



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE
INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**PROGRAMA MANEJO INTEGRADO DE
RECURSOS NATURALES**

AREA DE MANEJO DE CUENCAS



RENARM
MANEJO DE CUENCAS

PUBLICACIONES DEL PROYECTO RENARM/MANEJO DE CUENCAS

**CONSERVACION DE SUELOS Y AGUAS
PRACTICAS MECANICAS Y ESTRUCTURALES**

JORGE FAUSTINO

CATIE, TURRIALBA
Agosto, 1993

CATIE
F268C
e.2



PRACTICAS/OBRAS MECANICO-ESTRUCTURALES Y CONSERVACION DE SUELOS

Las prácticas mecánicas pueden denominarse obras estructurales construidas principalmente para controlar el movimiento del agua (comprende manejo y uso).

Estas se refieren a todas aquellas que gobiernan el funcionamiento de estructuras diseñadas teniendo en consideración los principios ingenieriles para controlar la erosión. Controlan la escorrentía superficial y estabilizan el suelo; modifican la longitud de la pendiente, la inclinación de la pendiente, interceptan escorrentía, almacenan precipitación, conservan humedad, drenan escorrentía y protegen los cauces, riberas y tierras agrícolas y/o ciudades.

Principios y vida del diseño de las estructuras

Generalmente estas estructuras son sencillas y pequeñas, los principios de su diseño están referidos a conceptos de hidrología (intensidad máxima de precipitación, descargas de diseño) mecánica de fluidos e hidráulica (para el dimensionamiento y modelo respectivo). Análisis y diseño estructural (refuerzo metálico, dosificación, tipo y calidad de materiales). Mecánica de Suelos. Ingeniería económica (costos).

La vida de diseño en estas obras, fundamentalmente considera que cada estructura se base en:

- 1. El propósito de la obra y el medio de su localización.
- 2. La carga o descarga que tiene que soportar (capacidad y estabilidad)
- 3. Las probables consecuencias de su fracaso (riesgo) y su efectividad
- 4. El costo de su construcción, mantenimiento y operación.

7.1 Sistemas de almacenamiento y captación de aguas

7.1.1 Micropresas

Son pequeñas presas construidas para almacenar el agua con fines de riego y otros usos menores. Pueden ser de gravedad, de tierra o mixtas, su capacidad útil de almacenamiento no es mayor de $1000,000 \text{ m}^3$, la altura del dique hasta 4 mts. aproximadamente. Las presas de gravedad dependen de su propio peso para la estabilidad y usualmente es recta en planta, aunque puede ser ligeramente curvada.

Las presas de tierra son bordes o diques de roca o tierra con dispositivos o medidas para controlar la filtración por medio de un núcleo impermeable o delantal aguas arriba.

La selección del mejor tipo de presa para un sitio determinado es un problema que involucra tanto la factibilidad desde el punto de vista de la ingeniería como el costo de la obra, la factibilidad está determinada por la topografía, geología y el clima. El área de almacenamiento también estará sujeta a las mismas

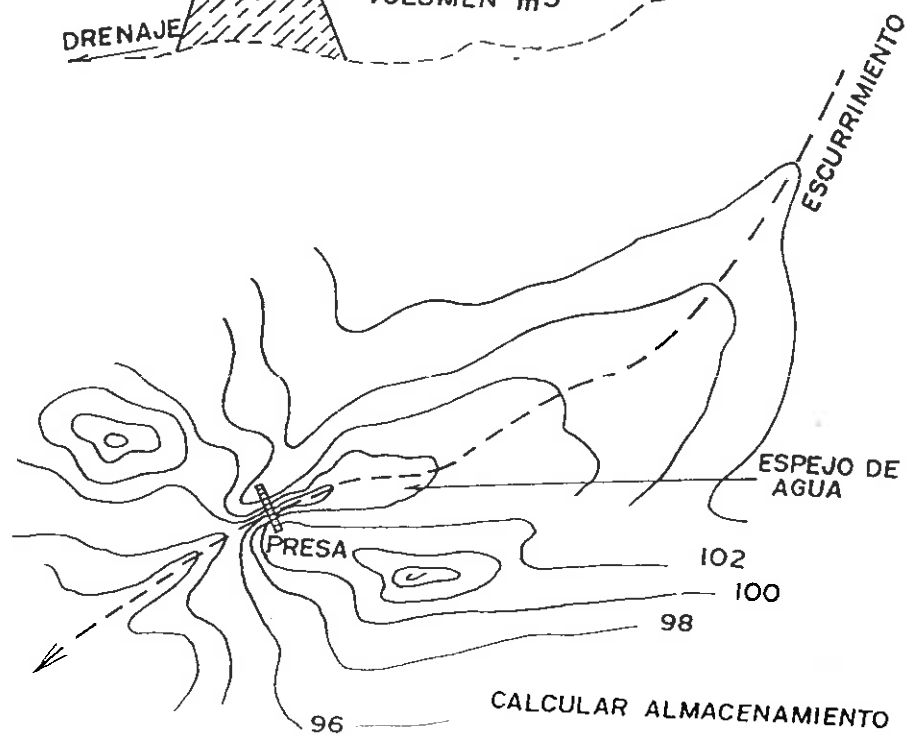
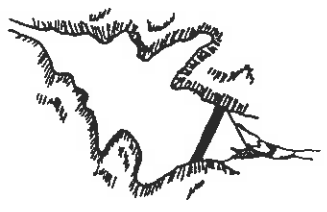
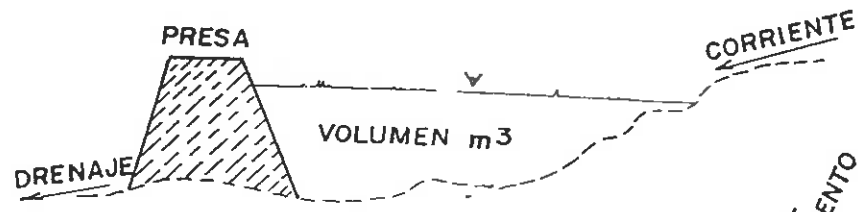
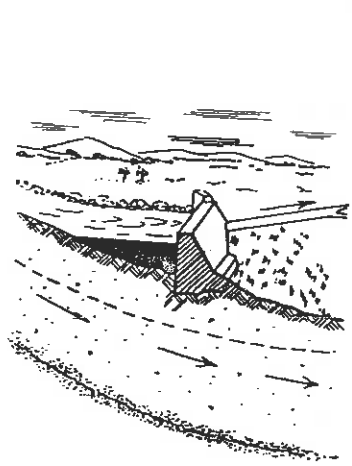
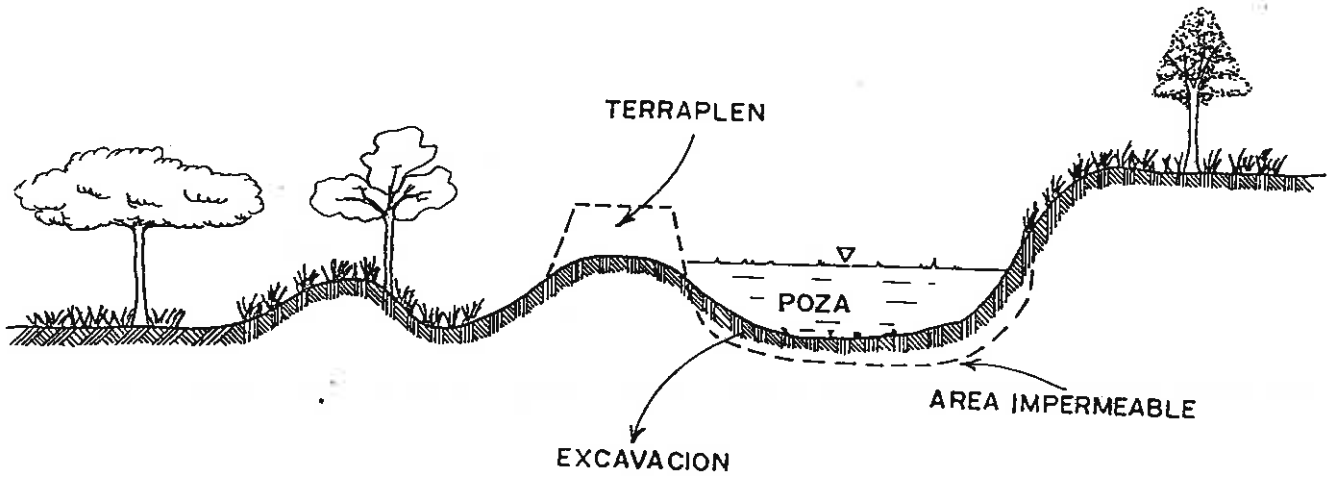
DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

Corona	= 3 mts. max.	. Estabilidad
Altura	= 4 mts. max.	. Compactación
Talud	1:2, 1:3	. Técnica de construcción
Base	Amplia o de acuerdo al material 14; 16 mts. max.	. Filtración . Protección de taludes . Drenaje

POZOS DE ALMACENAMIENTO NOCTURNO

Son estructuras cuya finalidad es el almacenaje nocturno del agua a fin de disponer de reservas para su uso posterior en el riego, abrevaderos y otras necesidades y su capacidad máxima considerada es de 2,500 m³, se construyen en depresiones naturales o por excavación. La labor de acondicionamiento para captación y drenajes de las aguas será muy importante en cuanto a la localización.

Considerar el aspecto de construcción (compactación de relleno) y mantenimiento (limpieza de taludes y fondo).



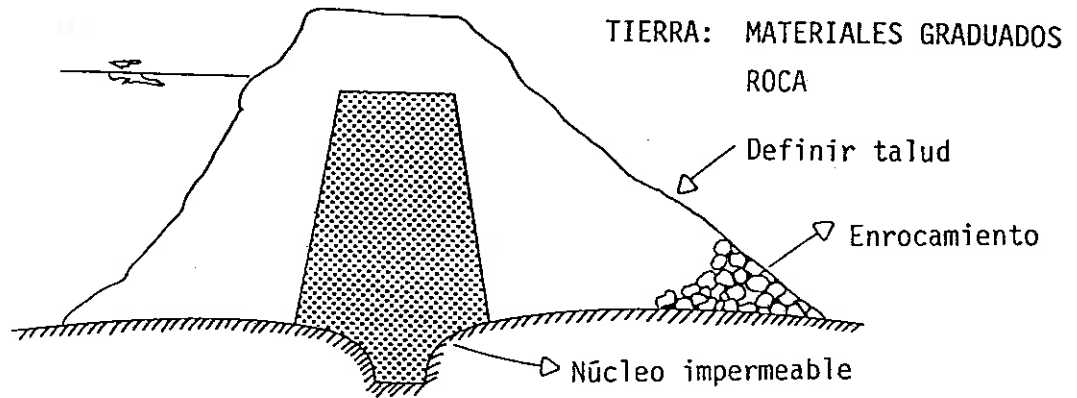
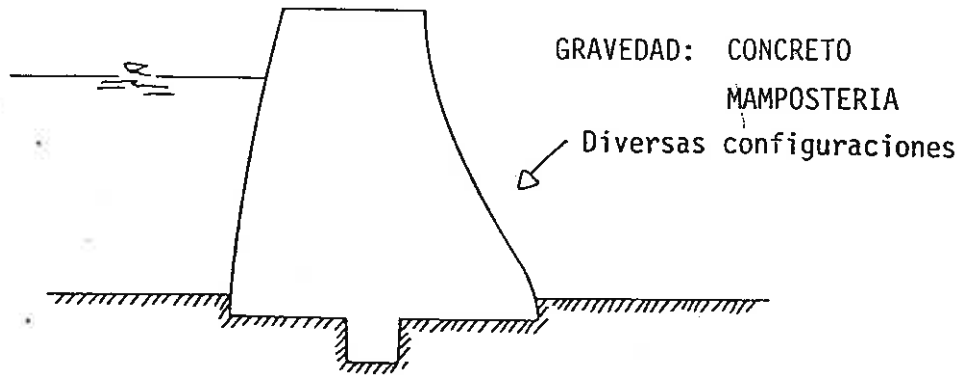
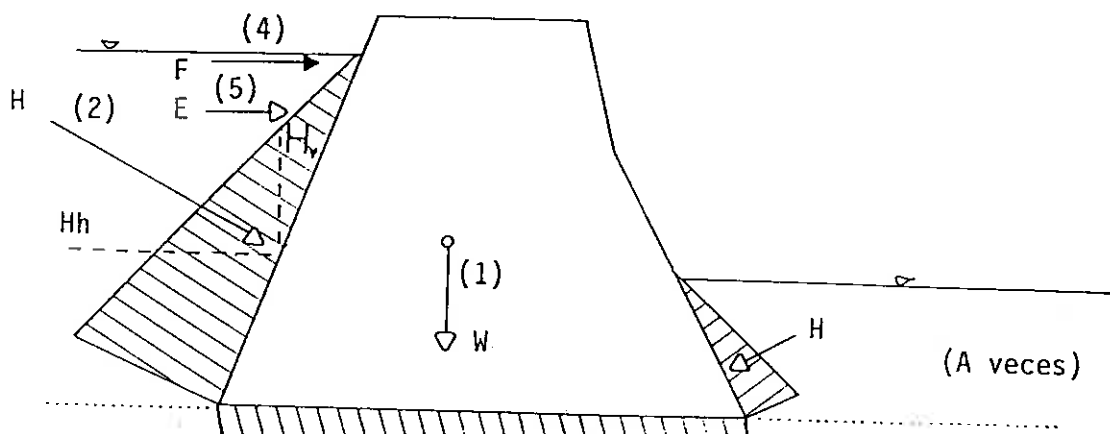


DIAGRAMA DEL CUERPO LIBRE



FALLAS:

- Deslizamiento
- Rotación (volteo)
- Material

R
Fuerza equilibrante de reacción a la resultante de las otras.

investigaciones y su dimensionamiento será de acuerdo a las posibilidades de almacenamiento.

Fuerzas que actúan sobre la presa; para un diseño convencional y en el análisis genérico para cualquier tipo de presa se realizan estudios completos e integrales sobre todo cuando la obra es mayor y lógicamente los costos y riesgos son mayores. Tratándose de pequeñas obras hidráulicas se consideran los mismos principios, pudiendo a nivel de diseño adoptar cuadros y/o tablas prácticas o las recomendaciones específicas.

Una presa debe ser relativamente impermeable al agua y ser capaz de resistir las fuerzas que actúan sobre ella, las fuerzas más importantes son:

Gravedad (peso de la presa)	(1)
Presión hidrostática	(2)
Subpresión	(3)
Presión de hielo	(4)
Fuerzas sísmicas	(5)

DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

Corona= 3 mts. max.	. Estabilidad
Altura= 4 mts. max.	. Compactación
Talud 1 : 2, 1 : 3	. Técnica de construcción
Base Amplia o de	. Filtración
acuerdo al ma-	Protección de taludes
terial 14; 16	. Drenaje
mts. max	

7.1.2 Pozos de Almacenamiento Nocturno

Son estructuras cuya finalidad es el almacenaje nocturno del agua a fin de disponer de reservas para su uso posterior en el riego, abrevaderos y otras necesidades y su capacidad máxima considerada es de 2,500 m³, se construyen en depresiones naturales o por excavación. La labor de acondicionamiento para captación y drenajes de las aguas será muy importante en cuanto a la localización.

Considerar el aspecto de construcción (compactación de material de relleno) y mantenimiento (limpieza de taludes y fondo).

Localizar las pozas en suelos de baja filtración, alta permeabilidad; en sitios húmedos la construcción será más exitosa.

7.1.3 Estanques de Captación

Un estanque es una presa de tierra de especificaciones mínimas, construida en un lugar adecuado, o sea la boquilla o

estrechamiento de las márgenes de un cauce pequeño donde es posible retener los escurrimientos pluviales que de otro modo se perderían, originando daños en los lugares por donde atravesarán al escurrir violentamente hacia los valles o tierras bajas.

Los estanques pueden proporcionar agua para usos domésticos la mayor parte del año, sirviendo además como abrevaderos para el ganado. Una vez satisfechas las necesidades domésticas, y por último los excedentes ocasionales para cuando se esté planeando la posible utilización de las corrientes que atraviesan las áreas por conservar.

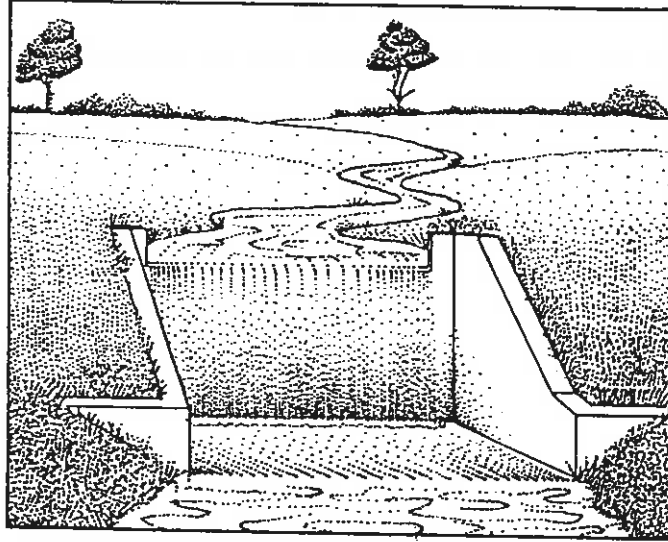
Estos pequeños estanques se construyen preferentemente en zonas donde la ganadería a corta escala es susceptible de desarrollo, ya que tratándose de aprovechamientos para usos agrícolas es recomendable calcular y construir obras de pequeña irrigación, que por ser más complicadas requieren de cálculos de estabilidad y el empleo de materiales apropiados.

Los estanques de tierra compactada, o bordes, son obras prácticas y económicas para áreas delimitadas por pequeñas cuencas sujetas a precipitaciones mínimas o alimentadas por pequeños volúmenes de escurrimiento permanente (de 1 a 10 litros por segundo), de los cuales es necesario su máximo aprovechamiento mediante pequeñas obras, de especificaciones mínimas, cuyos cálculos se limitan al conocimiento de las texturas del suelo donde han de construirse y del volumen de la precipitación media diaria durante la temporada de lluvias, para determinar su capacidad de almacenamiento.

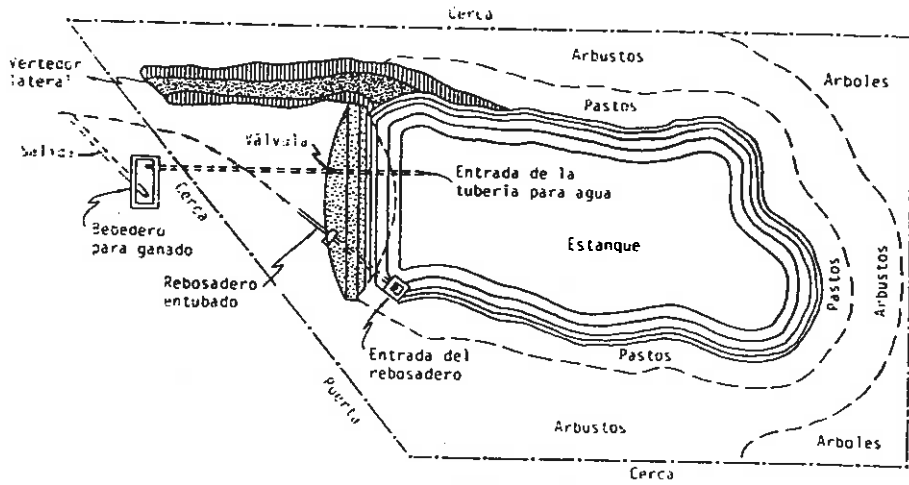
Los estanques que se alimentan con escurrimientos permanentes con un gasto mínimo de un litro por segundo pueden destinarse para la cría de peces ya que el agua estará en corriente y no estancada, permitiendo la regeneración requerida.

Localización del vaso. Para la localización del vaso de almacenamiento o sea el lugar en donde se ha de construir el estanque, es necesario recorrer todo el cauce de la corriente sobre la que se desea establecerlo, a fin de precisar el sitio donde con una construcción mínima se tenga el máximo almacenamiento. Esta característica la presentan los lugares en donde después de una explanada o pequeño valle se junta o estrechan demasiadas elevaciones a ambos lados del cauce, de tal manera que forman una pequeña boquilla o cañón, siendo el sitio más estrecho donde deberá construirse la cortina, que tendrá un costo mínimo y una capacidad máxima de almacenamiento dentro de las circunstancias.

Una vez localizado el lugar donde debe construirse la poza o estanque, lo primero que se hace es estudiar las texturas y los estratos del suelo y del subsuelo para determinar su permeabilidad. Después se procede a correr nivelaciones para conocer la altura



VERTEDOR Y CAIDA

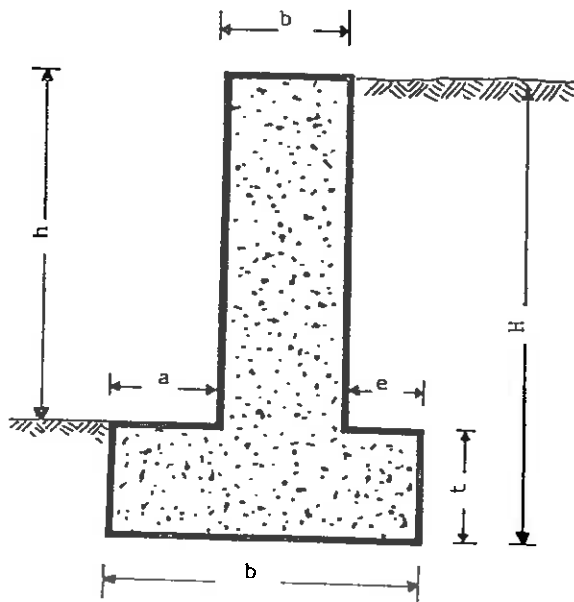
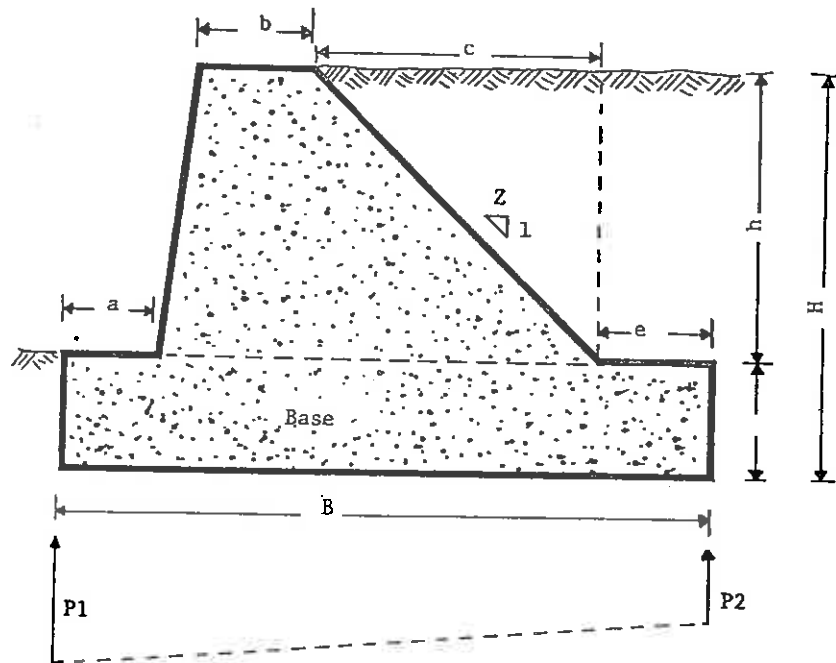


ESTANQUE

100

100

100



- b - ancho de la corona
- c - paramento interno
- $Z:1$ - talud del paramento
- B - ancho de la base
- t - espesor de la base
- a, e - extremos de la base
- h - altura del muro
- H - altura total de la estructura
- $P1, P2$ - presiones en los extremos

SECCION DE MUROS DE CONTENCIÓN
(FUENTE CENICAFE, 1975)

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE MUROS DE GRAVEDAD EN CONCRETO SIN SOBRECARGA

h m	a m	b m	c m	e m	t m	H m	B m	P1 Kg/cm ²	P2 Kg/cm ²	Concreto m ³ /m Lineal
1,00	0,10	0,30	0,30	0,10	0,20	1,20	0,80	0,36	0,09	0,60
1,50	0,20	0,30	0,50	0,10	0,25	1,75	1,10	0,47	0,15	1,10
2,00	0,20	0,30	0,70	0,15	0,30	2,30	1,35	0,69	0,13	1,71
2,50	0,25	0,30	0,80	0,15	0,35	2,85	1,50	0,95	0,06	2,88
3,00	0,30	0,30	1,00	0,20	0,40	3,40	1,80	1,12	0,06	3,12
3,50	0,35	0,30	1,20	0,25	0,45	3,95	2,10	1,29	0,08	4,10
4,00	0,45	0,40	1,30	0,30	0,55	4,55	2,45	1,43	0,13	5,45
4,50	0,55	0,40	1,50	0,45	0,60	5,10	2,90	1,58	0,03	6,92
5,00	0,60	0,45	1,70	0,50	0,70	5,70	3,25	1,80	0,11	8,78

FUENTE: CENICAFE 1975, Manual de Conservación de Suelos de Ladera, Colombia

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE MUROS DE GRAVEDAD EN CONCRETO CON SOBRECARGA

h m	a m	b m	c m	e m	t m	H m	B m	P1 Kg/cm ²	P2 Kg/cm ²	Concreto M ³ /m lineal
1,00	0,15	0,30	0,30	0,15	0,20	1,20	0,90	0,49	0,04	0,63
1,50	0,20	0,30	0,50	0,15	0,25	1,75	1,15	0,69	0,03	1,12
2,00	0,20	0,30	0,70	0,20	0,30	2,30	1,40	0,93	0,02	1,72
2,50	0,30	0,30	0,90	0,20	0,35	2,85	1,70	0,99	0,01	2,47
3,00	0,45	0,30	1,10	0,25	0,45	3,45	2,10	1,05	0,22	3,50
3,50	0,50	0,30	1,30	0,25	0,50	4,00	2,35	1,41	0,11	4,50
4,00	0,55	0,40	1,40	0,30	0,60	4,60	2,65	1,58	0,21	5,99
4,50	0,60	0,45	1,60	0,40	0,70	5,20	3,05	1,71	0,17	7,76
5,00	0,70	0,50	1,80	0,55	1,00	6,00	3,55	2,00	0,20	10,55

FUENTE: CENICAFE 1975, Manual de Conservación de Suelos de Ladera, Colombia

- ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE MUROS DE GRAVEDAD
 EN MAMPOSTERIA CON SOBRE CARGA. (mampostería=2,200
 Kg/m³)¹⁾.

