i>n</i>
Tierra ordinaria con superficie uniforme	0,02
Hierba (altura de la lámina de agua superior a 15 cm)	0,04
Hierba (altura de la lámina de agua inferior a 15 cm)	0,06
Hierba espesa	0,10
Encachado de piedra, rugoso	0,04
Encachado de piedra, liso	0,02
Hormigón rugoso	0,024
Hormigón liso	0,012



Dimensionamiento de canales. Criterios generales

1. Su localización debe determinarse considerando las condiciones de descarga, la topografía, los usos del terreno, los tipos de suelos, los taludes y las áreas de drenaje.
2. Según la zona que se pretenda proteger, se utilizarán para el diseño períodos de recurrencia de 10 a 50 años.
3. Las anchuras de los canales para el diseño máximo serán como mínimo de 1,2 m.
4. Los taludes no serán inferiores de $2H : 1V$.
5. Tanto el cordón de material situado aguas abajo como el propio canal que se está excavado en el terreno podrá revegetarse 15 días antes de la instalación.
6. Periódicamente se revisarán y si fuese necesario, se retirarán los sedimentos depositados.



Dimensionamiento de canales

Coefficientes de rugosidad típicos

<i>Tipo de canal</i>	<i>Coefficiente de rugosidad</i>
Revestida con cemento (hormigón), terminación fina	0.015
Revestida con cemento (hormigón), terminación gruesa	0.013
Suelo excavado, recto, sección uniforme, sin vegetación	0.022
Suelo excavado, recto, sección uniforme, laterales cubiertos con césped	0.030
Suelo excavado, en curva o irregular, sección no uniforme, con arena o piedra en el fondo	0.030
Canal natural, recto, sin vegetación	0.030
Canal natural, en curva o irregular, sin vegetación	0.035
Canal natural, en curva o irregular, con vegetación	0.100



Dimensionamiento de canales

Las pendientes mínimas para canales de desagüe general serán las siguientes:

1. Canales revestidos: 0,2 %
2. Canales sin revestir: 0,5 %
3. Siempre que se pueda, se procurará llegar al 1 % de pendiente.

Valores máximos de velocidad de flujo para evitar erosión

<i>Tipo de fondo</i>	<i>Velocidad máxima (m / s)</i>	<i>Inclinación (%)</i>
Arcillo – arenoso	0.75	0.5
Arcillo – limoso	0.90	1.0
Arcilloso	1.20	2.0
Mezcla de arcilla y pedrisco	1.50	2.5
Roca	2.40	4.0

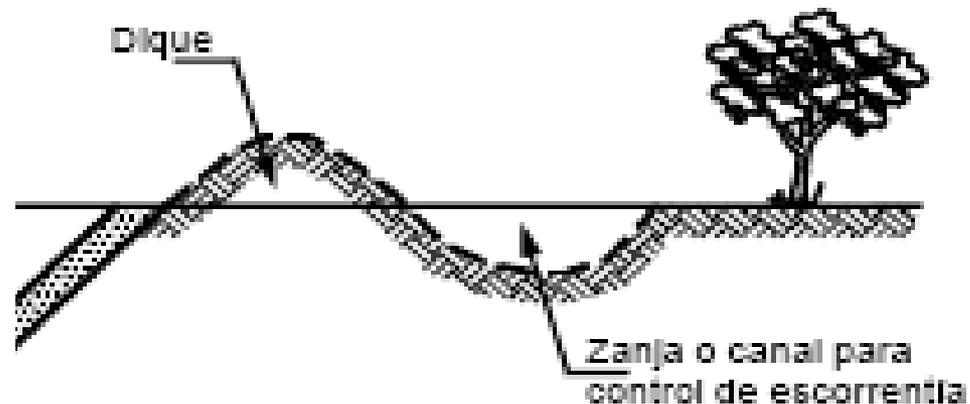


Diques

Se trata de estructuras construidas con los propios estériles de las minas con el objetivo básico de la canalización de las aguas hasta las balsas de decantación.

Los tres tipos principales de diques son los siguientes:

1. Diques de desviación.
2. Diques de interceptación.
3. Diques perimetrales.





Diques

Algunos criterios generales de diseño de estas obras son las siguientes:

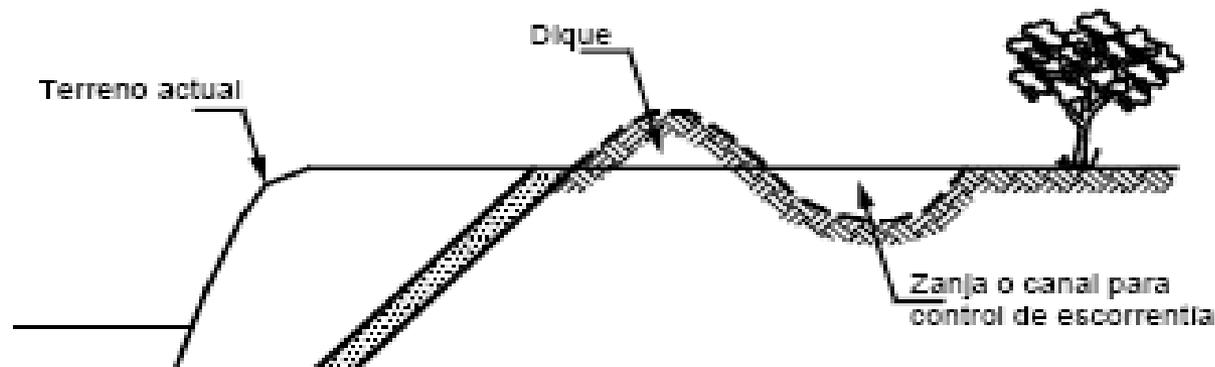
- Los diques con pendientes mayores del 2 % deben ser estabilizados.
- El área drenada por cada dique no debe ser superior a las 2 ha.
- El espaciamiento medio entre diques debe ser, al menos el que se indica en la tabla siguiente:

Espaciamiento medio entre diques	
<i>Talud por encima del dique (%)</i>	<i>Distancia entre diques (m)</i>
10	45
5 – 10	60
5	90



Diques

- La vida útil de los diques es limitada y por lo general, no es superior a los 2 años.
- El material de construcción debe ser adecuadamente compactado formando taludes laterales 2H : 1V.
- Los diques pueden ser revegetados mediante siembra y utilizando *mulches* 15 días de su instalación.
- La altura mínima debe ser de 50 cm y la anchura de coronación al menos de 60 cm.





Protección de canales

Estas protecciones se emplean para evitar en lo posible la erosión del fondo y los cajeros de los canales cuando las velocidades que alcanza el agua son altas.

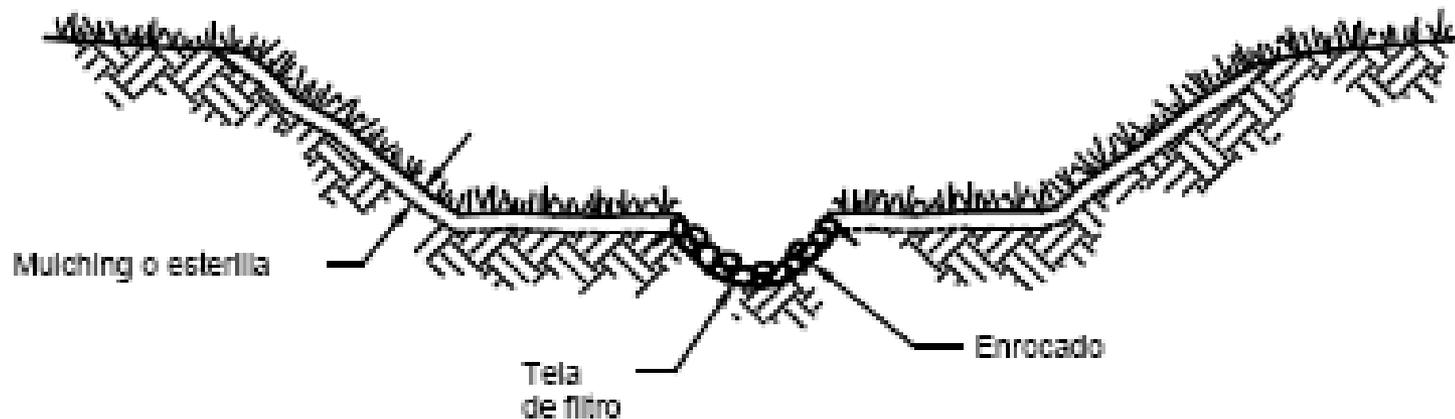


FIGURA 10.15 Vegetalización de canales (McCullah, 2001).



Protección de canales

En el revestimiento de los canales deben observarse las siguientes recomendaciones:

1. Si no se reviste de hierba, retirar todos los arbustos, raíces y materia orgánica de la traza de los canales.
2. Mantener las pendientes y secciones calculadas en todos los tramos de los canales.
3. Compactar los materiales en las zonas de relleno.

TABLA 10.5 Velocidades permisibles para suelos desnudos (AASHTO, 1999).

Tipo de suelo	Velocidad permisible (m/seg.)
Arena fina	0.8
Arena gruesa	0.9
Arena arcillosa	1.0
Grava fina	1.5
Arcilla dura	1.5
Grava gruesa	1.8
Lutitas y suelos cementados	1.8

TABLA 10.4 Velocidades permisibles para áreas cubiertas con vegetación.

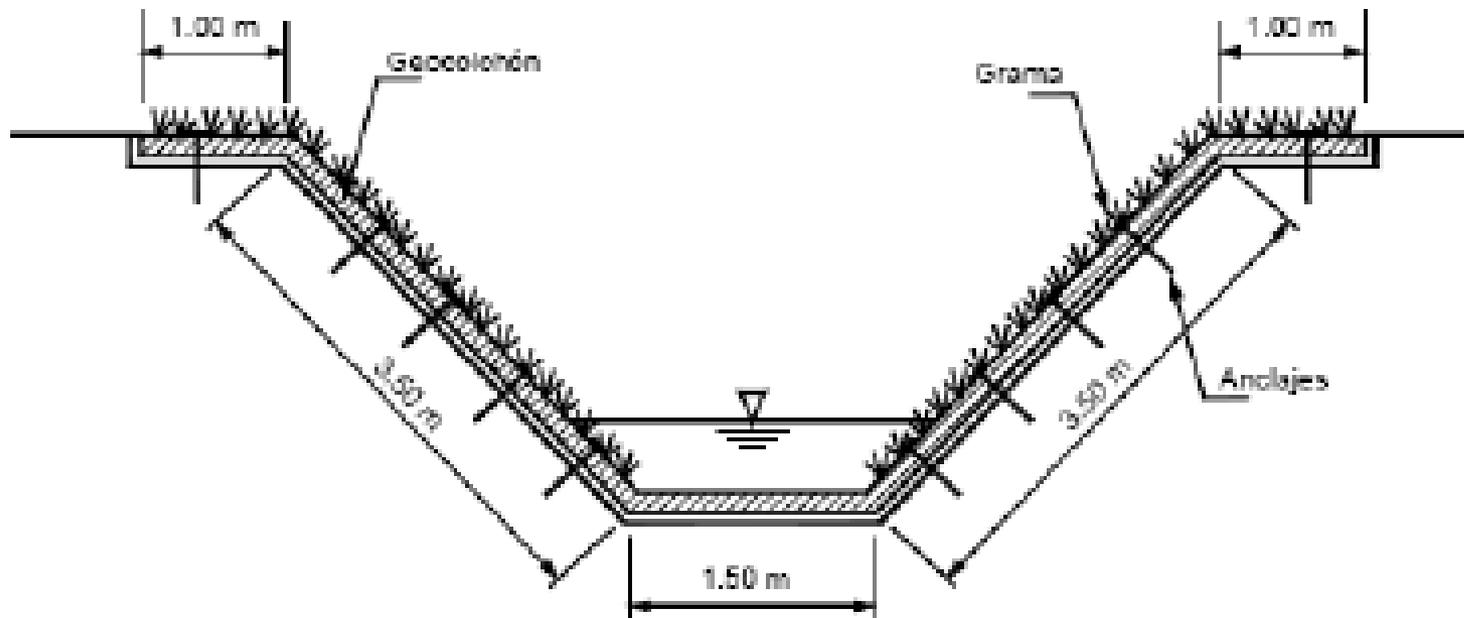
Pendiente	Vegetación	Velocidad permitida (m/seg)
0 a 5%	Pastos de raíz profunda	1.8
	Pastos de raíz poco profunda	1.2
5 a 10%	Pastos de raíz profunda	1.5
	Pastos de raíz poco profunda	0.9
Más del 10%	Pastos de raíz profunda	1.2
	Pastos de raíz poco profunda	0.9

En suelos erosionables estas velocidades deben disminuirse en un 25% (AASHTO, 1999).