Paramentos Verticales			Talud interior 1/5:1 Espesor Corona m.	Talud exterior Vertical Espesor Base m.	Volumen m ³ /m lineal
h m	Espesor m	Volumen m ³ /m lineal			
1,00	0,55	0,55	0,36	0,56	0,46
2,00	1,11	2,22	0,73	1,13	1,85
3,00	1,66	4,98	1,09	1,69	4,16
4,00	2,21	8,84	1,45	2,25	7,60
5,00	2,77	13,85	1,81	2,81	11,56

- 1) - Estos muros se pueden utilizar para estanques y presas pequeñas.
 a, e y t, igual que en el muro de gravedad de concreto sin sobre carga o con
 sobre carga según el caso.

FUENTE: CENICAFE 1975, Manual de Conservación de Suelos de Ladera,
 Colombia.

máxima que tendrá la cortina y la amplitud del vaso, o sea la cota de embalse, que podrá cubrir una superficie desde media hectárea como máximo, que es la superficie que puedan abarcar los vasos con estas características, o de especificaciones mínimas, para conocer el volumen que almacenará y planear así su utilización, ya sea que se trata de agua corriente o de escurrimientos pluviales temporales.

Altura Máxima y Taludes. Conocidas las texturas del terreno y la topografía de la boquilla donde ha de construirse el estanque, se estará en condiciones de determinar la altura que deberá tener la cortina, la que en ningún caso deberá ser mayor de ocho metros a partir de la base, y así evitar cálculos de estabilidad; con la condición de apegarse a las especificaciones mínimas normales para este tipo de estructuras y que incluyen inclinación de los taludes, altura de la cortina, espesor de la corona, amplitud del vertedor de demasías y, finalmente, el mantenimiento de la estructura. Probablemente ningún otro factor será tan determinante para el éxito y eficiente funcionamiento del estanque que los taludes de la cortina, pues éstos son los que le dan estabilidad a la obra.

El talud aguas arriba deberá tener una inclinación de 1:1 y el talud aguas abajo, que va a soportar la carga y a recibir el efecto de los escurrimientos, deberá ser de 2:1. Considerar elementos de diseño igual que 7.1.1. También la cortina podrá considerarse un muro de contención.

7.1.4 Terraza de Captación

Consta de una parte inclinada sin modificación, donde el agua de escorrentía es captada; y de otra parte nivelada en forma de poza en contorno (donde se conserva el agua). Se puede construir en pendientes hasta de 30%, con buen suelo, permeable y muy estable. Normalmente se diseñan para tormentas hasta de 24 horas de duración y frecuencia de 1/10 años. Se emplea mayormente en regiones semi-áridas.

La necesidad de espaciamiento se determina por la necesidad de interceptar la escorrentía antes de que haya alcanzado la velocidad máxima permisible y que se pueda captar un volumen factible de almacenar en el canal en contorno. Una relación práctica para definir el espaciamiento es:

$$E = \frac{S + 4}{10 \times \text{tg} B} \quad \text{(utilizar las tablas para acequias de ladera en cuanto a espaciamiento) 7.2.1}$$

donde: E = Espaciamiento horizontal
S = Pendiente del terreno en %
B = Angulo equivalente a la pendiente del terreno

La longitud máxima se considera hasta 100 m y el ancho del banco (canal) para regiones semi-áridas será de 2 mts. para regiones húmedas hasta de 3.5 mts. la gradiente horizontal será de 0.5 a 1% para regiones húmedas y de 0 a 0.5% para regiones semi-áridas y la contrapendiente del banco podrá ser hasta 5%.

7.2 Sistemas para la conducción, control y evacuación del agua

7.2.1 Acequias de ladera

Es una de las obras de conservación de suelos y aguas; que se constituye en un sistema de drenaje superficial; consiste en una serie de canales construidos transversalmente a la máxima pendiente de las laderas (12-50%). Según la literatura de acuerdo a su utilización; pueden tener una forma convencional de los canales o una forma de terrazas de banco angostas, así consideramos:

Acequias de ladera (tipo canales, similar a zanjas)
Acequias de ladera (tipo terrazas)

a) Acequias de ladera (tipo canales)

Son canales pequeños, que se construyen a través de pendiente a intervalos que varían con la clase de cultivo y con la inclinación del terreno. Se emplean en zonas con lluvias intensas y en áreas de suelos pesados poco permeables donde hay exceso de escorrentía y en suelos susceptibles a la erosión con pendientes hasta de 40% y longitudes largas. Las acequias deben protegerse con barreras vivas en el borde superior con el objeto de amortiguar la velocidad del agua y filtrar los sedimentos. Estas acequias recolectan el agua para conducir las a un sistema de drenaje mayor (canal vegetado, canal de desviación o dren superficial)

- Objetivo de la práctica:

Estabilización del suelo

Almacenamiento temporal de escorrentía superficial y luego su evacuación

- Normas para la ejecución:

- La finalidad sola de control de inundaciones no justifica su construcción, por lo tanto;
- El control erosivo de estas acequias es eficiente si entre ellas se aplican, prácticas agronómicas
- Las acequias de laderas no modifican la pendiente pero sí la longitud de diseño en otras prácticas

- Diseño de acequias de ladera:

- Espaciamiento entre acequias

Continuación relación desnivel, profundidad, capacidad

	0,10	15,0
1%	0,12	32,0
	0,15	55,5

Adaptado del Manual del Cafetero. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1969.

b) Acequias de ladera (tipo terraza)

Están constituidas por una plataforma angosta y una inclinación de intercepción hacia el interior, con pendiente longitudinal y transversal.

Espaciamiento

El espaciamiento sobre una determinada pendiente y una profundidad efectiva de suelo previamente determinadas, está determinada por:

- (1) Intervalo vertical, éste se deduce por la siguiente ecuación

$$IV = \frac{P + 4}{10}$$

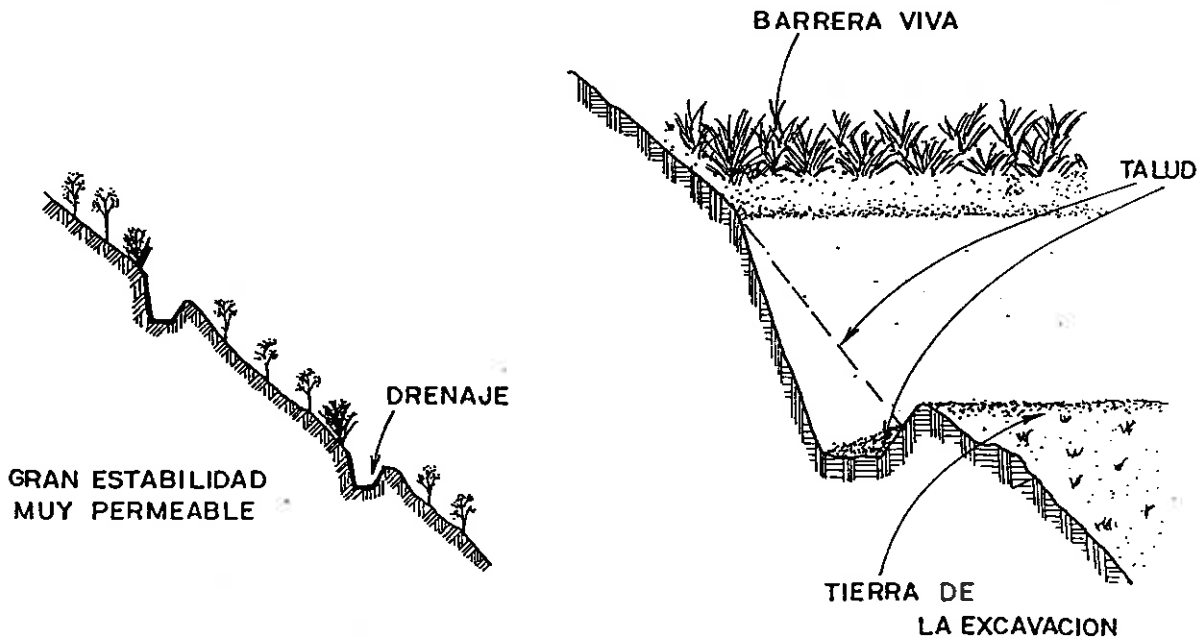
en donde: IV: intervalo vertical
P: pendiente representativa del terreno en porcentaje

- (2) Distancia inclinada, es la separación entre las líneas centrales de dos acequias de ladera, medidas sobre el terreno y se calcula con la siguiente fórmula:

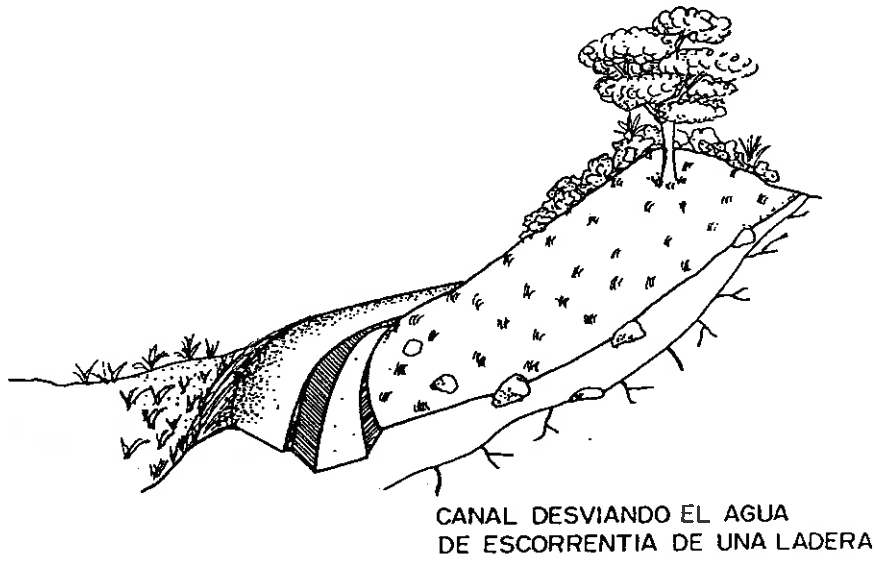
$$D = \frac{IV}{\text{Sen } \theta}$$

En donde: D = Distancia inclinada
IV = Intervalo vertical
 θ = Angulo basado en el valor de la pendiente representativa del terreno

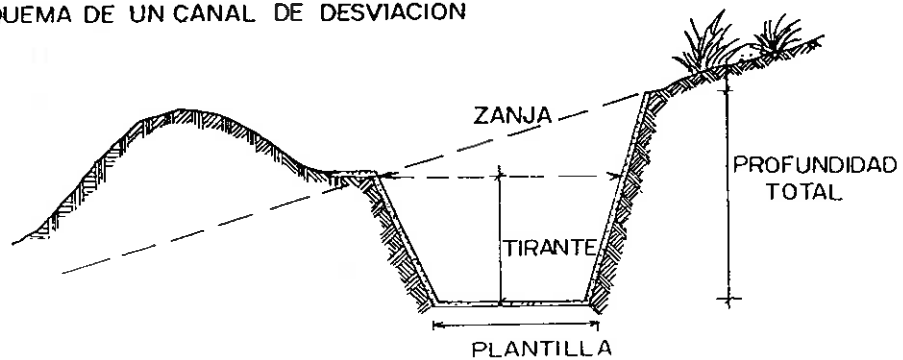
Ancho de la plataforma longitud y pendiente longitudinal:



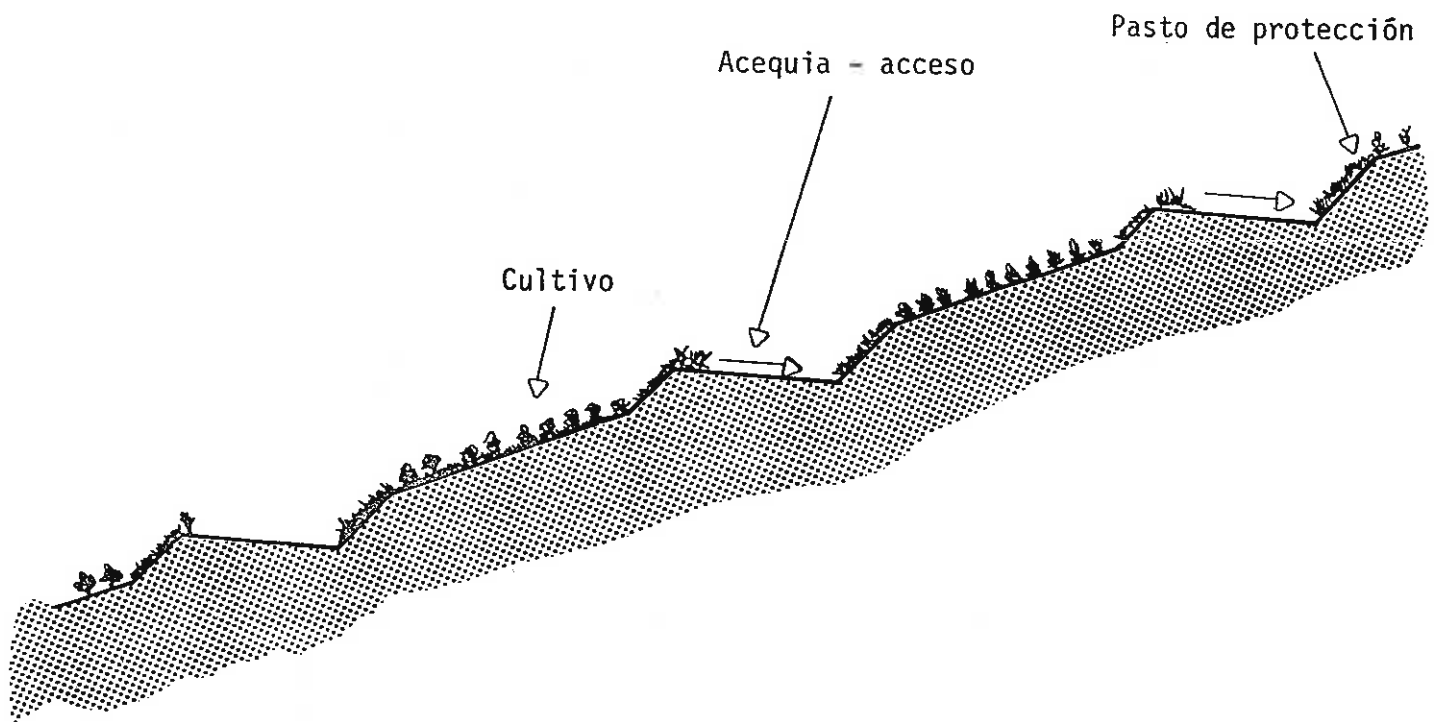
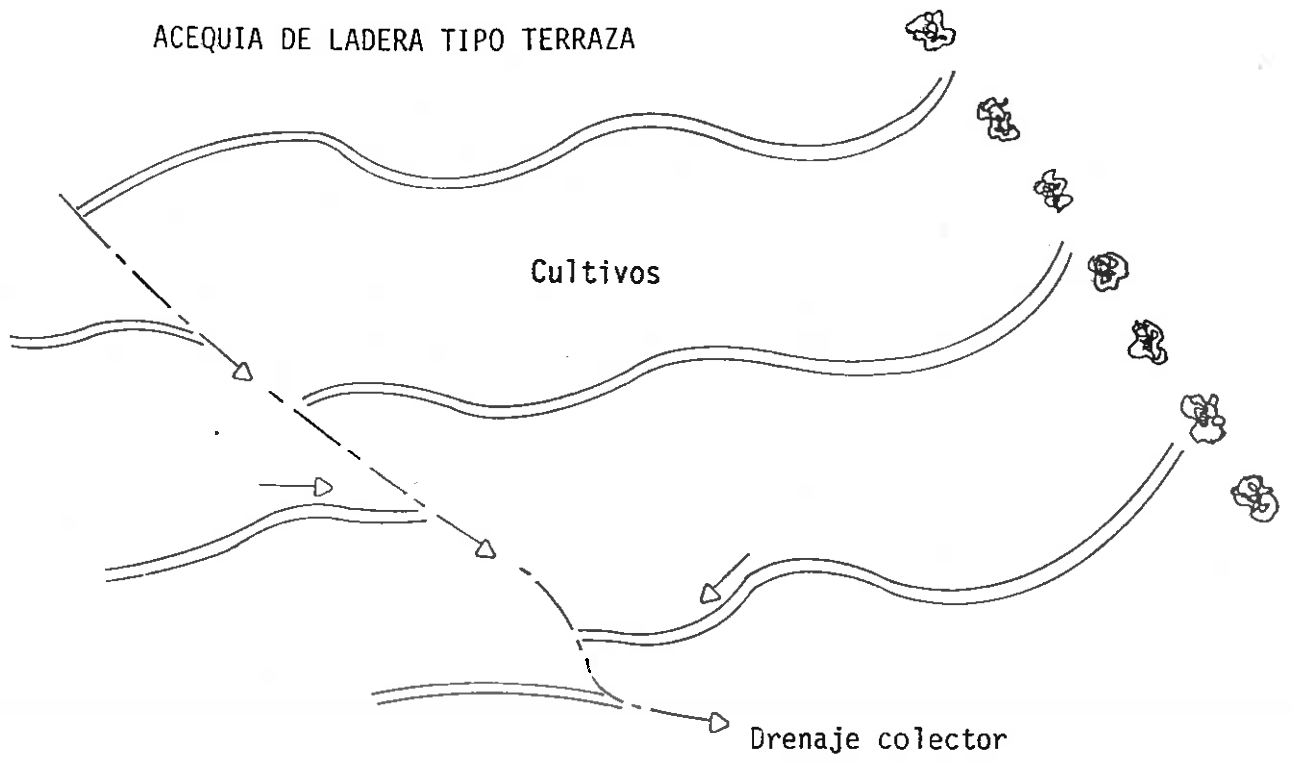
CORTE TRANSVERSAL DE UNA ACEQUIA DE LADERA



ESQUEMA DE UN CANAL DE DESVIACION



ACEQUIA DE LADERA TIPO TERRAZA



UN SISTEMA DE ACEQUIAS DE LADERA

ACEQUIAS DE LADERA EN TERRENOS OCUPADOS CON CULTIVOS LIMPIOS
CON 30 cm. DE PLANTILLA Y TALUD 1:1

Pendiente del Terreno %	Espaciamiento entre acequias m	Area servicio (m ²) por cada 100 m. de canal	Descarga q litros/seg por cada 100 m de canal	Metros de acequia por hectárea	Límite de Longi- de acequia m
2	42,0	4,200	109,5	238	90
3	30,6	3,066	95,0	326	100
4	25,0	2,500	65,0	400	120
5	21,6	2,160	56,0	464	140
6	19,3	1,933	50,0	518	160
7	17,7	1,771	64,0	565	180
8	16,5	1,650	43,0	608	200
9	15,5	1,555	49,5	613	220
10	14,8	1,486	38,5	675	260
11	14,2	1,418	36,9	705	270
12	13,6	1,366	35,5	730	280
13	13,2	1,323	34,4	755	290
14	12,8	1,285	33,4	780	300
15	12,0	1,200	31,2	835	320
16	11,2	1,125	29,2	890	340
17	10,6	1,060	27,6	945	360
18	10,0	1,000	26,0	1000	380
19	9,5	950	24,6	1055	400
20	9,0	900	23,4	1110	420
21	8,6	858	22,3	1165	450
22	8,2	820	21,3	1220	470
23	7,8	783	20,4	1275	490
24	7,5	750	19,5	1330	500
25	7,2	720	18,7	1390	500
26	6,9	695	18,0	1440	500
27	6,6	667	17,3	1500	500
28	6,4	644	16,3	1550	500
29	6,2	620	15,8	1612	500
30	6,0	600	15,6	1670	500

Los datos son normales para un suelo estable, para suelos menos estables debe reducirse el espaciamiento, y para suelos muy estables aumentarlo.

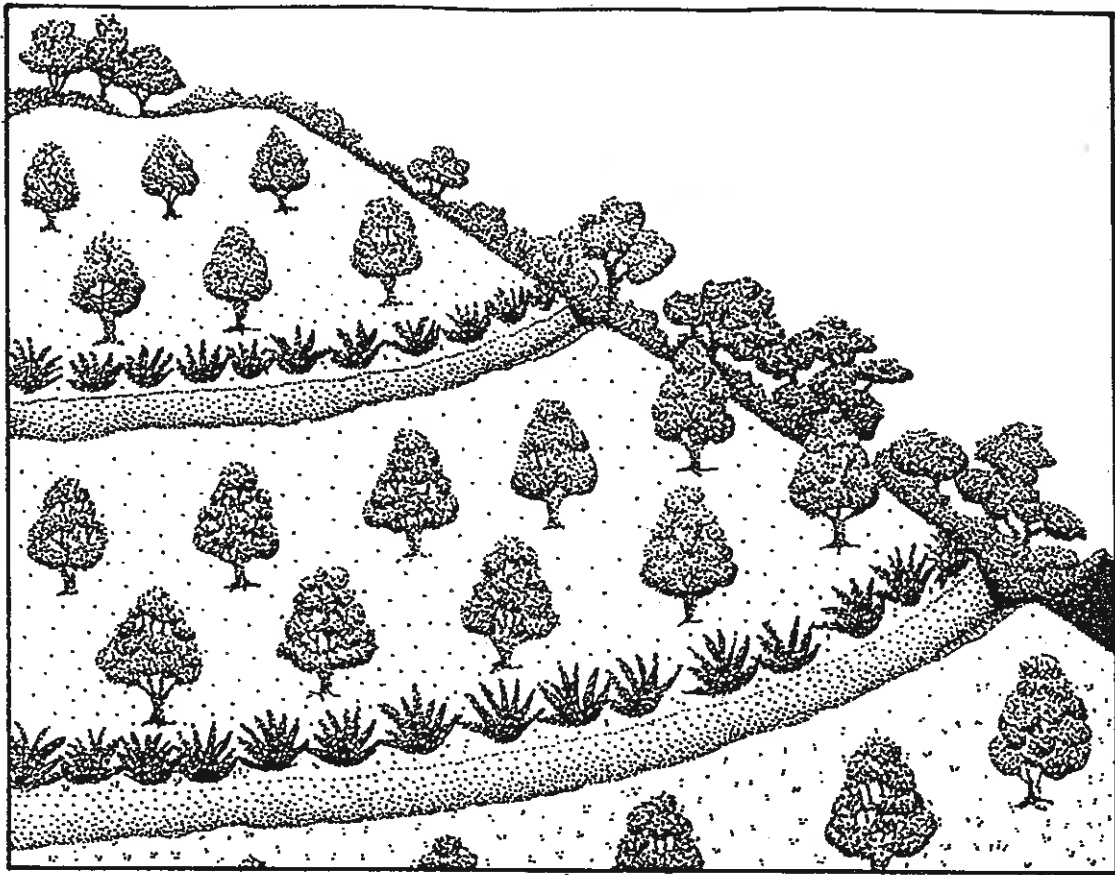
FUENTE: CENICAFE 1975, Manual de Conservación de Suelos de Ladera, Colombia.

Distancia entre acequia para cafetales, cacaoales, semibosques
y potreros con plantilla de 30 cm y talud 1:1

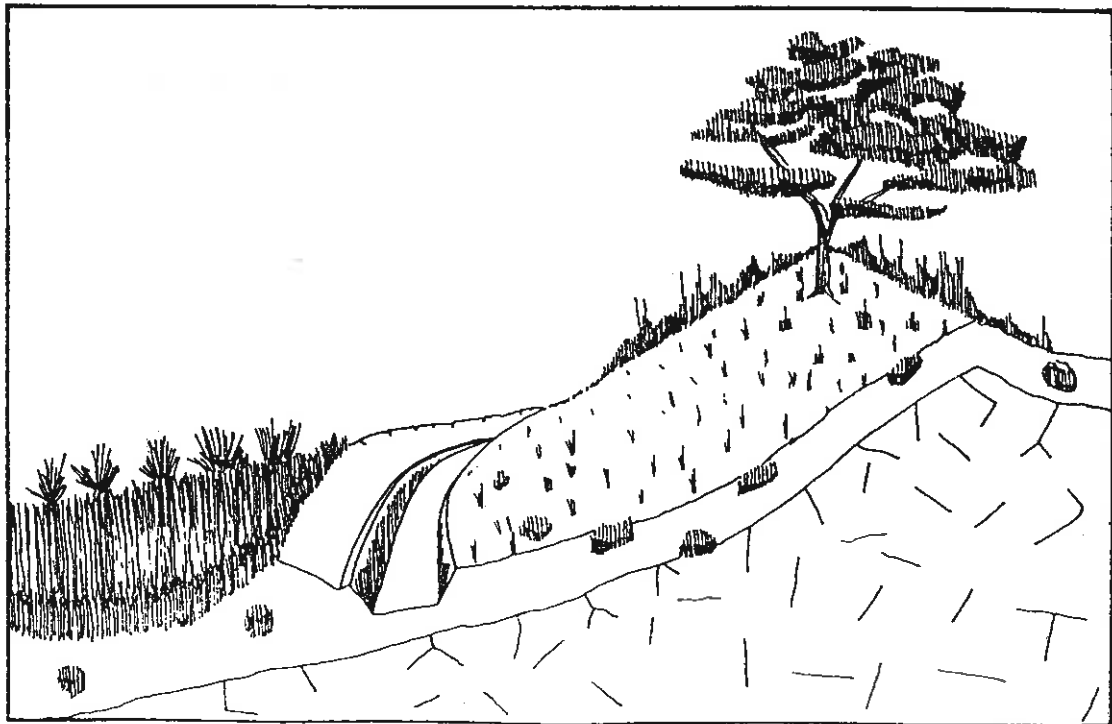
Pendiente del terreno %	Espaciamiento entre acequias m	Area Servida (m ²) por cada 100 m del canal	Descarga q. litros/seg por cada 100 m canal	Metros de acequia por hectárea	Límite de longitud de acequia m
10	40,0	4,000	78,0	250	110
11	36,4	3,640	71,0	275	110
12	33,5	3,330	65,0	300	120
13	30,8	3,080	60,0	325	130
14	28,6	2,860	56,0	373	140
15	26,7	2,670	52,0	375	150
16	25,0	2,500	49,0	400	160
17	23,5	2,350	46,0	426	180
18	22,0	2,200	43,0	455	200
19	21,0	2,100	41,0	476	210
20	25,0	2,500	48,6	400	180
21	23,7	2,370	46,1	422	180
22	22,7	2,270	44,1	440	200
23	21,6	2,160	42,0	463	200
24	20,8	2,080	40,4	480	210
25	20,0	2,000	38,9	500	220
26	19,2	1,920	37,3	520	220
27	18,5	1,850	36,0	540	230
28	17,8	1,780	34,6	562	230
29	17,2	1,720	33,4	581	240
30	20,0	2,000	38,9	500	220
32	18,8	1,880	36,6	532	220
34	17,6	1,760	34,2	568	230
36	16,7	1,670	32,5	600	240
38	15,8	1,580	30,7	633	250
40	15,0	1,500	29,2	667	300

Los datos son normales para un suelo estable, para suelos menos estables debe reducirse el espaciamiento y para suelos muy estables aumentarlos

FUENTE: CENICAFE 1975, Manual de Conservación de Suelos de Ladera, Colombia.



FRUTALES EN CONTORNO Y ACEQUIAS DE LADERA



CANAL DE DESVIACION

- Ancho de la plataforma, no mayor de 2 metros
- Longitud, se recomienda una longitud máxima de 100 metros en una sola dirección
- Pendiente longitudinal
Se recomienda entre 0.5% a 1%, dependiendo de la permeabilidad y erodabilidad del suelo, de la intensidad de las lluvias y de los cultivos a establecer. Algunas veces se requieren grados variables.

En todo caso el técnico tiene que considerar las medidas necesarias para recomendar el porcentaje de pendiente longitudinal.

Pendiente Inversa y Taludes

- Pendiente inversa:

Una pendiente inversa de 10% es adecuada, debido a que las acequias de ladera son mucho más angostas que las terrazas de banco.

- Taludes

La relación de talud recomendada es de 0.75:1 ya que las acequias de ladera no tienen cortes y rellenos continuos así como las terrazas de banco, sus taludes tienen solamente el 50% de alto y el mismo ancho de las terrazas de banco, si ambas se calculan bajo la misma pendiente y ancho del banco.

7.2.2 Canales de Desviación

Son aquellos que interceptan, desvían y transportan el agua de escorrentía proveniente de zonas altas (cultivos en contornos, cultivos en fajas, rotación de cultivos, terrazas y llevan el caudal hacia un sistema de drenaje mayor, evitándose daños al sistema agrícola o servicio de infraestructura.

Características

- Canal abierto, poco frecuente con revestimiento, generalmente se construyen en tierra.
- Con el fin de darle la máxima capacidad, se forma un camellón dejando una berma entre el canal y camellón.
- En la selección de la forma de la sección se considera:
 - Textura del suelo
 - Erodabilidad
 - Profundidad de excavación factible

- Resistencia a la excavación
- Pendiente del terreno

Diseño (Fundamentado en la fórmula de Manning)

- Calcular el caudal de intercepción/recolección, mediante la fórmula racional u otra para estimar la escorrentía

$$Q = \frac{C I A}{360} \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Determinar la velocidad máxima permisible por el tipo de suelo (V max) utilizar cuadro de velocidades medias permisibles.

- De la ecuación de continuidad $Q = A V$ determinar el

$$V = \frac{Q}{A}$$

área de la sección transversal del canal (considerando que V y Q son datos)

- Obtener el coeficiente de rugosidad (n) para aplicar la fórmula de Manning.
- Seleccionar los taludes para la sección transversal según el cuadro de inclinación de taludes (m).
- Seleccionar una sección transversal de construcción, de acuerdo a las condiciones de suelo (trinagular, trapezoidal, rectangular, etc.).
- Elegir un valor conveniente para la profundidad (d) del canal de acuerdo a las características del suelo y medios de construcción disponibles.

- Con los valores de:
 - Area de la sección
 - Caudal de diseño Q
 - Velocidad permisible V
 - Inclinación del talud m
 - Profundidad del canal d
 - Forma de la sección

Calcular el valor de la base/plantilla de la sección del canal (b).

$$b = \frac{A}{d} - m d \quad \text{Así se completan los elementos básicos para definir la sección}$$

del canal

- A continuación se realiza la verificación básica de diseño para la sección (condición de máxima eficiencia y mínima infiltración)

Velocidad asumida V_s Vs Velocidad calculada V_c

Caudal asumido Vs Caudal calculado Q_c

$$V_c = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \approx V$$

$$Q_c = A \times V_c \approx Q$$

Calcular previamente el valor del radio hidráulico (R)

$$R = \frac{bd + md^2}{b + 2\sqrt{d^2 + m^2d^2}}$$

La pendiente del canal (S) debe ser suficiente para asegurar un buen drenaje sin producir erosión ni sedimentos varían generalmente entre 1 a 5% para los caudales que conducen los canales de desviación; correlacionar aproximaciones con nomogramas, gráficos y tablas para la fórmula de Manning.

- Luego de la verificación, si es necesario se reajustan los valores convenientes y se determinan los elementos complementarios del diseño de la sección de construcción del canal.

Factores de correlación para curvas en canales

Canal	Factor de correlación
Recto	1.00
Ligeramente curvo	0.95
Moderadamente curvo	0.87
Fuertemente curvado	0.78

Factores de correlación para varias profundidades

Profundidad (m)	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Factor corrección	0.8	0.9	.95	1.0	1.1	1.15	1.2	1.25

Referencia: Kinori B.Z.

Velocidades permisibles (m/seg) para diferentes tipos de suelos no-cohesivos y cohesivos, profundidad de agua 1.0 m y canales rectos (Kinori B.Z.)

SUELOS NO-COHESIVOS

Tipos de Suelo	Tamaño de partícula (mm)	Velocidad media permisible (m/seg)
Limo fino	.005	0.20
Limo grueso, arena fina	.05	0.30
Arena fina	.25	0.45
Arena media	1.00	0.60
Arena gruesa	2.50	0.75
Arena gruesa, grava fina	5.00	0.85
Grava	10.00	1.05
Grava	15.00	1.20
Grava	25.00	1.45
Grava	40.00	1.85
Grava y piedras	75.00	2.40
Piedras-Canto rodado	100.00	2.80
Piedras-Canto rodado	150.00	3.35
Piedras-Canto rodado	200.00	3.80
Piedras-Canto rodado	300.00	4.35

SUELOS COHESIVOS

Partículas (%)		VELOCIDADES			
0.005 mm	0.005-0.05 mm	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		Peso por Volumen (T/m ³)			
		4.2	1.2-1.7	1.7-2.0	2.0-2.15
30-50%	70-50% (arcilla, arenosa pesada)	0.40	0.85	1.20	1.70
20-30%	80-70% (arcilla, arenosa liviana)	0.40	0.80	1.10	1.60
10-20%	90-80% (loess compacto)		0.70	1.00	1.30

COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING

Tipo de Canal	Condición			
	Excelente	Bueno	Regular	Pobre
Artificial sin revestir				
1.Canal de tierra, recto, regular	.017	.020	.023	.025
2.Canal de tierra, irregular	.023	.028	.030	.040
3.Canal de roca, recto regular	.023	.030	.033	.035
4.Canal en roca, irregular	.035	.045	.045	—
5.Canal en roca, dinamitado, con vegetación	.025	.030	.035	.040
6.Fondo de tierra, taludes de canto rodado	.028	.030	.033	.035
7.Canal sinuoso, baja velocidad-flujo	.020	.025	.028	.030
Natural				
1.Despejado, recto, lecho sin drenes de arena o huecos	.025	.028	.030	.033
2.Como 1 con alguna vegetación y grava	.030	.033	.036	.040
3.Con curvas, despejado, lecho ondulado con huecos	.033	.035	.040	.045
4.Como 3, poca agua, menos regular	.040	.045	.050	.055
5.Como 3, pero con algunas piedras y vegetación	.035	.040	.045	.050
6.Como 4, pero con secciones con piedras	.045	.050	.055	.060
7.Poca velocidad de flujo, mucha vegetación y huecos	.050	.060	.070	.080
8.Altas y densa vegetación	.075	0.100	0.125	0.150
Artificial Revestido				
1.Masonería-Ladrillo sin mortero	.025	.030	.033	.035
2.Como 1, con mortero	.017	.020	.025	.030
3.Concreto aplicado a presión-(Pneumático)	.014	.016	.019	.012
4.Concreto pulido muy liso	.010	.011	.012	.013
5.Concreto, lozas, encofrado fierro	.013	.014	.014	.015
6.Concreto, lozas encofrado madera	.015	.016	.016	.018

Nota: Para la obtención de coeficientes de rugosidad en cursos de agua naturales (quebradas, ríos, etc.) Se recomienda la publicación "Roughness Characteristics of Natural Channels" del U.S. Geological Survey. Water Supply paper, 1849. Washington D.C. 1967.

- Taludes recomendados para canales en tierra, sin revestir (no vegetados) (Horizontal: Vertical)

a) Para canales en tierra - Canal Trapezoidal

Tipos de Suelo	TALUD	
	Canal hasta 1.20 m de profundidad	Canales mayores de 1.20 m de profundidad
Turba	0 : 1	Subsidencia
Arcilla	0.5 : 1	1 : 1
Franco Arcilloso	1 : 1	1.5 : 1
Franco Arenoso	1.5 : 1	2 : 3
Arenoso	2 : 1	3 : 1

b) Para canales en tierra en zonas semi-áridas y altas fluctuaciones de descarga - Canal Trapezoidal

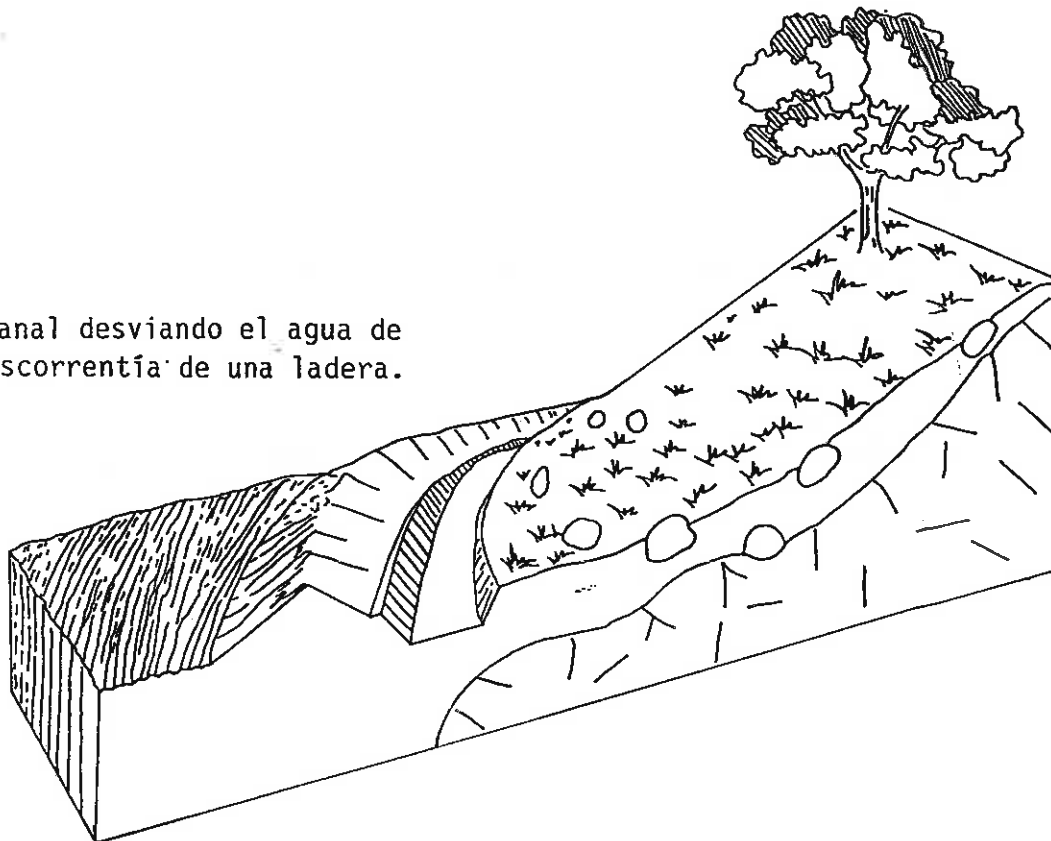
Tipos de Suelo	TALUD	
	Canal hasta 1.20 m de profundidad	Canales mayores de 1.20 m de profundidad
Turba	0.25 : 1	0.5 : 1
Arcilla	1 : 1	1.5 : 1
Franco Arcilloso	1.5 : 1	2 : 1
Franco Arenoso	2 : 1	3 : 1
Arenoso	3 : 1	4 : 1

c) Para canales de sección parabólica se requiere conocer el ángulo de reposo del suelo donde se construirá el canal

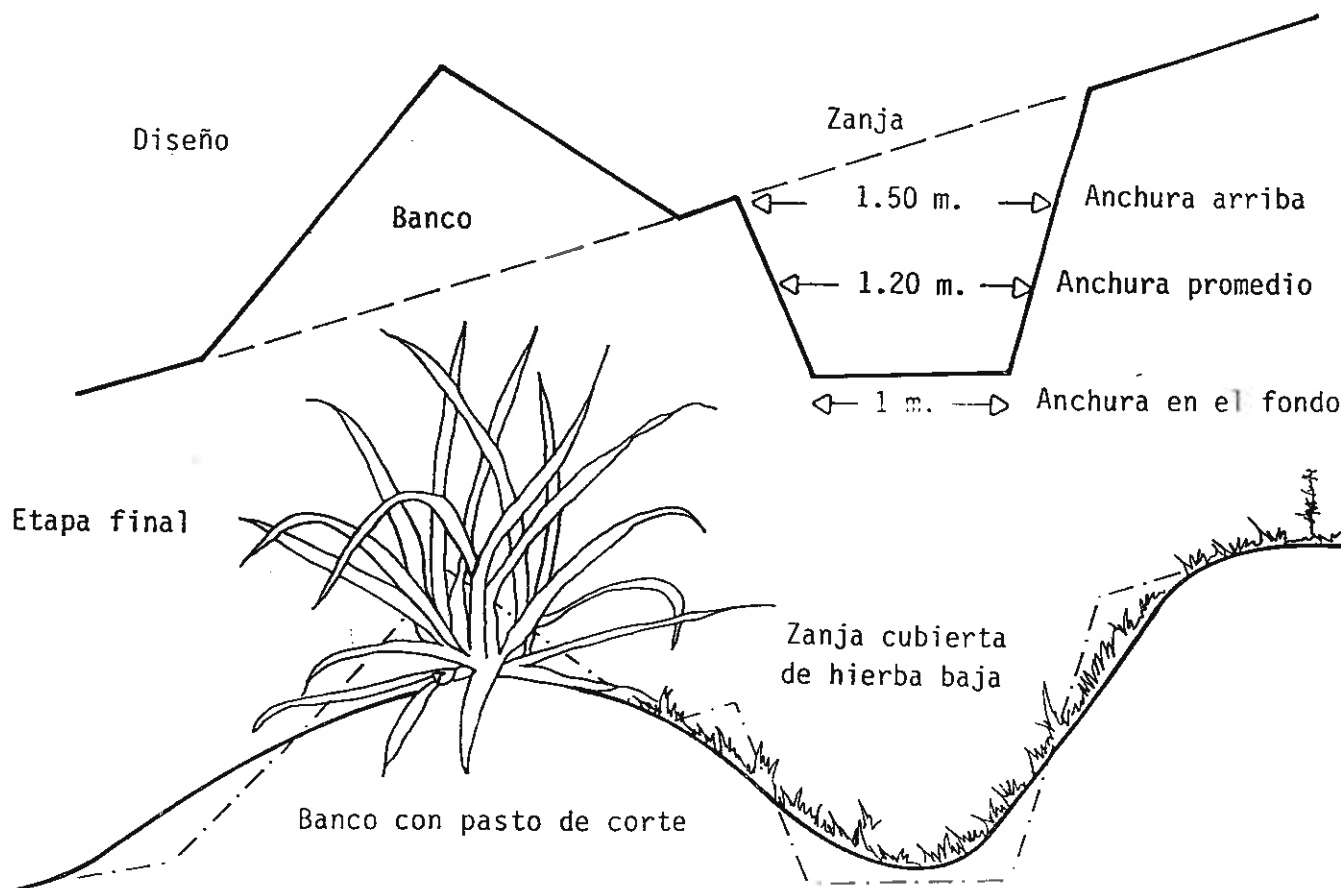
ANGULO NATURAL DE REPOSO DE DIVERSOS SUELOS

Suelo	Angulo de reposo	
	Seco	Húmedo
Turba	60 - 75°	60 - 75°(en estado
Arcilla	40 - 50°	20 - 25° no cohe-
Franco Arcilloso	40 - 45°	20 - 28° sivo)
Franco Arenoso	25 - 30°	15 - 25°
Arenoso	30 - 35°	15 - 35°

Canal desviando el agua de escorrentía de una ladera.



Esquema de un canal de desviación



Esquema de un canal de desviación (según WENNER, 1980).

CANALES DE DESVIACION DISEÑADOS PARA DIFERENTES
GASTOS DE ESCORRENTIA CRITICA (Talud 1,5:1)

Pendiente 0,5%

Q (l/seg)	m ³ /h	Plantilla cm.	Tirante cm.	Profundidad Total cm.
15	54	31	21	31
30	108	47	23	33
55	198	60	28	38
115	414	93	35	45
230	828	125	45	55

Pendiente 1%

Q (l/seg)	m ³ /h	Plantilla cm.	Tirante cm.	Profundidad Total cm.
15	54	31	16	20
30	108	40	23	33
55	198	47	27	37
115	414	60	35	45
230	828	93	42	52

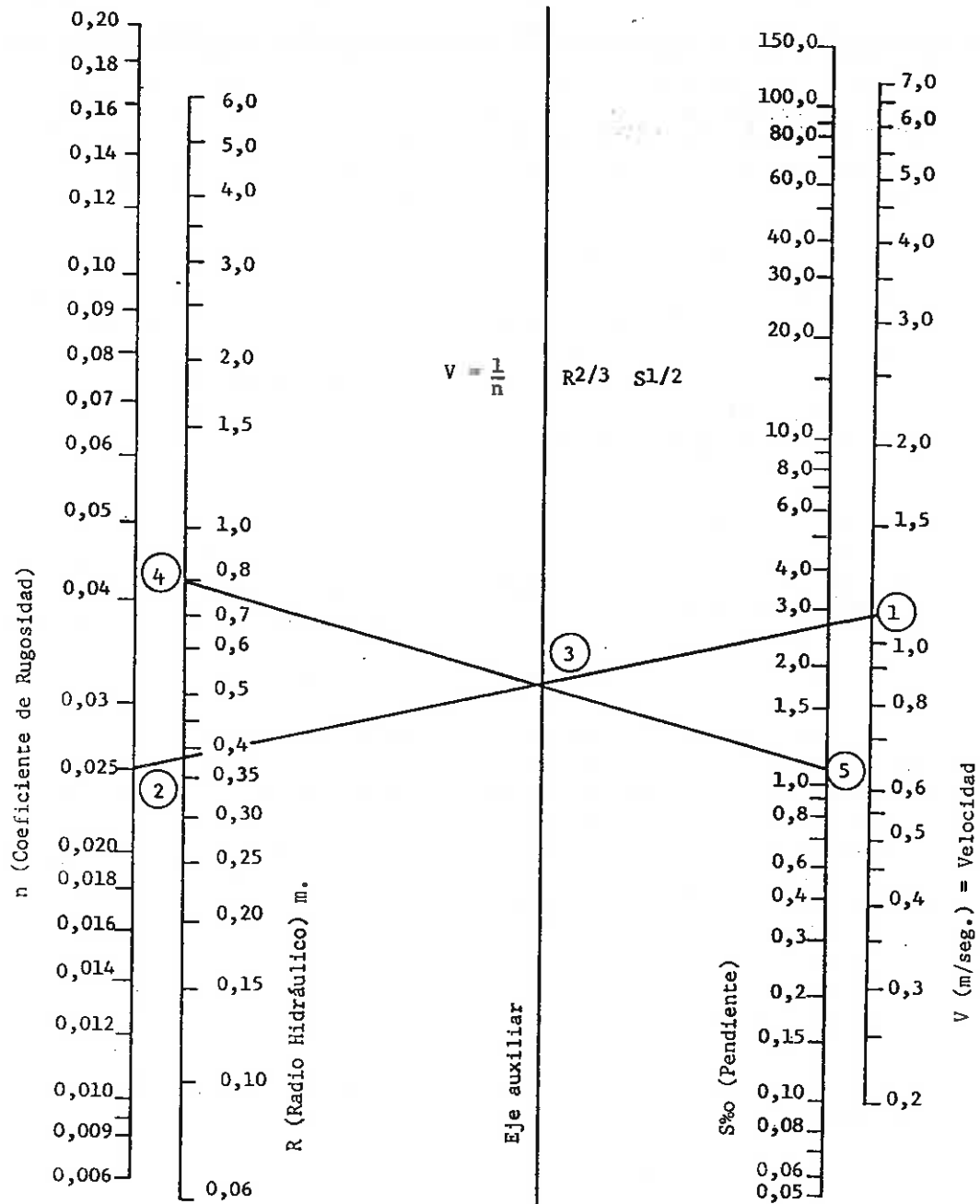
Pendiente 2%

Q (l/seg)	m ³ /h	Plantilla cm.	Tirante cm.	Profundidad Total cm.
15	54	31	13	23
30	108	40	13	23
55	198	47	23	33
115	414	47	31	41
230	828	60	40	50

Pendiente 5%

Q (l/seg)	m ³ /h	Plantilla cm.	Tirante cm.	Profundidad Total cm.
15	54	31	11	21
30	108	31	15	25
55	198	47	18	28
115	414	47	26	36
230	828	60	34	44

FUENTE: CENICAFE 1975, Manual de Conservación de Suelos de Ladera, Colombia



EJEMPLO: Conocidos $R = 0,8$ m. $V = 1,1$ m/seg. $n = 0,025$

Se entra con V , punto ① y se une con " n " punto ②, se determina el punto ③ en el eje auxiliar. Se busca R , ④ y se une con ③ y se prolonga hasta el eje de pendiente " S " determinado el punto ⑤, donde $S = 1\%$.

-NOMOGRAMA PARA LA SOLUCION DE LA FORMULA DE MANNING-

7.2.3 Canales Vegetados

El término "curso de agua vegetado" en la conservación de suelos, significa un canal revestido de vegetación, cuya función es recibir el agua descargada por los canales de desviación y terrazas de canal, y conducirla en forma suave y sin perjuicio al suelo, hasta un punto de descarga estable. Cuando no existe un desagüe natural en un lugar adecuado para cumplir con esta función, se construye un canal artificial en otros casos será posible hacer uso de un canal natural, modificándolo para conseguir las requeridas características de flujo.

El diseño de canales vegetados, o sea canales de tierras cubierto de vegetación, es un problema de hidráulica de canales abiertos y se basa en la fórmula de Manning. El diseño es más complejo que el de un canal revestido de concreto u otro material más estable debido a la variación en el coeficiente de rugosidad con la profundidad del flujo, la etapa de crecimiento de la vegetación, el radio hidráulico y la velocidad.

El uso de canales vegetados es común en zonas de topografía ondulada con pendientes moderadas de un máximo de 15% donde exista necesidad de controlar la evacuación del agua de escorrentía. Una eficiencia de evacuación significa tener una buena capacidad para controlar el volumen de agua y sedimentos que transporta el canal, controlar la erosión potencial dentro del canal y conducir el agua de escorrentía hacia un punto donde no cause daños.

No siempre existen las condiciones de poder utilizar canales vegetados; se pueden utilizar para evacuar agua de escorrentía acumulada en zonas relativamente planas e inundables, para descargar el agua de terrazas o para controlar cárcavas. Los canales vegetados se diseñan solamente para las zonas donde las descargas de agua son intermitentes. El uso prolongado de un canal vegetado puede destruir la vegetación por exceso de humedad.

Diseño del Canal

El diseño de un canal vegetado requiere conocer los siguientes elementos:

- Descarga de diseño (escorrentía)
- Tipo de vegetación
- Velocidad de diseño
- Coeficiente de rugosidad
- Dimensiones del canal

6. Vuelva a sembrar en lugares que no hayan crecido o se a por estaca o trasplante para uniformizar el canal.
7. Evite utilizar cualquier lugar del canal como paso de ganado, vehículos u otros, sobre todo en épocas de lluvia, cambie la vegetación del fondo por rocas de canteras en los lugares de humedad frecuente.
8. Utilice en forma moderada el pasto del canal con fines de alimento de ganado. De preferencia corte el pasto con una segadora en lugar de usar la zona como pastoreo.
9. Inspeccione frecuentemente el canal después de una precipitación fuerte, principalmente transiciones, caídas, alcantarillas y otros lugares críticos.

Hasta aquí se ha presentado un resumen de las recomendaciones de construcción para la construcción del canal así como para la siembra. Deberá para la construcción elaborarse un cronograma y un presupuesto de trabajo para lo cual se deberá determinar con anticipación el método de construcción a ser utilizado, la maquinaria disponible, el personal calificado, los equipos de ingeniería necesarios, los insumos de semillas y otros datos pertinentes.

Es conveniente, cuando se van a desarrollar grandes áreas donde se utilizarán canales vegetados, preparar tablas con tiempos y costos unitarios para las diferentes fases de construcción lo que facilita grandemente la elaboración de los cronogramas y presupuestos. Estas tablas, típicas para la construcción de obras, deben actualizarse periódicamente principalmente en lo referente a costos.

Construcción de Canales Vegetados

El procedimiento de construcción y la cantidad de trabajo que se requiere es función de la ubicación topográfica del canal y del equipo o mano de obra disponible. Si el canal se ubica en el dren natural de una zona a veces sólo se requiere alinear hidráulicamente el eje central del mismo y suavizar los taludes antes de sembrar pastos. Si el canal se ubica como conductor o interceptor de agua en una ladera, va a requerir la construcción integral de los taludes incluyendo un bordo libre. Los canales poco profundos y anchos se pueden construir con equipo ligero como tractores de campo con implementos de arados para aflojar el suelo y traillas simples para transportar materiales. Los canales mayores requieren el empleo de tractores de oruga con hoja frontal angulable (bulldozers). Canales pequeños pueden construirse con carretillas y lampas.

Una vez construido el canal se debe preparar el suelo para la siembra de los pastos incluyendo fertilización. Se puede sembrar

una mezcla de pastos de rápido crecimiento con otros más lentos pero permanentes. las semillas se deben sembrar al voleo o paralelas al flujo de agua. Puede también sembrar se por estacas. Se debe procurar estabilizar el suelo durante la primera etapa de crecimiento mediante coberturas de rastrojos, químicos, plásticos, mallas y otros elementos, que eviten excesiva evaporación del agua y la erosión hídrica o sólida. Pueden utilizarse más de un método al mismo tiempo.

Mantenimiento de Canales Vegetados

Los canales vegetados, al igual que canales en tierra, requieren un mantenimiento constante. las causas comunes de falla, son insuficiente capacidad, velocidad excesiva del agua, cobertura vegetal inadecuada o destrucción de la misma por paso de ganado, vehículos o personas, principalmente en épocas de lluvia. También debe controlarse el ingreso de agua al canal por los bordes laterales del mismo y proveerse de una adecuada salida de evacuación sin que cause erosión.