Protección de canales con revestimiento en grama reforzada

Ejemplo de canal revestido en grama reforzada





Dimensiones para las cuencas de sedimentación

La velocidad de sedimentación, suponiendo que no hay movimiento horizontal de las partículas (aproximación razonable para superficies suficientemente grandes) será el coeficiente entre la profundidad de la cuenca p y el tiempo de residencia t_r :

$$V_{sed} = p / t_r$$

sustituyendo el tiempo de residencia y llamando A_{sed} al área de la cuenca de decantación:

$$V_{sed} = \frac{p}{t_r} = \frac{p}{vol / Q} = \frac{p}{(A * p) / Q} = \frac{Q}{A}$$

y por lo tanto:

$$A_{sed} = Q / V_{sed}$$

De manera que, el área de la cuenca de decantación es el cociente del caudal afluente por la velocidad de sedimentación y no dependen de la profundidad de la cuenca.



Factores para el cálculo

Viscosidad Cinemática del Agua

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Viscosidad (cm² / s)</i>
0	0.01792
5	0.01519
10	0.01308
15	0.01141
20	0.01007
25	0.00897
30	0.00804

Intervalos granulométricos

<i>Granulometría</i>	<i>Diámetro (cm)</i>
Arena gruesa	0.02 a 0.2
Arena fina	0.002 a 0.02
Limo	0.0002 a 0.002
Arcilla	< 0.0002

Algunas recomendaciones de orden práctico deben ser seguidas para una sedimentación eficiente:

1. Usar un factor de seguridad 1,5 en el dimensionamiento de la cuenca;
2. Sin importar la profundidad de la cuenca, el volumen de la misma debe ser tal que permita un tiempo de residencia de por lo menos 24 horas;
3. Se debe evitar que se produzca alta velocidad del afluente, que puede volver a colocar en suspensión partículas ya sedimentadas; en este caso, es necesaria la instalación de disipadores de energía en la alimentación de la cuenca.



Procedimiento para el diseño de cuencas de sedimentación

1. Se necesita conocer las características del material a remover: contenido de arenas y arcillas, porcentaje de cada componente del material.
2. Temperatura del ambiente en el cual se trabaja, para determinar la viscosidad cinética.
3. Topografía de la zona donde se realizará la obra y el régimen hidráulico.
4. Tiempo máximo de residencia de las aguas en la laguna, para ello se necesita conocer las características de los materiales, con la finalidad de determinar la velocidad de decantación.
5. Caudal de material: agua y sedimentos, que van a ingresar en la laguna diariamente, semanalmente o mensualmente, para diseñar una laguna o secuencia de lagunas.
6. Factor de seguridad, debe ser al menos de 1,5.
7. Tiempo de residencia, de las aguas no debe ser menor de 24 horas.
8. Diseño que permita albergar los sedimentos que se produzcan en al menos tres años, con el caudal calculado anteriormente.



Proceso de cálculo de cuencas de sedimentación

- Se calcula la velocidad de sedimentación de las partículas:

$$V_s = \frac{g}{18 * \mu} * (S - 1) * D^2$$

donde:

- V_s : velocidad de caída de la partícula (cm / s);
- g : aceleración de gravedad (981 cm / s²);
- μ : viscosidad cinemática del fluido (cm² / s);
- S : peso específico de la partícula;
- D : diámetro de la partícula supuesta esférica (cm).

- Se determina el caudal que llegaría a la balsa conociendo la superficie a drenar y la precipitación máxima esperada para un tiempo de retorno dado.

- Se calcula el área de la balsa:

$$A = Q / V_s$$

donde:

- A : área de la balsa requerida (m²);
- Q : caudal máximo que llega a la balsa (m³ / s);
- V_s : velocidad crítica de sedimentación (m / s).



Ubicación y tamaño de las cuencas de sedimentación

Sus funciones son: retener las aguas durante un período de tiempo suficiente que permita clarificarlas al decantarse los sólidos que arrastran en suspensión y posibilitar el almacenamiento de esos materiales hasta que se realice la limpieza de dichas estructuras.

1. Las balsas que más se utilizan son de dos tipos: las excavadas en el propio terreno, con o sin revestimiento y las construidas como pequeñas presas de tierra.
2. La ubicación de estas estructuras suele elegirse aguas abajo y en las proximidades del área donde se realizan las actividades extractivas o el vertido de los estériles.
3. Pueden emplearse mayores capacidades de almacenamiento cuando se desee reducir la frecuencia de las labores de limpieza.



Proceso de cálculo de las cuencas de sedimentación

El procedimiento a seguir en el cálculo detallado de la capacidad de las balsas es el siguiente:

- Se obtiene la distribución granulométrica de las partículas de sólidos en suspensión que pueden afluir a las balsas. La siguiente tabla muestra una clasificación granulométrica que puede considerarse:

Distribución granulométrica de sólidos en suspensión

<i>Partícula de suelo</i>	<i>Intervalos de diámetros (mm)</i>
Arena muy gruesa	2 – 1
Arena gruesa	1 – 0,5
Arena media	0,5 – 0,25
Arena fina	0,25 – 0,10
Arena muy fina	0,10 – 0,05
Limo	0,05 – 0,002
Arcilla	< 0,002



Proceso de cálculo de las cuencas de sedimentación

- Se determina el tamaño medio de las partículas que han de depositarse en las balsas hasta alcanzar concentración en sólidos permitida para el vertido del efluente en un cauce exterior.
- Se calcula la velocidad de sedimentación de las partículas, en función del diámetro de estas. De acuerdo con la Ley de Stokes esta se determina con la expresión:

$$V_s = \frac{g}{18 * \mu} * (S - 1) * D^2$$

donde:

Vs: velocidad de caída de la partícula (cm / s);

g: aceleración de gravedad (981 cm / s²);

μ: viscosidad cinemática del fluido (cm² / s);

S: peso específico de la partícula;

D: diámetro de la partícula supuesta esférica (cm).



Proceso de cálculo de las cuencas de sedimentación

- Se determina el caudal que llegaría a la balsa conociendo la superficie a drenar y la precipitación máxima esperada para un tiempo de retorno dado. Normalmente, se considera el caudal generado por la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 10 años.
- Se calcula el área de la balsa:

$$A = Q / V_s$$

donde:

A: área de la balsa requerida (m²);

Q: caudal máximo que llega a la balsa (m³ / s);

V_s: velocidad crítica de sedimentación (m / s).



Proceso de cálculo de las cuencas de sedimentación

En la práctica, es frecuente la construcción de diferentes balsas en serie, mejor que una sola de mayor tamaño.

Las razones por las que se utiliza esta disposición son las siguientes:

1. El paso de agua de una balsa a otra mejora el tiempo de retención y consecuentemente, la eliminación de los sólidos de suspensión.
2. La construcción de balsas pequeñas suele ser más fácil que la de una estructura grande.
3. En caso de ser necesaria la limpieza de los lodos de una balsa, ésta se realiza con medios más convencionales cuando tienen dimensiones más reducidas.
4. Los problemas de estabilidad son menores en las balsas pequeñas.



MUROS DE GAVIONES



Ventajas

- Simples de construir y mantener.
- Utiliza los cantos y piedras disponibles en el sitio.
- Se puede construir sobre fundaciones débiles.
- Su estructura es flexible y puede tolerar asentamientos diferenciales mayores que otro tipo de muros.
- Elevada resistencia debido al gran peso de la obra.
- Se integra armónicamente al paisaje.
- Seguridad estructural, en caso de incendio en las proximidades de la estructura.



MUROS DE GAVIONES



Desventajas

- Facilidad de rotura de las cestas por agentes externos.
- Difícil evaluación de la durabilidad de la cesta.
- El peso unitario del gavión depende de la naturaleza y porosidad de la roca de relleno y puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_g = (1 - n_r) * G_s * \gamma_w$$

donde:

n_r : porosidad del enrocado;

G_s : gravedad específica de la roca;

γ_w : peso unitario del agua.

Para diseños preliminares G_s puede asumirse igual a 2,6 en el caso de rocas duras. La porosidad del enrocado generalmente varía de 0,3 a 0,4 dependiendo de la angulosidad de los bloques de roca.



Muro de gaviones

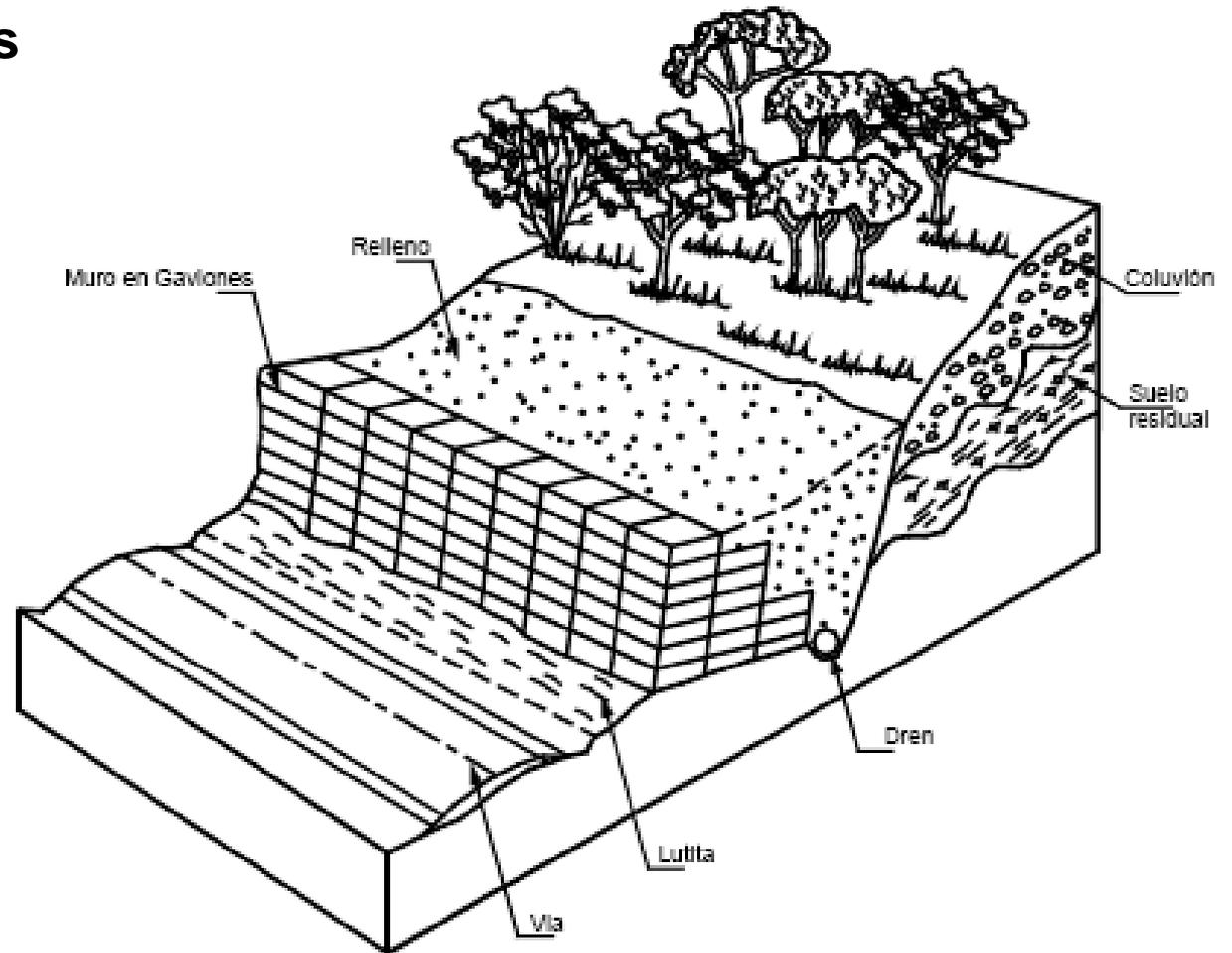


FIGURA 11.38 Ejemplo de un muro en gaviones en el talud de una vía.



Muro de gaviones

Consisten en muros de canastas de alambre galvanizado rellenas de cantos o bloques de roca. Son flexibles y porosos. Su estabilidad depende de su peso y de la fricción interna entre las piedras, así como del refuerzo de la malla.

El diseño de un muro en gaviones debe consistir de:

- a. Diseño de la masa del muro para estabilidad a volteo y deslizamiento y estabilidad del talud**
- b. Diseño Interno de la Estructura del Gavión**
- c. Especificación del tipo de malla, calibre del alambre tamaño de las unidades, tipo y número de uniones y calidad del galvanizado, tamaño y forma de los cantos.**
- d. Despiece de las unidades de gavión nivel por nivel**
- e. Sistema de filtro**



Muro de gaviones

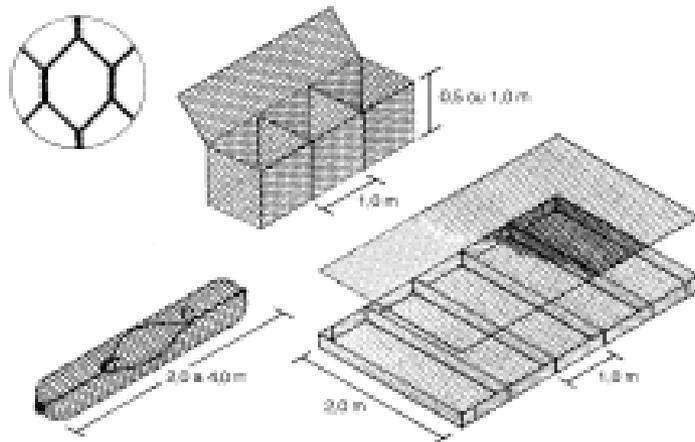
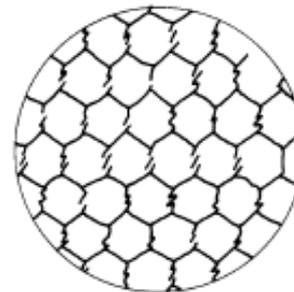


Figura 4.1.- Cesta de gavión, colchón y saco



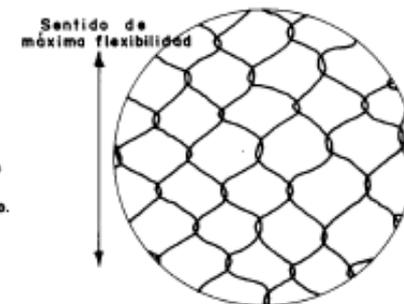
a.- Mallas Exagonales

Las mallas exagonales o de torsión son actualmente las más utilizadas por su versatilidad y calidad.

b.- Malla Estabanada

Propiedades: Flexibilidad
(Poca rigidez)

Las uniones de las caras deben ser de tal forma que se elimine totalmente la facilidad de desfilachamiento.



c.- Malla Electrodoada

Propiedades: Rigidez
(Poca flexibilidad)

La longitud de la zona de amarre debe tener mínimo de 5cm para permitir 3 vueltas de agarre.