La vegetación en el canal debe manejarse adecuadamente. Se debe cortar el pasto, fertilizarse, evitar la compactación del suelo y controlar plagas y roedores. Cualquier punto que pierda vegetación debe ser resembrado o protegido de inmediato.

Se debe evitar la acumulación de sedimentos en el canal que pueden llegar a recubrir los pastos. para ello debe hacerse un buen manejo de la cuenca abastecedora que ante la formación de sedimentos, aumentar la velocidad de agua en el canal cortando los pastos periódicamente. Si persiste el problema deberá corregirse la inclinación del canal.

Grado	Promedio de altura de la planta (cm)	Ejemplo de especies (pueden ser otras)
A	75	Eragrostis curvula (75 cm) Andropogon Ischarum (90 cm)
B	25 - 60	Cynodon Dactilon (30 cm) Eragrostis curvula (60 cm) Lespedeza sericea (50 cm) Medicago sativa (28 cm) Mezcla de andropogon pueraria sp.
C	15 - 25	Cynodon Dactilon (15 cm) Gramineas-Leguminosas (15 a 20 cm) Poa pratense (15 a 30 cm) Lespedeza Striata (28 cm)

D	5 - 15	Cynodon Dactilon (7.5 cm) Lespedeza Striata (15 cm) Lespedeza Scirra.
E	5	Cynodon Dactilon (5 cm)

. Grados de retardatividad y su relación con la altura de crecimiento para especies regularmente establecidas

Grado de Retardatividad	Promedio de la Altura de la planta (cm)
B	75
C	25 - 60
D	25 - 25
D	5 - 15
E	5

Referencias: Kinori, B.Z. y Soil Conservation Service (U.S.D.A.)

Ejemplo de Cálculo para Canales Vegetados

- De acuerdo a la metodología se definen ciertos datos básicos:
 - Descarga de diseño $Q = 2 \text{ m}^3/\text{seg}$
 - Suelo de textura franco arcillosa
 - Clima moderado en temperatura, viento, humedad y precipitación
 - Localización coincidente con un drenaje natural, colector de canales de desviación y terrazas
- Selección del tipo de cobertura a utilizar. PASTO BERMUDA que según Tablas permiten una velocidad máxima de escorrentía V de $2 \text{ m}/\text{seg}$ con una pendiente de 10% (s)
- Calculando la velocidad de diseño $V_d = V - (20 \text{ a } 30\%)V$

$$V_d = 2 - 0.4 = 1.6 \text{ m}/\text{seg}$$

$$V_d = 2 - 0.6 = 1.4 \text{ m}/\text{seg} \quad \text{Promedio } V_d = 1.5 \text{ m}/\text{seg}$$
- Calculando el área de la sección básica de construcción A

$$\text{Si } Q = A \times V$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{2 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.5 \text{ m}/\text{seg}} = 1.33 \text{ m}^2$$

Se puede seleccionar la forma de la sección; trapezoidal

5. Seleccionar el grado de retardatividad, según tabla correspondiente para alto (altura de crecimiento de la planta 30 cm)
6. Determinar el valor del radio hidráulico R por aproximaciones, utilizando 2 gráficos:
 - . Relación "n" vertical y V/R horizontal I
 - . Relación V y R vertical y n y s horizontal II(de Manning para canales vegetados)

Primera aproximación con $n = 0.10$ coeficiente de rugosidad

1. Con la relación I, en el eje vertical de n, ubicar el valor asumido, proyectar horizontalmente hasta interceptar a la curva de retardatividad y luego seguir verticalmente hasta interceptar el eje horizontal, ubicando el valor para $V.R = 0.18$
2. Con la relación II en el eje horizontal ubicamos en la margen derecha el valor de $s = 0.10$, continuar verticalmente hacia arriba interceptar el valor de la curva $V = 1.5 \text{ m}/\text{seg}$ y continuar horizontal a la izquierda hasta interceptar a una vertical de abajo hacia arriba correspondiente al valor $n = 0.10$ (margen izquierdo), la intersección identifica el valor del radio hidráulico $R = 0.30 \text{ m}$

3. Comprobando

$$V.R = 1.5 \times 0.3 = 0.45 \quad 0.18$$

Segunda aproximación con $n = 0.065$

. Con la relación I $\rightarrow VR = 0.45$

. Con la relación II $\rightarrow R = 0.17$

. Comprobando $\rightarrow V.R = 1.5 \times 0.17 = 0.255 \quad 0.45$

Tercera aproximación con $n = 0.076$

VELOCIDADES PERMISIBLES PARA CANALES CON COBERTURA VEGETAL

Cobertura	Rango de variación de la pendiente %	Velocidad permisibles en Suelos resistentes a la erosión	m/seg. Suelos fácilmente erosionables
Cynodon dactylon (pasto bermuda)	.0 - 5	2.25	1.75
Buchloe dactylides	5 - 10	2.00	1.50
Poa pratensis	más de 10	1.75	1.25
Bromus mollis	0 - 5	2.00	1.50
Bouteloua gracilis	5 - 10	1.75	1.25
	más de 10	1.50	0.90
Mezcla grases	0 - 5	1.50	1.00
	5 - 10	1.20	0.90
Lespedeza sericea			
Eragrostis curvula	0 - 5	1.00	0.75
Andropogon ischaemun (Sorgo)			
Pueraria sp.			
Medicago sativa (alfafa)			
Lespedeza striata			
Sorghum vulgare (Sorgo)			
(anuales para pendientes moderadas o coberturas temperales solamente)	0 - 5	1.00	0.75

NOTA:
Los tipos de cobertura mostrados no se deben usar en pendientes mayores que las máximas indicadas en cada caso.

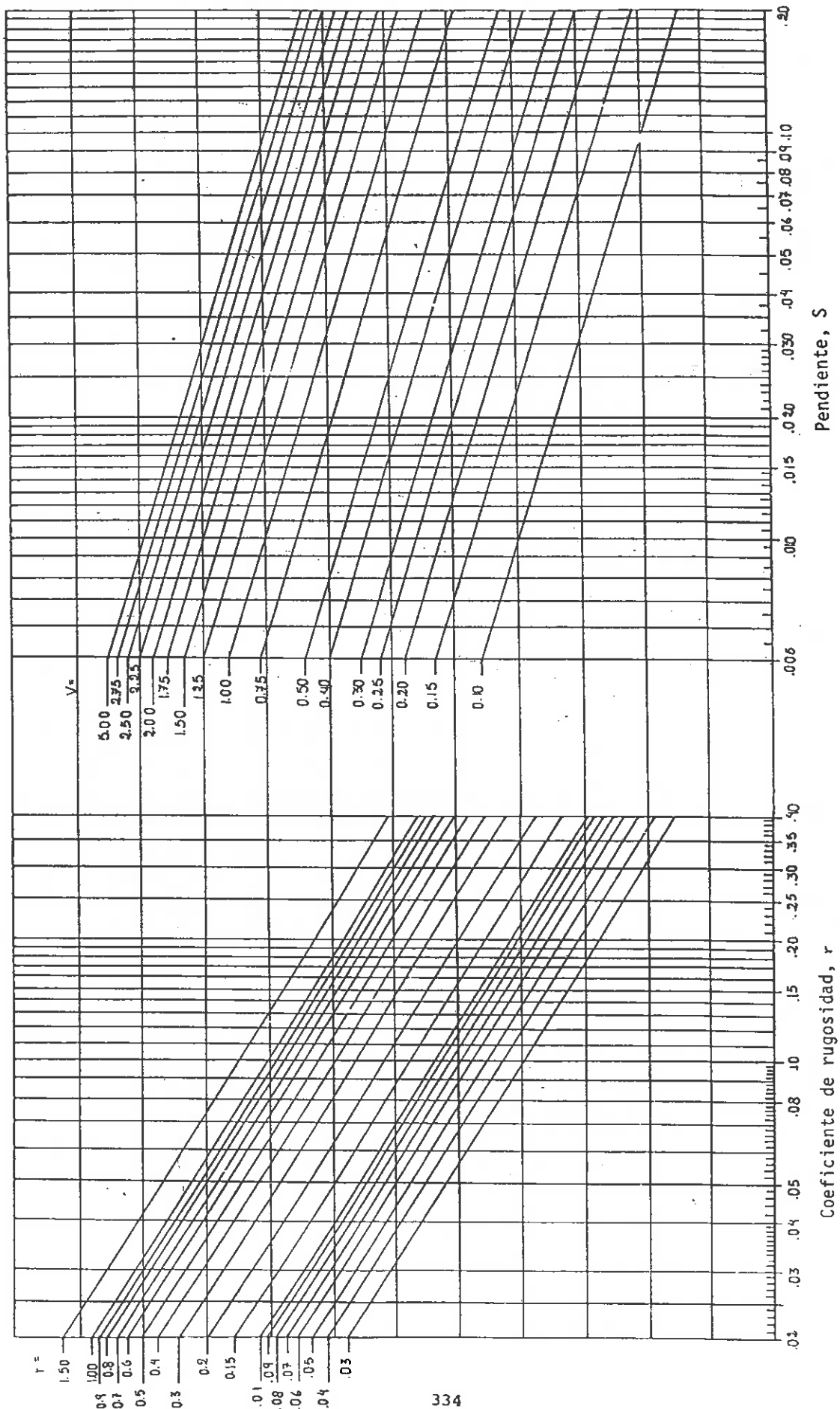
FUENTE: Dourojeanni A. Diseño de Canales Vegetados. Edit. D.G.A. Lima, Perú. 1980.

CLASIFICACION DE LAS COBERTURAS VEGETALES EN GRADO DE

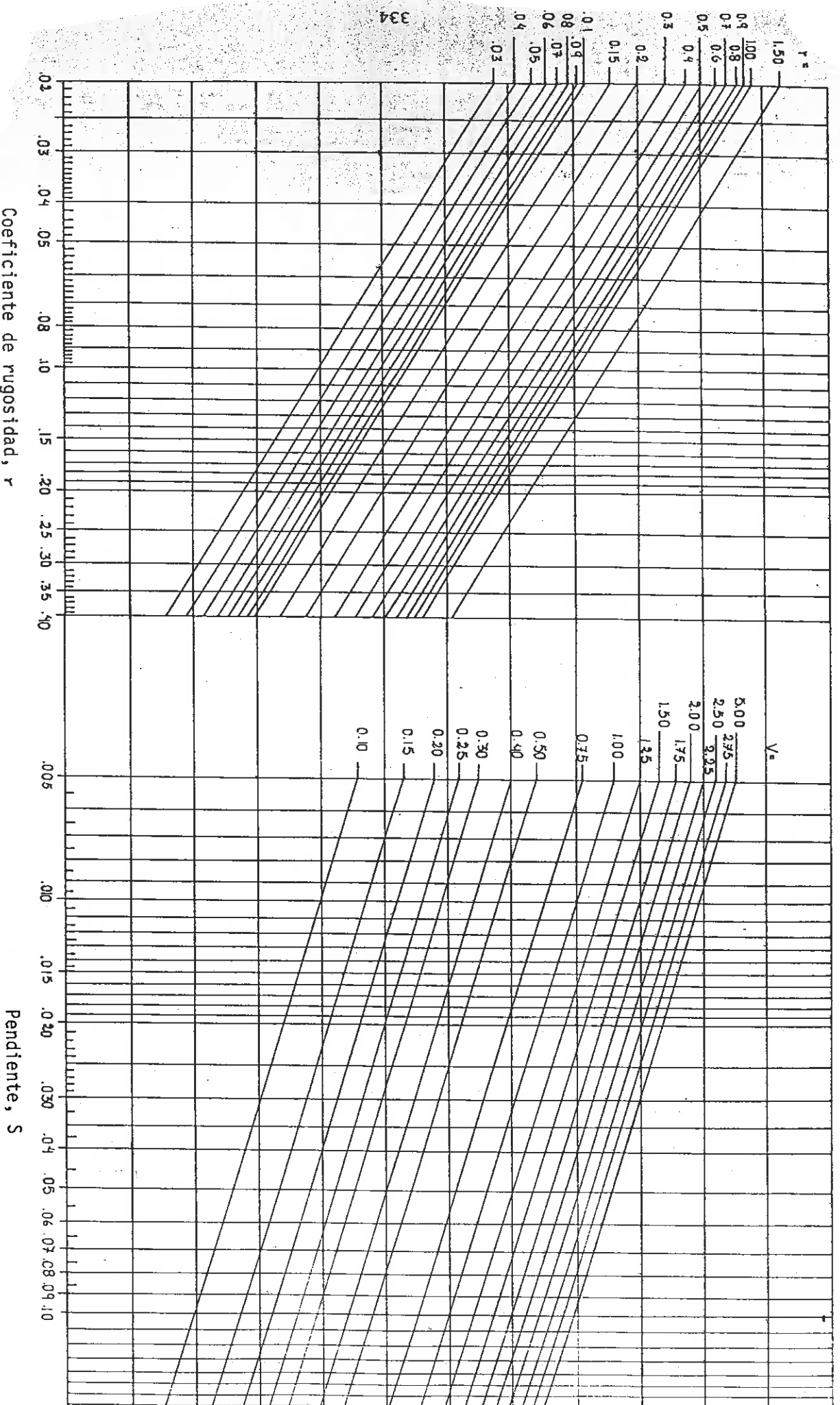
RETARDATIVIDAD

FUENTE: Dourojeanni A. Diseño de Canales Vegetados. Edit. D.G.A. Lima, Perú. 1980.

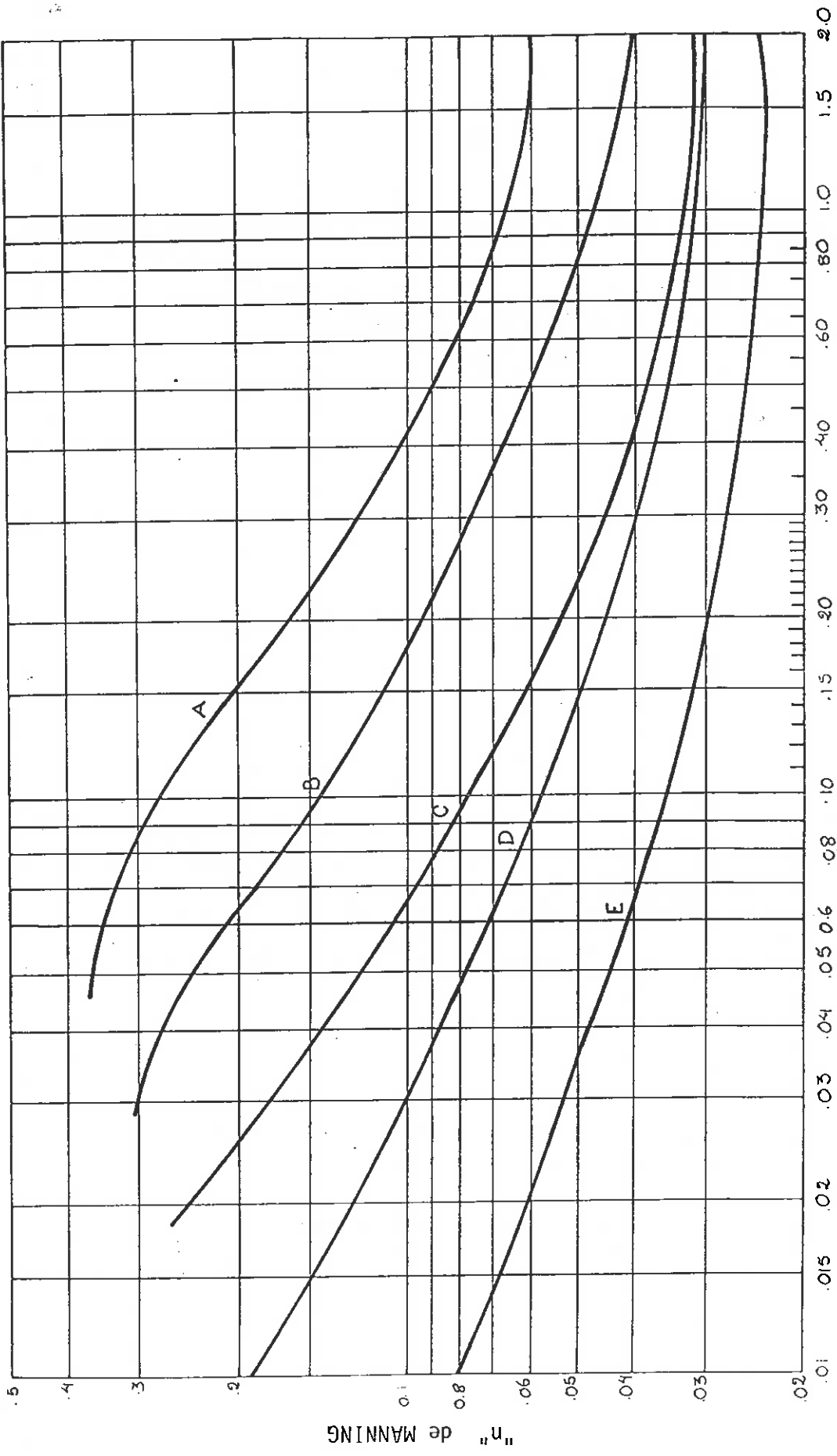
Grado de retardatividad	Especies	Condición
A. Muy Alto	Eragostis Curvula Andropogon Ischaemum (sorgo)	Excelentemente establecido (promedio 75 cm de alto) 7 Excelentemente establecido (90) cm. de altura promedio
B. Alto	Kudzu (pueraria sp) Cynedon Dactylon (pasto bermuda) Mezcla de Andropogon Acoparius, Boutelous gracillas y otros cortos y largos Eragostis curvula Lespedeza sericea Alfalfa (Medicago Sativa) Eragrostis curvula Boutelous gracillas	Crecimiento denso sin cor. Bien establecido, alto (30 cm. promedio) Bien establecida, sin segar Bien establecido (60 cm alto promedio) Bien establecida, no leñosa, alta (50 cm. Promedio) Bien establecida, sin cortar (28 cms. promedio) Bien establecida, segada (33 cm. promedio) Bien establecida, sin cortar (33 cms. promedio)
C. Moderado	Cynodon dactylon (pasto bermuda) Lespedeza atriata Mezcla gramínea-leguminosas Lolium sp. lespedeza striata Poa pratense	Bien establecido, segado (15 cm. promedio) Bien establecida, sin cortar (28 cms. promedio) Bien establecida sin cortar (15 a 20 cm) Bien esta. floreciente (15 a 30)
D. Bajo	Cynodon dactylon Lespedeza striata Buchloe dactyloides Mezcla gramínea leguminosas como la anterior pero en otoño e invierno Lespedeza sericea	Bien esta. cortando a 7.5 alto Muy bien esta. 19 cm. de alt. Bien esta. sin cor. 7.5 a 15 cm. Bien esta. sin cor. (10 a 12 cm) Muy bien esta. cortada a 5 cm.
E. Muy Bajo	Cynodon dactylon Cynodon dactylon Cynodon dactylon	Bien esta. cortado a 5 cm. Altura Quemado



SOLUCION DE LA FORMULA DE MANNING PARA DESAGUES CON COBERTURA VEGETAL

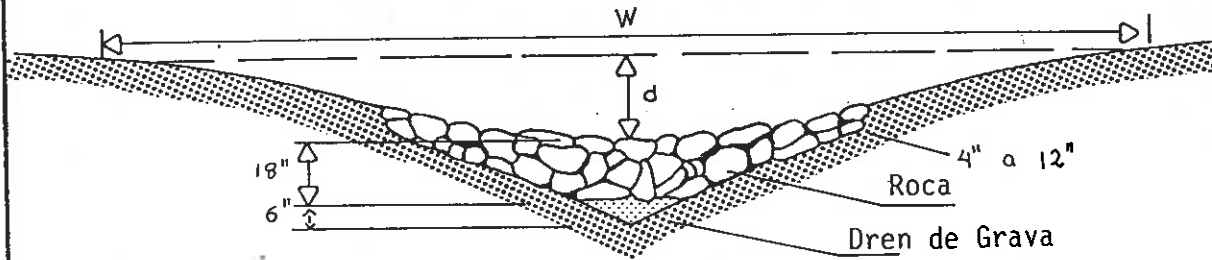


SOLUCION DE LA FORMULA DE MANNING PARA DESAGUES CON COBERTURA VEGETAL

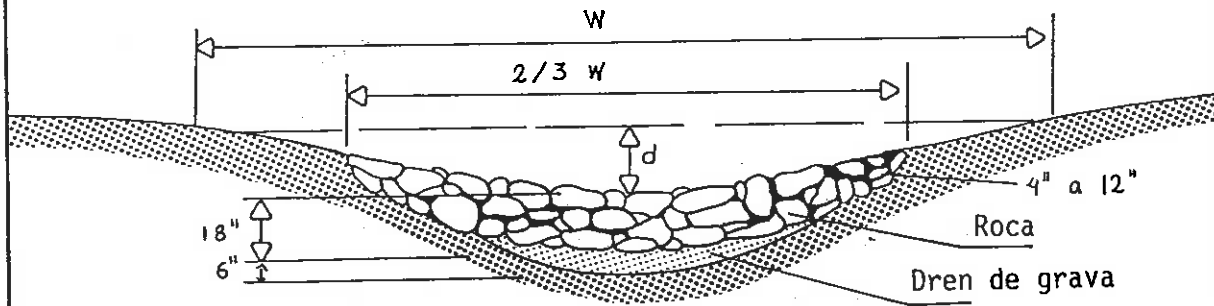


VR Producto de velocidad y radio hidráulico
 RELACION n/VR PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE RETARDATIVIDAD DE COBERTURA VEGETAL

SECCION TRIANGULAR



SECCION PARABOLICA



CANAL VEGETADO CON FONDO CENTRAL REVESTIDO DE PIEDRA
PARA CONTROLAR FLUJOS PERMANENTES

Referencia: U.S. Department of Agriculture,
soil conservation service.

- Con la relación I ----> $VR = 0.315$ aprox.
- Con la relación II ----> $R = 0.21$
- Comprobando ----> $VR = 1.5 \times 0.21 = 0.315 \approx 0.315$
aproximadamente (se acepta si la diferencia es 0.003)

7. Resumiendo valores cálculos y seleccionados

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{seg} \quad R = 0.21 \text{ m} \quad s = 10\%$$

$$V = 1.5 \text{ m}/\text{seg} \quad A = 1.33 \text{ m}^2 \quad n = 0.076$$

A continuación se determinarán los valores para el diseño de la sección, de acuerdo a los principios de la hidráulica fundamental.

7.2.4 Drenes Superficiales y Subterráneos

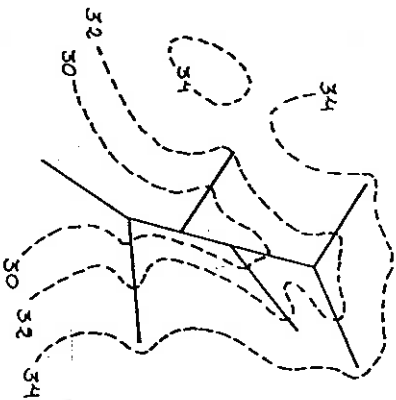
El dren es el cauce natural o artificial abierto o subterráneo, por donde se eliminan los escurrimientos superficiales de las aguas excedentes o sus filtraciones, propiciando su salida de los terrenos ya que de otra manera el agua estancada o el exceso de humedad impedirían el desarrollo de las plantas.

El riego y drenaje en regiones áridas son dos prácticas complementarias. Cuando se riegan grandes extensiones de tierra, por lo menos parte de las mismas deben drenarse. El exceso de agua puede originarse por la aplicación directa de los riegos, por la filtración de vasos, canales y zanjas, o puede llegar al terreno por flujo subterráneo de otras áreas. Si la salinidad es el problema, se aplica exceso de riego y la necesidad de drenaje aumenta.

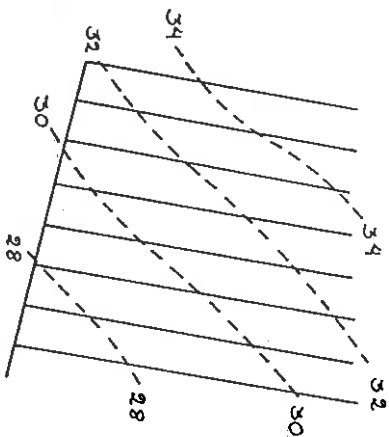
En las regiones húmedas, el drenaje constituye una necesidad aún mayor que en las áridas. Las lluvias en exceso producen encharcamiento en las zonas llanas y bajas. Los terrenos drenados son los más productivos. El problema reside en valorar correctamente la utilización potencial de los terrenos, proyectar e instalar el drenaje más económico en terrenos que los justifican, y mantener un sistema que funcione de tal manera que se produzcan los máximos rendimientos y mayores beneficios.

En la caracterización de condiciones hidromórficas del suelo para drenaje adecuado, o en la selección de suelos para cultivos bajo tales condiciones, es necesario medir y evaluar todas las propiedades físicas e hidrológicas del suelo, que determinan su capacidad para retener y transmitir cantidades adecuadas de aire y humedad. Además, estas medidas deben estar relacionadas con las respuestas de las plantas.

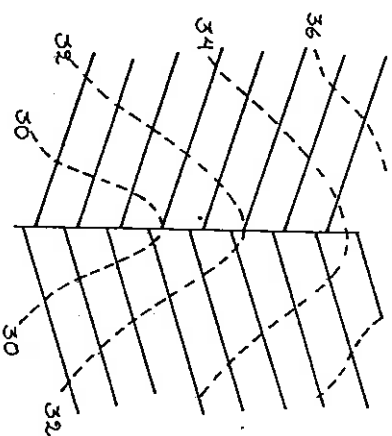
Por ejemplo, un drenaje adecuado beneficia en las siguientes formas:



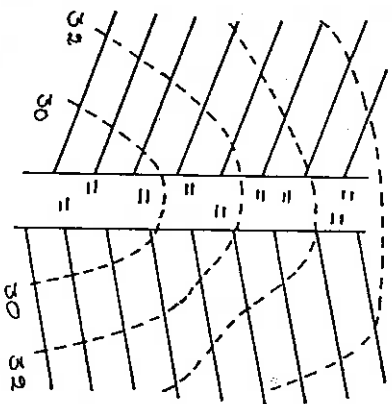
(a) Natural



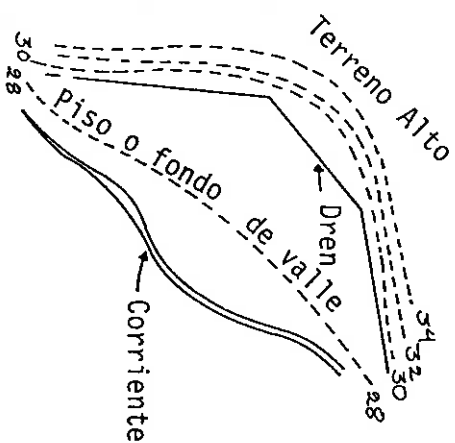
(b) Parrilla



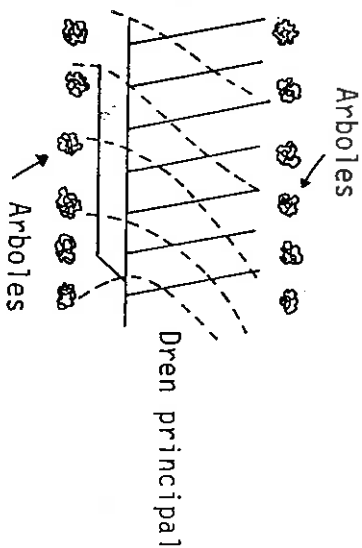
(c) Espina de pescado



(d) Dren doble maestro o Principal



(e) Dren interceptor



(f) Distribución para evadir árboles

ALGUNOS ARREGLOS Y DISTRIBUCIONES DE DRENES

- 1) Facilita la labranza y la siembra temprana
- 2) Aumenta la duración del período de cultivo
- 3) Facilita la aereación del suelo
- 4) Asegura una temperatura más alta en el suelo
- 5) Proporciona a las plantas más humedad aprovechable y elementos nutritivos, al aumentar la profundidad de la zona radicular, favoreciendo su crecimiento.
- 6) Lava las sales en exceso
- 7) Mejora los procesos microbiológicos (bacterias, hongos y otros organismos)
- 8) Reduce la incidencia de plagas y enfermedades
- 9) Mejora las condiciones sanitarias y hace la vida rural más atractiva

Los drenes naturales son los cauces de las corrientes ya establecidas y los artificiales serán los que se construyan para dar salida a los excedentes de agua, de lluvia o de riego, cuyo estancamiento perjudicaría los cultivos.

Los drenes artificiales se subdividen a su vez en abiertos y subterráneos. Los primeros son canales a cielo abierto, y los segundos pueden consistir en tubería colectoras hechas de diversos materiales, enterradas a profundidades convenientes.

Drenes abiertos y subterráneos

Generalmente la necesidad de los drenes se acentúa en terrenos sensiblemente planos sujetos a riego, donde se hace necesaria la apertura de estos conductos. Cuando se aplican riegos pesados y no se construyen drenes se origina el ensalitramiento de los suelos. Así mismo, en zonas de alta pluviosidad y relieve inadecuado para la evacuación del agua o por condiciones de suelos y aspectos de manejo del agua y suelo.

Tanto los drenes abiertos como los subterráneos tienen un alto costo por unidad de superficie beneficiada, siendo mucho más costosos los subterráneos por la instalación profunda de tubos de fabricación especial, los cuales recibirán las filtraciones y las llevarán hacia cauces o salidas previamente localizadas.

Criterios para ubicar drenes

Si se ha determinado la fuente de exceso de agua, la localización del dren se puede establecer con seguridad. Una pérdida de agua en el fondo de un canal sugiere el establecimiento de un dren interceptor adyacente. En general, el sistema de tubos enterrados debe estar orientado según la pendiente del terreno. la salida principal del drenaje está localizada generalmente, en la parte más baja del terreno.

Criterios de profundidad de drenes

La profundidad de los drenes se determina analizando varios factores, como son el cultivo, suelo, hidrología local y razones prácticas y económicas.

En la mayoría de las áreas pantanosas, el nivel de agua debe ser reducido a una profundidad de 1.2 a 1.8 metros para obtener el buen crecimiento de las plantas. En el sistema de tubos, la profundidad del dren se determina, frecuentemente, por la estratificación y localización de capas permeables del suelo. A veces puede ser ventajoso instalar el dren a poca profundidad, para que éste quede en un estrato de suelo más permeable. En un dren interceptor, la profundidad puede determinarse mediante la profundidad a la que corre el agua (Donnan, 1959). La profundidad del sistema algunas veces está determinada por la profundidad de las salidas del drenaje.

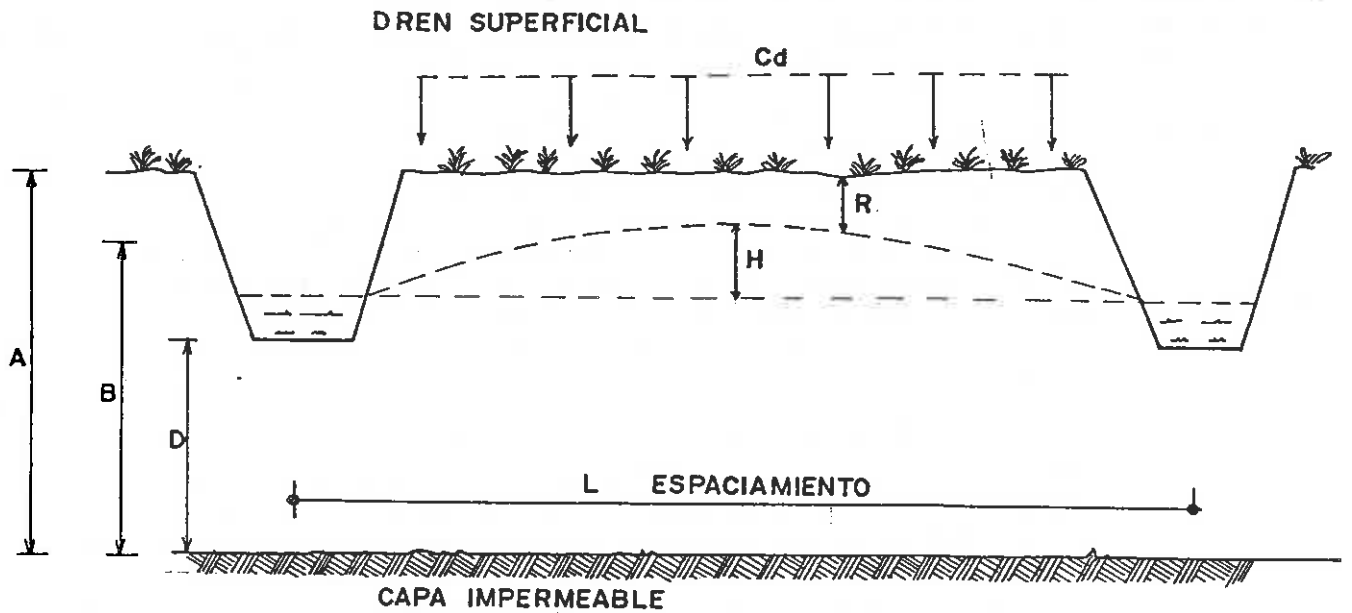
Criterios de espaciamento de drenaje

El espaciamento influye en el funcionamiento del método de drenaje y en la facilidad económica del sistema. Los drenes deben estar espaciados adecuadamente para drenar una superficie pantanosa y mantener a una profundidad deseada el nivel freático. Los drenes abiertos paralelos, o drenes de tubos, son espaciados para que bajen el nivel de agua igualmente en el punto medio entre dos drenes a una profundidad de 1.2 a 1.5 metros desde la superficie del suelo. Esto permite una adecuada profundidad de la zona radicular para el crecimiento de las plantas.

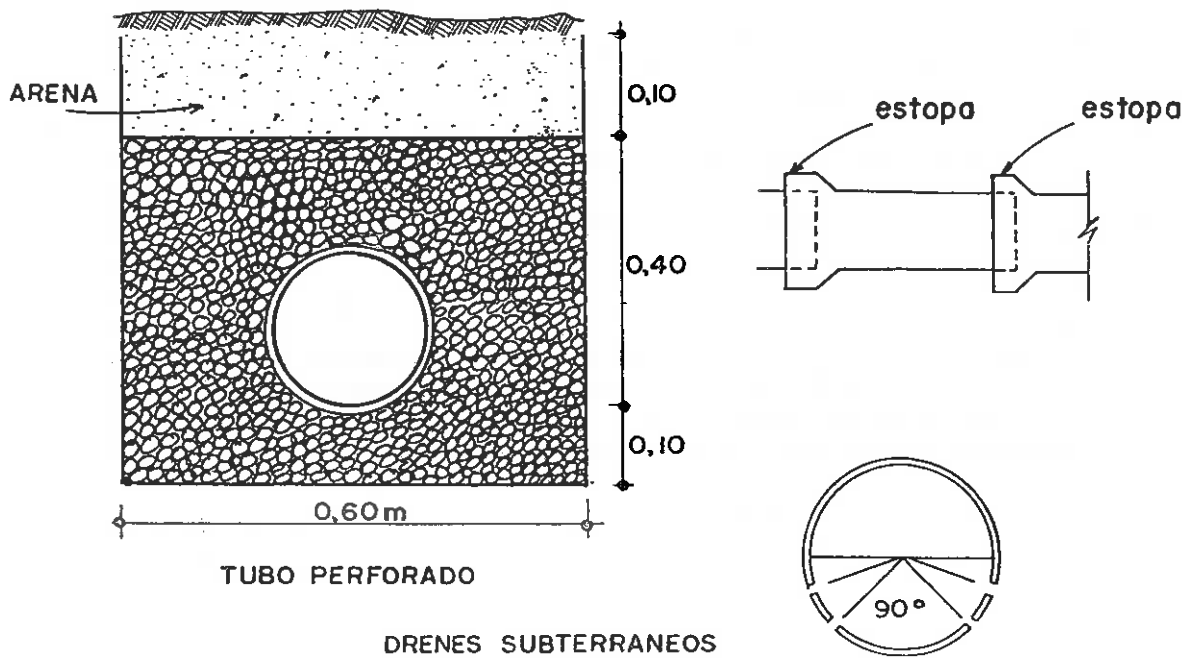
Formulas para calcular el espaciamento de drenaje

Varias fórmulas se han propuesto para calcular el espaciamento de drenaje. Van Schilfgaard (1957) hizo un resumen completo de fórmulas usadas para calcular el espaciamento de líneas de tubo y drenes abiertos. Las fórmulas de Hooghout, Kirkham, Ernst y Globber-Dumm son las que más comunmente se utilizan. Los complicados problemas de drenaje tienen que simplificarse de alguna manera para encontrar formas prácticas de aplicación en el diseño. Para problemas de flujo que ocurren en el drenaje se han derivado soluciones físicas matemáticas que sólo son válidas en condiciones ideales o especiales muy restringidas. La heterogeneidad del suelo, variaciones en conductividad hidráulica y constantes hidrológicas, presencia de estratos impermeables y filtraciones no localizadas, etcétera, son algunos de los varios factores problemáticos que deben atenderse cuando se quiere aplicar la teoría a la práctica.

Para determinar el espaciamento de drenes, generalmente se usan las ecuaciones para condiciones establecidas. La principal razón para su uso es la simplicidad de las ecuaciones, que son más útiles, sobre todo para establecer un programa general y determinar con cierta aproximación, los costos para una etapa inicial. Más aún, se requiere



- A = profundidad a la capa impermeable
- B = profundidad entre nivel freático y capa impermeable
- C_d = coeficiente de drenaje mm/día
- D = profundidad entre nivel del dren y capa impermeable
- H = carga hidráulica en el punto medio entre drenas



buen criterio y experiencia para usar las fórmulas en el diseño de un sistema de drenaje. Todos los métodos requieren información sobre las siguientes condiciones: 1) Conductividad hidráulica, 2) Profundidad de drenes permisibles. 3) Profundidad del estrato impermeable. 4) Gasto y altura del nivel freático, dos factores que siempre se combinan en el criterio para el diseño de drenaje. Esta combinación puede encontrarse en dos formas: a) evaluaciones del gasto y profundidad del nivel freático en campos experimentales o drenes existentes; b) calcular el espaciamiento de drenes con la ayuda de un criterio razonable y, después, determinar el gasto y valores de altura del nivel freático, bajo la influencia de cierto patrón de lluvias o riegos, a diferentes tiempos, con la ayuda de las soluciones para condiciones no establecidas.

La influencia de la profundidad, separación, agua drenada hacia los colectores en dos tipos de perfil muestran que el movimiento del agua subterránea es fundamentalmente horizontal en la dirección de los drenes, en los suelos arenosos y muy permeables, que reposan sobre una capa compacta de arcilla de baja permeabilidad, situada entre 1,8 y 3,0 m por debajo de la superficie. Para simplificar este ejemplo, se considera que la unidad fuente del agua que fluye en dirección a los drenes es el embalse dibujado a la izquierda de la figura, en la superficie del agua se mantiene, así como en el terreno próximo a una distancia de H metros sobre la arcilla. El flujo del

depósito es uniforme y se supone, para simplificar, que el depósito es la única fuente de agua.

Realmente, el agua subterránea afluye al dren por ambos costados. Sea q el caudal de agua que pasa por el interior del colector de longitud L. Según esto, el flujo de agua subterránea por cada lado del dren será:

$$q = av \quad (a)$$

y sustituyendo en la fórmula de Darcy, queda que

$$v = k \frac{hf}{R} = k \frac{(H-h)}{R} \quad (b)$$

Consideremos que la arena saturada se encuentra a una profundidad media entre el depósito y el colector de drenaje; según esto, el área media del suelo saturado a lo largo del colector de longitud L, a través del cual fluye el agua subterránea es:

$$a = \frac{(H + h)}{2} L \quad (c)$$

La cantidad de agua que pasa del depósito a la canalización:

$$i) q = (H+h/2)L \times K(H-h/R) = KL(H^2 - h^2)/2R$$

El caudal que pasa al interior del dren por ambos lados es:

$$ii) Q = 2q = KL (H^2 - h^2)/R$$

$$\text{de donde, } R = KL (H^2 - h^2)/Q$$

Por ejemplo, considerando que el depósito es la única fuente de agua en suelo arenoso, encharcado de 4.5m de profundidad, ¿que separación deberán tener los drenes para extraer del terreno que está a ambos lados de la tubería un caudal, q de 28 lt/seg a lo largo de los 750m de un colector situado a 4.5m de profundidad y en el cual el agua alcanza 0.6m de altura, cuando el nivel freático se halla a 1.5m por debajo de la superficie del terreno, en la línea media entre dos colectores?

$$H = 3.0m \quad L = 750m \quad h = 0.6m \quad q = 28 \text{ lt/seg}$$

$$q = 0.028 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La permeabilidad media en terrenos como el caso es de:

$$K = 0.6 \times 10^{-3} \text{ m/seg}$$

por lo tanto, puesto que la separación entre drenes S , es igual a $2R$, se deduce que:

$$S = (2 \times 0.6 \times 750 \times \{9 - 0.36\}) / (1000 \times 0.028) = 278m$$

Las longitudes H , h y L pueden medirse con exactitud en cualquier momento y q puede ser calculado con un error menor del 5%. Sin embargo, los cálculos para obtener la distancia entre drenes, utilizando la ecuación (c), sólo se pueden considerar como aproximados, puesto que la permeabilidad k , varía extraordinariamente según los terrenos.

En muchos casos el agua de lluvia y la procedente del riego, que percola llegando hasta debajo de la capa freática, puede ser la principal fuente del agua de drenaje en lugar de la que corre horizontalmente desde una fuente distante tal como un embalse.

Puesto que el caudal que entra en la capa de agua subterránea es fundamentalmente vertical, hay que introducir ciertas modificaciones en el análisis anterior.

Anteriormente se ha supuesto que el caudal a mitad de camino entre el embalse y el dren vale q . Sin embargo, cuando el flujo es vertical, el caudal que atraviesa esta media sección es sólo $q/2$. Por tanto, la ecuación (a) se convierte en:

$$q = \frac{k L (H^2 - h^2)}{R} \quad (d)$$

y el caudal en el dren será:

$$Q = \frac{2 k L (H^2 - h^2)}{R} \quad (e)$$

luego R será:

$$R = \frac{2 k L (H^2 - h^2)}{Q} \quad (d)$$

Para los suelos de gran profundidad y permeabilidad aproximadamente uniforme, como la que se ilustra en la figura el agua subterránea afluye radialmente y de todas direcciones hacia el colector. En estas condiciones del suelo y teniendo en cuenta un flujo

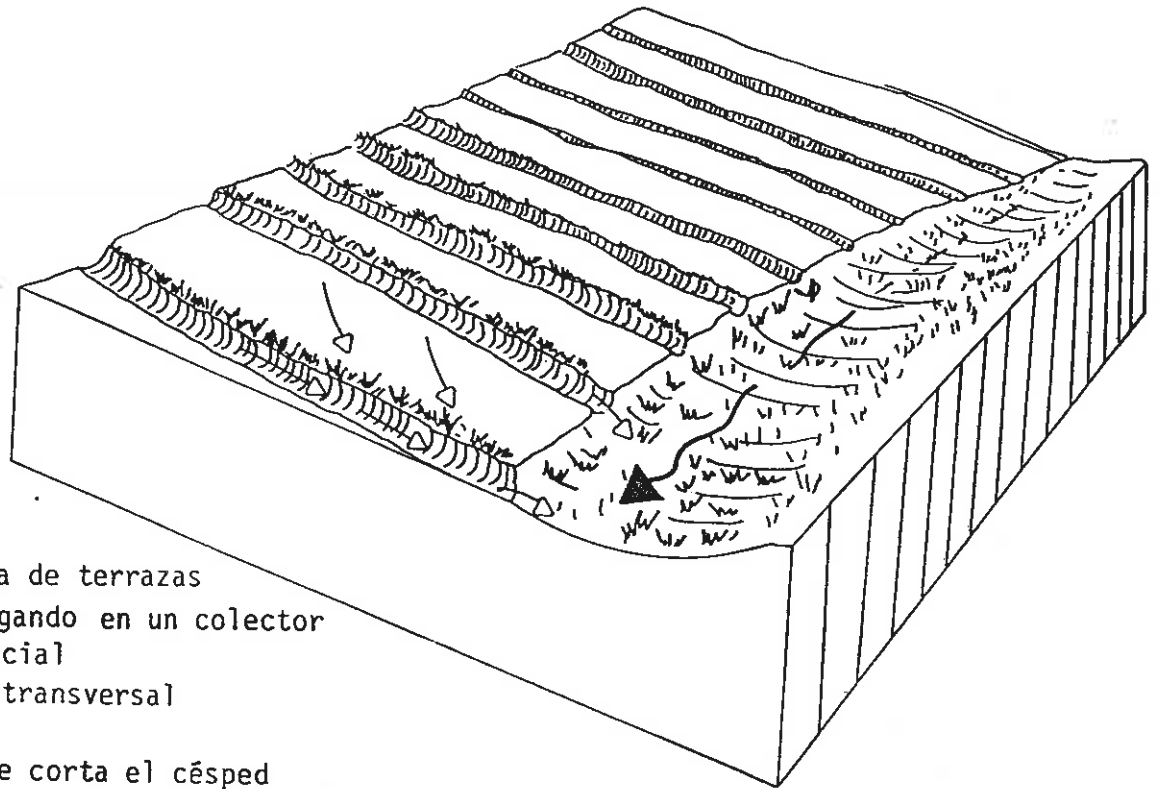
radial a través de una superficie semicircular (un poco menor que el área real) es esencial la utilización del cálculo para derivar la ecuación:

$$Q = \frac{\tau k L (H - h)}{2.3 \log_{10} R/r} = \frac{\tau k L (H-h)}{2.3 \log_{10} S/d}$$

en la cual todos los símbolos excepto S y d tienen el mismo significado que en la ecuación (b). S es el espacio entre los drenes, y d el diámetro de la tubería. Las diferencias fundamentales más importantes de las dos condiciones de flujo de suelo son las siguientes: como primera condición, si h es pequeña comparada con H, el flujo en dirección al dren es proporcional aproximadamente al cuadrado de la profundidad efectiva (H-h), mientras que según la segunda condición el flujo es proporcional a la primera potencia de la profundidad efectiva.

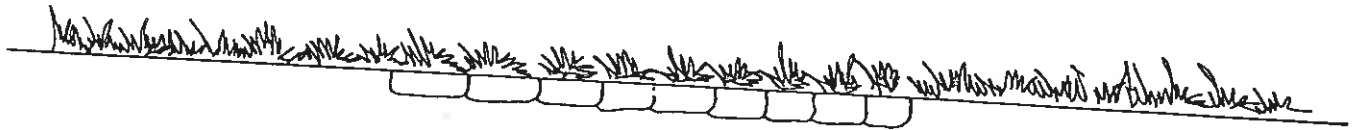
Limitaciones de las Ecuaciones

Las ecuaciones (a) a la (g) se basan en condiciones uniformes de suelo y de fuentes de agua. De la misma forma se ha despreciado la capilaridad sobre la capa de agua y la escorrentía superficial en el dren. Por tanto, las fórmulas empleadas constituyen aproximaciones útiles que deben ser modificadas por la experiencia y aplicadas con juicio crítico. El método de encontrar ecuaciones y el asumir ciertos hechos ayudan a visualizar los procesos físicos implicados en el drenaje y el grado en que cierta variación de las condiciones que se presumen existentes influirán sobre los resultados.

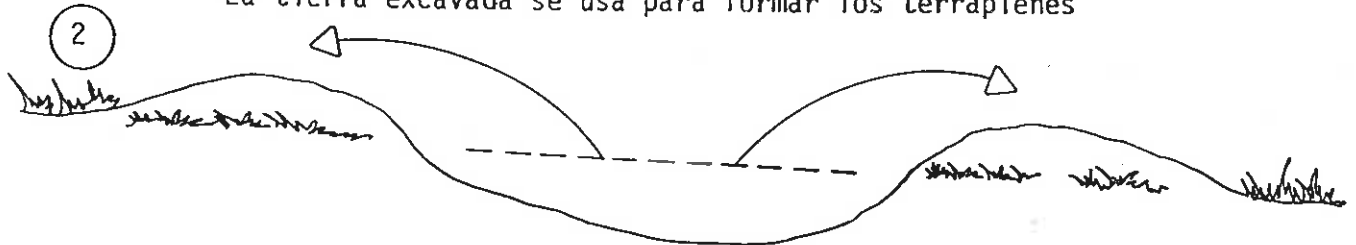


- a) Sistema de terrazas descargando en un colector artificial
- b) Corte transversal

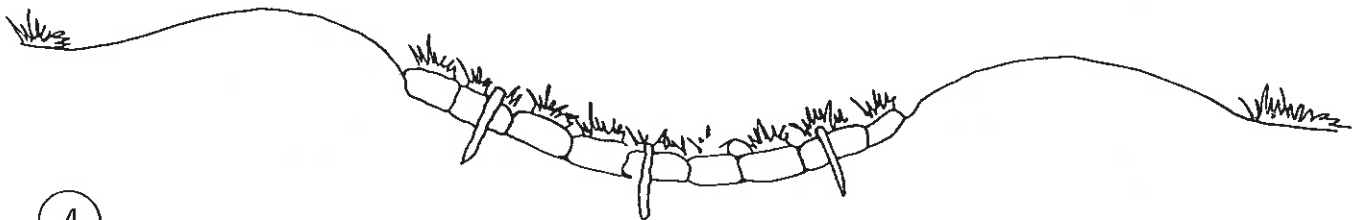
1 Se corta el césped



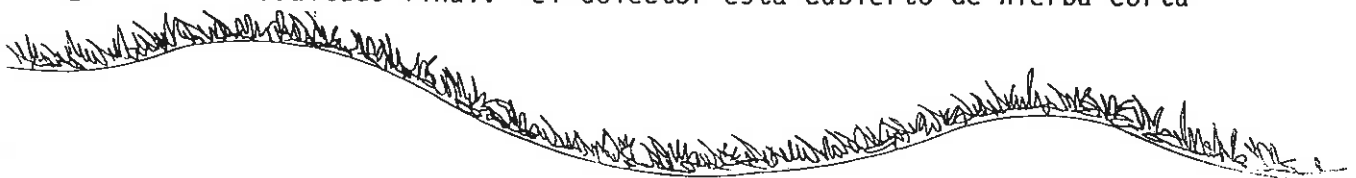
La tierra excavada se usa para formar los terraplenes



3 Se colocan nuevamente los terrones clavando algunos con estacas



4 Resultado final: el colector está cubierto de hierba corta



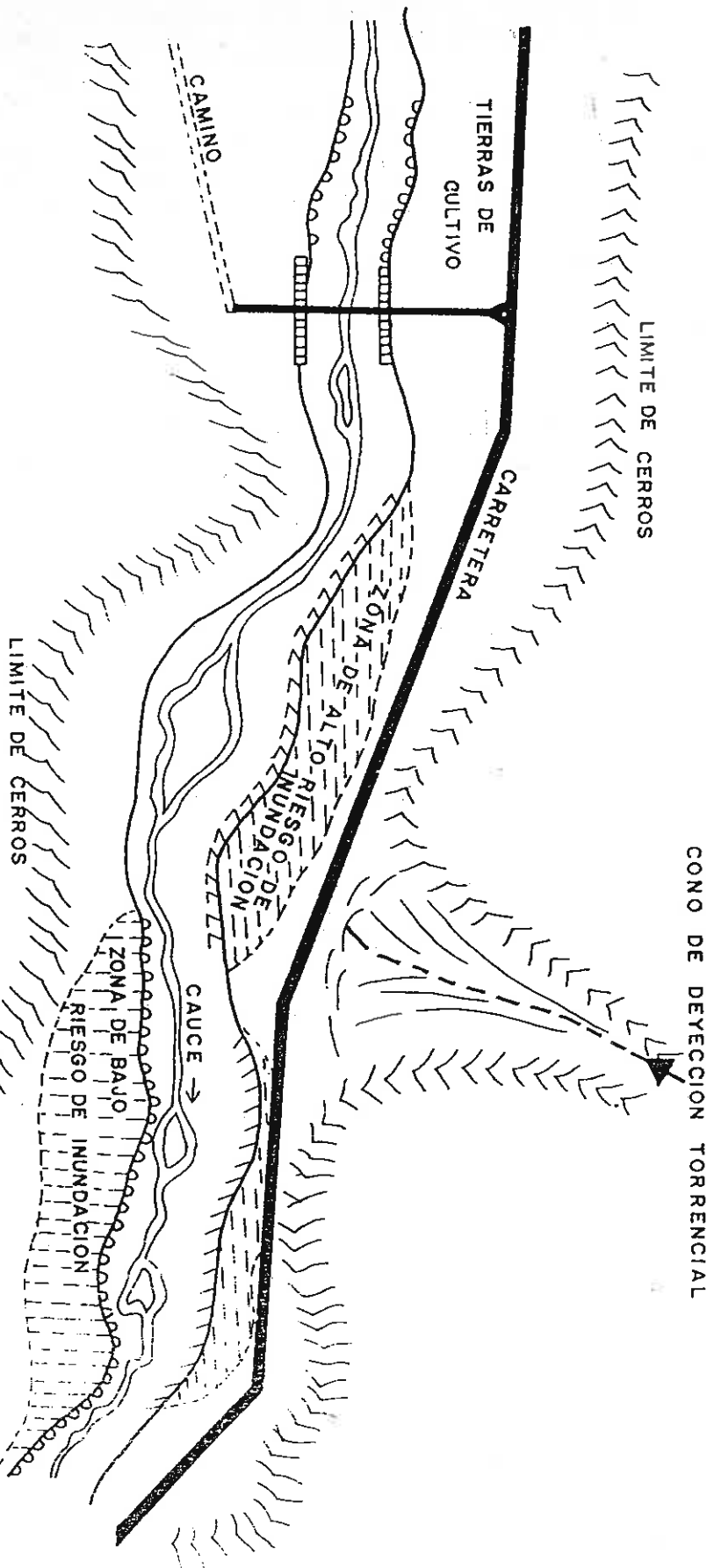


PRINCIPALES TIPOS DE DRENAJE
SUS USOS Y LÍMITES^{1/}

TIPO	FORMA	PROTECCION DEL CANAL	LIMITE DE VELOCIDAD	LIMITE DE LA PENDIENTE	USOS
1. Drenaje empastado (engramado)	Parabólica	Con grama	1.8 m/seg. (6'/seg.)	< 11° (20%)	Para nuevos drenajes o depresiones naturales con pendiente uniforme
2. Drenaje empastado con estructuras de caída	Parabólica	Con grama y concreto o estructura de mampostería	1.8 m/seg. (6'/seg.)	Entre estructuras: 3% Pendiente General < 20° (11%)	Para tipos de drenaje descontinuados
3. Drenaje balastado	Parabólica	Por piedras o por piedras y tela metálica	3 m/seg. (10'/seg.)	< 15° (25%)	Donde las piedras están disponibles
4. Drenaje de concreto prefabricado					Un colchón de agua es usualmente necesario al final
a. Drenaje	Parabólico	Con estructura de concreto y grama		< 20° (30%)	Donde las lluvias son más frecuentes y el flujo constante
b. Rápida en forma V	90° V-rápida	Con estructura de concreto y grama		> 20° (30%)	Lo mismo como arriba y una pendiente muy empinada
5. Drenaje en forma de grada	Parabólico y rectangular	Con grama y concreto o caídas de mampostería	Sobre grama 1.8 m/seg. (6'/seg.)	Pendiente original del terreno < 20° (36%)	Para máquinas de cuatro ruedas y en el centro de la terraza de banco
6. Camino drenado por canal empastado y de concreto	Parabólica	Con grama y piedra balastando	3 m/seg. (10'/seg.)	< 8° (14%)	Para paso de tractor y mecanización de 4 ruedas
7. Camino y rápida compleja	Trapezoide o rectangular	Concreto o estructura de mampostería		> 20° (36%)	Se utiliza como camino en pequeñas fincas en lugares de fuerte pendiente