Debe realizarse un estricto control de temperatura y tiempo de soldado.

Para diseño a tensión no debe tomarse más del 50% de la resistencia sumada de los alambres a menos que esta se garantice con ensayos de laboratorio.

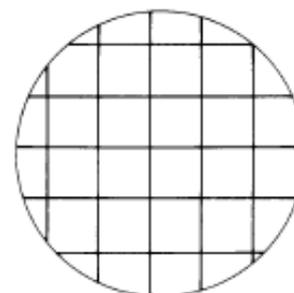
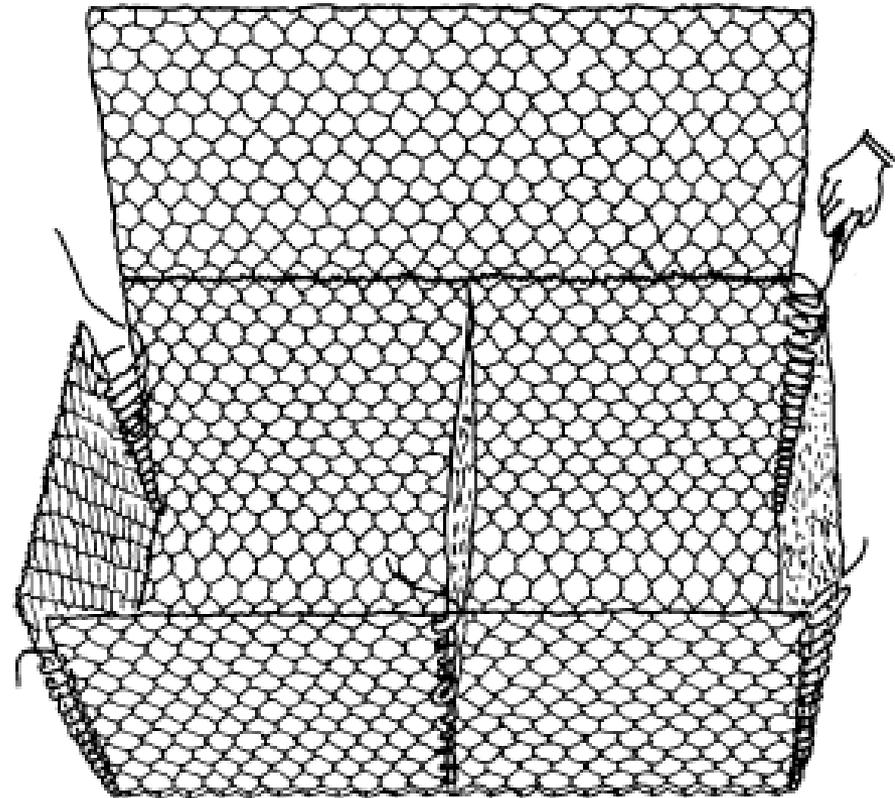


Figura 10.2.- Tipos de malla empleadas para gaviones



Muro de gaviones

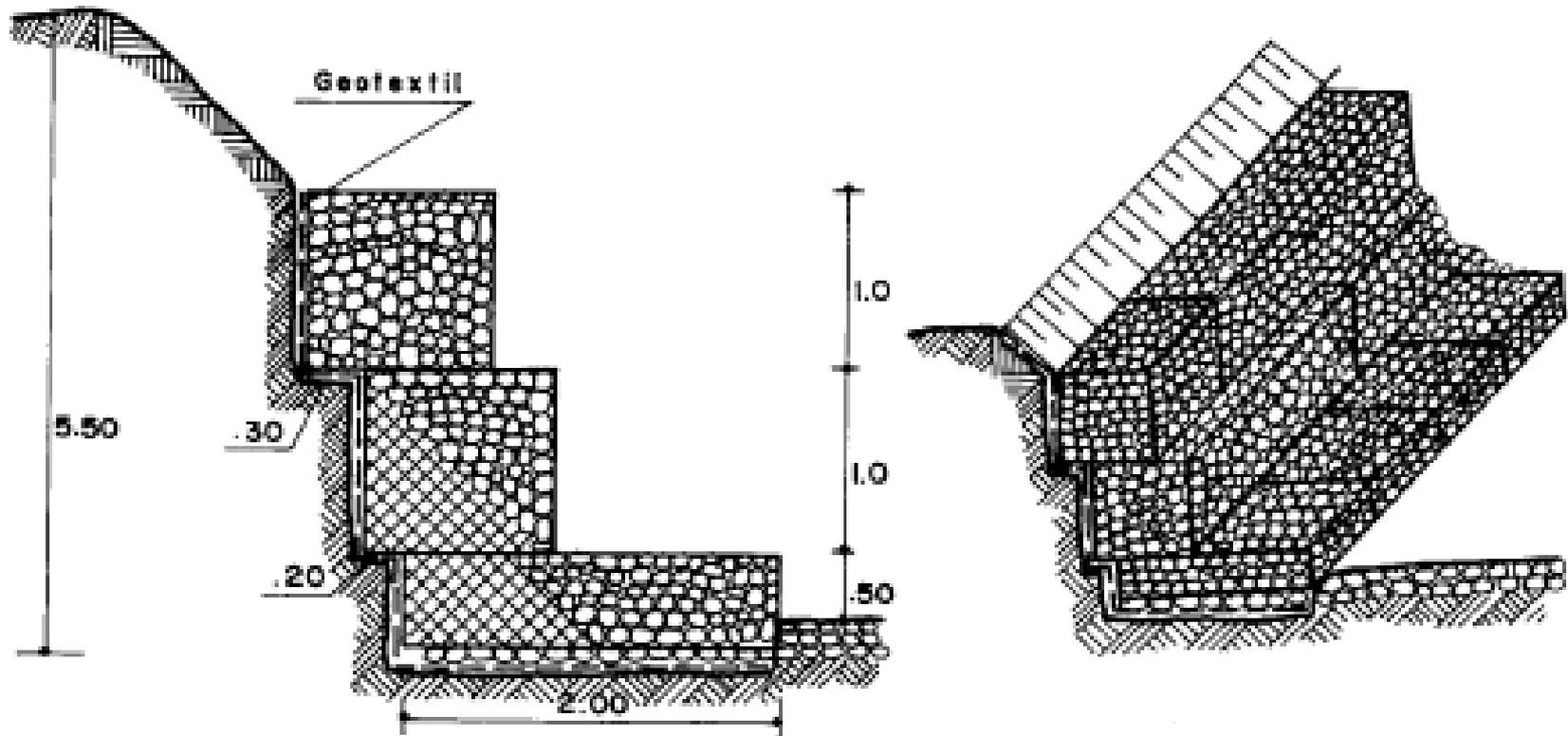
El gavión se rellena con piedras o cantos de tamaño mínimo de diez centímetros (en algunos casos se permiten cantos hasta de ocho centímetros de diámetro).



Los diafragmas interiores dan una mayor rigidez y permiten el empleo de unidades de mayor tamaño.