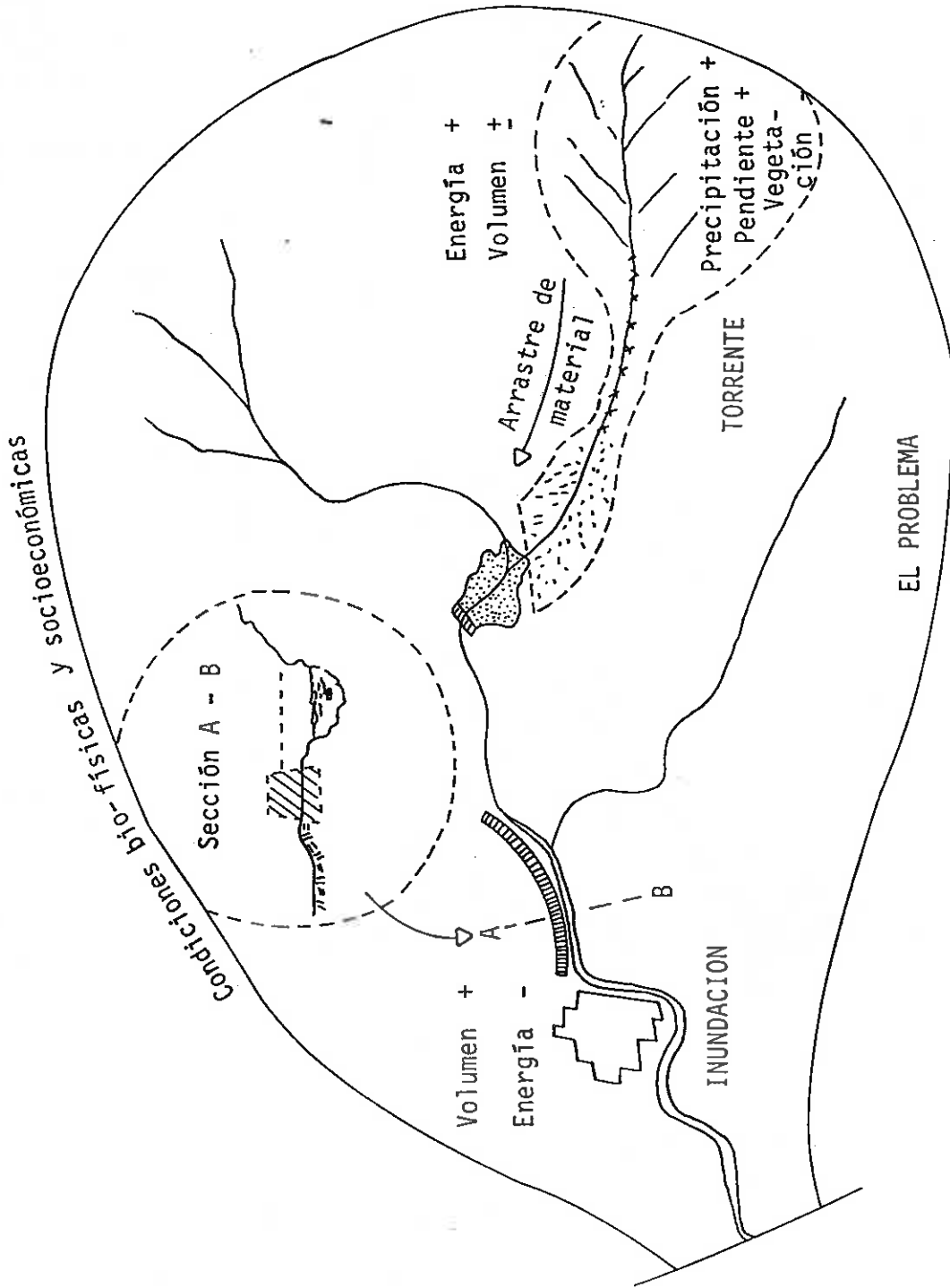
^{1/} Estos límites son aproximaciones para referencias generales. En la práctica, el volumen y velocidad de escorrentía y condiciones del lugar deberán tomarse en consideración para determinar el tipo de drenaje necesario. La mayoría de éstos tipos de drenaje conducen escorrentía de pocas hectáreas.

- AAAAA DEFENSA SIMPLE
- TTTTT DEFENSA REFORZADA
- ZZZZZZ DEFENSA REFORZADA
- ||||| MURO DE CONTENCIÓN



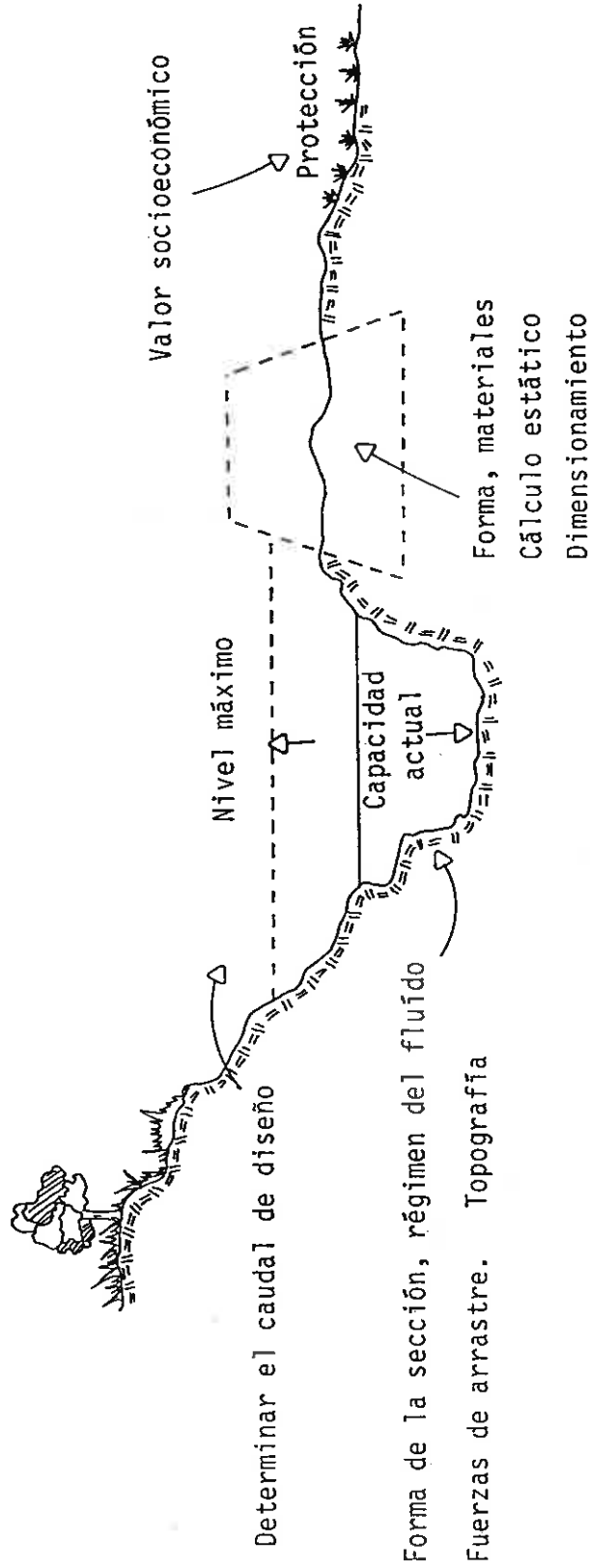
RIESGO DE INUNDACION Y DEFENSA DE RIBERAS

J. Faustino



DEFENSA DE RIBERAS (MARGENES) ~ CONTROL DE TORRENTES

- CONCEPTO DEL DISEÑO
- Análisis Hidrológico
- Análisis Hidráulico
- Análisis estructural
- Análisis socioeconómico



CONTROL DE INUNDACIONES

"V.R" (multiplicación) y hallar el valor correspondiente a "n" en la figura respectiva. Con el promedio de los dos valores repetir la operación hasta que la diferencia entre los dos valores sucesivos de "n", no sea mayor de .003. Registrar el valor "R".

Con este paso se obtienen todos los elementos faltantes para utilizar la fórmula de Manning.

7. Dimensionar el canal de acuerdo a los requerimientos. Determinar su sección transversal, taludes, perfil longitudinal, transiciones, obras de arte y otros detalles. Volver a dimensionar el canal si es necesario.
 8. Graficar los planos de secciones transversales cada 10 ó 20 metros y las secciones longitudinales. Determinar los volúmenes de corte y relleno. Calcular los costos de excavación y de construcción de obras auxiliares. Presentar los planos y la memoria descriptiva para proceder a su ejecución.
 9. Detallar el procedimiento de preparación de suelos, siembra y mantenimiento de la vegetación y el canal incluyendo los costos, personal. Presentar un cronograma global.
- Recomendaciones generales para la ubicación, diseño, construcción y mantenimiento de canales vegetados (Atkins D. y Coyle J.)
1. Los canales vegetados son recomendados para zonas de topografía suave u ondulada como pampas o planicies y preferiblemente deben tener taludes muy inclinados o ser parabólicos.
 2. Ubique si es posible el canal vegetado en un lugar de drenaje natural si la pendiente lo permite. Haga un levantamiento topográfico del canal detallado, incluyendo 20 a 50 metros en ambos márgenes.
 3. Despeje el lugar del canal, de árboles, arbustos y otros obstáculos y dele una forma hidráulica adecuada, uniforme, previo diseño.
 4. Prepare una buena "cama" para las semillas y utilice rastrojos u otros residuos orgánicos de preferencia para protección del suelo durante ese tiempo.
 5. Seleccione un tipo de pasto o mezcla de pastos que más se adecúe a los costos, disponibilidad, clima, suelo y época del año en que se siembra. Utilice una buena calidad de semilla y fertilizantes.

C = Medio

D = Bajo

E = Muy bajo

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Para el diseño se requiere un mapa de la zona, datos climáticos y de suelos y haber ubicado el canal y tener levantamientos topográficos precisos. Luego proseguir como sigue: (Frank Low y M. Paulet, 1967).

1. Utilizando cualquiera de los métodos conocidos para calcular la descarga de diseño (Q) (como el método racional u otro más preciso) hallarla para una frecuencia de 1/10 años.
2. Por medio de la Tabla estimar la velocidad máxima permisible para el tipo de suelo de la zona. Seleccionar el tipo de cobertura vegetal (Tabla) y hallar la velocidad permisible para esa cobertura, por medio de la Tabla. Controlar que la velocidad hallada no exceda 120 a 130% lo indicado para el tipo de suelo respectivo y darle un margen de seguridad de 10 a 20%.
3. Hallar el área de la sección transversal (A) dividiendo la descarga de diseño Q en $m^3/seg.$ por la velocidad permisible seleccionada V en $m/seg.$ Seleccionar el tipo de sección transversal más aparente: Trapezoidal, triangular o parabólico.
4. Seleccionar el grado de retardatividad A, B, C, D ó E, de la tabla respectiva de acuerdo al tipo de vegetación, su condición esperada y el nivel de crecimiento promedio en que se espera mantenerla.
5. Del paso 2 se debe tener registrada una pendiente que está relacionado con la velocidad máxima permisible. Registrarla.
6. Por medio de la figura (fórmula de Manning - Solución), encontrar el valor del Radio Hidráulico "R".

Para ello se deben hacer aproximaciones sucesivas comenzando por un valor de "n" asumido (cercano al valor medio para el grado de retardatividad escogido). Se logra normalmente en tres aproximaciones: utilizando el valor asumido "n" y con los valores de pendiente y velocidad conocidos encontrar "r" en la figura (monograma para la solución de la ecuación de Manning). Calcular

El "grado de retardatividad" es un índice empírico de la resistencia de las plantas al avance del agua. Se agrupa en 5 grados denominados A, B, C, D, y E. Los mismos se obtienen de tablas que relacionan el tipo de cobertura y nivel de crecimiento con los grados. La obtención del valor del coeficiente de Manning se ejecuta por tanteo.

Capacidad de Canales Vegetados

El canal debe ser dimensionado para evacuar el volumen de agua calculado. Para ello se utiliza la conocida fórmula de Manning:

$$Q = A \cdot \frac{V}{n} = A \cdot \frac{1.49 S^{1/2} R^{2/3}}{n}$$

Donde:

Q = caudal o capacidad del canal

V = velocidad en m³/seg

n = coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico A en m²/m

$\frac{A}{P}$

A = área de la sección transversal y

P = perímetro mojado

S = pendiente del canal o gradiente hidráulica

Las dimensiones del canal deben seleccionarse en forma tal que:

$$V = Q/A$$

La solución de la fórmula de Manning es básicamente un problema de tanteo que se simplifica con calculadoras, ábacos, programas computarizados y/o nomogramas.

Tabla (ver mas adelante) para la selección de grados de retardatividad

Grados de retardatividad

A = Muy Alto

B = Alto

que pueda propagarse en campos de sembrío aledaños como plaga; de preferencia, utilizar pastos que sirvan de alimento al ganado y así reducir los costos y/o pérdidas por ocupación de áreas por el canal.

En canales vegetados con un flujo pequeño pero constante que humedece la parte central del mismo y evita el crecimiento de la vegetación, puede instalarse un sistema de drenes subterráneos entubados a lo largo del mismo y escasa profundidad para evitar el deterioro de las plantas. También puede optarse por un empedrado en la parte central.

Velocidad de Diseño

La vegetación tiene una potencia limitada para controlar la erosión. La velocidad permisible en el canal depende del tipo, condición y densidad de la vegetación así como de las características de resistencia a la erosión del suelo. Experimentos que dan los marcos de referencia para seleccionar velocidades permisibles lo cual son velocidades promedio y no las de contacto con el fondo del canal. Si la vegetación forma macollos o grupos compactos dejando zonas sin protección, como mayor referencia, la velocidad permisible debe reducirse en canales vegetados normales y no debe exceder en 120 a 130% la vegetación permisible en canales en tierra.

Coefficiente de Rugosidad

La obtención del coeficiente de rugosidad (n) es el aspecto que más diferencia el cálculo hidráulico de canales vegetados del cálculo de otros canales. Siendo la vegetación un elemento de revestimiento variable y elástico afecta significativamente el coeficiente de rugosidad. El problema se aprecia claramente cuando se relaciona el coeficiente de rugosidad con la profundidad del agua en el canal bajo diferentes condiciones de flujo para un determinado tipo de vegetación. Se observa que a bajas velocidades y descargas el coeficiente de rugosidad es muy alto y aumenta hasta un punto en que, por profundidad de agua y velocidad de flujo, las plantas se inclinan vencida su resistencia. A partir de ese punto el coeficiente de rugosidad baja violentamente hasta alcanzar un nuevo equilibrio. La pendiente del canal y la consiguiente velocidad y profundidad del agua, la longitud y etapa de crecimiento de las plantas, su elasticidad y otros afectan por lo tanto el coeficiente de rugosidad. Para canales en general, los coeficientes de Manning se presentan en tablas.

Para canales vegetados se ha encontrado que el producto de la velocidad por el radio hidráulico (VR) proporciona; cuando es relacionado con "índice de retardación" (Tabla) para cada planta, un medio de hallar un coeficiente de rugosidad aplicable para usar la fórmula de Manning.

$$n = f(VR)$$

- La vegetación del canal previo corto o con pastoreo moderado puede ser utilizado como alimento del ganado y evitar perder grandes áreas para estos fines en épocas secas (Positivo).
- Con una adecuada selección de vegetación y un mantenimiento racional se pueden controlar los efectos negativos.
- Se debe evitar plantas de crecimiento muy rápido o de tallos muy duros.

Se recomienda:

- Resembrar inmediatamente las áreas desprovistas de vegetación pues constituyen focos peligrosos de erosión.
- Los pastos densos y altos pero flexibles o los pastos densos pero cortos constituyen los mejores recubrimientos.
- Los pastos no deben sembrarse en zonas permanentemente húmedas. Para esas zonas debe empedrarse el fondo del lecho o instalar drenes sub-superficiales antes de implantar la vegetación.
- Para zonas semi-áridas deben sembrarse pastos que alcanzan su crecimiento máximo en épocas de avenida y su mínimo en épocas secas. No debe requerir riego para sobrevivir el período seco salvo el primer año.

La forma parabólica específicamente para evacuación de aguas en zonas planas inundables, ofrece varias ventajas. Una de ellas es que la sección puede ser muy ancha superando fácilmente los 10 a 15 metros y de poca profundidad. Esto evita la necesidad de construir puentes para vehículos, personas y ganado, permite el pastoreo de ganado en épocas secas y el buen mantenimiento de los pastos; también reduce el problema de colapso de taludes y efectos de subsidencias.

La sección parabólica o triangular pero con taludes de 4 a 1 o más inclinados, permiten también el uso para su construcción de maquinaria más fácilmente obtenible como tractores con implementos de labranza y/o el uso de mano de obra con herramientas manuales.

Tipo de vegetación

El suelo y las condiciones climáticas son los factores principales iniciales que se deben considerar para la selección del tipo de vegetación de revestimiento. A continuación se debe tener en cuenta la duración, cantidad y velocidad de la escorrentía así como el efecto de la vegetación en el coeficiente de Manning, lo que constituye un aspecto importante escoger vegetación de fácil implantación y crecimiento uniforme en altura y área, evitando que dejen zonas libres de protección. Debe evitarse sembrar vegetación

Cálculo de Escorrentía

Si no se tiene registros de descarga se debe calcular la misma en forma indirecta. Para el cálculo de la escorrentía se debe contar con registros de precipitación de la zona y áreas de las cuencas que contribuyen agua al canal y coeficientes de escurrimiento de esas mismas áreas. Con estos datos puede utilizarse alguno de los diferentes métodos de cálculo de descarga que se encuentran en textos de hidrología. Para áreas de hasta 50 Ha. puede utilizarse el Método Racional. La frecuencia o período de retorno normalmente utilizado para la determinación de la descarga de diseño es de 1/10 años. Para canales vegetados relativamente largos debe calcularse la descarga de diferentes tramos y dimensionar proporcionalmente las secciones del canal, transiciones y otras variantes como caídas o rápidas.

Forma del Canal

La sección transversal de un canal, en el momento de su construcción puede ser parabólica, trapezoidal, triangular, rectangular. La sección parabólica es la que más se aproxima a la sección final de trabajo. Las secciones trapezoidales y triangulares, tienden a convertirse, por erosión y deposición, en sección parabólicas.

La selección de la forma de la sección del canal es función de los lugares de evacuación, equipo de construcción, profundidad de suelos, y tipo de suelos que influyen la selección del talud.

Aspectos positivos y negativos de la vegetación como elemento de revestimiento de canales (basado en Kinori, B.Z.)

- La vegetación ocupa parte de la sección transversal reduciendo la sección transversal efectiva del área (Negativo).
- La vegetación puede favorecer y ocultar la deposición de sedimentos transportados por el agua lo que reduce la sección del canal paulatinamente (Negativo).
- La vegetación cambia la rugosidad del canal variándola de acuerdo al crecimiento de la planta y velocidad y profundidad del flujo. Efecto positivo o negativo.
- Las raíces de las plantas y las plantas mismas refuerzan la resistencia del suelo o la erosión reduciendo considerablemente el peligro de socavamiento (Positivo).

Aplicación de la fórmula de Hooghoudt para el espaciamiento de drenes

Uno de los procedimientos más utilizados para analizar el espaciamiento del drenaje, es el desarrollo de la ecuación de Hooghoudt el cual considera que la recarga es constante e igual en un sistema continuo en la red de drenaje abierto o de tubería enterrada.

Ecuación:

$$L^2 = \frac{4 k (2D + H) H}{Cd}$$

L = espaciamiento entre drenes (mts)

k = conductividad hidráulica (m/día)

D = Profundidad a la capa impermeable a partir de nivel (plantilla) del dren

H = Carga hidráulica en el punto medio entre drenes

Cd= Coeficiente de drenaje m ó mm/día

Esta fórmula es aplicable a suelos homogéneos, pero podría utilizarse cuando:

- El fondo de los drenes se localiza en la interface de dos estratos de diferente conductividad hidráulica

- El fondo de los drenes se localiza abajo de esta interfase.

Los sistemas de drenaje abierto suelen ser económicos en cuanto a su construcción, pero requieren mucho mantenimiento (mano de obra) por el contrario, los drenes entubados son muy costosos, pero requieren menos inversiones para mantenimiento.

Drenaje como Sistema

Un sistema de drenaje consiste de tres componentes principales:

. Sistema de colección - Camellones, zanjas y/o canales que recogen el agua superficial o del drenaje interno del perfil.

. Sistema de evacuación - Zanjas o canales superficiales que reciben el agua del sistema de colección y que la conduce hasta el desagadero.

. Desaguadero - El punto terminal del sistema de drenaje donde desemboca en algún cauce natural.

Las dimensiones y especificaciones de los distintos componentes del sistema dependen de las características del suelo, la topografía de la parcela y la cantidad de agua para evacuar.

Sistema de Drenaje Superficial

El drenaje superficial, puede ser de acuerdo a la distribución de las zanjas:

- . Paralelo - Terrenos casi planos de topografía uniforme.
- . Localizado - Terrenos relativamente planos de topografía ondulada.
- . Pendiente cruzada - Terrenos moderadamente inclinados de topografía irregular.

Las zanjas o canales deben construirse en forma igual a las zanjas de ladera con sección transversal trapezoidal. La profundidad depende del distanciamiento entre obras, la profundidad de la capa de agua libre, la bajada en el nivel de agua deseada y la tasa de drenaje del suelo. Generalmente, es más económico construir un mayor número de zanjas superficiales (50 a 75 cm) que un número menor de zanjas profundas (<75 cm). Así como con todas las zanjas, los cortes deben tener un talud adecuado (relación de 1:1 a 0.75:1).

El desnivel de los desagües también depende de las condiciones del drenaje del suelo. En parcelas pequeñas (< 1 ha), se puede usar desniveles de 0.5 a 1%. En drenajes de mayor caudal se recomienda menos pendiente ($\pm 0.5\%$), mientras se recomienda un incremento en el desnivel ($\pm 1\%$) en los drenajes más pequeños para asegurar el flujo continuo.

El distanciamiento de las zanjas también depende de las características de drenaje del suelo. En general, entre más lento sea el drenaje natural del suelo o más saturado está el suelo, más cerca deben instalarse los drenajes.

Sistema Paralelo

El drenaje paralelo consiste de zanjas en forma paralela, a una distancia constante entre una y otra. La distancia actual entre zanjas puede variar según necesidad. Se adapta mejor este sistema de drenaje en terrenos casi planos donde la pendiente es muy uniforme. Las zanjas del sistema de evacuación (secundarias), deben ser de mayor profundidad que las zanjas del sistema de colección (primarias) para permitir el flujo libre y evitar el estancamiento del agua.

Sistema Localizado

El drenaje localizado consiste de zanjas que drenan las depresiones del terreno donde existe encharcamiento. Estas zanjas no siguen un espaciamiento definido, sino que se ubican según el declive natural del terreno y la ubicación de las depresiones. Este sistema de drenaje es recomendable en terrenos donde la topografía es irregular pero relativamente plana y donde existen depresiones naturales dispersas que encharcan. Es importante que las zanjas pasen por todo el largo de los encharcamientos para asegurar un drenaje completo.

Sistema de Pendiente Cruzada

El drenaje de pendiente cruzada, consiste en uno o más canales de desviación, perpendiculares a la pendiente, que interceptan y evacúan el agua que viene de zonas más arriba. Este sistema de drenaje es recomendable en terrenos con pendiente moderada a fuerte, cuyo mal drenaje se debe a la baja permeabilidad del suelo. Cuando la parcela a drenar está contigua a una falda, se recomienda construir una zanja al pie de la ladera para interceptar el agua que viene desde la pendiente arriba.

Protección y Mantenimiento

Protección

El trincho o canal debe plantarse con pastos bajos de tipo rizoma o cubrirse parcialmente con gravilla, dependiendo de las velocidades de diseño. La parte inclinada abajo del terraplén podría plantarse igualmente con pastos de tipo rizoma, para fines de protección.

Mantenimiento

Las acumulaciones de materiales en el trincho o canal deben removerse regularmente, para garantizar un libre paso del agua permanentemente. Cualquier arbusto o planta de regular tamaño debe sacarse del terraplén, trincho o canal.

7.2.5 Zanjas de Drenaje

Estas consisten en una excavación ligeramente profunda, construida a través del terreno, para reducir la percolación o para interceptar, en particular, el flujo subterráneo. Las zanjas pueden construirse en tierra, piedra suelta u otros materiales, dependiendo de los recursos y necesidades. Se instalan en regiones de alta precipitación o bajo condiciones menores pero de suelos impermeables o por necesidades de los cultivos.

Criterios de selección

- Para un gran volumen de flujo subterráneo se utiliza un canal de drenaje o de interceptación.
- Para una percolación pequeña pero constante se emplea un canal en relleno o una zanja de drenaje.

Objetivos

- Interceptar el flujo subterráneo, principalmente.
- Reducir el daño del agua que percola, las fallas en la ladera y los deslizamientos de tierra, causados por la humedad permanente.
- Impedir el avance de cabecera de una cárcava, por el agua subterránea confinada en algún sustrato impermeable.

Localización y requisitos para su empleo

- En los lugares donde el daño del agua de percolación es notable.
- Para proteger los piedemontes o de las tierras bajas, del flujo subterráneo constante o intermitente.
- En la parte superior de un área de deslizamientos o en la cabecera de una cárcava.
- Inmediatamente debajo de un área de afloramiento de agua.

Especificaciones para el diseño

Del tipo drenaje. La profundidad de la zanja debe ser suficiente para interceptar el flujo subterráneo. Toda la zanja, o al menos la pared del lado sobre la pendiente superior y el lecho, deben construirse con roca suelta o piedras para evitar su deslizamiento por la ladera pendiente abajo. En todos los otros aspectos, el diseño es similar a los canales de desviación.

De tipo relleno. Estos pueden ser mucho más angostos que los de tipo drenaje. La zanja debe interceptar el agua a una profundidad suficiente para impedir su percolación. Pueden emplearse para el relleno materiales como la arcilla, rocas con cemento, y de ser necesario, concreto, con el fin de interceptar el agua de percolación. La profundidad del relleno es usualmente mayor que el nivel de percolación. El gradiente de zanja es menor que en el de tipo drenaje, en razón a que no se va a drenar mucha agua. Usualmente es adecuado un gradiente menor del 1%. Cualquier captación de escorrentía superficial debe drenarse apropiadamente.

Diagramas y Tablas

A continuación se muestran las secciones transversales de dos zanjas de drenaje; una revestida totalmente y otra en forma parcial.

En la tabla de presentan diferentes tipos de zanjas en piedra y el volumen de materiales requerido para construir un metro cuadrado.

Trazado y procedimiento para el levantamiento

Se emplean los mismos principios y procedimientos para los casos de canales y drenes. La profundidad del corte requerido para interceptar el agua de percolación, etc., puede determinarse mediante un reconocimiento de campo utilizando un barreno de suelos.

DIFERENTES TIPOS DE ZANJAS EN PIEDRA Y VOLUMEN DE MATERIALES PARA CONSTRUIR UN METRO CUADRADO

Tipo de zanja	Materiales necesarios	Diámetro de las piedras (cm)			
		30	25	20	15
piedras únicamente	piedras (m ³)	0.30	0.25	0.20	0.15
	gravilla (m ³)	0.070	0.065	0.055	0.040
relleno de las grietas con concreto o con mezcla de arena y cemento	piedras (m ³)	0.30	0.25	0.20	0.15
	concreto o mezcla de arena y cemento (m ³)	0.085	0.075	0.065	0.045
relleno inicial de las grietas con gravilla y luego con concreto o con mezcla de arena y cemento	piedras (m ³)	0.30	0.25	0.20	0.15
	gravilla (m ³)	0.05	0.045	0.040	0.030
	concreto o mezcla de arena y cemento (m ³)	0.035	0.030	0.025	0.015

El volumen de materiales necesarios para hacer el concreto o la mezcla de arena y cemento es como sigue:

Tipo	Proporción	Materiales necesarios		
		Cemento (bolsas)*	arena (m ³)	gravilla (m ³)
mezcla de cemento	1:3	10.00	1.00	---
	1:4	8.00	1.00	---
concreto	1:3.5:7	3.95	0.48	0.94
	1:4:8	3.45	0.48	0.95

*Cada bolsa pesa 50 kg

Procedimientos de construcción

Zanja de piedra y de tipo relleno. La zanja de tierra puede excavarse con máquina o manualmente. El suelo removido debe colocarse inmediatamente sobre el lado inferior de la pendiente para formar el terraplén. La zanja de tipo relleno debe hacerse capa por capa y alcanzar una profundidad más allá del nivel de percolación.

Zanja de piedra y de tipo drenaje. Debe excavarse una sección transversal mayor que la de diseño, con el fin de acomodar el revestimiento de piedra. Las piedras deben pulirse de antemano y usarse sólo las de tamaño uniforme y de consistencia sólida. Las piedras se colocan capa por capa, comenzando desde el fondo de la pendiente. Las caras longitudinales de las piedras no deben quedar en la pared exterior y las caras más angostas deben ir colocadas una contra la otra.

Se usan piedras pequeñas para rellenar las grietas y para estabilizar la capa de revestimiento. Cuando las piedras se pegan con concreto, deben ir empotradas en la fundación y siempre deben mojarse antes de colocarlas en su puesto. Si la zanja va revestida con concreto, deben colocarse pequeños orificios o tubos para permitir el drenaje del agua.

Rendimiento físico

El volumen de tierra que puede removerse es alrededor de 2 a 3 metros cúbicos por hombre-día, dependiendo de la profundidad del trincho y del tipo de suelo. El rendimiento de la operación de revestimiento con piedras, depende del material disponible y de la habilidad del operario. Tres hombres pueden completar 15 metros cuadrados en un día.

Relaciones de costos

Una zanja de tierra es mucho más barata que una revestida con piedra. En los de tipo drenaje, puede ser más económico y práctico revestir sólo la cara del lado de la pendiente superior y/o del lecho. Una zanja de tierra suelo ser suficiente para el de tipo relleno. Los diferentes costos dependen ampliamente de la clase de material de relleno y del método empleado.

Operación y manejo

En las zanjas de tipo drenaje deben situarse los desagües en sitios seguros. Las zanjas, una vez revestidas, se deberán humedecer y cubrir al menos durante los tres días siguientes a su terminación.

Protección y mantenimiento

Debe retirarse de la zanja cualquier depósito, obstáculo o vegetación con excesivo crecimiento. Cualquier desprendimiento de las paredes debe repararse inmediatamente.

7.2.6 Diseño de Alcantarillas

En los sistemas de drenaje es conveniente en muchos casos complementarse haciendo uso de las alcantarillas. Estas son estructuras de acero corrugado para drenaje que da una solución eficiente y económica, también pueden emplearse otros materiales. La mayoría de veces se les coloca debajo de ferrocarriles, carreteras, calles urbanas y aeropuertos.

La alcantarilla es un tipo de estructura de conducción utilizada para evacuar agua de un lugar a otro.

Elementos de diseño. Consiste en la elección del diámetro, para lo cual se determina:

- La condición de flujo: control de flujo en la salida de alcantarilla
- El material de la alcantarilla: Ejm. Metal corrugado
- Protección en la entrada de la alcantarilla

Ejemplo: Sean los datos del diseño:

$Q = \text{caudal} = 20 \text{ pies}^3/\text{seg}$
 $L = 12 \text{ m (40')}$
 $S_o = 0.002$
 $H_{wMAX} = 1.21 \text{ m}$
 $T_w = 0.9 \text{ m}$
 $K_e = 0.9$
 $n' = 0.030$

Donde:

$Q = \text{caudal}$
 $L = \text{longitud de la alcantarilla}$
 $S_o = \text{pendiente de la alcantarilla}$
 $H_{wMax} = \text{altura máxima de la línea de enrgía}$
 $K_e = \text{coeficiente de pérdida a la entrada de la alcantarilla.}$
 $T_w = \text{nivel del agua a la salida de la alcantarilla}$

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA ALCANTARILLA

Asumir que $T_w = h_o$

Calcular el valor de la carga total H al pasar el agua a través de la alcantarilla, por medio de la fórmula:

$$H = \{1 + K_e + (29n^2L)/R_n^{4/3}\} (Q/A)^2 \times 1/2g$$

Donde:

H = pérdida de carga total (pies)

K_e = coeficiente de pérdida a la entrada de la alcantarilla (metal corrugado $n' = 0.030$)

L = longitud de la alcantarilla en pies

R_n = radio hidráulico

También se puede calcular H usando un nomograma, asumir un diámetro, rugosidad n y hacer un cambio en la longitud de alcantarilla según la fórmula:

$$L' = (n'/n)^2 L$$

Calcular el valor de la altura máxima de la línea de energía:

$$H_w = H + h_o - L \times S_o$$

Si H_w es mayor que el valor inicialmente dado, hacer los ajustes necesarios con el diámetro y repetir calculos hasta que H_w calculado sea semejante a H_w dado.

7.2.7 Vertimiento de aguas

No se debe olvidar que el vertimiento (o entrega) último de las aguas, deberá conducirse de manera adecuada por las vías naturales existentes (o en ocasiones habrá que recurrir a construirlas) con el objeto de llevar el agua hacia cursos o fuentes permanentes (ríos, arroyos, cañadas, lagunas). Los desagües, por seguir generalmente el sentido de la pendiente, deberán estar bien empastados y contar a intervalos con defensas apropiadas (saltos, empalizadas, diques, barreras). En ocasiones es necesario construir estructuras especiales, tales como (tuberías y deslizaderos).

En el manejo de las corrientes de agua el sistema deberá ser integral, partiendo de las tierras más elevadas y abarcando, si fuere necesario, varias propiedades vecinas; en muchos casos la sistematización deberá incluir todos los campos de una cuenca natural. De esta manera, se disminuyen los perjuicios que puedan ocasionar las avenidas de aguas provenientes de las áreas más altas, sobre las situadas en niveles inferiores.

Es muy común que un agricultor, al construir los desagües, se olvide del vecino y vierta las aguas en la propiedad contigua. Esto también ocurre muy a menudo con los desagües de las carreteras y caminos vecinales, que vierten aguas a los predios que están a lado

y lado de ellos sin ningún criterio y sin considerar los daños que causen.

Cuando el cultivo en contorno o en fajas transversales prevee la construcción de acequias de ladera o canales de desviación, es imprescindible planear junto con estas prácticas, el sistema adecuado para eliminar el agua. Estas estructuras consisten de un simple vertedero. Una caída con vertedero consiste de un simple vertedero y un colchón disipador en la parte delantera para proteger el fondo contra la caída del agua. las caídas con vertedero también se usan para proteger las cabeceras de cárcavas que tienen una profundidad hasta más o menos cuatro metros. Pueden usarse también para estabilizar la gradiente del fondo de la cárcava. En este caso se construye en una serie en forma de escalón y situadas de tal manera que el nivel del aliviadero de cada estructura coincida con el del lecho inmediatamente debajo de la estructura anterior.

La capacidad de una caída con vertedero se determina mediante la aplicación de la siguiente fórmula general para los vertederos de cresta ancha rectangular:

$$Q = 0.0184 (L-0.2h) h^{3/2}$$

Donde:

Q = descarga en litros/seg;
L = Longitud de la cresta en cms;
h = altura del flujo

La boca de entrada debe tener un borde libre de por lo menos 15 cms. arriba de h.

Para el diseño del colchón disipador, debe ponerse especial atención, a fin de asegurar la disipación completa de la energía antes que el agua entre en el canal. La excesiva erosión del lecho, aguas abajo, pone en peligro la estructura así como perjudica su función.

La longitud del colchón disipador está dado por:

$$L_a = 0.75 (2H + d)$$

Donde:

L_a = la longitud del colchón en cms;
H = la altura de la cresta del vertedero arriba del colchón en cms
d = la altura del flujo en la cresta + el borde libre en cms

7.2.8 Cajas disipadoras y pequeñas caídas

Cajas disipadoras, son estructuras muy sencillas que van asociadas a pequeños canales de drenaje; se construyen cada vez que hay un cambio de dirección del "canal" o un cambio en la pendiente. Son pequeñas excavaciones en forma de cuadrilátero de lado variable (40 cm - 1m). Según la dimensión de la sección del "canal", la profundidad puede ser hasta de 50 cm en promedio. El distanciamiento depende de la pendiente y volumen de escorrentía del canal. En la entrada o garganta de la caja debe acondicionarse una pendiente de 1:1 a 1:2. También se puede proteger toda la excavación mediante una "jaula" de madera (estacas alrededor del cuadrilátero). La construcción se complementa en toda caso; con el empedrado de la base del canal.

PEQUEÑAS CAIDAS

Caídas con boca de entrada

Una caída con boca de entrada es una estructura que conduce el agua a través de un terraplén, ya sea una represa o viaducto de tierra. Consiste de una sección vertical aguas arriba de la presa, llamada la entrada, la cual está conectada a un conducto de tubería que pasa a través del terraplén. Posee una tubería de descarga que conduce el agua a una suficiente distancia aguas abajo para prevenir daños al terraplén.

La entrada puede tener forma rectangular o de arco; la boca de descarga generalmente se construye en voladizo.

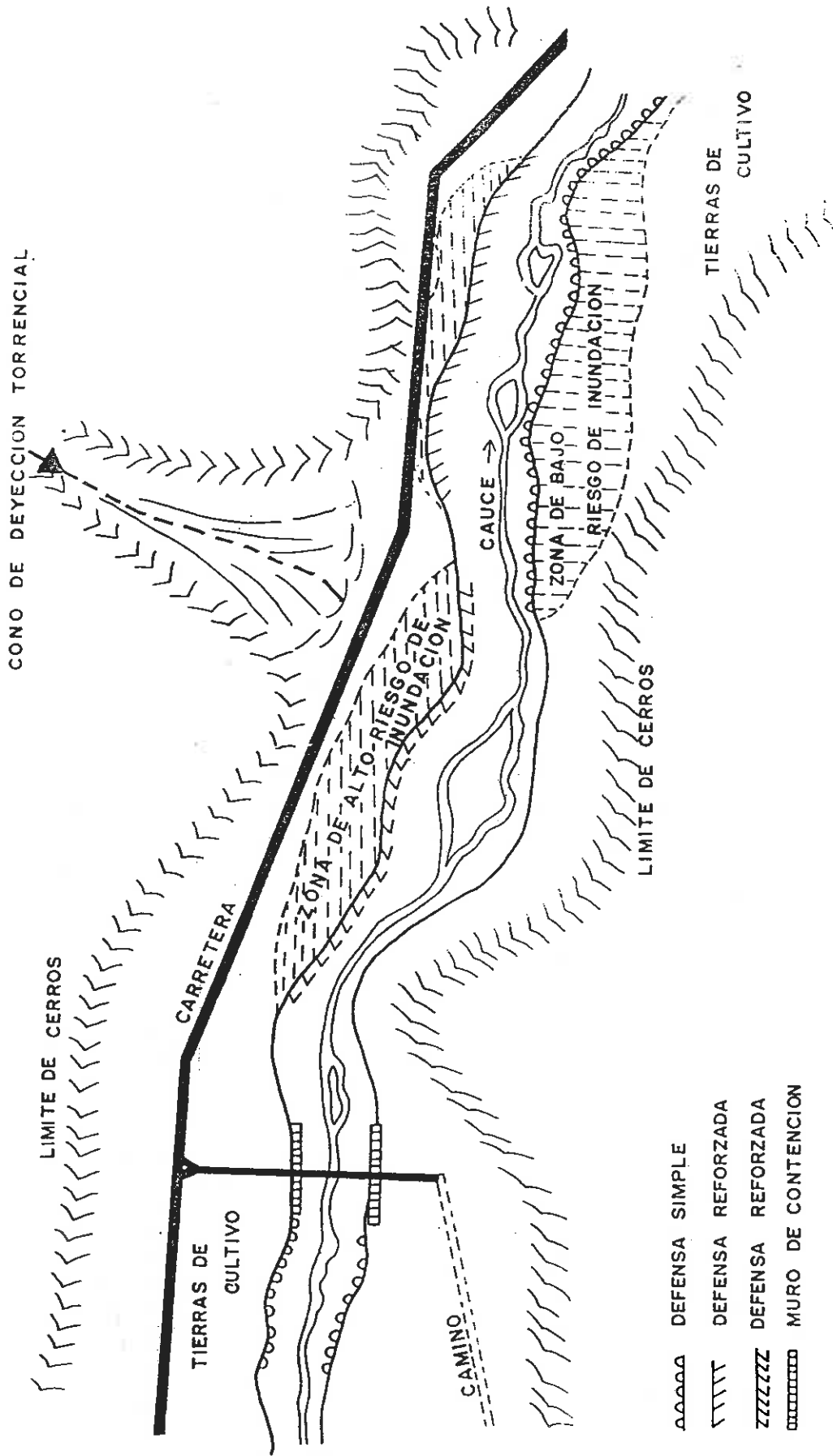
Las caídas con boca de entrada son ideales para cumplir tanto con la estabilización de la gradiente del lecho como para controlar la cabecera de las cárcavas, cuando estas han alcanzado una profundidad de más de 3 ó 4 mts.

Las Rápidas

Una rápida es un conducto abierto de sección rectangular con un gran desnivel, que conduce el agua de la parte alta a la baja. Se construye de concreto armado y se usa para conducir el agua de alturas más grandes que las que son normalmente factibles con las caídas.

Las rápidas deben construirse sobre zapatas, sobre terreno sin disturbar, o sobre un terreno previamente compactado. Las rápidas son susceptibles de moverse, debido a las contracciones y dilataciones por efecto del congelamiento y del calor; por este motivo, cada cierto tramo deben dejarse juntas de expansión a fin de absorber las fuerzas que actúan sobre la estructura que podrían causar su rompimiento. Las rápidas se diseñan para satisfacer los requerimientos específicos del lugar.

7.2.9 Defensas de riberas y control de torrentes

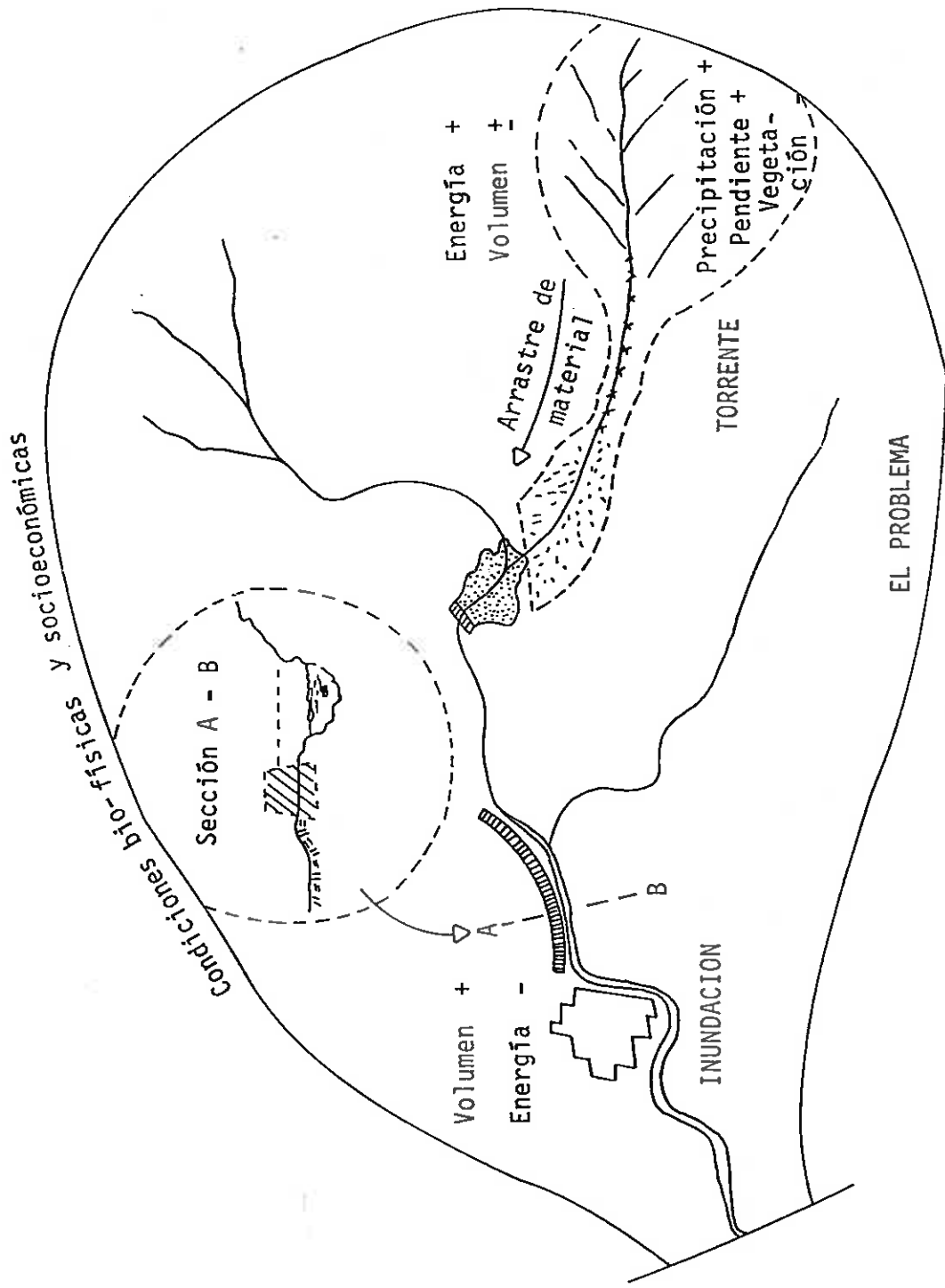


RIESGO DE INUNDACION Y DEFENSA DE RIBERAS

J. Faustino

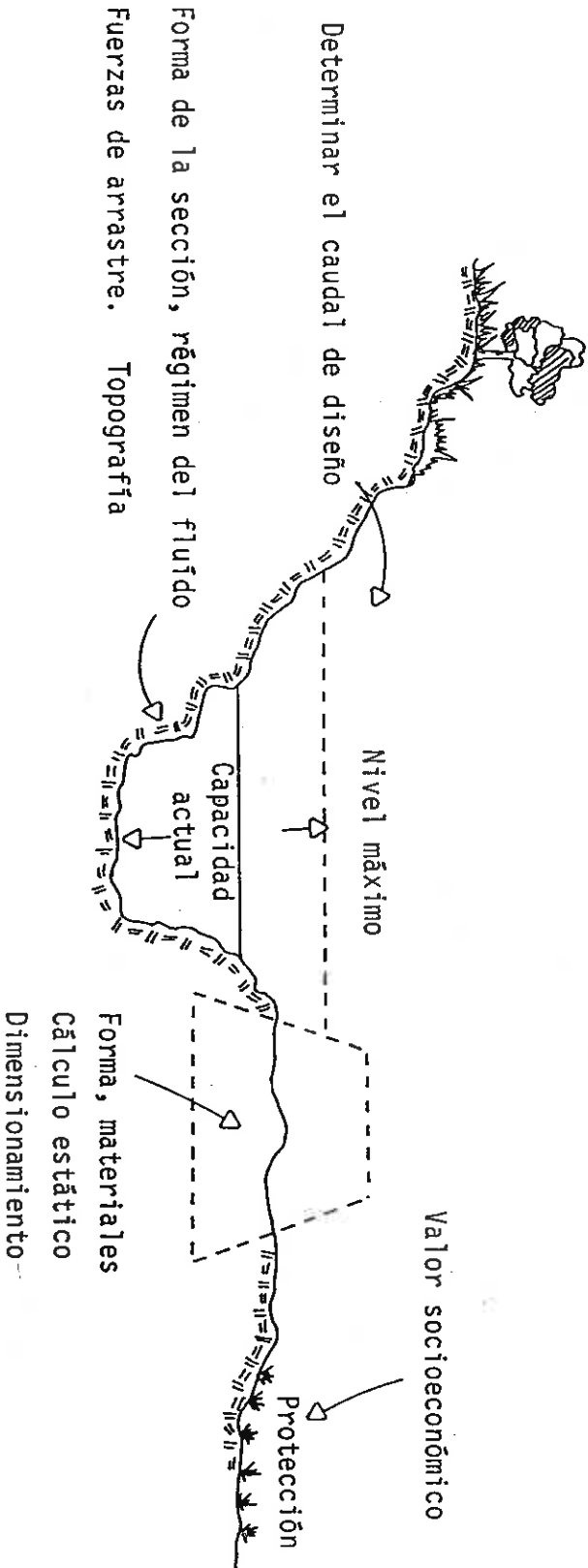


11



DEFENSA DE RIBERAS (MARGENES) - CONTROL DE TORRENTES

- CONCEPTO DEL DISEÑO
- Análisis Hidrológico
- Análisis Hidráulico
- Análisis estructural
- Análisis socioeconómico



CONTROL DE INUNDACIONES

A. Defensas de Riberas

Son construcción para protección de márgenes y de las zonas ribereñas contra:

- .socavaciones laterales
- .inundaciones y
- .sedimentaciones en las áreas vecinas

Las construcciones más corrientes para la protección de márgenes son las siguientes:

- .revestimiento de los taludes
- .escolleras
- .muros longitudinales o sea laterales
- .espolones

Estas obras con excepción de los espolones, se pueden llamar también "obras longitudinales", las cuales son ubicadas paralelas al eje del torrente.

Para el diseño es necesario saber las fuerzas principales y los efectos que pueden actuar sobre las obras longitudinales. Existen en general:

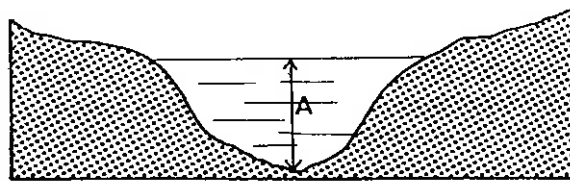
1. fuerza de arrastre en los taludes y choques de piedras y de árboles flotantes.
2. fuerza de arrastre en el fondo
3. empuje de tierras

Considerando que la fuerza de arrastre aumenta con la profundidad del agua y que los choques de piedras generalmente ocurren en la parte inferior, se usa construcciones y materiales de resistencia diferentes para la parte superior e inferior del talud.