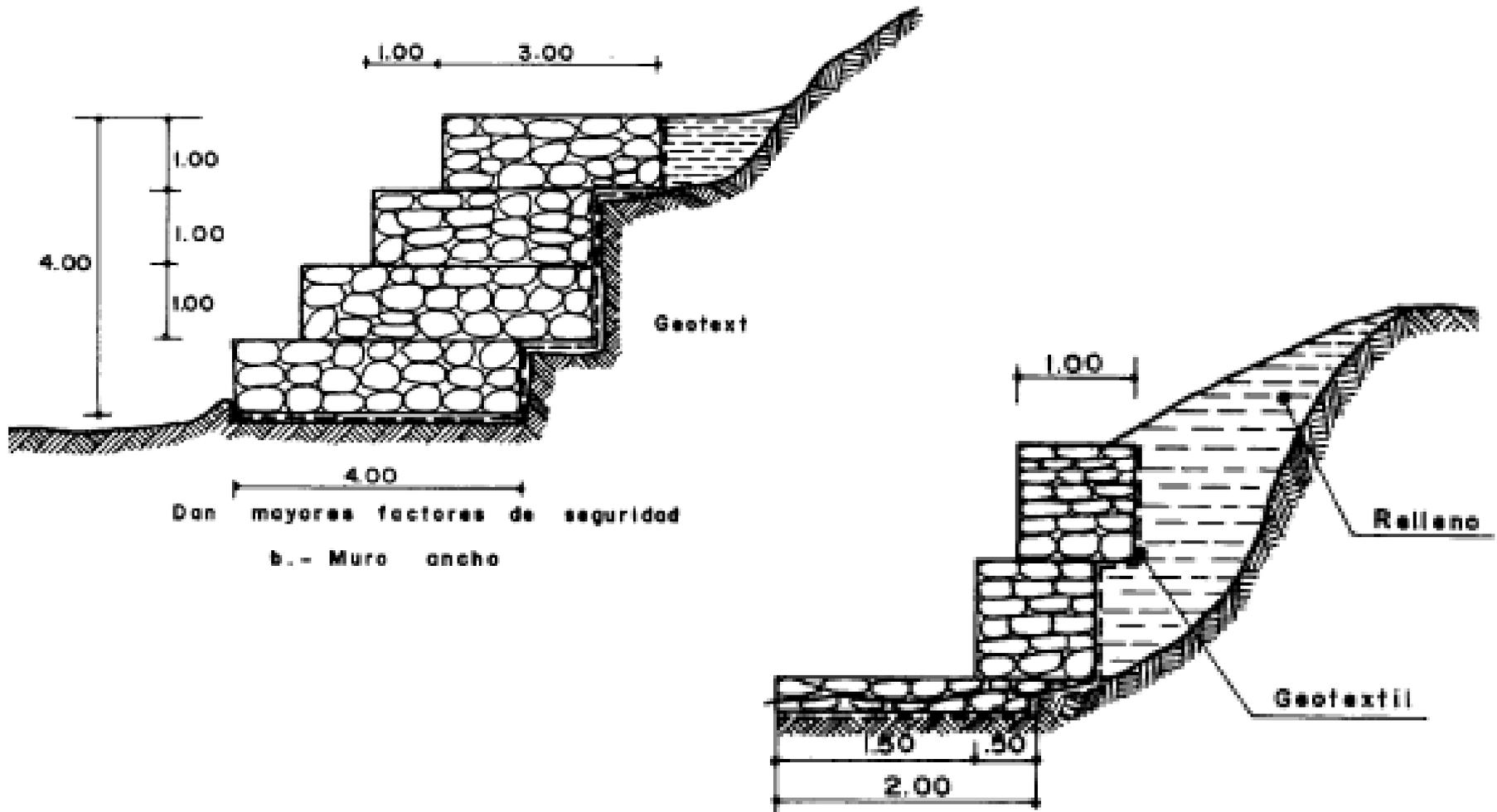


Muro de gaviones



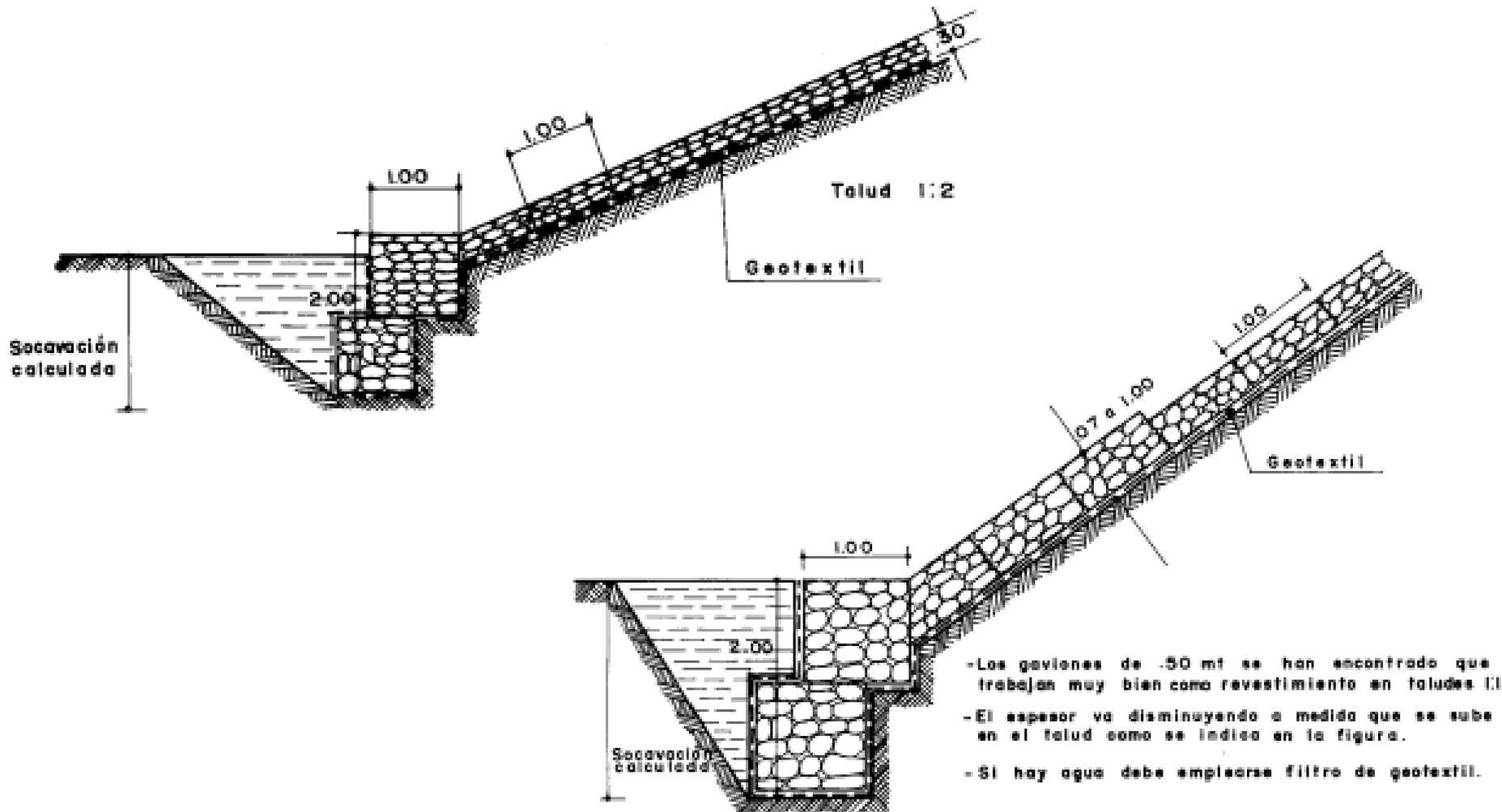


Muro de gaviones. Tipos de muros de gaviones

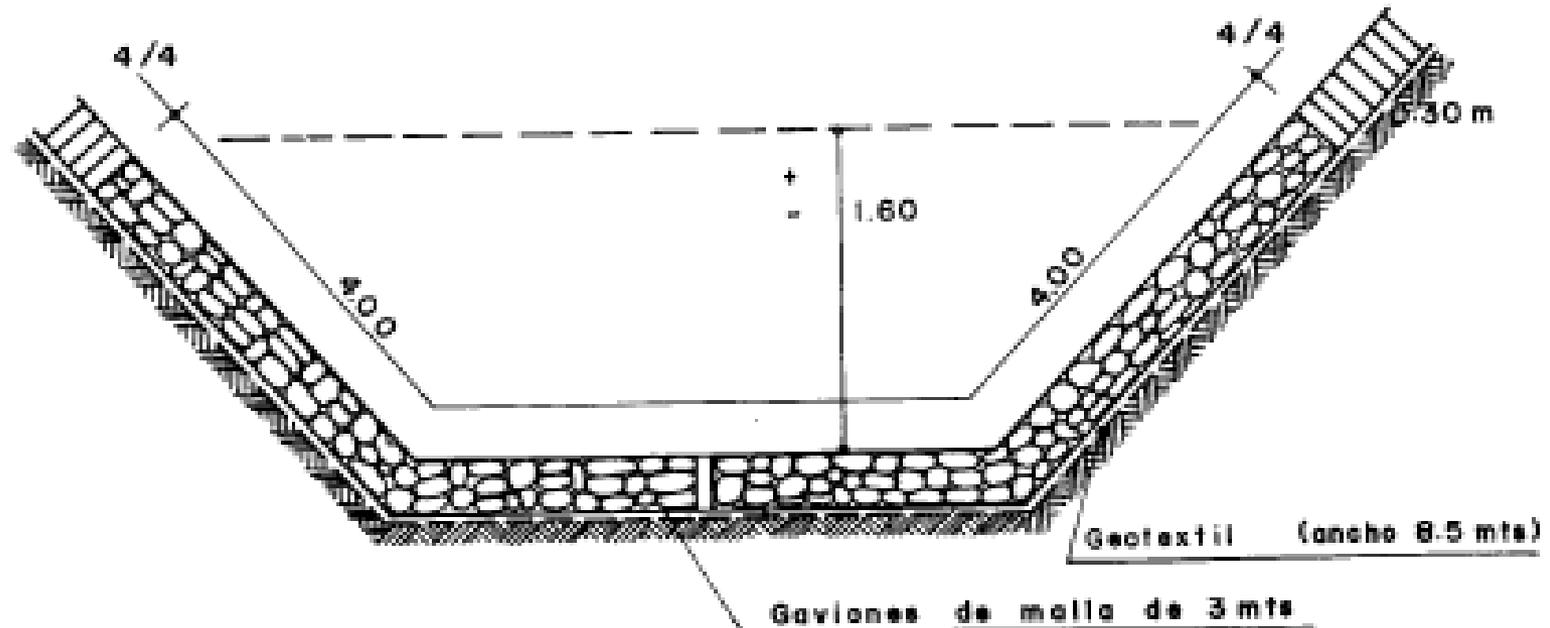




Muro de gaviones. Revestimiento de taludes de canales



Muro de gaviones. Recubrimiento de canales



- El espesor varía de .10 a .30 cms según sea el caudal y la pendiente.
- En todos los casos es importante colocar la capa de filtro por debajo del manto de gaviones.
- El diseño hidráulico del canal se hace por la fórmula de Manning empleando una rugosidad representativa del piso de gaviones.



Muro de gaviones. Espesor del revestimiento en canales

ESPESOR DE REVESTIMIENTO DE CANALES EN GAVIONES	
Velocidad en m/seg	Espesor en metros
0.9 a 1.8	0.15
1.8 a 3.6	0.15 a 0.25
3.6 a 4.5	0.25 a 0.30
4.5 a 5.4	0.30 a 0.50



Muro de gaviones

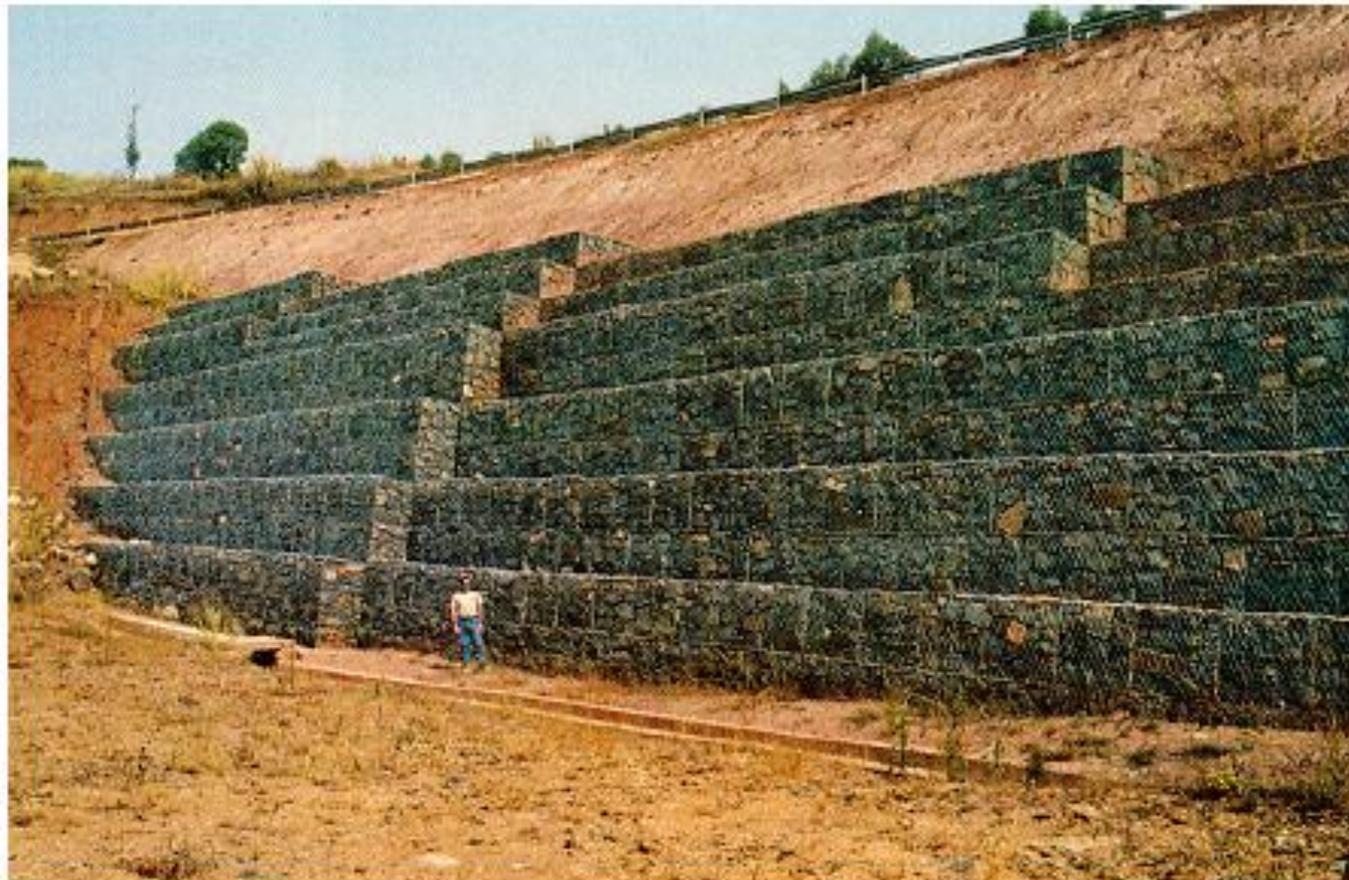


Figura 10.40.-Muro de contención en la carretera Bafoussan-Bamenda (Camerin)



Muro de gaviones



Figura 10.45.- Estructuras construidas en tres niveles para sostener una machadora en Jundial (Brasil - Sao Paulo)

Muro de tierra reforzada

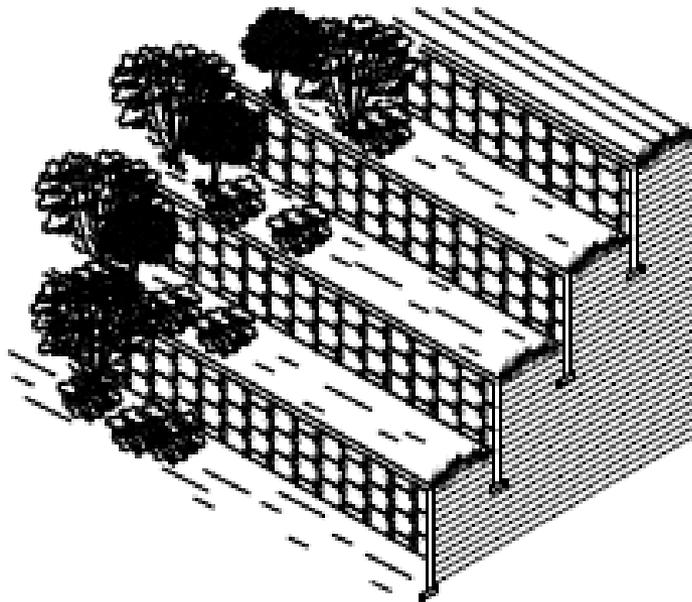


FIGURA 11.42 Sistema de taludes en tierra reforzada con gradas vegetalizadas (Walkinshaw, 1975).

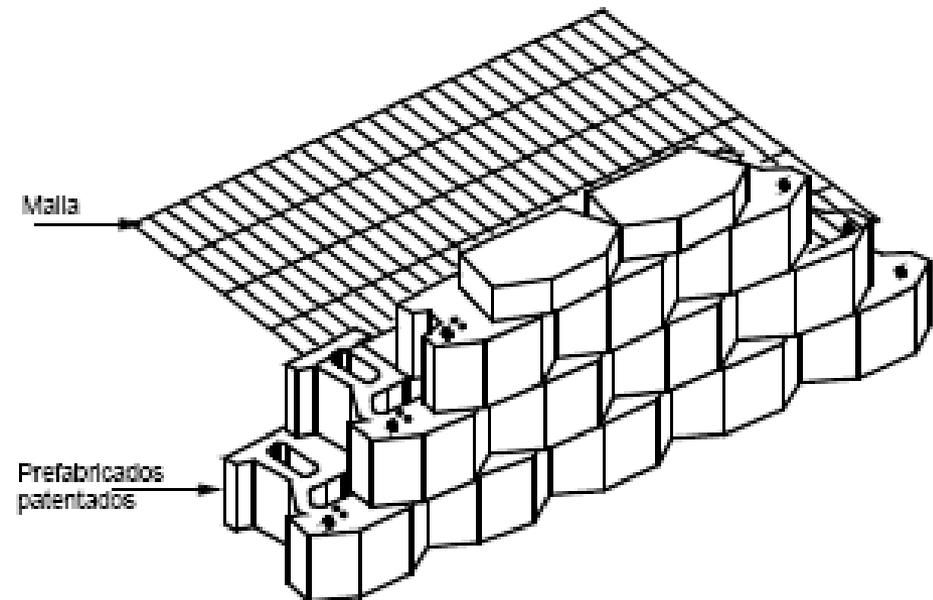


FIGURA 11.43 Tierra reforzada modular.



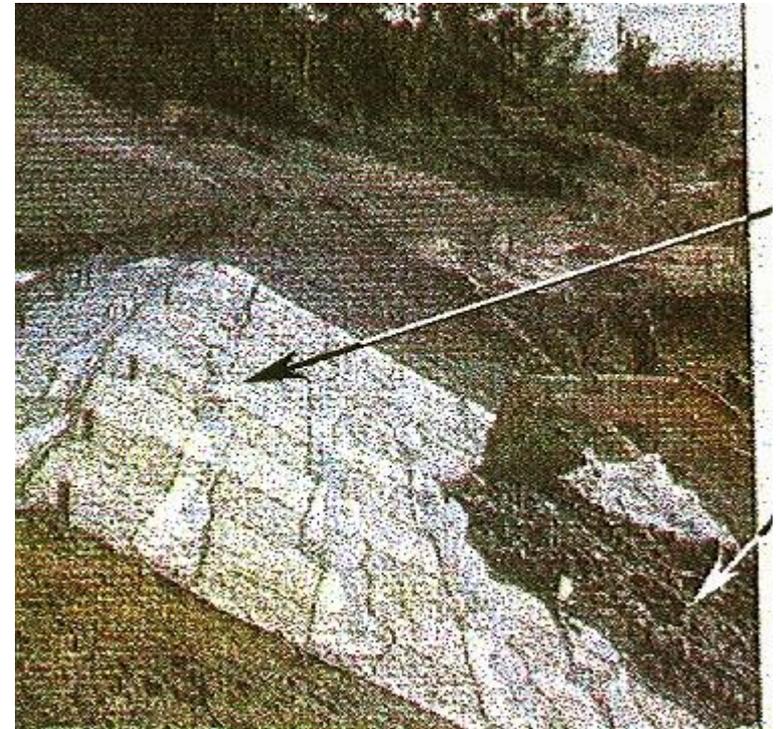
GEOTEXTILES



Funciones:

- **Separación:** impide la contaminación de los agregados seleccionados con el suelo natural.
- **Refuerzo:** todo suelo tiene una baja resistencia a la tensión.
- **Filtración:** permite el paso del agua a través de los poros, impidiendo que las partículas sólidas traspasen el geotextil.
- **Protección:** gracias al espesor de los geotextiles no tejidos, estos absorben los esfuerzos inducidos por objetos angulosos o punzantes, protegiendo materiales laminares como en el caso de las geomembranas.

GEOTEXTIL

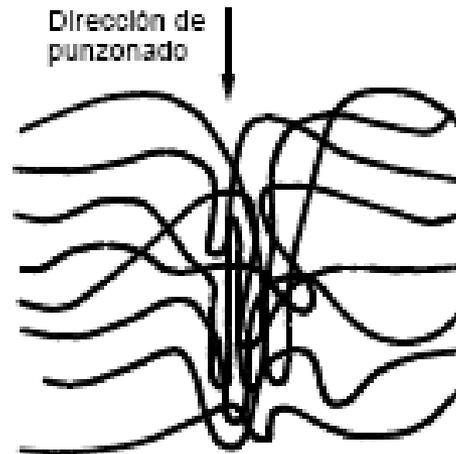




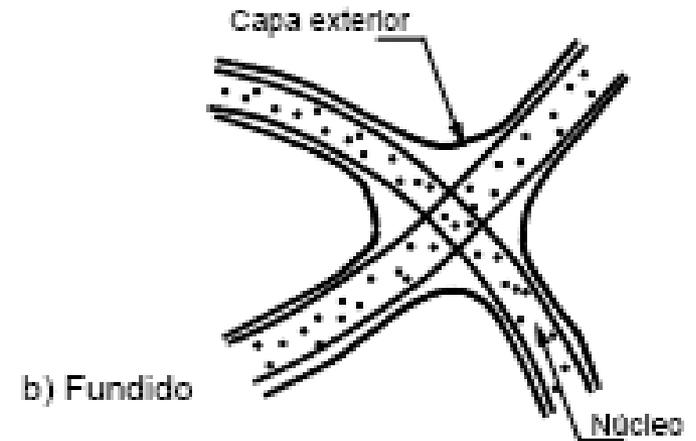
Geotextiles. Tipos

1. Geotextiles no tejidos

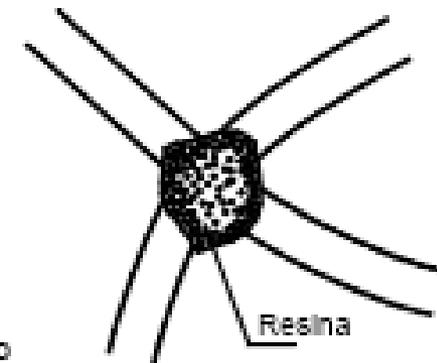
Los geotextiles no tejidos son construidos por filamentos de polímeros colocados en forma desordenada y unidos utilizando calor, resinas o punzado con alfileres.



a) Punzonado



b) Fundido



c) Pegado

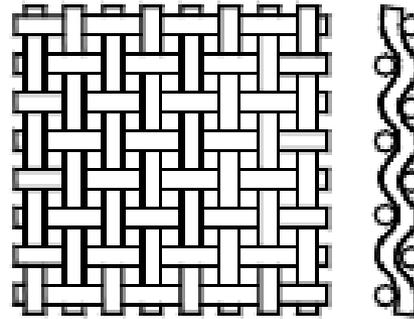
FIGURA 6.3 Tipos de unión en geotextiles no tejidos.



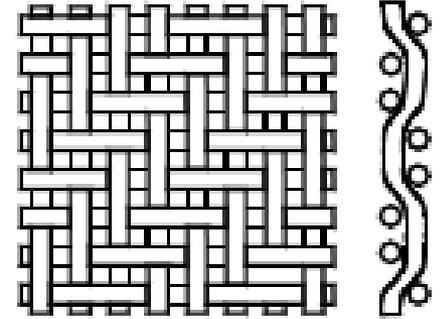
Geotextiles. Tipos

2. Geotextiles tejidos

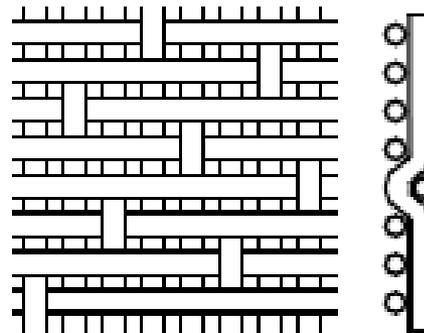
Los geotextiles tejidos son fibras tejidas en ángulos rectos conformando la apariencia de una manta con huecos de tamaño uniforme.



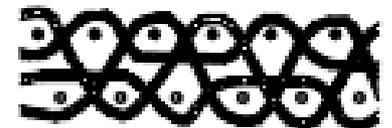
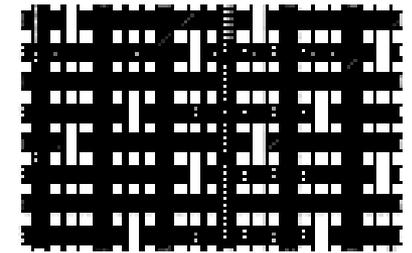
a) Tejido sencillo



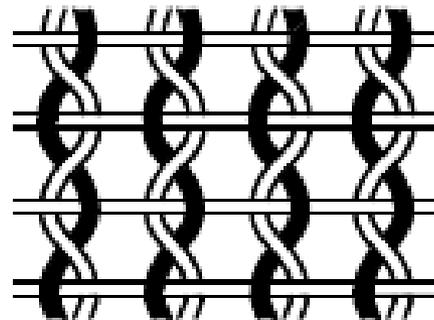
b) Tejido en cadenilla



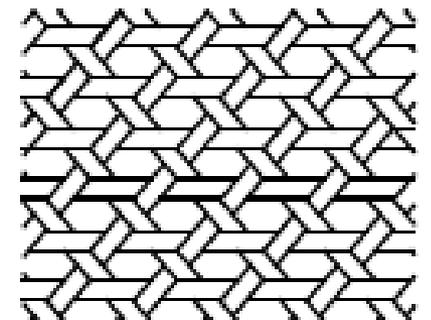
c) Tejido satinado



d) Tejido compuesto



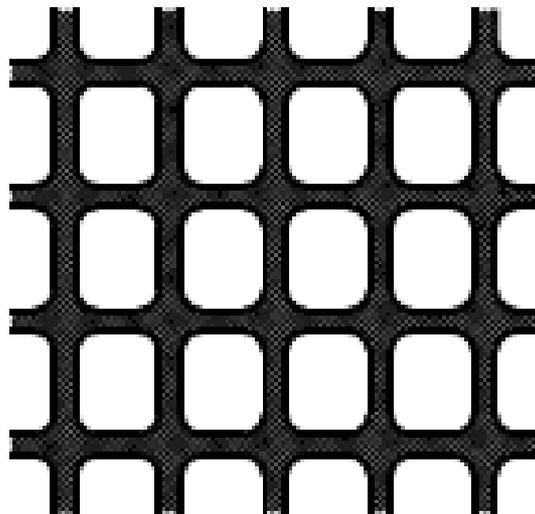
e) Tejido eslabonado



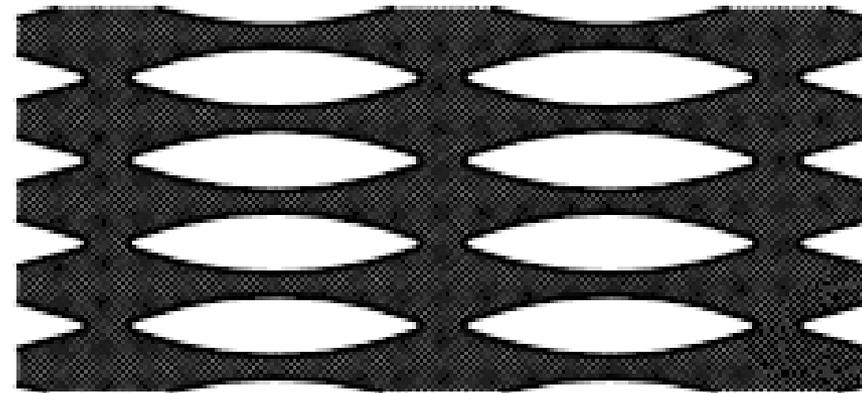
f) Tejido triaxial



Geomallas o geogrillas



Biaxial



Uniaxial

FIGURA 6.6 Ejemplos típicos de geomallas para refuerzo (Tensar Earth technologies, 1994).

Control de erosión de un talud con geotextiles

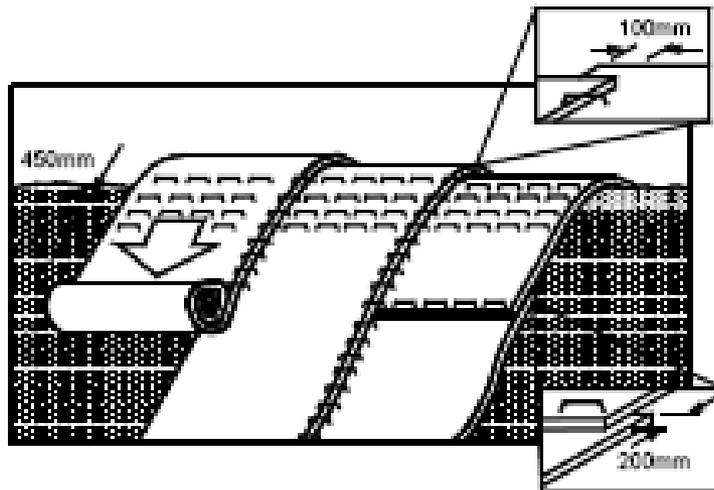
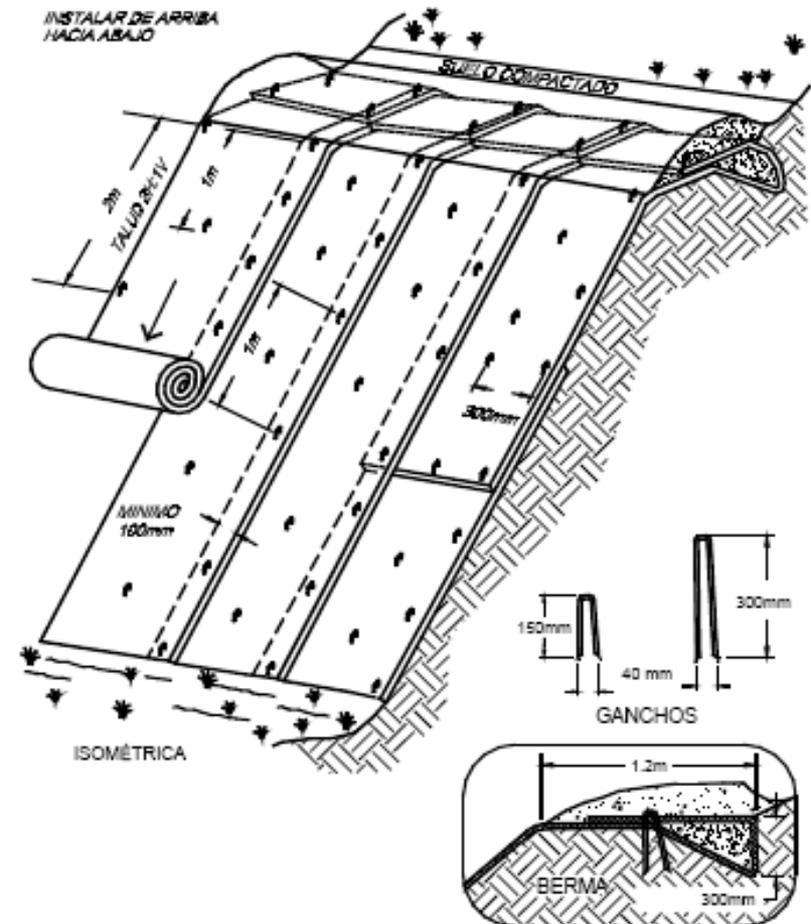


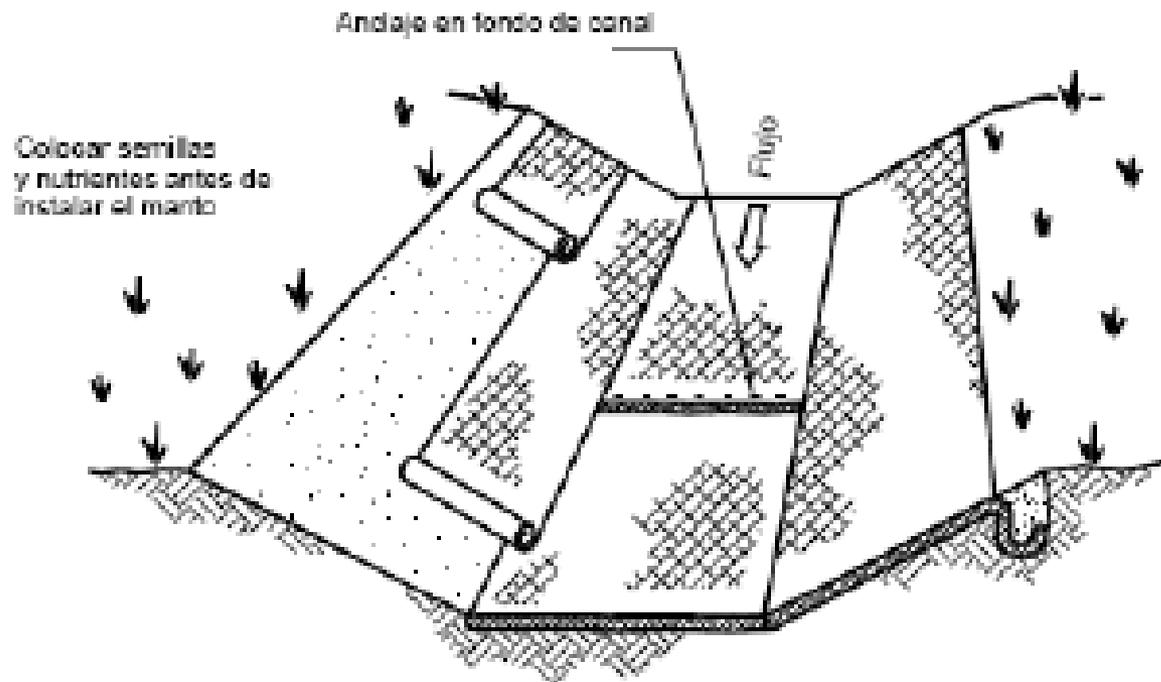
FIGURA 6.8 Esquema de la instalación de un manto orgánico o sintético para el control de erosión en un talud.





Control de erosión de canales con geotextiles

Revegetación de canales utilizando mantos sintéticos u orgánicos





Tejidos orgánicos

Son textiles tejidos fabricados con fibras orgánicas de alta resistencia como Yute o Fique.

Tejidos de Yute

Generalmente consisten en tejidos abiertos de fibra gruesa de Yute (3 a 6 mm de diámetro con aberturas de 10mm x 19 mm) con 60 a 65% de área abierta y absorción de agua superior al 450 % del peso de la tela, con peso nominal de 500 g/m² (Rustom y Weggel 1998). Su principal ventaja es la gran capacidad de absorción de agua. Se pueden utilizar solos para proteger las semillas y facilitar el establecimiento de la vegetación.

Tejidos de Fique

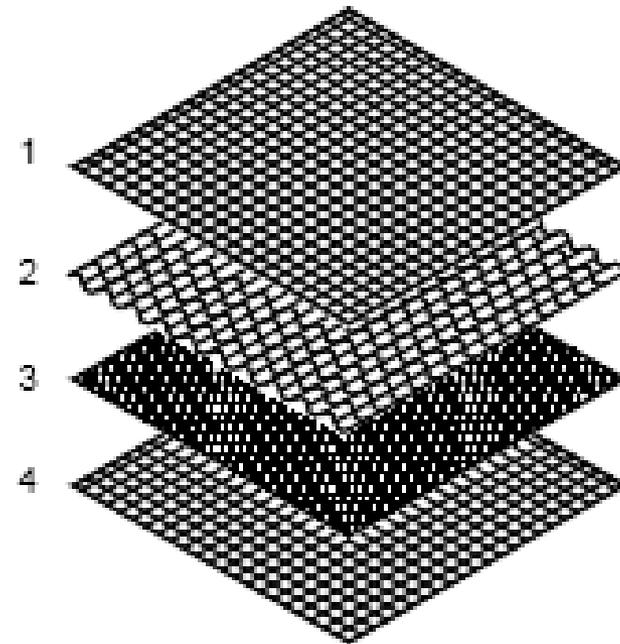
El fique es una fibra natural de origen tropical, de alta resistencia a la tensión y gran capacidad de absorción de agua, con la cual se fabrican tejidos y sogas. Las telas son de fibra mediana con área abierta de 10 a 30 % y pesos de 200 a 400 g/m². Los tejidos de fique se les utiliza como Mulching o capa protectora para el establecimiento de vegetación.



Tejidos orgánicos

Tejidos de fibra de coco

La fibra de coco es de alta resistencia a la tensión y posee una buena durabilidad. La resistencia a la tensión de estas telas de coco varía de 18 a 26 kN/m dependiendo de la cercanía del tejido y del grosor de los hilos. Las telas de coco tienen una vida útil que varía de 5 a 10 años dependiendo de las condiciones de humedad.



- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1) Polipropileno plano | 3) Fibra de coco |
| 2) Polipropileno en 3D | 4) Polipropileno plano |

FIGURA 6.10 Esquema de manto para control de erosión de varias capas (North American Green).



Filtros granulares

El material de filtro es un material natural o sintético que debe cumplir con la condición de prevenir la migración de partículas de un suelo que se debe proteger y al mismo tiempo permitir el paso del agua.

Un material filtrante debe cumplir con los siguientes criterios:

a. Criterio de retención

El filtro no debe permitir la pérdida de partículas finas del suelo a proteger, durante la vida útil de la estructura de ingeniería.

b. Criterio de permeabilidad

La permeabilidad del filtro debe ser tal que permita el paso del agua libremente.

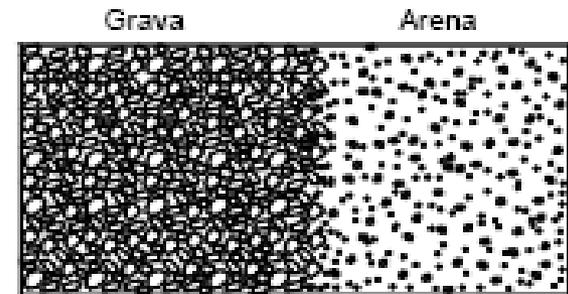
c. Criterio de estabilidad

El filtro a su vez debe ser estable o sea que no debe ser destruido por la corriente de agua y no debe migrar hacia otros materiales.

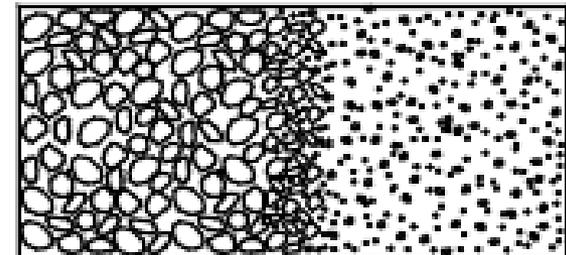


Filtros granulares

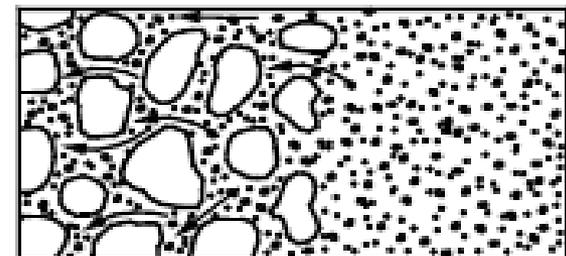
Como regla general el filtro debe ser suficientemente más permeable que el suelo a proteger. Esto se puede lograr utilizando un material de filtro más grueso que el suelo. Sin embargo, también se debe cumplir que el filtro no sea demasiado grueso, que el suelo no pueda migrar a través de sus poros.



1) Filtro estable, arena no se transporte hacia los poros de la grava



2) Filtro semiestable, arena parcialmente se transporta



3) Filtro inestable, arena fluye

FIGURA 6.22 Esquema de los posibles modelos de filtración con materiales granulares.



REFORESTACIÓN

La experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales.

La vegetación cumple dos funciones principales. En primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.





Reforestación

Sistema de vegetalización	Descripción	Observaciones
Plantas trepadoras	Se siembran hileras de plantas trepadoras en el pie del talud.	Muchas de estas plantas requieren de roca para ascender. La mayoría de ellas no ascienden sobre suelo.
Gradería tipo trincho	Se entierran hileras de estacas verticales para sostener ramas horizontales detrás de las cuales se coloca material de relleno.	Se requiere que el suelo sea lo suficientemente blando para permitir que las estacas se puedan profundizar suficientemente.
Biomantos	Después de colocar la semilla y la fertilización se cubre el talud con una tela o biomanto de fibras orgánicas.	En taludes secos se requiere riego continuo para permitir el establecimiento de la vegetación.
Hidrosembrado	Se coloca a presión con una máquina de bombeo la mezcla de semillas, nutrientes y pegantes.	No resisten grandes intensidades de lluvia y no se deben colocar sobre superficies rocosas.
Mateado con hileras de bambú	Se colocan horizontalmente ramas de bambú o guadua sostenidas por estaca y entre ellas se coloca suelo con nutrientes para el establecimiento de la vegetación.	En taludes de muy alta pendiente es difícil sostener las estacas en forma estable. Se requiere que las ramas de bambú estén enterradas dentro del talud para evitar los flujos de agua por debajo de ellas.
Geomallas. Grama reforzada	Las mallas sintéticas u orgánicas sirven de refuerzo para sostener el Mulching y las semillas.	Son productos comerciales generalmente costosos.
Capas de enramados con o sin refuerzo	Se colocan ramas de especies vivas entremezcladas con suelo y sostenidas en ocasiones por mallas de fibras sintéticas u orgánicas.	Son difíciles de establecer en taludes muy altos y de muy alta pendiente.
Cubiertas vivas	El talud se cubre con un sistema de elementos de madera o bambú colocados horizontal y verticalmente, formando cajones los cuales se rellenan con ramas vivas y suelo.	Requieren la construcción de bermas intermedias en los taludes de gran altura.
Estructuras vegetalizadas	Gaviones o muros criba con ramas o estacas vivas.	No son estables en taludes de muy alta pendiente.



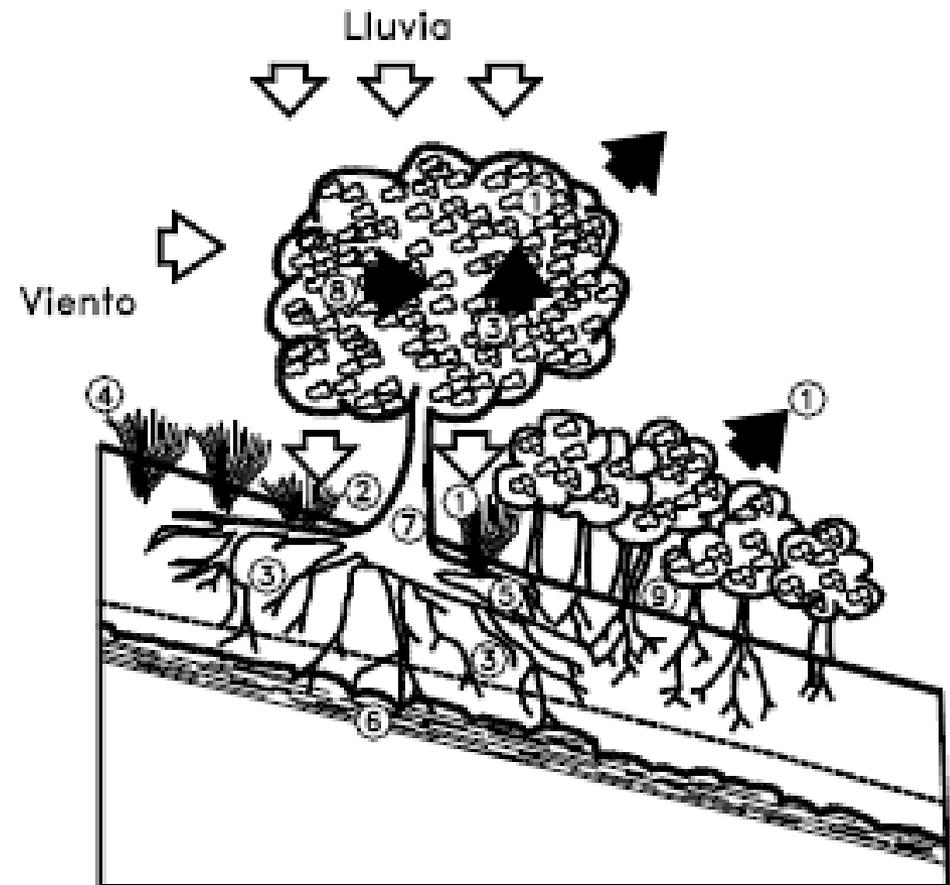
Reforestación

Factores (efecto de la vegetación sobre la estabilización de taludes):

1. Intercepta la lluvia.
2. Aumenta la capacidad de infiltración.
3. Extrae la humedad del suelo.
4. Grietas por desecación.
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
7. Aumentan el peso sobre el talud.
8. Transmiten al suelo fuerza del viento.
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

- a. Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial.
- b. Se elimina el factor de refuerzo de las raíces.
- c. Se facilita la infiltración masiva de agua.





Reforestación

Tabla 8.1 Componentes de la planta y sus funciones

Parte de la planta	Función
Raíz	Anclaje, absorción, conducción y acumulación de líquidos.
Tallo	Soporte, conducción y producción de nuevos tejidos.
Hojas	Fotosíntesis, transpiración

El efecto más importante de la vegetación, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión en todos los casos y con todo tipo de vegetación.

La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.

En lo referente a control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. Además, se ha encontrado que las hierbas o maleza protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.



Reforestación



FOTOGRAFÍA 10.2 Talud conformado y vegetalizado.



Reforestación

La revegetalización de un talud ayuda a controlar la erosión y ayuda a aumentar el factor de seguridad.

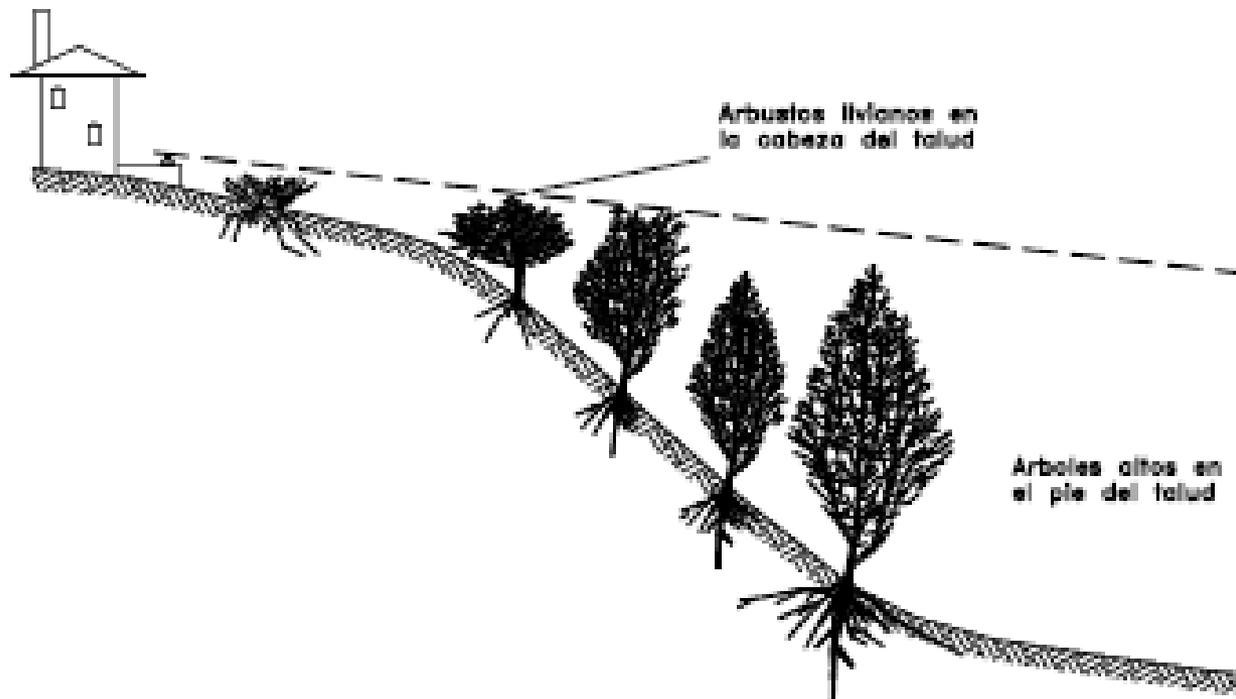
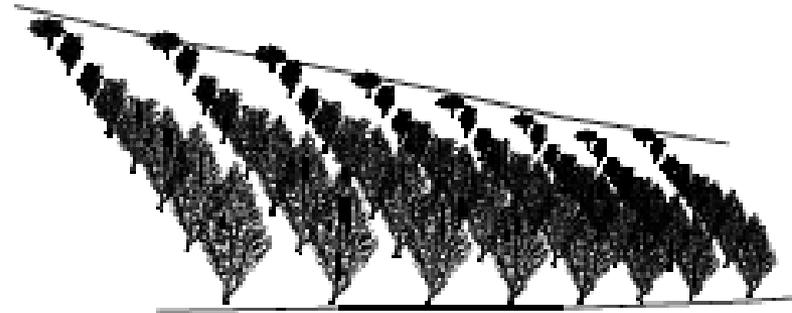


Figura 8.12 Elementos de arquitectura y paisajismo en el diseño de revegetalización.

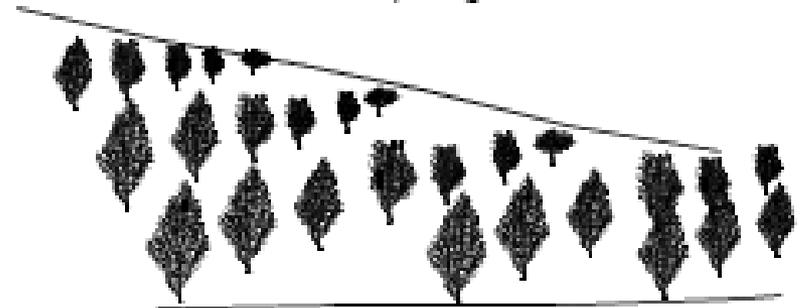


Reforestación

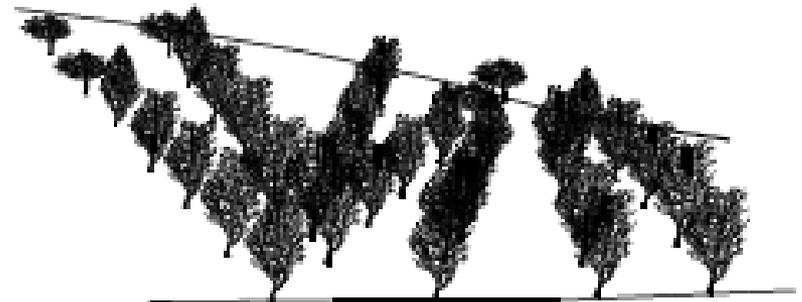
La estabilización de taludes por el uso combinado de vegetación y elementos estructurales adicionales trabajando de una manera conjunta e integrada, se le conoce como estabilización Biotecnológica de taludes. Este concepto de estabilización comprende parámetros ambientales muy importantes y su efectividad ha sido extraordinaria (Gray y Leiser, 1982).



a) Longitudinal



c) Diagonal



c) Radial

Figura 8.13 Arreglo de árboles en el talud.



Reforestación. Ventajas y desventajas de diversos tipos de plantas

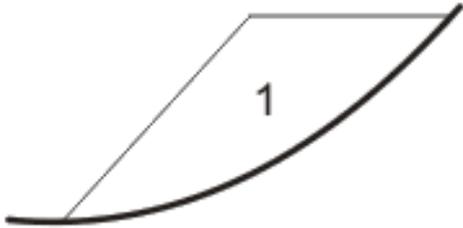
Tabla 8.5 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta (Gray y Sotir, 1996)

Tipo	Ventajas	Desventajas
Pastos	Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura.	Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.
Juncos	Crecen rápidamente y son fáciles de establecer en las riberas de ríos.	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.
Hierbas	Raíz relativamente profunda.	Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces.
Arbustos	Variedades para escoger. Existen especies que se reproducen por estaca. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento.	Algunas veces son difíciles de establecer
Arboles	Raíces profundas, no requieren mantenimiento.	Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.

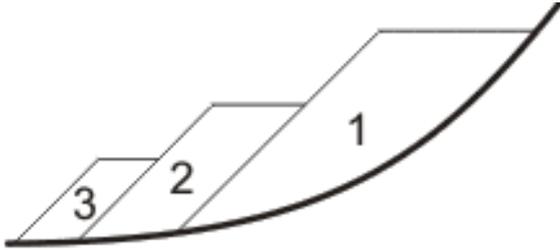


ESCOBRERAS

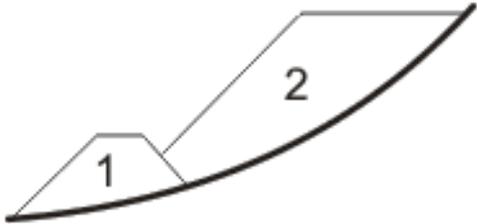
Según el método constructivo



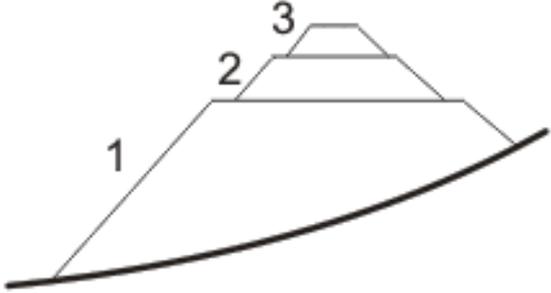
Vertido libre



Vertido por fases adosadas



Dique de retención de pie

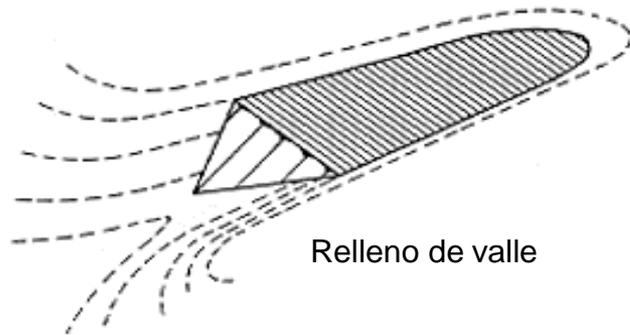


Fases ascendentes superpuestas

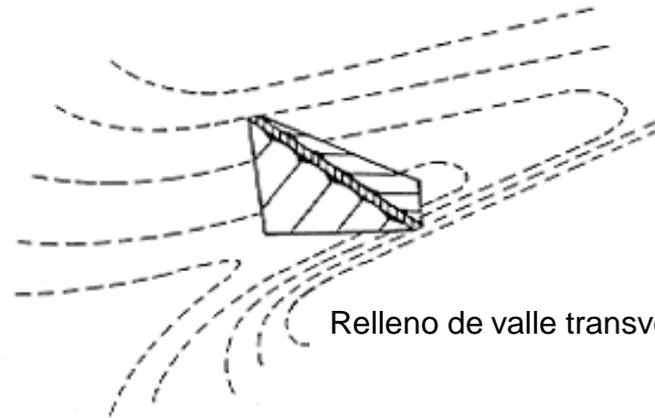


ESCOMBRERAS

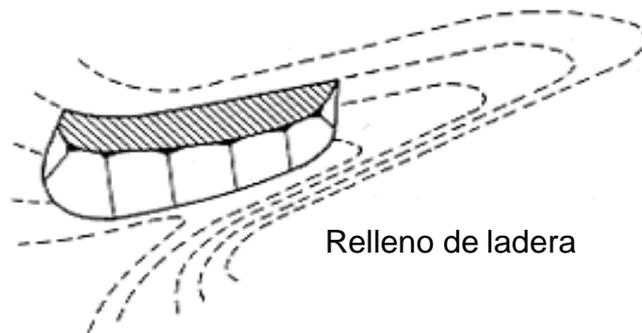
Según la topografía donde se emplaza



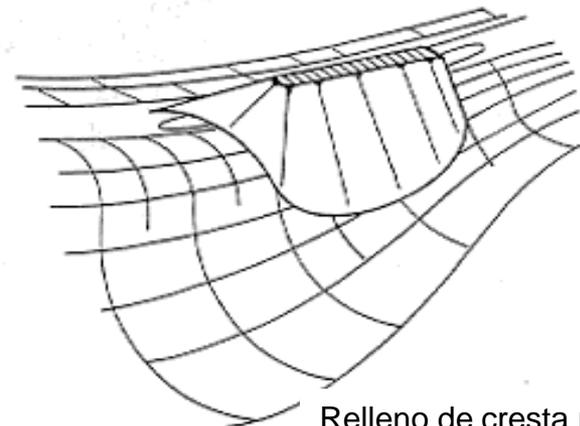
Relleno de valle



Relleno de valle transversal



Relleno de ladera



Relleno de cresta rígida



Estabilidad de escombreras. Cálculos

Los tipos de rotura que se identifican de acuerdo con la geometría de las mismas son las siguientes:

- Rotura circular
- Rotura no circular
- Rotura en cuña

Cálculo del Factor de Seguridad «FS»

- Se elige el tipo de escenario
- Se calcula el valor adimensional:

$$c / (\gamma * H * \tan\emptyset)$$

siendo:

γ : la densidad del material;

H: la altura del talud;

c: la cohesión aparente y

\emptyset : el ángulo de rozamiento interno.

Estabilidad de escombreras. Nomenclatura de taludes y laderas

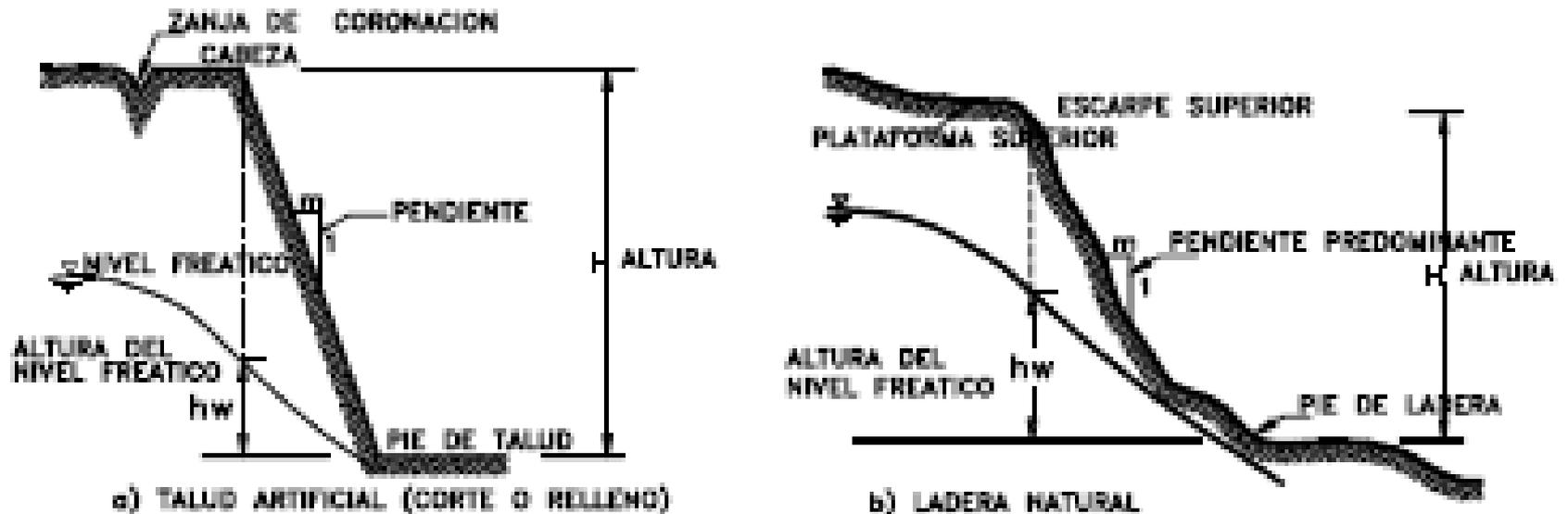


Figura 1.1. Nomenclatura de taludes y laderas.



Estabilidad de escombreras. Nomenclatura de taludes y laderas

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

2. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

3. Cabeza o escarpe

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

4. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

5. Pendiente

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente : 45°, 100%, o 1H:1V.

Nomenclatura de un deslizamiento

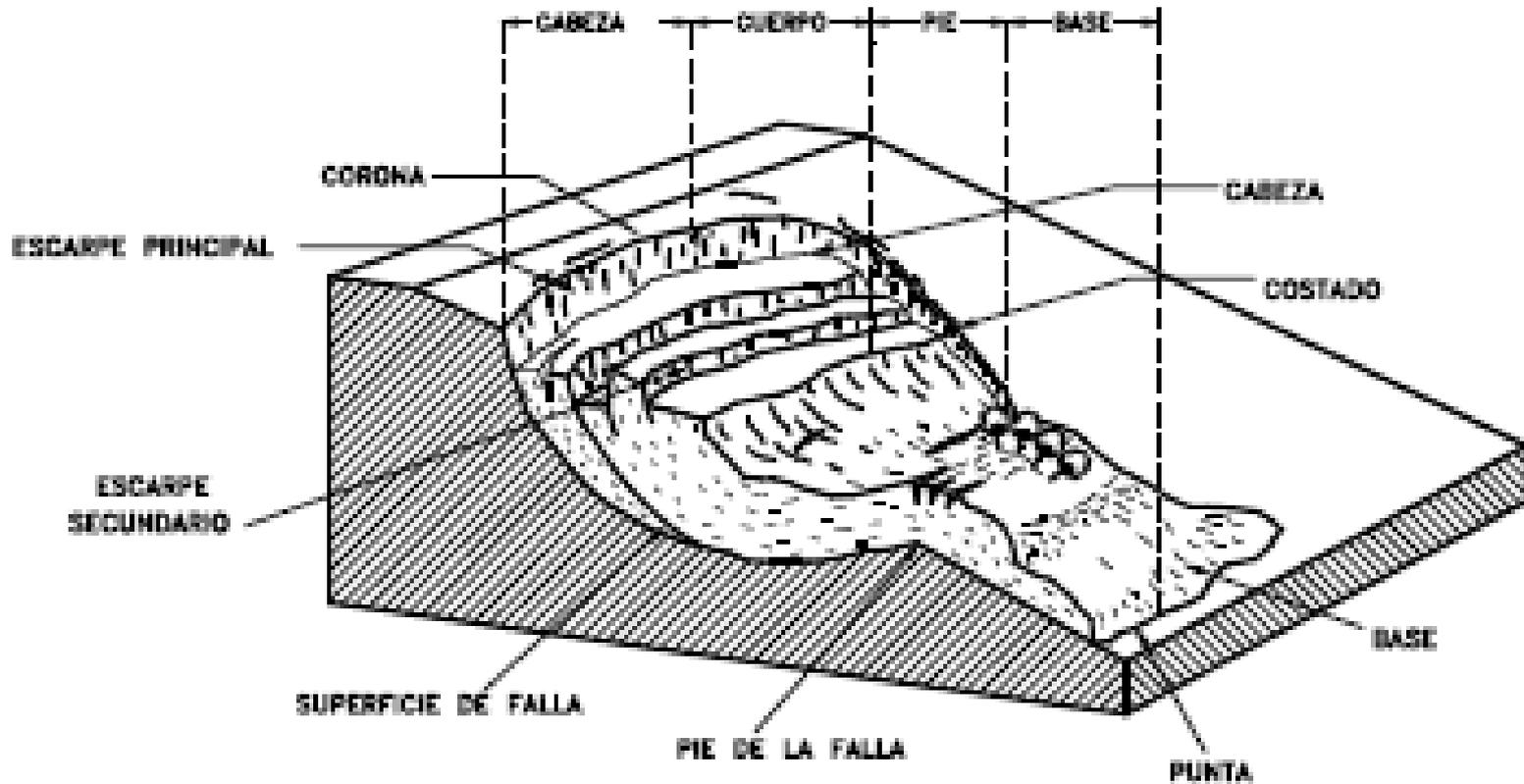


Figura 1.2. Nomenclatura de un deslizamiento.



Parámetros geotécnicos en suelos compactados

Tabla 14.7 Valores típicos de parámetros geotécnicos en suelos compactados

Suelo	Peso unitario (kN/m^3)	Peso unitario seco (kN/m^3)	Angulo de fricción ϕ'	Cohesión c' (kPa)	Permeabilidad K (m/s)
Granito completamente descompuesto	19 - 21	15 - 19	$38^\circ - 42^\circ$	0 - 5	$10^{-8} - 10^{-7}$
Roca volcánica completamente descompuesta.	18 - 21	15 - 19	$35^\circ - 38^\circ$	0 - 5	$10^{-8} - 10^{-8}$
Roca triturada o aluviones limpios	18 - 21	18 - 21	$45^\circ - 50^\circ$	0	$10^{-3} - 10^{-4}$
Materiales arcillosos (lúta descompuesta)	15 - 18	13 - 16	$20^\circ - 30^\circ$	5 - 10	$10^{-8} - 10^{-9}$
Materiales arenarcillosos (arenisca descompuesta)	19 - 21	15 - 19	$38^\circ - 42^\circ$	0 - 8	$10^{-3} - 10^{-3}$
Suelos aluviales arenarcillosos	15 - 21	13 - 19	$26^\circ - 40^\circ$	0 - 10	$10^{-3} - 10^{-3}$



Parámetros geotécnicos en suelos in situ

Tabla 14.8 Valores típicos de parámetros geotécnicos en suelos in situ

Suelo	Peso unitario (kN/m ³)	Peso unitario seco (kN/m ³)	Angulo de fricción ϕ°	Cohesión c° (kPa)	Permeabilidad K(m/s)
Granito descompuesto	16 - 21	14 - 19	35 ^o - 44 ^o	5 - 15	10 ⁻³ - 10 ⁻⁷
Materiales volcánicos descompuestos	16 - 21	14 - 19	32 ^o - 38 ^o	5 - 10	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁷
Coluviones (matriz)	15 - 21	13 - 19	26 ^o - 40 ^o	0 - 10	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁷
Suelos arenarcillosos	16 - 21	14 - 19	30 ^o - 40 ^o	5 - 15	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁷
Suelos arcillosos	15 - 18	13 - 16	20 ^o - 28 ^o	5 - 10	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁹



Propiedades de suelos y rocas

Valores característicos para el ángulo de fricción interna, obtenidos a partir de ensayos de corte, en diversos tipos de roca y suelo (Hoek y Bray).

PROPIEDADES DE SUELOS Y ROCAS					
TIPO	MATERIAL	PESO ESPECIFICO	ANGULO DE FRICCION		
			MATERIAL	GRADOS	
NO COHESIVO	ARENA	Gruesa y seca	1.44	Compacta, bien gradada, uniforme	40-45
		Fina y Seca	1.60	Uniforme, gruesa, arena fina o suelta.	35-40
		Húmeda	1.84	Arena suelta bien gradada	35-40
		Muy Húmeda	1.92	Arena fina seca	30-35
	GRAVA	Común mixta	1.76	Común mixta	35-40
		Fluvial	2.24	Grava	40
		Suelta	1.84	Compacta arenosa	40-45
		Arenosa	1.92	Suelta Arenosa	35-40
	ROCA SUELTA	Granito	1.60-2.00	Piedra partida o en fragmentos	35-45
		Basalto	1.76-2.24	Yeso fragmentado	35-45
		Calcárea	1.28-1.92		30-35
		Yeso	1.00-1.28		
COHESIVO	ARCILLA	seca	1.76	Bloques de arcilla seca	30
		Húmeda	1.84	Bloques de arcilla húmeda	40
		Saturada	1.92	Arcilla compacta	10-20
		Marga arenosa	1.60	Arcilla blanda	5-7
		Marga	1.76	Material calcáreo de zona de deslizamiento	20-27
		Con Grava	2.00	Material de falla	14-22
	COBERTURA	Suelo superficial	1.36	Solo cobertura	30-35
		Suelo seco	1.44		
		Suelo húmedo	1.60		
		Suelo saturado	1.68		
	MACIZO ROCOSO	Granito	2.61	Granito	30-50
		Cuarcita	2.61	Cuarcita	30-45
Arenisca		1.95	Arenisca	30-45	
Caliza		3.17	Caliza	30-50	
Pórfido		2.58	Pórfido	30-40	
Yeso		1.76	Yeso	30-40	



¿Preguntas? ¿Inquietudes?