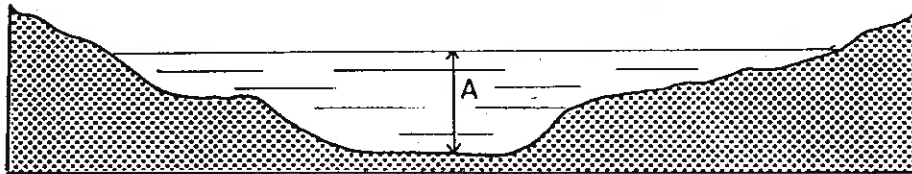
Ejemplos de combinaciones frecuentes son:

<u>Parte inferior</u>	<u>Parte superior</u>
Materiales no vivos (piedras, hormigón, etc.)	plantas
hormigón o mampostería	piedras o gaviones
piedras (escollera, revestimiento de piedras)	gaviones

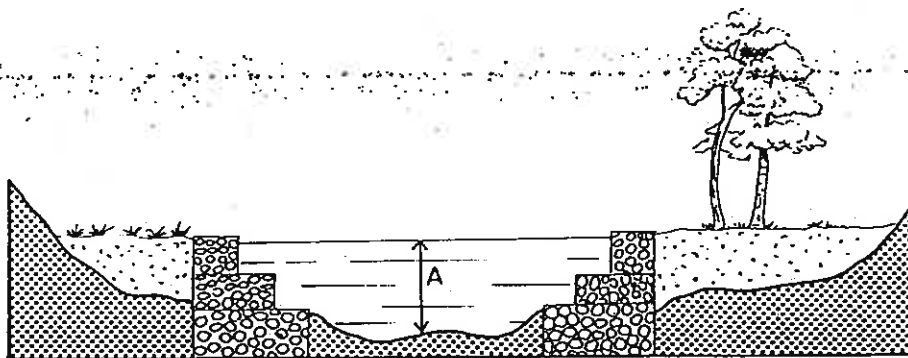
Siempre pueden ocurrir socavaciones del fondo al lado de la obra. Para evitar efectos dañinos a la estabilidad de la construcción siempre se construye un fundamento. La profundidad depende de las circunstancias; el valor mínimo es aproximadamente 0,5 m atrás de



CAUCE EN SECTOR ESTRECHO



CAJA DE RIO INUNDABLE



SECTOR CONTROLADO CON MUROS LONGITUDINALES

J. Faustino

obras transversales. El valor máximo del fundamento es la profundidad calculada de socavaciones que se encuentran aguas abajo de diques.

En márgenes cóncavas se usa frecuentemente una protección adicional del fundamento, ya sea por:

- .traviesas
- .espolones
- .filas de piedras
- .escolleras
- .tablestacas
- .otras construcciones especiales

En esta manera resultan obras combinadas. Los tipos más frecuentes son los siguientes:

.revestimientos y traviesas
 espolones
 escolleras
 tablestacas

.escolleras y traviesas
 espolones

.muros laterales y traviesas
 espolones
 filas de piedras
 escolleras
 tablestacas

B. Control de Torrentes

Definición de un Torrente

Las corrientes de aguas naturales se pueden clasificar en dos clases principales: los ríos y los torrentes. Una tercera clase entre las corrientes antes dichas son los ríos torrenciales. Las características de los torrentes son las siguientes: son corrientes naturales de agua en las montañas o colinas que tienen una cuenca reducida con pendientes fuertes e irregulares especialmente en las secciones altas. Una tormenta que tenga lugar en su cuenca puede producir una crecida de consideración que comienza repentinamente, pero que dura poco tiempo. Generalmente suceden erosiones muy fuertes en las laderas y en el cauce y como consecuencia tiene lugar un arrastre de grandes cantidades de material que depositan en ciertas partes de su lecho y en regiones inferiores.

TORRENTE, se puede definir como una corriente natural con agua de una cuenca, con pendientes muy fuertes e irregulares; de

crecidas extremas y violentas en su caudal; causando erosión, transporte y depósito de materiales sólidos muy grandes.

En la acción conservacionista del suelo y aguas para sostener o equilibrar las fuerzas producidas por este fenómeno; tanto en el cauce como en las márgenes; la orientación es controlar los torrentes con medidas que no solamente serán mecánicas, sino de otra índole; el tratamiento se decidirá de acuerdo a la magnitud y situación de hidráulica fluvial, de las posibilidades y necesidades socioeconómicas.

Definición de Corrección de Torrentes

Se puede definir la corrección de torrentes como un sistema que está integrado por:

- medidas técnicas estructurales
- medidas biológicas-forestales
- medidas socioeconómicas.

Para influir y controlar los fenómenos torrenciales con el objetivo de reducir o evitar los efectos dañinos y de amenaza de los torrentes, y facilitar de esta manera una protección al hombre, sus instalaciones y actividades en todas las partes de las cuencas torrenciales y en las zonas de influencia.

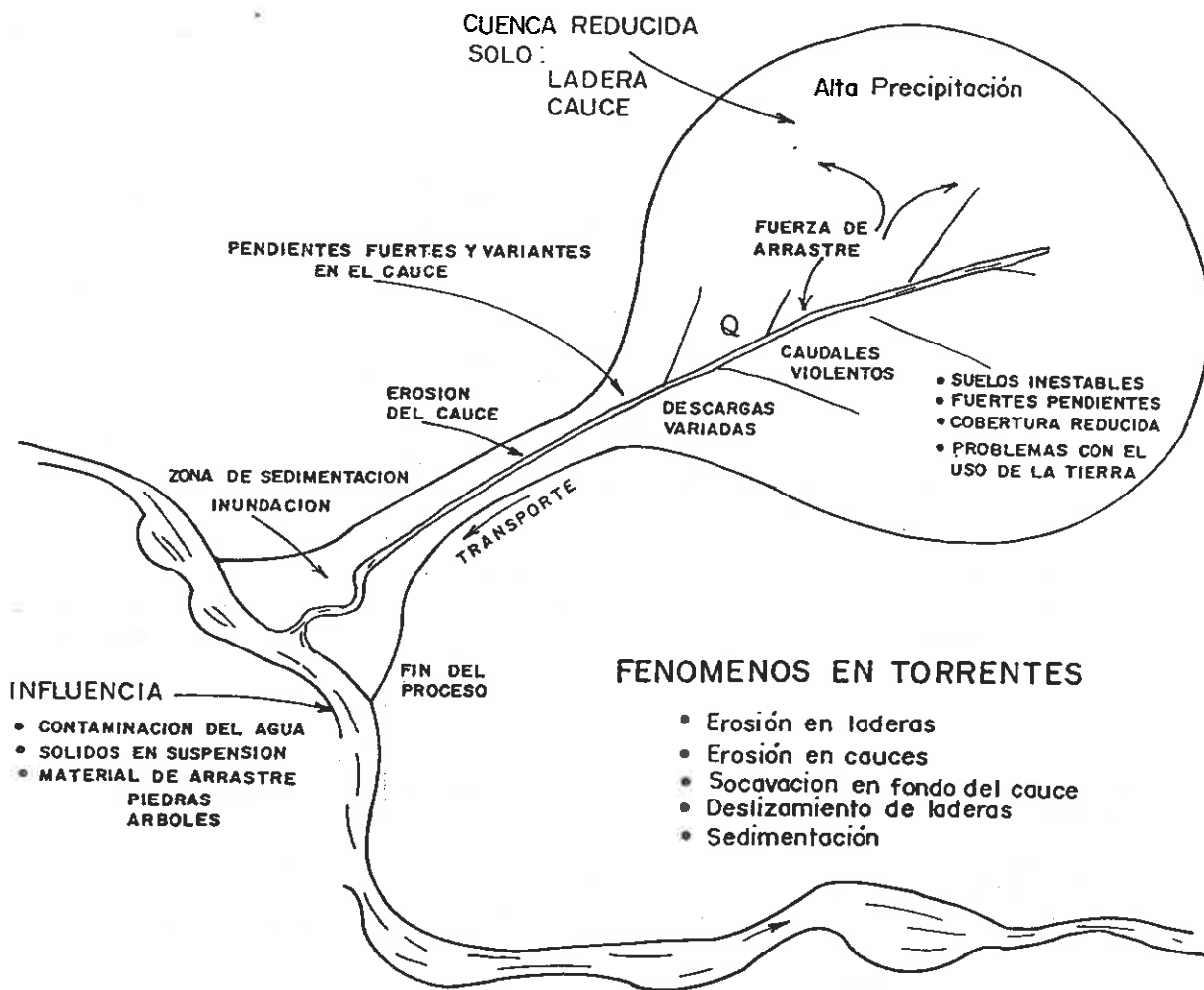
Fenómenos Torrenciales Principales

La erosión por el agua es uno de los fenómenos principales en los torrentes. En general la erosión resulta, cuando la resistencia del terreno o del cauce es menor que la fuerza de arrastre del agua. En las laderas se puede encontrar la erosión laminar y de surcos y cárcavas cuando el terreno no está cubierto por una capa vegetal capaz de suministrar una protección eficaz. La práctica muestra que un bosque es la protección más eficiente para evitar este tipo de erosión.

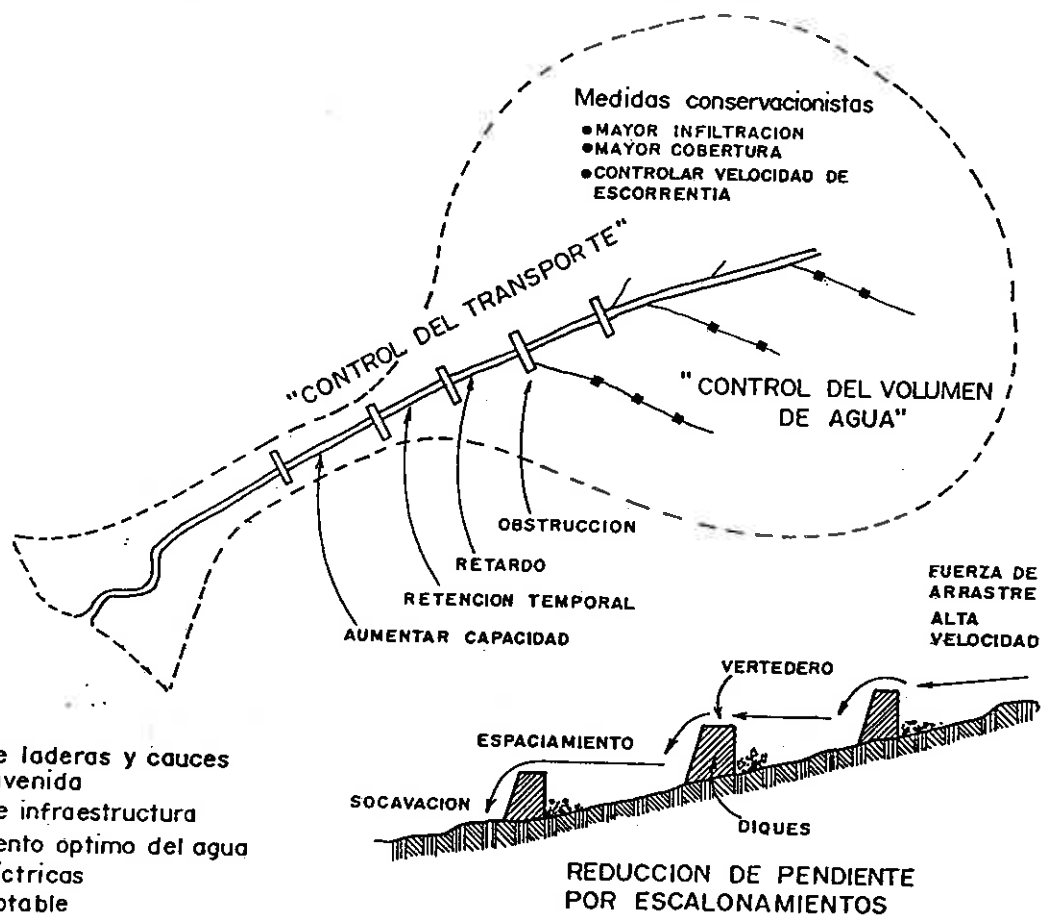
A su paso por el cauce las aguas pueden producir grandes erosiones del fondo y erosiones laterales que causan por su parte muchas veces hundimientos y deslizamientos de las laderas que han perdido su estabilidad. Un fenómeno torrencial muy importante son las avalanchas de tierra o aludes de tierra. Estos aludes consisten de piedras, grava, arena y lodo; también de troncos o árboles enteros mezclados íntimamente formando una masa a la manera de una pasta que muchas veces pasa por el cauce con gran velocidad debido a la pendiente fuerte.

Otro fenómeno principal torrencial es la sedimentación de los materiales en la parte inferior del torrente, sea en su cauce o sea en los terrenos vecinos de la corriente o en los ríos recipientes.

Daños causados por Torrentes



LIMITACIONES PARA APROVECHAMIENTO DEL AGUA
POR CALIDAD DEFICIENTE



- Protección de laderas y cauces
- Control de avenida
- Protección de infraestructura
- Aprovechamiento óptimo del agua
 - Hidroeléctricas
 - Agua potable

CONTROL DE TORRENTES

Caballos y Mancarrones

Son defensas ribereñas rústicas construidas con piedras, palos y alambre. Se emplean generalmente troncos de arboles con un diámetro de 0.20 a 0.30 m. piedras de canto rodado y alambre Nº8. Cuando la estructura está formada de tres palos recibe el nombre de "Mancarrón", cuando tiene cuatro patas se llama "Caballo".

La utilización del alambre tiene por objeto formar una malla, la que se rellena con piedras cerca a la base de sustentación, esto le permite bajar el centro de gravedad de la estructura y por consiguiente darle mayor estabilidad.

Muros de Piedraplén

Son defensas ribereñas rústicas hechas con material de cantera. Generalmente presentan una sección transversal de 12 mts. en la base mayor, 4 a 6 mts en la base menor y una altura promedio de 4 mts. Muchas veces se protegen con enrocados. Estas obras son relativamente costosas y su construcción se lleva a cabo sólo cuando la disponibilidad económica lo permite.

Muros de Terraplén

Estas obras son construidas con material de zonas aledañas al río. Son núcleos pequeños no apisonados, presentan una sección transversal de 3-4 mts. de base mayor, 1-2 mts. de corona y una altura de 3 mts. Estas obras evitan el desbordamiento del río pero su función no es definitiva ya que después de las crecidas o avenidas casi siempre quedan destruidas o deterioradas.

Gallineros

Son defensas ribereñas bastante rústicas, construidas con palos y ramas de arboles, piedras de río y alambre. Están formadas por caballos o mancarrones unidos, presentando el aspecto de un "gallinero". Su base es un triángulo de 1,20 m de altura, a veces van anclados a un cable que sostiene un bloque de piedras de canto rodado.

Caballos Achiquerados

Son defensas formadas por caballos o mancarrones unidos unos tras otros en cuyo interior van rellenos de piedras. Funcionan como diques cuando son instalados a lo largo de las márgenes y otras veces como espigón cuando forman un ángulo con respecto al eje del río.

Dados de Concreto (o bloques de concreto)

pendiente. Generalmente son complementarias a los muros de sostenimiento y a prácticas forestales-agrostológicas.

Fajinadas

Práctica que consiste en instalar una especie de barrera a través de la pendiente en laderas muy inclinadas, formada por estacones y varillas de madera, con el objeto de crear estabilidad de los suelos. Deben consolidarse con la plantación de especies arbustivas y pastos. Cumplen la misma función que los muros de sostenimiento y banquetas.

Diques de Mampostería de Piedras Asentadas

Son estructuras construidas utilizando material de la zona, cuya función es la retención y/o detención del agua y sedimentos. Se las construye en forma perpendicular al eje del río y tienen aplicabilidad económica en cauces relativamente pequeños, no mayores de 10 m; presentan vertedero de demasías y colchón amortiguador.

Diques de Roca Pesada

Son estructuras de encauzamiento y control de inundaciones. El enrocado si está bien ubicado, una vez que capta sedimentos y se establece vegetación natural, es prácticamente indestructible. Las rocas usadas deberán ser de cantera de más de 1 m³ de volumen. Deben ser rocas graníticas duras. El inconveniente de estos diques es su alto costo por metro de construcción.

Diques Transversales de Madera

Son diques de retención y/o detención de agua y sedimentos. Se ubican en forma perpendicular al eje de quebradas y cárcavas. Se emplean para la construcción troncos y rocas del lugar. Van debidamente ancladas y tienen vertedero de demasías y colchón amortiguador. Su diseño obedece a cálculos hidrológicos e hidráulicos.

Diques de Concreto Armado

Estas defensas se construyen en base a concreto reforzado con fierro de 3/4" y amarres de 3/8". Se emplea generalmente cerca a puentes y zonas urbanas. En este caso el refuerzo es generalmente a base de lingotes de línea férrea.

Diques de Concreto Ciclópeo (o muros de concreto ciclópeo)

Son estructuras de concreto con dosificación de 1:3:5 ó 1:3:6 y 30% de piedra grande, tienen dimensiones que varían de 0.70 m a 1.00 m de base mayor, 0.40 m a 0.60 m de corona y una altura de 1.60 m a 1.20 m. Presentan una cimentación de sección trapezoidal.

LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	CAPACIDAD (m ³)	PESO (kg)
2	1	0.50	1.0	8.400
3	1	0.50	1.50	11.500
4	1	0.50	2.0	14.800
5	1	0.50	2.50	18.000
2	1	1.0	2.0	11.400
3	1	1.0	3.0	15.60
4	1	1.0	4.0	20.50
5	1	1.0	5.0	25.30

El relleno debe realizarse de tal manera que se consiga la mayor densidad posible, en tanto que la piedra no se salga del gavión, para lo cual se debe colocar la piedra de mayor tamaño con la malla.

Otras definiciones importantes para estructuras utilizadas en la defensa de riberas y control de torrentes:

Muros de Sostenimiento

Son estructuras cuya función es crear estabilidad en las laderas de fuerte declive sobre todo cuando hay problemas con la estabilidad del suelo. Pueden ser de mampostería de piedra canteada, muros secos, concreto armado, etc. Protegen carreteras, obras hidráulicas, edificaciones, etc., de los deslizamientos de suelos.

Banquetas

Son estructuras más pequeñas que los muros de sostenimiento cuya finalidad es crear estabilidad de los suelos en laderas de fuerte

En los diques de gaviones, el agua se introduce en el cuerpo del dique circulando por los huecos que las piedras forman entre sí. El peso de la piedra, disminuye en el empuje de Arquímedes, pero afectado por un coeficiente menor que la unidad y se puede admitir como peso específico efectivo de la mampostería comprendido entre 1400 - 1700 k/m³.

Cuerpo de la Obra

Constituido por gaviones de dimensiones variables, adecuados a cada caso particular y dispuestos en una o varias hileras, según la altura que deba alcanzar la obra y el empuje que deba soportar.

Constitución del Gavión

Los gaviones rectangulares están formados por un enrejado metálico a triple torsión. La malla de alambre es de forma de un hexágono alargado en el sentido de una de sus diagonales. Los diámetros de los alambres que forman la malla, varían según las dimensiones de estas; siendo el peso por metro cuadrado de malla, prácticamente constante.

Los tipos de malla de triple torsión con los cuales se confeccionan los gaviones son los siguientes:

- Malla 5 x 7 cm., con alambre N^o13
- Malla 8 x 10 cm., con alambre N^o15
- Malla 12 x 14 cm., con alambre N^o17

N ^o de alambre	13	14	15	16	17	18	19
Diámetro (mm)	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.9

Construcción del gavión

El gavión es definido por tres parámetros:

- 1) Longitud en metros de sus tres aristas convergentes al mismo vértice, que expresarán el largo, ancho y alto del gavión.
- 2) Por las dimensiones del ancho de la malla en centímetros.
- 3) El grosor del alambre galvanizado reforzado, expresado en número comercial o milímetros.

.Aterramiento de un dique

Gaviones

Los gaviones son estructuras que consisten de una caja de forma prismática regular construida con enrejado metálico, confeccionado con alambre especialmente galvanizado reforzado. Estos gaviones se rellenan con canto rodado, piedra de cantera o el material más adecuado que se disponga, pero teniendo la precaución de no emplear piedras o materiales que contengan óxido de fierro, excesiva alcalinidad o compuestos salinos ya que cualquiera de esos elementos puede atacar al alambre a pesar de su fuerte protección de zinc.

. Base de la fundación

Es la parte de la obra que deberá tener mayor cuidado ya que sobre ésta deberá asentarse la estructura; la base protege la obra de un modo eficaz contra socavaciones, constituida por gaviones de 50 cm. de espesor como máximo, que sobresale en su posición del parámetro exterior formado por otros gaviones a aquellos sobrepuestos.

. Fuerzas a considerar en el dimensionamiento

. Peso de las piedras

Es la fuerza que va a tener mayor influencia en favor de la estabilidad del dique; por esta razón, es conveniente utilizar la piedra de mayor peso específico posible y que el volumen que las piedras formen entre sí, se reduzca al mínimo. La fuerza está dada por la relación:

$$P = \frac{100 - C}{100} \cdot V \cdot \mu$$

donde:

V = volúmen del dique

μ = peso específico de la piedra

C = porcentaje de huecos

Empuje hidrostático sobre la pared aguas arriba

Este empuje es calculado por la fórmula tradicional de ($\frac{1}{2}\mu h^2$)

Efectos ejercidos por el agua al introducirse en el cuerpo de la obra

por: . Capa de vegetación herbácea formado principalmente

siembra
mulching
césped

por: . Capa de vegetación arbustiva formado principalmente

banquetas o cordones de estacas
banquetas de plantas
trenzados

. Capa de árboles, formado por aforestaciones

Las medidas socioeconómicas contienen:

- . cambio del uso de la tierra
- . cambio de los derechos
- . cambio de las obligaciones
- . cambio de la propiedad

Corrección Integral

En general se intenta resolver los problemas torrenciales por un tratamiento integral y sistemático. Al principio de una planificación para reducir los daños o amenazas es necesario considerar todas las posibilidades y medidas que ofrece el sistema de la corrección de torrentes, luego se puede seleccionar las medidas y medios más eficientes y económicos. La corrección integral debe contemplar las causas que originan el problema (natural, usos inapropiados de la tierra) y contemplar la efectividad de la obra, no solamente con criterios de ingeniería civil, aun cuando estos garantizaran el diseño hidráulico e hidrológico.

Hidráulica Torrencial

Para un diseño adecuado y económico de las obras antes dichas, es necesario saber los procesos hidrológicos y sus efectos que se presentan especialmente en cauces torrenciales.

Los problemas más importantes a este respecto son los siguientes:

- .Velocidad del agua en canales y torrentes
- .Vertederos
- .Socavaciones al pie del dique aguas abajo
- .Distancia horizontal de la caída del agua
- .Fuerza de arrastre
- .Volumen de arrastre

- medidas biológicas-forestales
- medidas socioeconómicas

b) Según el sitio o la parte dentro de la cuenca

- medidas en las laderas
- medidas en el cauce
- medidas en la cuenca de recepción
- medidas en la garganta
- medidas en el cono de deyección
- medidas en el canal de desagüe
- medidas en el curso superior
- medidas en el curso inferior

c) Según el tiempo

- medidas de prevención
- medidas de saneamiento

Las medidas técnicas estructurales (obras de ingeniería, medidas mecánico vegetativas) contienen:

• Obras transversales

- diques de retención
- diques de consolidación
- rampas
- escalonamientos

• Obras longitudinales

- muros laterales
- revestimientos de los taludes
- empedrados del fondo
- canales
- regularizaciones

Espolones y diques de estacas

• Plazoletas y depósito o sedimentación

• Obras de drenaje

Como material de construcción se usa sobre todo piedras, madera, acero, hormigón. Se puede usar también plantas vivas en combinación con los materiales antes dichos. Estas obras se pueden llamar "obras mecánico-vegetativas".

Las medidas biológicas-forestales contienen:

- a) Reducción de la cantidad de agua, sea natural por aumento de evapotranspiración, sea artificial por desagüe de la cuenca de recepción.
- b) Retención temporal del agua en la superficie, en la zona sub-superficial o en la zona del subsuelo. Esta retención puede ocurrir naturalmente por plantas, o artificialmente por cambio del uso de tierra o por presas.
- c) Retardación de la escorrentía, sea por reducción de la pendiente de las vertientes y del cauce sea por aumento de la rugosidad.
- d) Desagüe del agua sin daños en el cauce por aumento de la capacidad de transporte (ampliación del perfil transversal o por canales).
- e) Desviación local del agua de la zona o del tramo amenazado (por muros laterales por ejemplo).

Para el tratamiento del material sólido los métodos en general son los mismos:

- a) Reducción de la producción del material sólido o sea eliminación de las fuentes productoras del caudal sólido. En detalles es necesario:

"Reducir la erosión laminar de surcos y de cárcavas, sea por reducción de la fuerza hidrodinámica, sea por producción de una cobertura vegetal, por obras artificiales (diques de consolidación, muros, drenaje)".

- b) Retención del material sólido sea temporal o permanente, sobre todo en el cauce por diques de retención.
- c) Retardación del transporte por reducción de la pendiente o por reducción del agua como medio del transporte (escalonamiento).
- d) Desagüe del material sólido sin daños por aumento de la capacidad de transporte. Aquí también es indispensable prevenir para evitar daños en el tramo o la zona aguas abajo.
- e) Desviación local del material sólido (caudales, muros laterales, regularizaciones, etc.)

Medidas de Corrección de Torrentes

Es útil clasificar medidas según los siguientes aspectos:

- a) Según los medios

medidas técnicas estructurales

En general los daños y pérdidas en cuencas torrenciales pueden ser vidas humanas, deterioro o destrucción de obras e instalaciones humanas e interrupción o impedimentos de actividades humanas.

Por otro lado las instalaciones y actividades de hombres pueden influir en los procesos torrenciales y de esta manera aumentar o reducir los daños.

Para el tratamiento de un torrente o sea para su corrección es necesario considerar estas relaciones entre los sistemas naturales y socioeconómicos: ¿qué procesos torrenciales causan en un cierto caso los daños? y ¿qué actividades humanas aumentan o pueden reducir estos procesos torrenciales dañinos? ¿que efectos y consecuencias se producen? La acción conservacionista es reducir la producción de material sólido y su transporte respectivo.

Partes Constitutivas de un Torrente

Según los dos procesos principales en un torrente la denudación y el depósito se puede diferenciar dos partes más importantes en un torrente: la parte de la denudación de la erosión, donde casi la totalidad de las precipitaciones se reúnen. De ella proviene una gran parte de los materiales de arrastre, es la cuenca de recepción.

Otra parte es donde resulta el depósito donde está el área de sedimentación: es el lecho de deyección o el cono de deyección.

Entre estas zonas hay un tramo más o menos sin erosión y sin sedimentación. Es el tramo del transporte. Muchas veces, especialmente en las altas montañas es una garganta, un canal encajado entre abruptas orillas, un canal por donde las aguas acumuladas en la cuenca de recepción marchan hacia la llanura.

Un torrente puede tener una cuarta parte, cuando el río receptor está distante del lecho de deyección: En esta parte las aguas han quedado libres de acarreo, ya que todos ellos se han depositado en el lecho de deyección, este tramo se llama canal de desagüe.

Métodos de la Corrección de Torrentes

Con métodos diferentes se trata de reducir el volumen y la intensidad de fenómenos torrenciales; reducir por un lado el volumen del agua y del material sólido y por otro lado disminuir su concentración o sea cortar los picos de las crecidas y del arrastre a través de: