

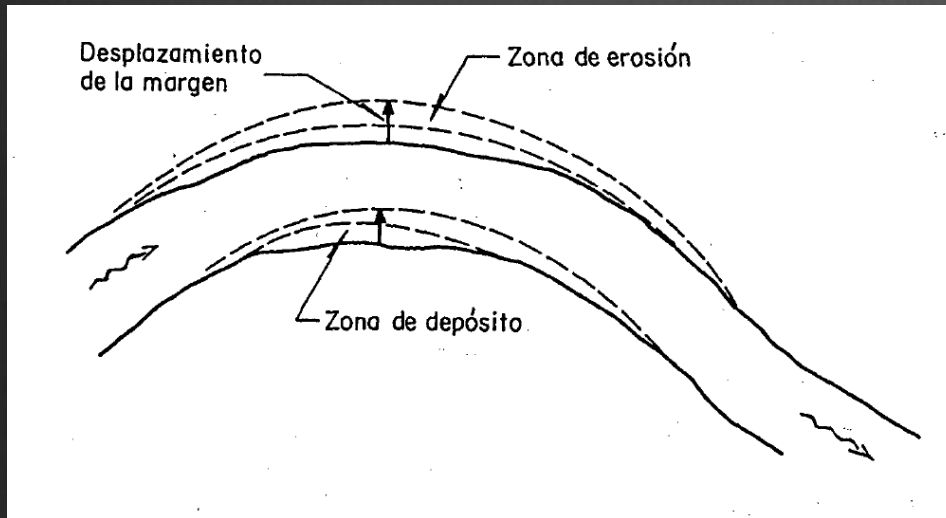
PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES

JAVIER APARICIO

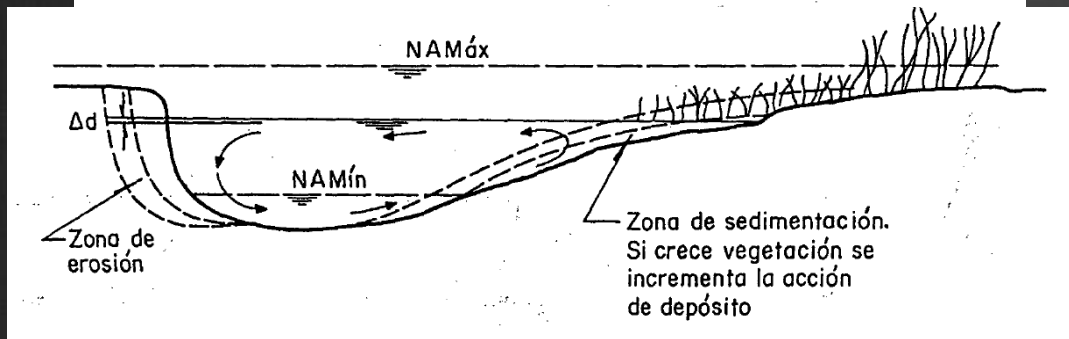
INTRODUCCIÓN

- Todos los ríos sufren desplazamientos laterales
- Obras para fijar márgenes en forma “permanente”
 - Espigones
 - Muros marginales
 - Diques marginales
- Lo más importante: protección de la obra contra la erosión local

Aspectos generales

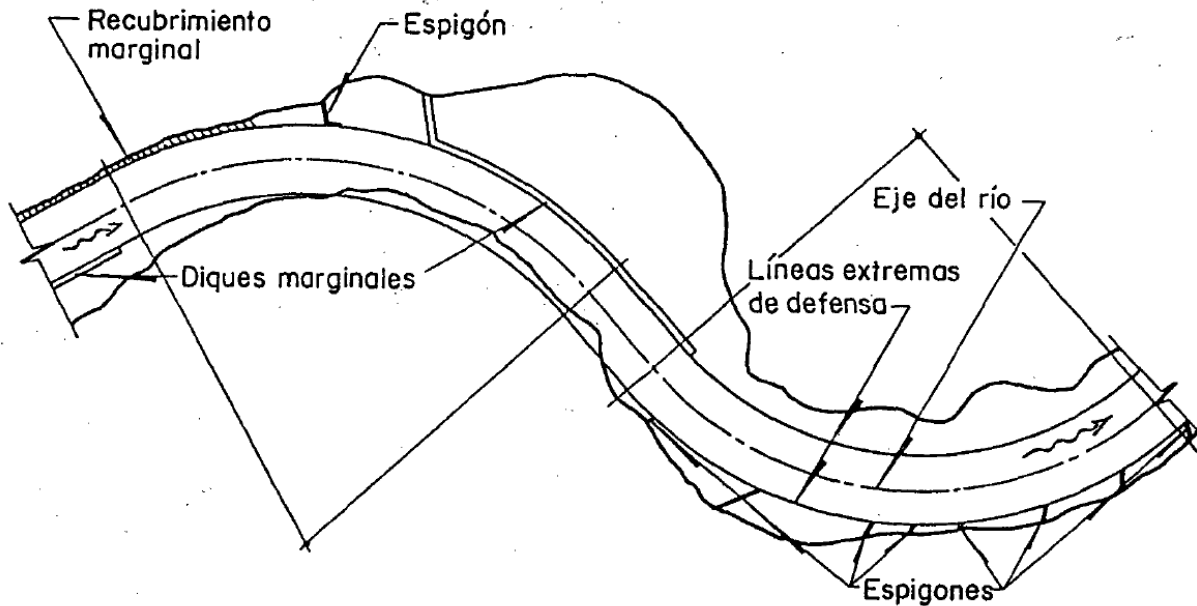


- Estabilidad morfológica: relación entre hidrograma anual, material de fondo y orillas, transporte de sedimentos, sección transversal, pendiente, brazos



- En material aluvial, desplazamientos laterales hacia el exterior de curvas

Medidas más comunes para protección de márgenes



- Evitar contacto de flujo con alta velocidad y el material de la orilla
- Guiar el flujo en una dirección deseada

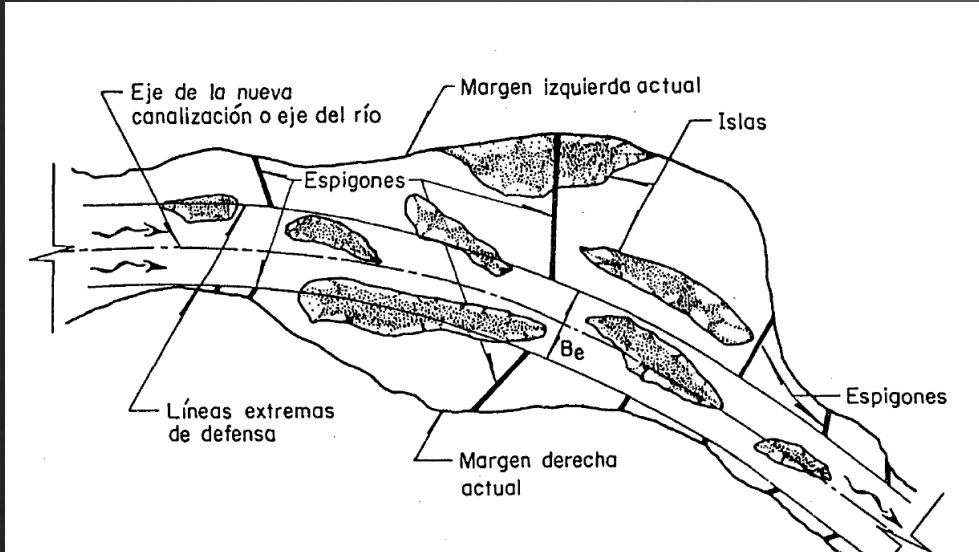
Ventajas y desventajas

Tipo de protección	Ventajas	Desventajas
Espigones	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fácil construcción ➤ Fácil conservación ➤ Costo de conservación disminuye con el tiempo ➤ La falla de uno no afecta a los demás 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducen el ancho ➤ Pérdidas de energía ➤ No económicos en curvas con r pequeño ➤ No protegen toda la orilla
Revestimientos marginales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fijan la orilla definitivamente ➤ No reducen el área hidráulica 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Más difíciles de construir; a veces requieren filtros ➤ Procedimiento constructivo complejo ➤ Mantrenimiento cuidadoso ➤ Más costosos que espigones
Diques marginales		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aún más costosos

Espigones

- Estructuras unidas a la margen e interpuestas a la corriente
- Aspectos a tomar en cuenta:
 - Localización en planta
 - Longitud
 - Forma en planta
 - Separación
 - Pendiente longitudinal y elevación de cresta
 - Ángulo de orientación c/r al flujo
 - Permeabilidad
 - Materiales de construcción
 - Erosión al pie

Localización en planta I



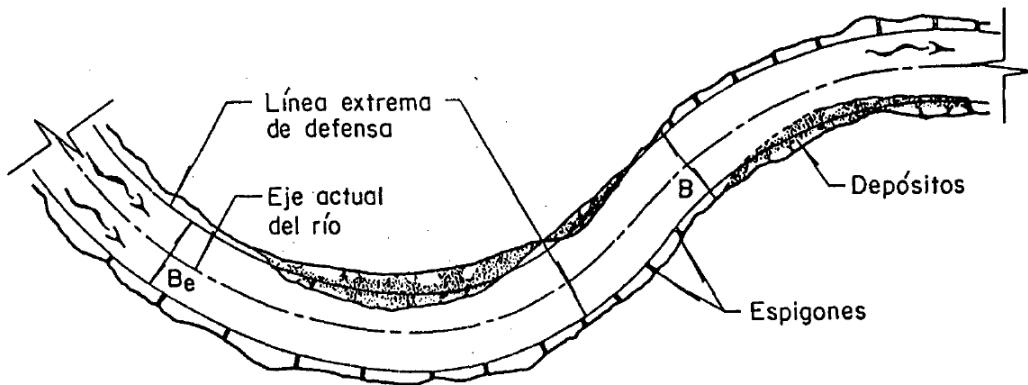
- Trazo del eje rectificado → Radios y longitud de tramos rectos
- Trazo de líneas extremas de defensa → Longitud de espigones

- Usar ancho estable
- Márgenes arenosas o ligeramente limosas:

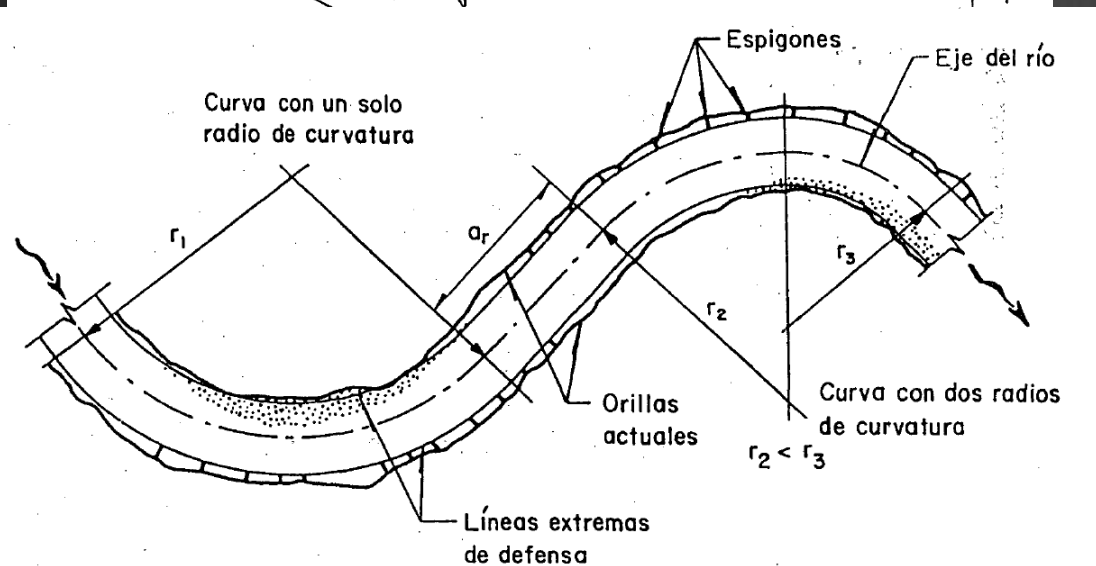
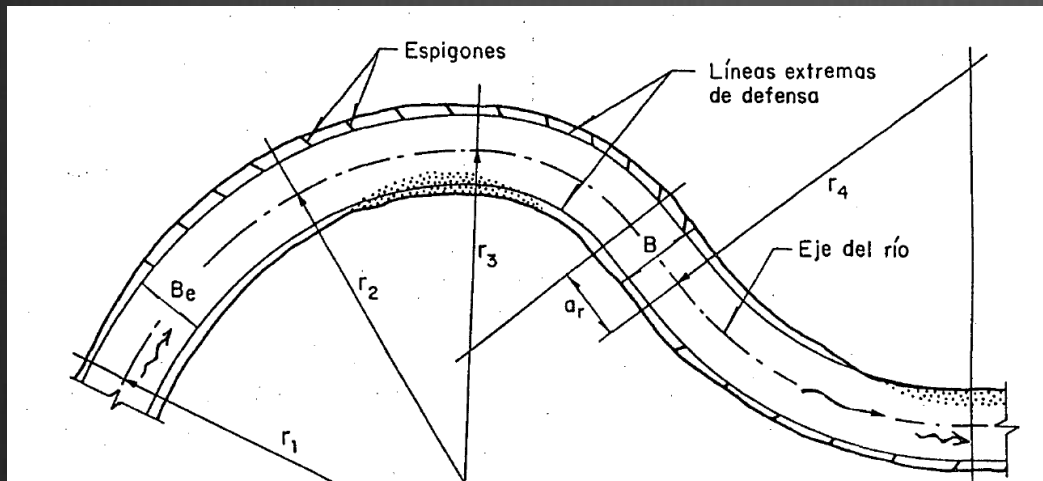
$$2B \leq r \leq 8B$$

- Longitud de tramos rectos:

$$0 \leq a_r \leq 3B$$

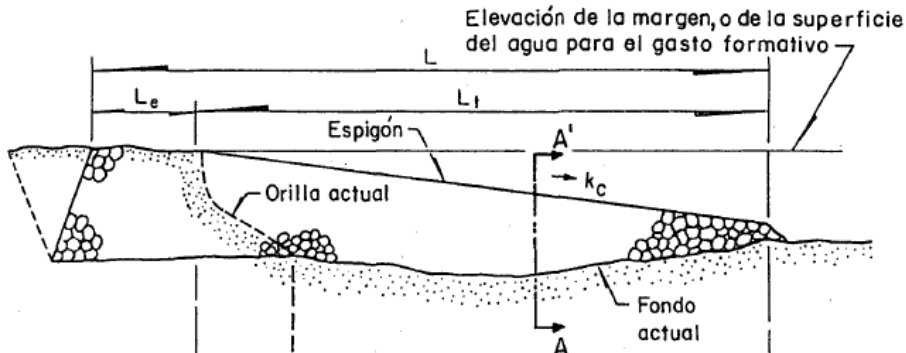


Localización en planta II

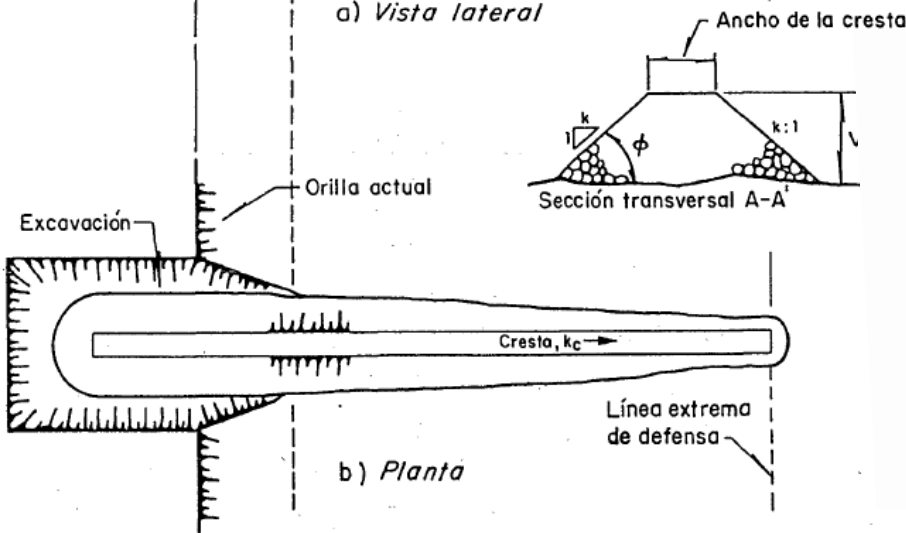


- Radios de curvatura decrecientes
- Con un solo $r \rightarrow$ Espigones de la misma longitud y ángulo
- Nunca hay dos curvas seguidas con el mismo sentido de giro
- Conservar los r originales de las curvas, modificando las que tienen $r/B < 2$
- Si se protege una sola curva, asegurar que las curvas aguas arriba no se pueden erosionar: riesgo de abandono de espigones

Diseño. 1. Longitud de espigones



a) Vista lateral

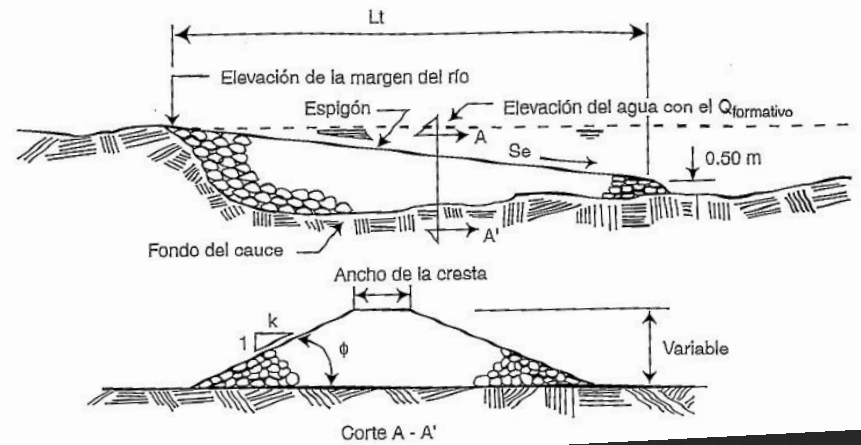


b) Planta

$$L = L_t + L_e$$

$$d \in L_t \in B/4$$

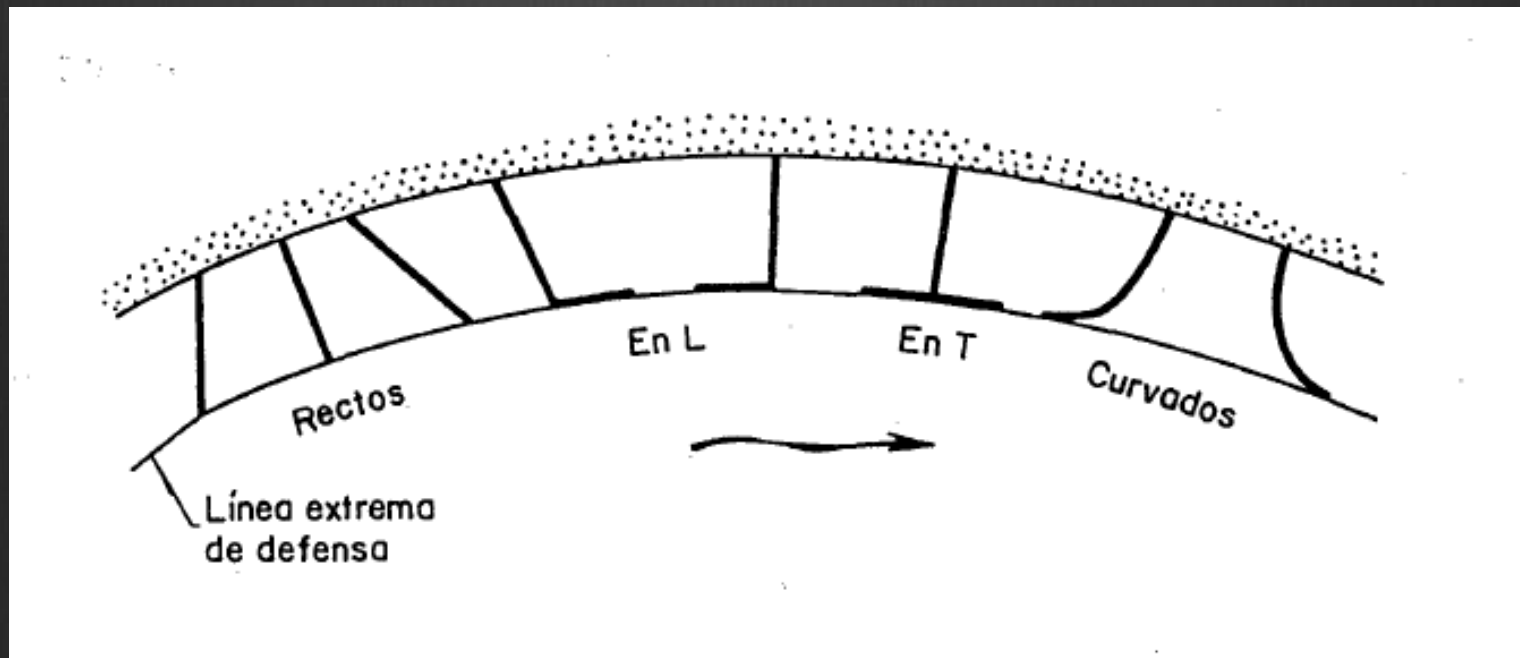
$$L_e \in 0.25L_t$$



Espigón sin empotramiento

Diseño. 2. Forma en planta

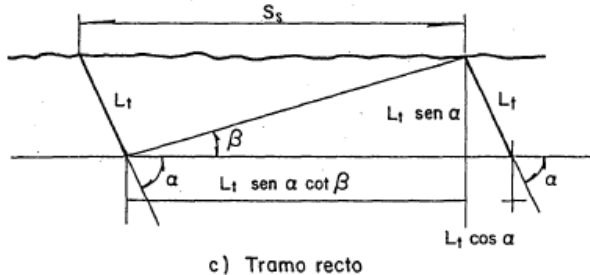
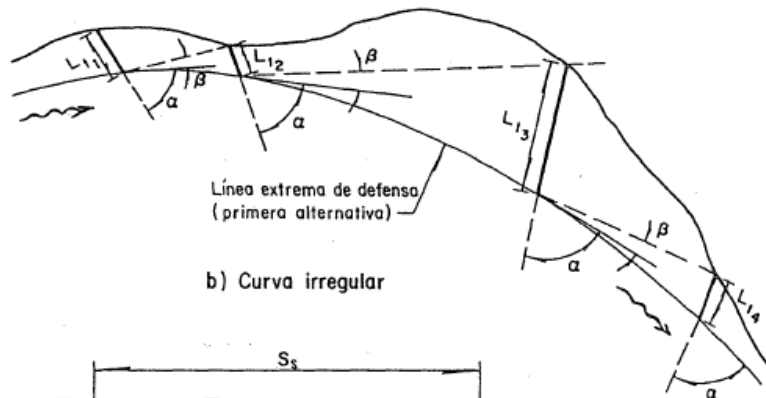
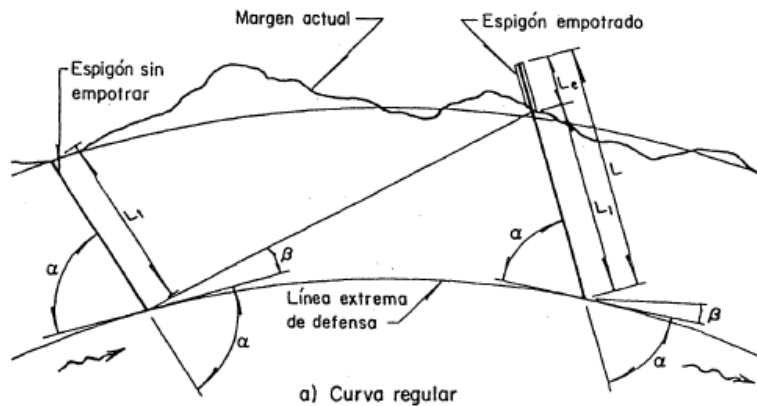
- Rectos más usuales
- L o T más costosos
- Curvos
- Si ramas extremas de espigones L o T $> L_T$ → se consideran diques marginales



Diseño. 3. Separación entre espigones

Económico

Conservador



$$9^\circ \leq b \leq 14^\circ$$

$60^\circ \leq a \leq 90^\circ$ En márgenes uniformes: $a \gg 70^\circ$

Tramos rectos:

$$S_s = L_t \frac{\text{sen}(a + b)}{\text{sen}(b)}$$

$$4L_t \leq S_s \leq 6.3L_t$$

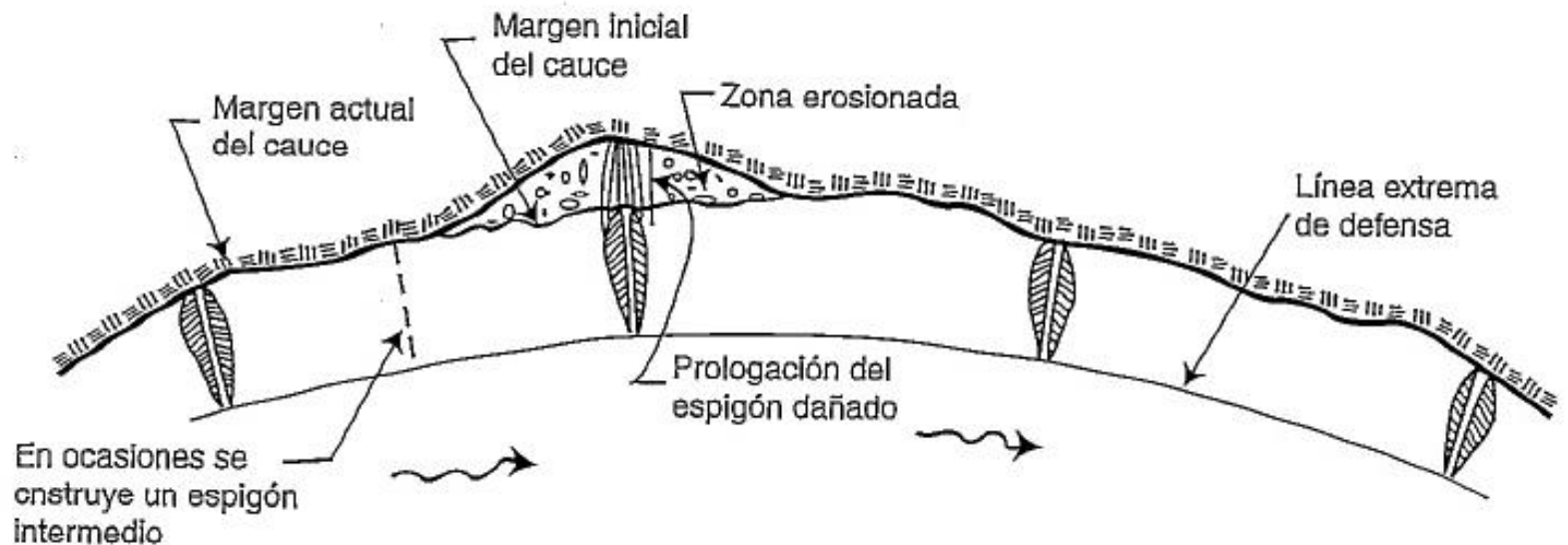
Separación en curvas:

$$2.5L_t \leq S_c \leq 4L_t$$

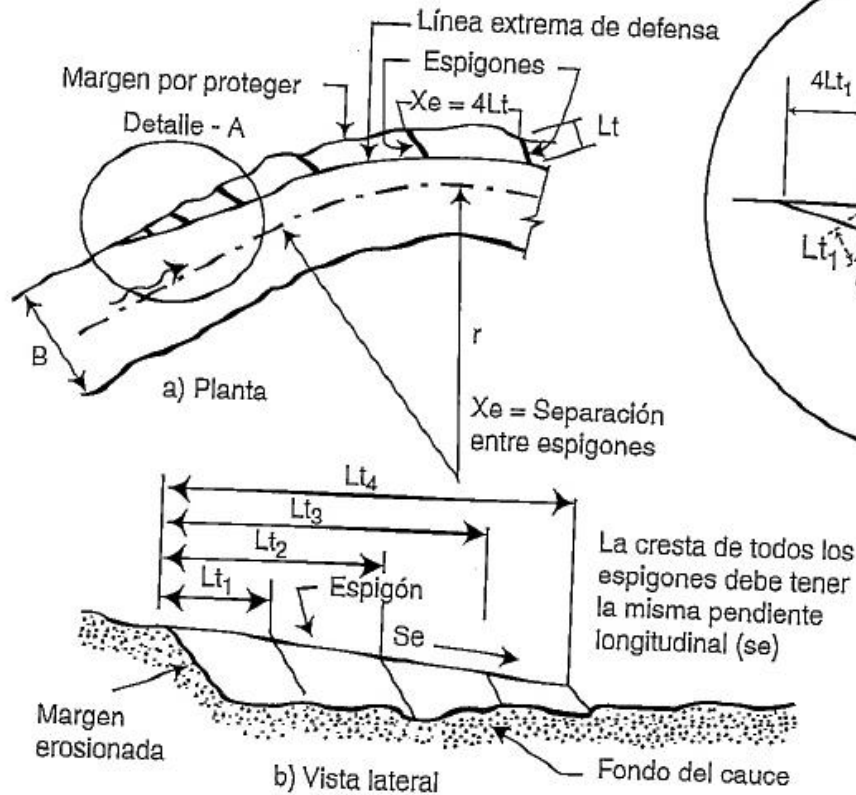
Falla de un espigón y reparación

Separación inicial en recta: $6L_t$; en curva: $4L_t$

Si falla, construir uno intermedio $\square 2 - 3L_t$



Diseño 4. Separación y longitud de los primeros espigones

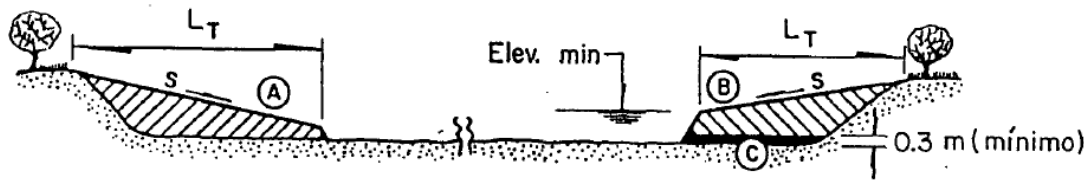


$$8^\circ \leq \gamma \leq 10^\circ$$

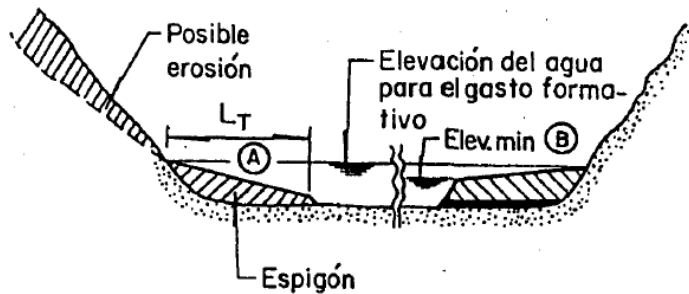
- Pendiente de la corona = espigones normales
- Con los primeros espigones se evita un cambio brusco de dirección del flujo
- Algunos diseñadores prefieren reforzar el primer espigón

Diseño 5. Pendiente longitudinal, elevación y ancho de cresta

$$0 \leq S \leq 0.25$$



a) Construcción de espigones en zona de planicie



- Ⓐ Ríos sin agua en la estación de secas
- Ⓑ Ríos con agua todo el año
- Ⓒ Carpeta de enrocamiento para evitar erosiones durante la construcción

- $S = 0$ para reducir ancho
- $S > 0$ para proteger la margen o rectificaciones
- Elevación de arranque:
 - Elev. margen en ríos de planicie
 - Elev. del Q formativo en zona intermedia o de montaña
- Ancho de cresta: El necesario para el proceso constructivo, ca. 6 m

Erosión local

Latuinschenkov-Maza:

$$d_e = 0.855 d_o \left[4.17 + L_n \frac{Q_1}{Q} \right] e^{(0.0028\alpha - 0.24k)} \quad (14.13)$$

donde

- d_e profundidad máxima en la zona erosionada al final del espigón, medida desde la superficie, asociado al gasto Q
- d_o profundidad del flujo en una zona cercana al extremo del espigón no afectada por la erosión, asociado al gasto Q
- α ángulo entre el eje longitudinal del espigón y la dirección del flujo, medido hacia aguas abajo, según se muestra en la fig 14.14
- k talud del extremo del espigón. Es igual a $k = \cot\phi$, en que ϕ es el ángulo que forma el talud del extremo del espigón con la horizontal, véanse las figs 14.10 y 14.11
- Q_1 gasto teórico que podría pasar por la zona ocupada por el espigón. Para obtenerlo, se obtiene el gasto unitario $q = Q/b$ y se multiplica por la longitud del espigón proyectada en un plano perpendicular a la dirección del flujo
- Q gasto total en el río. Para el cálculo de la socavación se utiliza el gasto asociado a un período de retorno entre 25 y 50 años. El gasto así obtenido es mayor que el formativo y puede producir desbordamientos.

Recubrimientos o muros marginales

- Obras construidas sobre y a lo largo de la orilla del río o canal
- Evitar contacto directo del escurrimiento con el material de la margen
- Reducir la velocidad de la corriente
- Evitar o reducir la posibilidad de transporte de la partículas de la margen

Tipos de recubrimientos marginales

➤ Permeables

- Corrientes pequeñas con arrastre de vegetación
- Permiten el paso del agua pero reducen la velocidad
- Detienen vegetación y basura
- Ejemplo: Jacks, pantallas de madera, troncos o pilotes

➤ Semipermeables

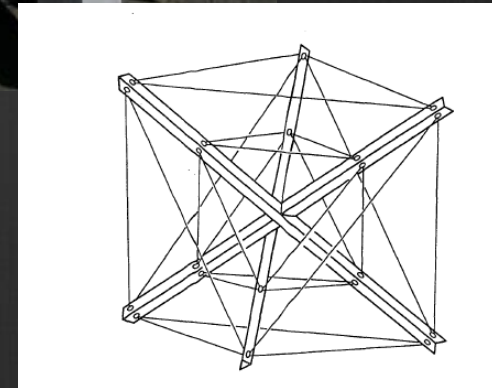
- Cualquier corriente con espacio para el talud de apoyo
- Cubren la margen y evitan el contacto directo de la corriente con el material que la forma
- El agua puede fluir entre sus huecos
- Requieren filtros para detener el material de la orilla
- Ejemplos: Enrocamiento, gaviones, elementos prefabricados de concreto, geotextiles

➤ Impermeables

- Zonas de ríos en poblaciones
- Evitan completamente el contacto material de la orilla-agua

Aspectos a tomar en cuenta

- Localización en planta
- Talud de la protección
- Dimensionamiento de los recubrimientos
- Materiales de construcción
- Protección contra erosión local
- Altura de recubrimientos

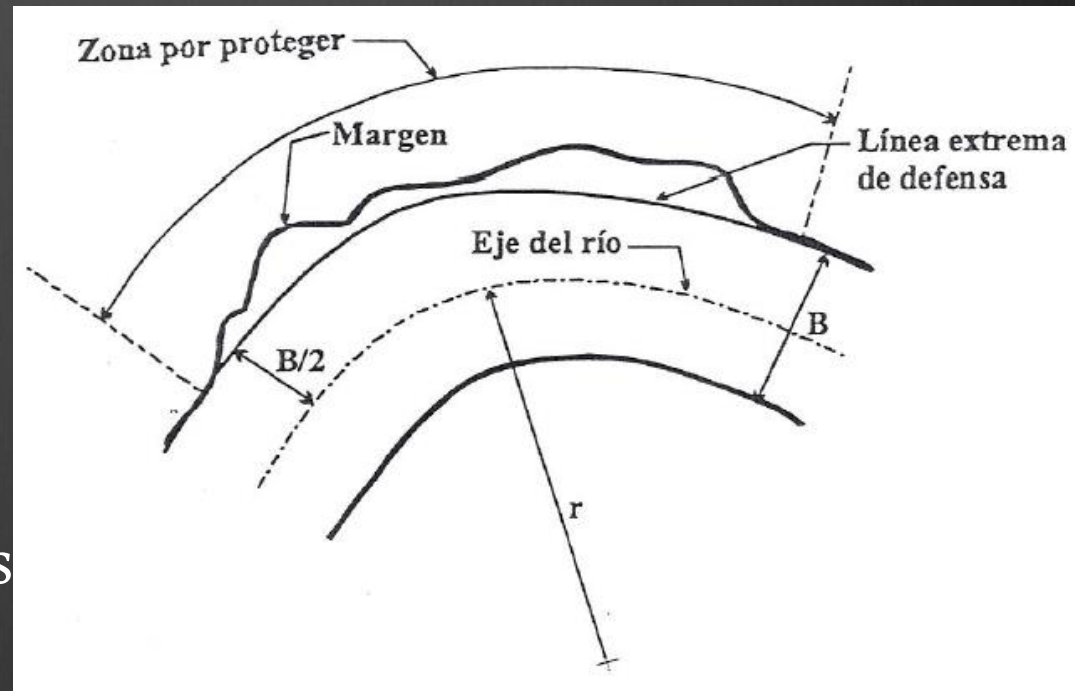


Principales recomendaciones

- Trazo del eje rectificado
➔ Radios y longitud de tramos rectos
- Usar ancho estable
- Márgenes arenosas o ligeramente limosas:
- Longitud de tramos rectos

$$2B \leq r \leq 8B$$

$$0 \leq a_r \leq 3B$$



La LED debe ser paralela al eje del río

Localización y ubicación de límites de recubrimiento

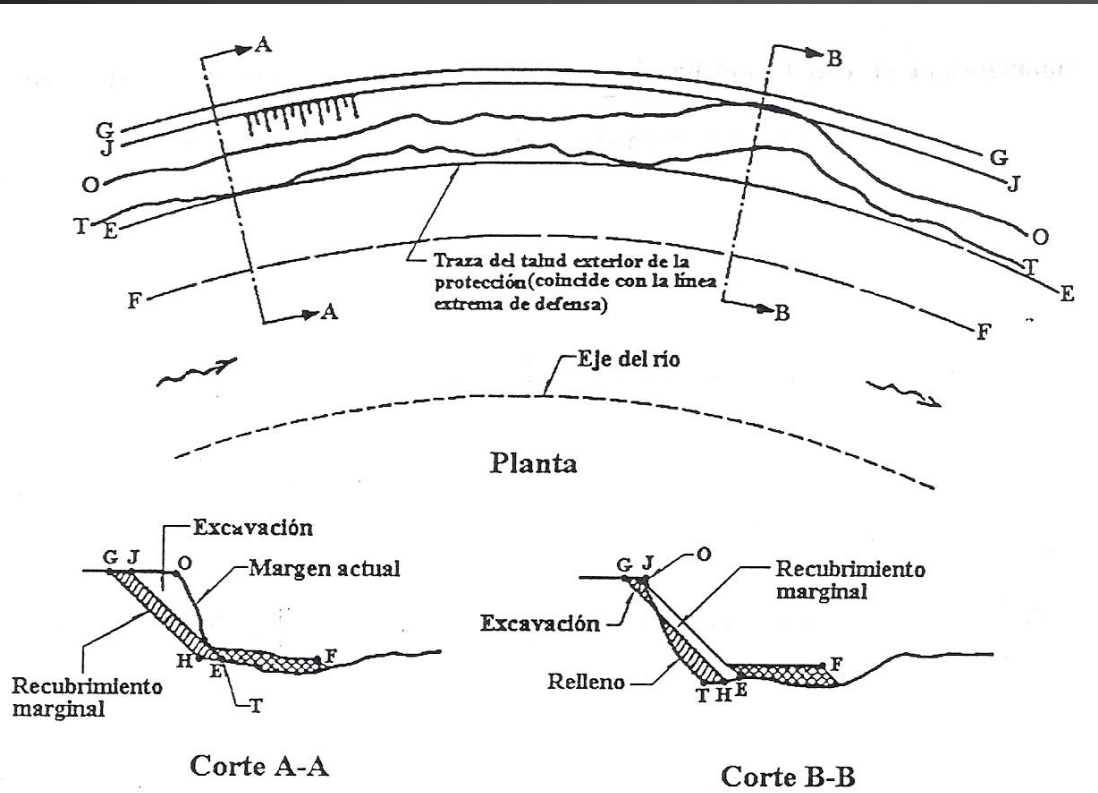
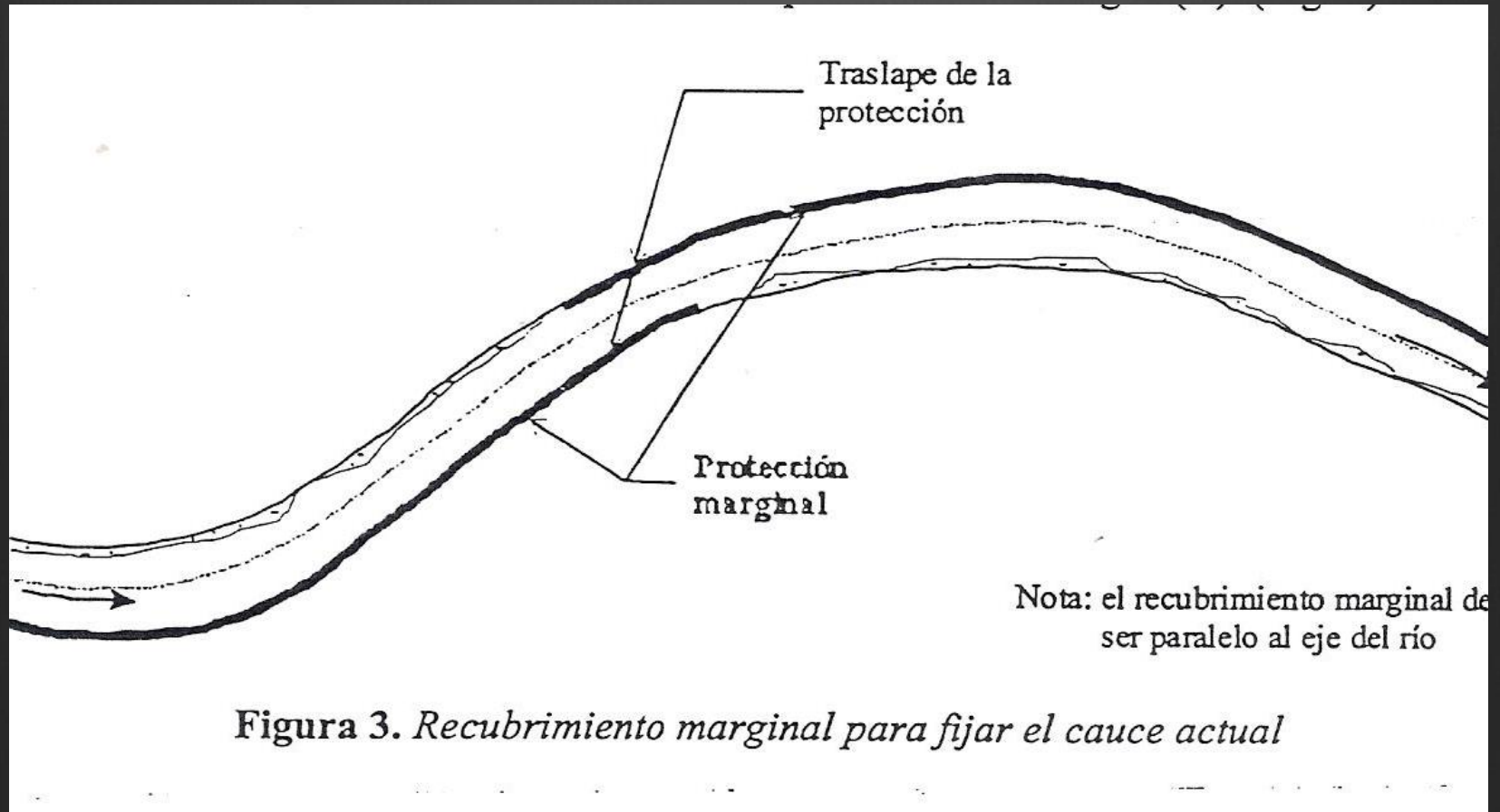


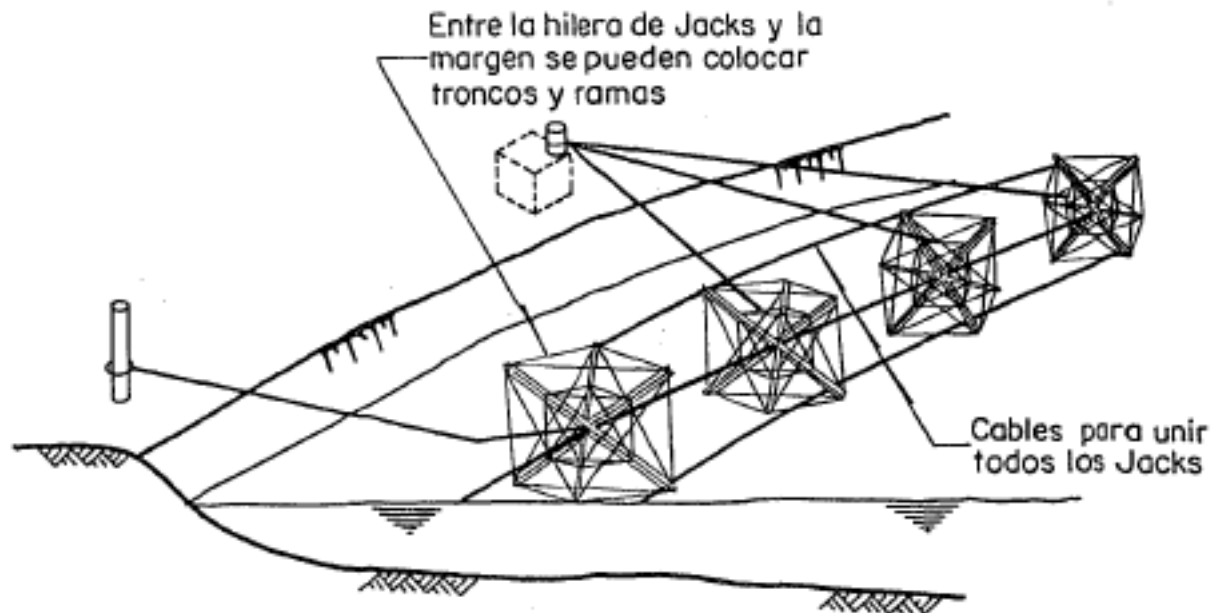
Figura 2. Trazo de un recubrimiento marginal

1. Dibujar eje del nuevo cauce
2. Marcar orilla O-O'
3. Marcar pie del talud de la margen T-T'
4. Trazar pie del talud de la protección E-E' (LED) tomando en cuenta material, filtro y talud del recubrimiento
5. F-F': Límite del agua en sequías y de la protección contra socavación local
6. Trazar punto superior exterior de la protección J-J'
7. H-H' y G-G': superficie de apoyo del recubrimiento

Traslape de protecciones



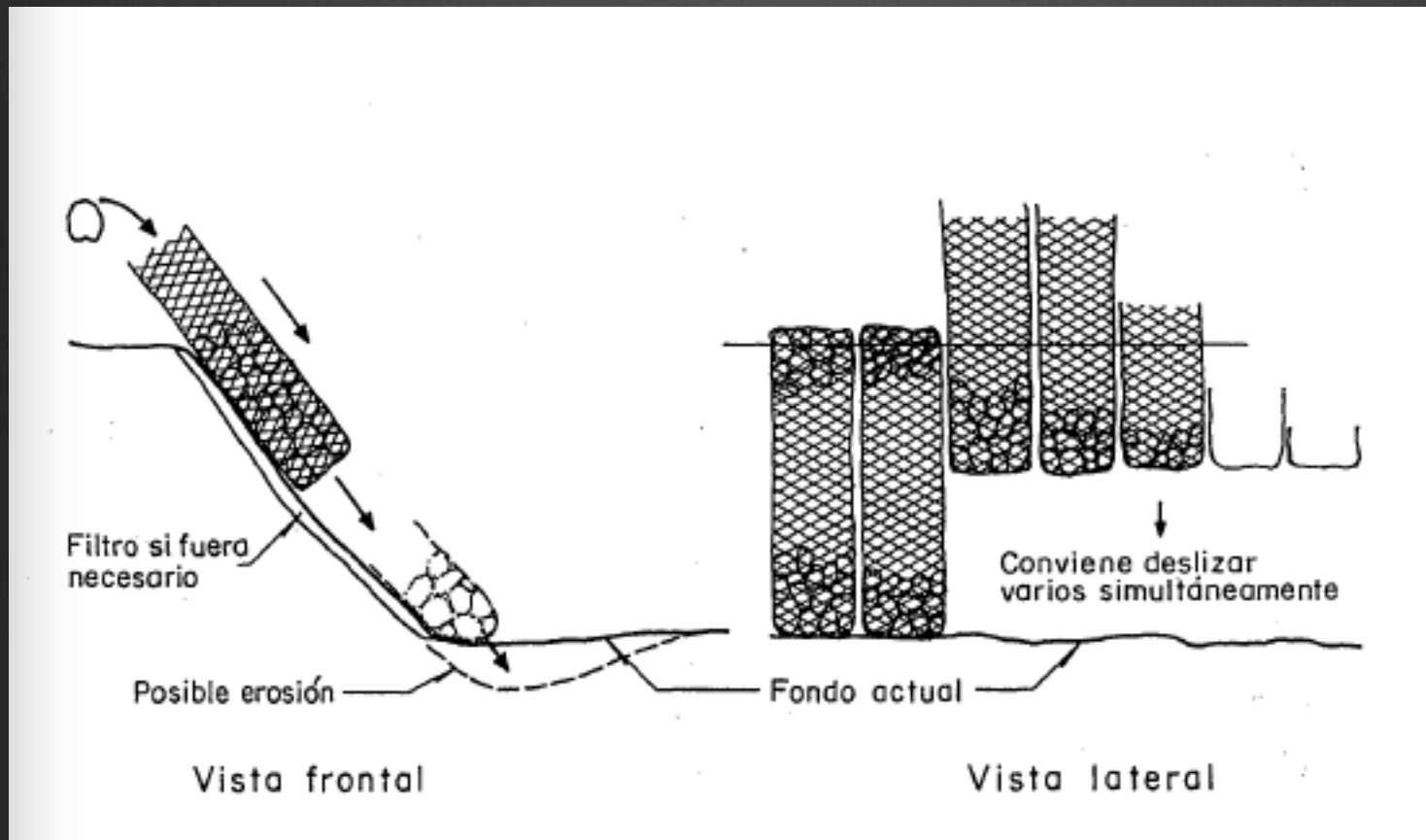
Jacks



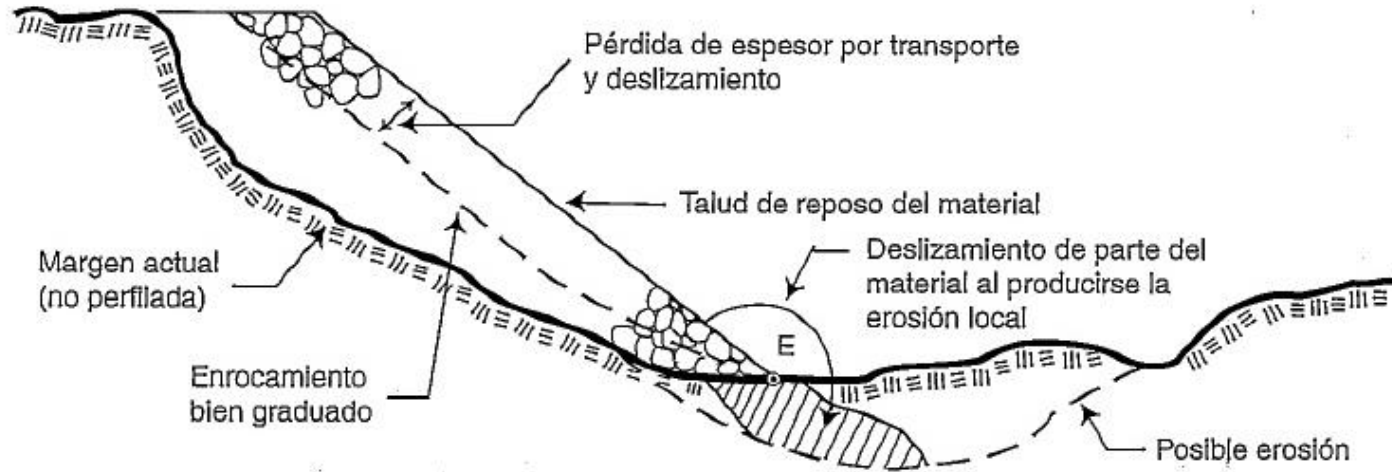
Nota: No hay separación entre los jaks. Se dibujarán separados por comodidad

Cilindros de malla con grava o boleo

Deslizar libremente por la margen cuando talud $< 0.4:1$, $\phi > 68^\circ$



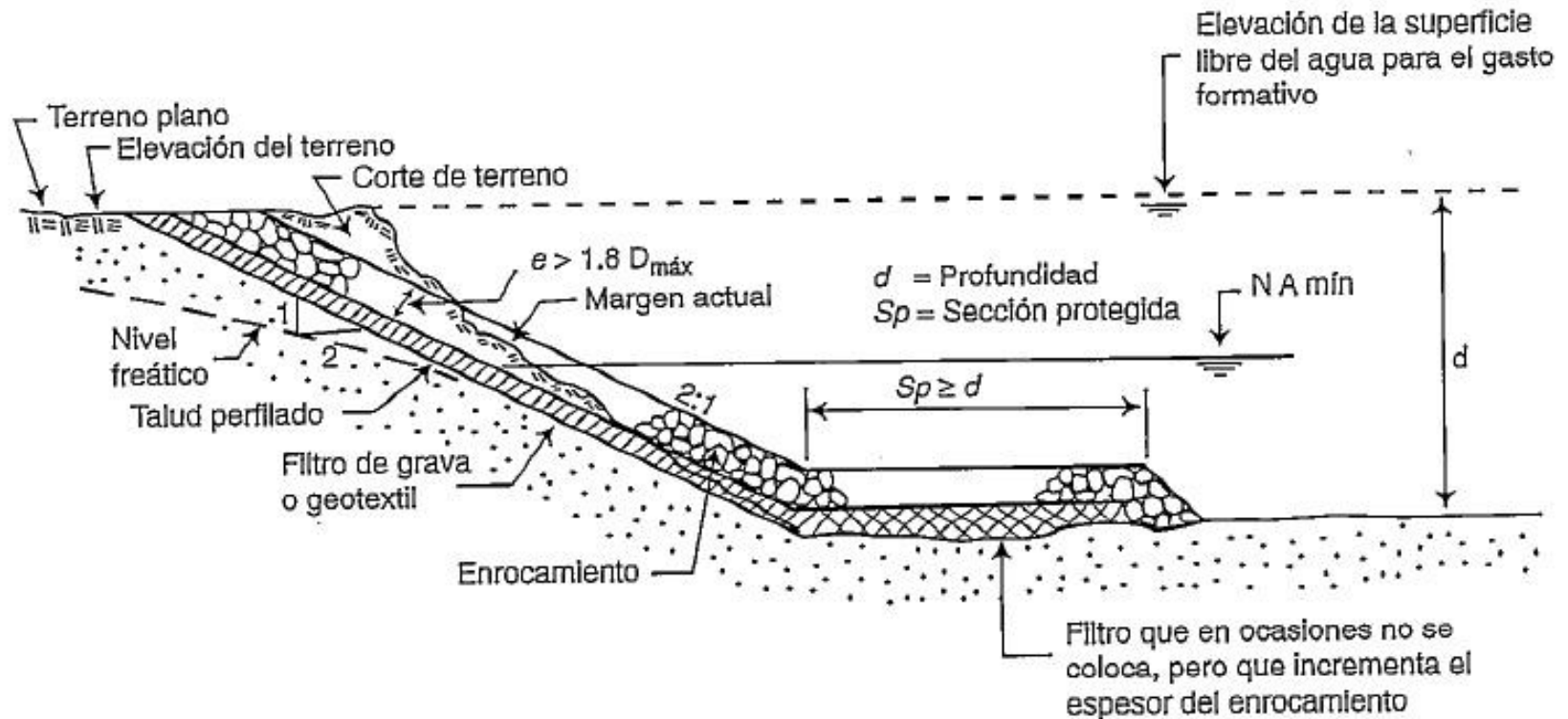
Talud de la protección



Talud 2:1 a
3:1 en
enrocamiento

Figura 9.52 Recubrimiento sin filtro y sin protección contra la erosión local al pie del talud. Tomada y adaptada del *Manual de ingeniería de ríos* de Maza y García, 1996.

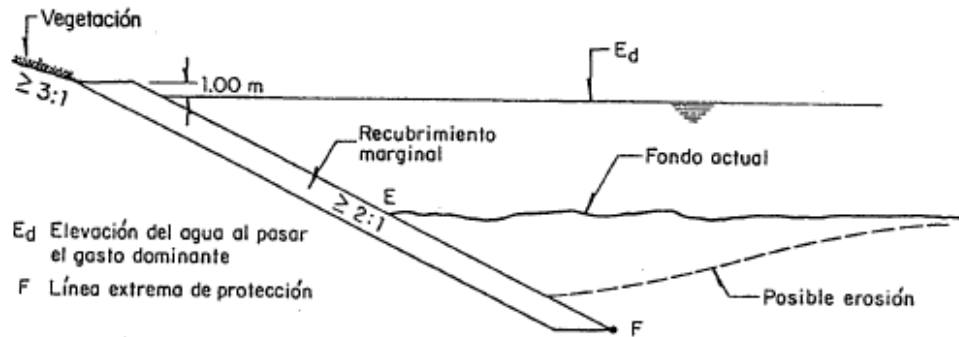
Recubrimiento sobre talud perfilado



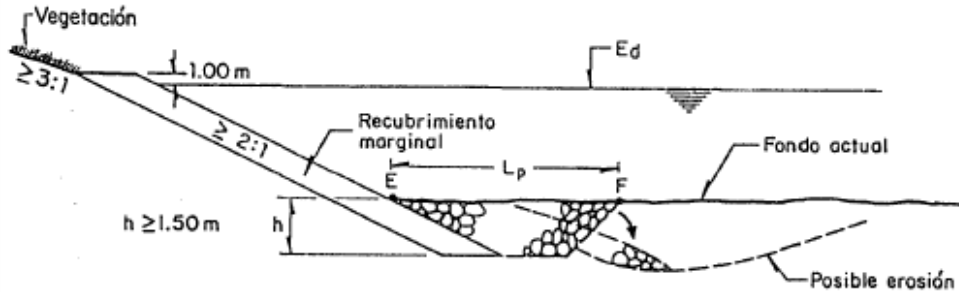
Falla de recubrimiento no protegido



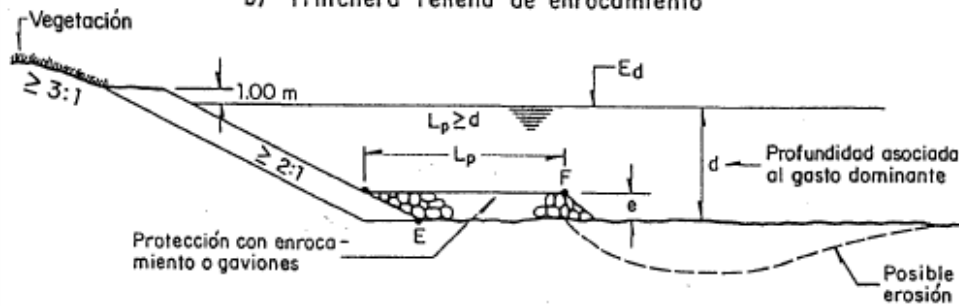
Formas de proteger contra la erosión



a) Recubrimiento desplantado a una elevación inferior que la de la posible erosión



b) Trinchera rellena de enrocamiento



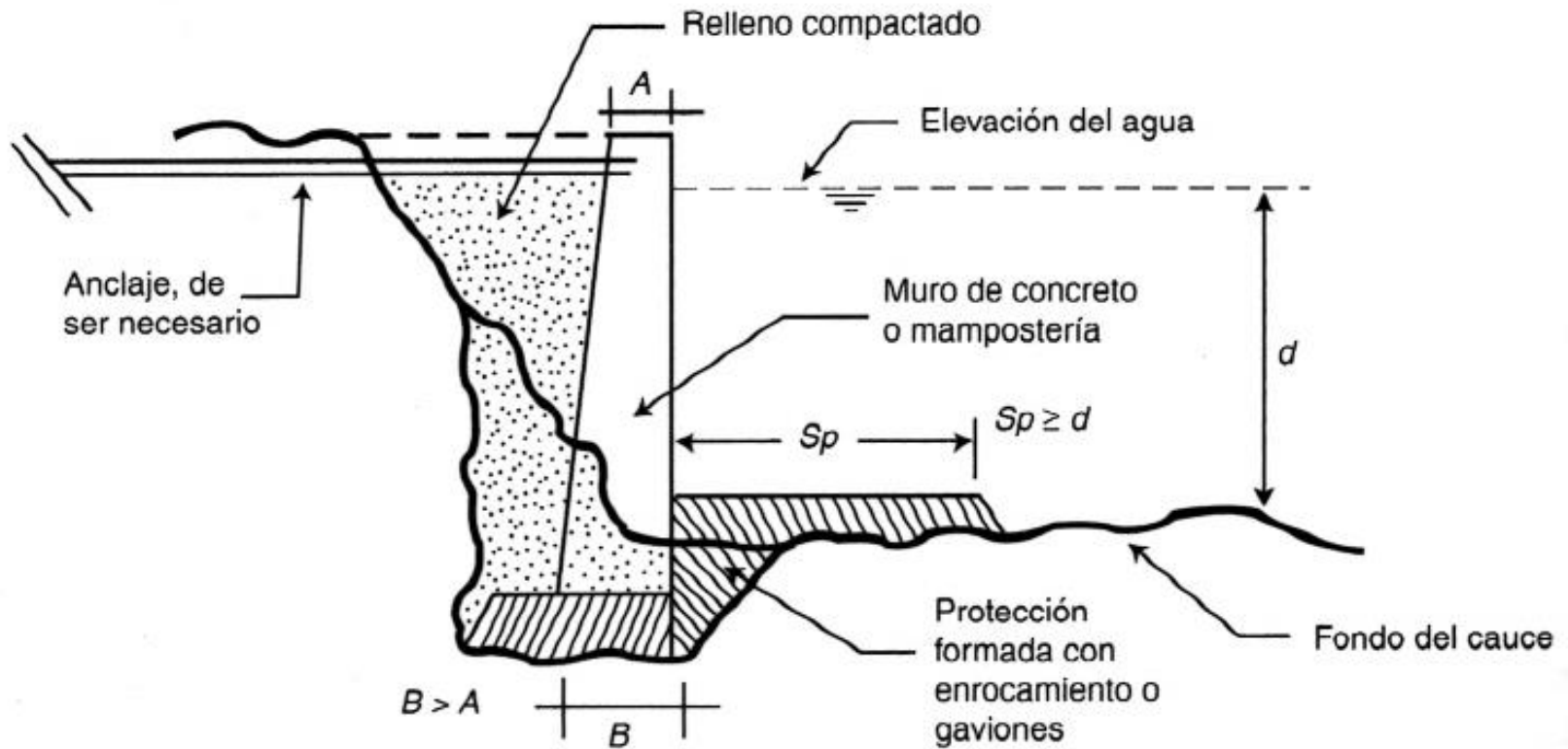
c) Delantal de protección

Tamaño del enrocamiento

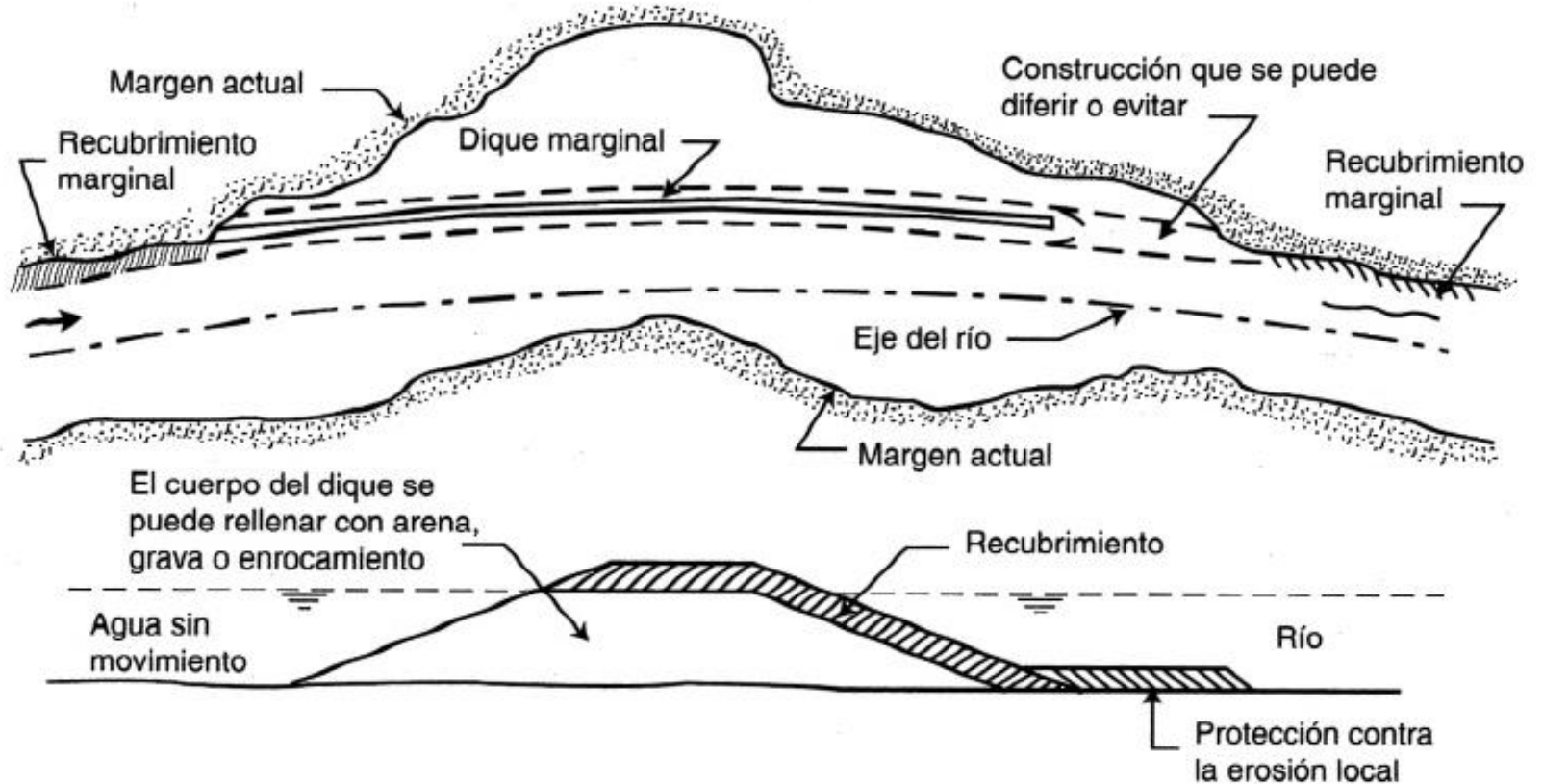
$$\frac{d_{30}}{y_n} = 0,36 \left[\left(\frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \right)^{0,5} \frac{V}{\sqrt{g y_n}} \right]^{2,5}$$

Espesor mínimo:
 $1.5 - 2 D_{30}$

Muros verticales



Diques marginales



Corte de meandros I

- Si $BC=4B'C'$, Capacidad hidráulica crece al doble
- Se incrementa $S \rightarrow$ se destruye el equilibrio \rightarrow el río desarrolla nuevos meandros
- Proteger márgenes con espigones/recubrimientos marginales
- Alto costo
- El material (arenoso) erosionado por la mayor capacidad de transporte de sedimentos en $B'C'$ se deposita después de C

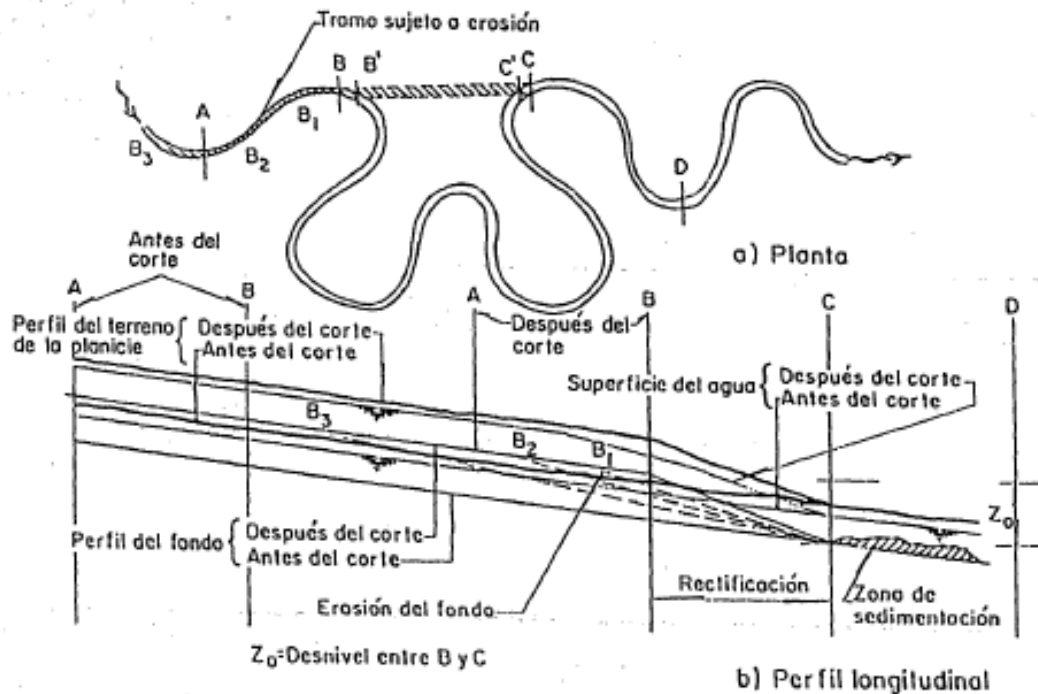


Fig 15.34 Erosión del fondo y cambio del perfil del agua al cortar meandros

Corte de meandros II

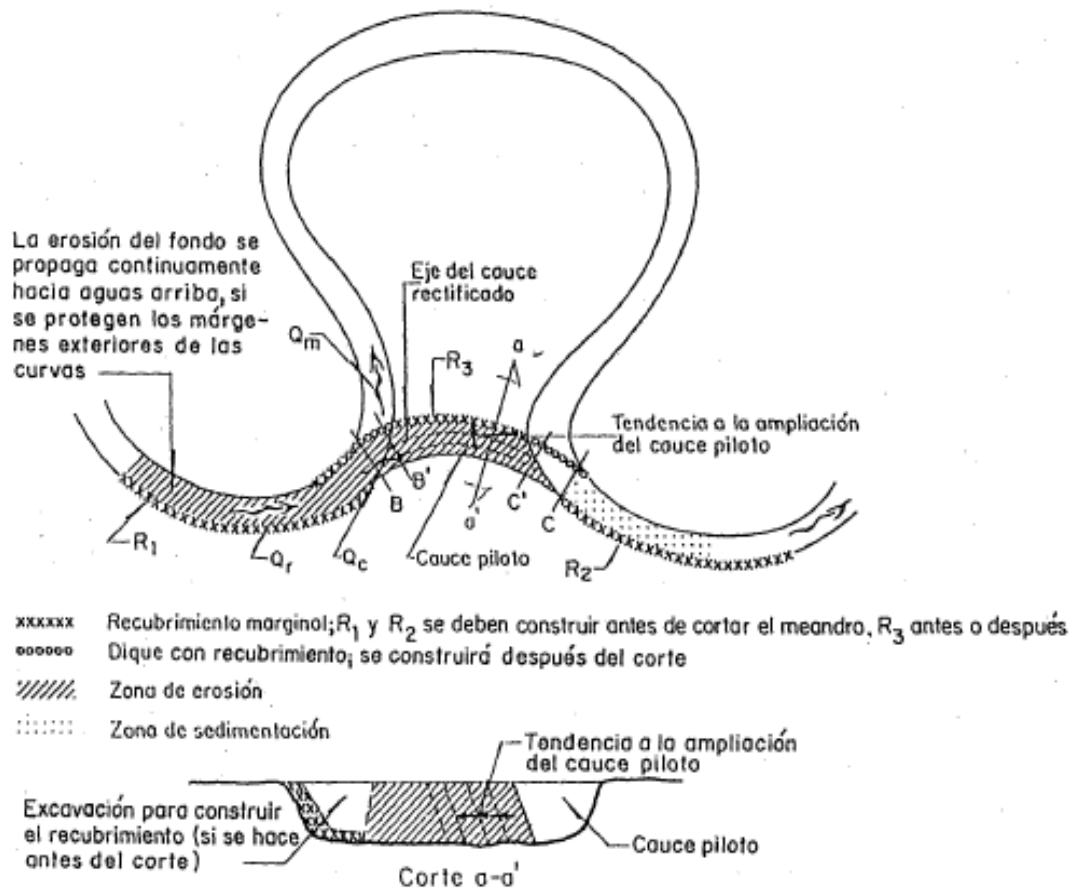


Fig 15.35 Corte de un meandro

- Cauce piloto
- Ancho mínimo: 2 (nivel del terreno – nivel fondo)

$$\frac{t_0}{t_c} = 3$$

$$t_0 = gRS$$

$$Q_r = Q_c + Q_m$$

$$\frac{Q_c}{Q_r} + \frac{Q_m}{Q_r} = 1$$

Si $D_* \leq 333$:

$$\tau_c = g(\rho_s - \rho)D_m \left[\frac{0.2196}{D_*} + 0.077 \exp \left\{ - \left(\frac{30.35}{D_*} \right)^{0.563} \right\} \right]$$

Cuando $D_* > 333$ se utiliza la relación

$$\tau_c = 0.06 g(\rho_s - \rho)D_m$$

en que

$$D_* = D_m \left[\frac{(\rho_s - \rho)g}{\rho\nu^2} \right]^{1/3} = D_m \left[\frac{\Delta g}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

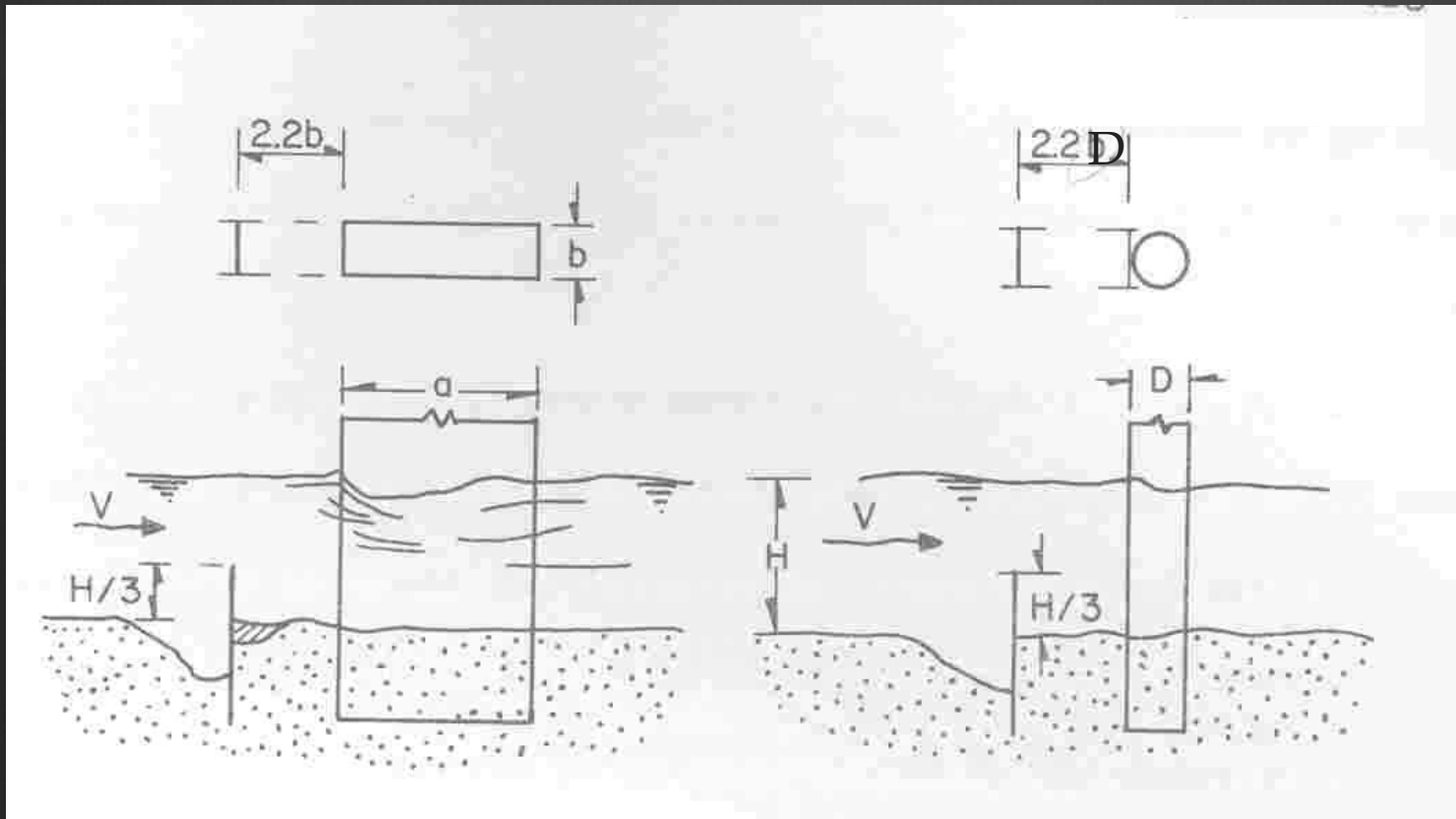
donde

- ρ_s densidad de las partículas, en kg/m^3
- D_m diámetro medio de las partículas del fondo, en m
- ν viscosidad cinemática del agua, en m^2/s
- D_* número adimensional de la partícula.
- Δ densidad relativa de las partículas sumergidas. Se obtiene de

Curva de Shields

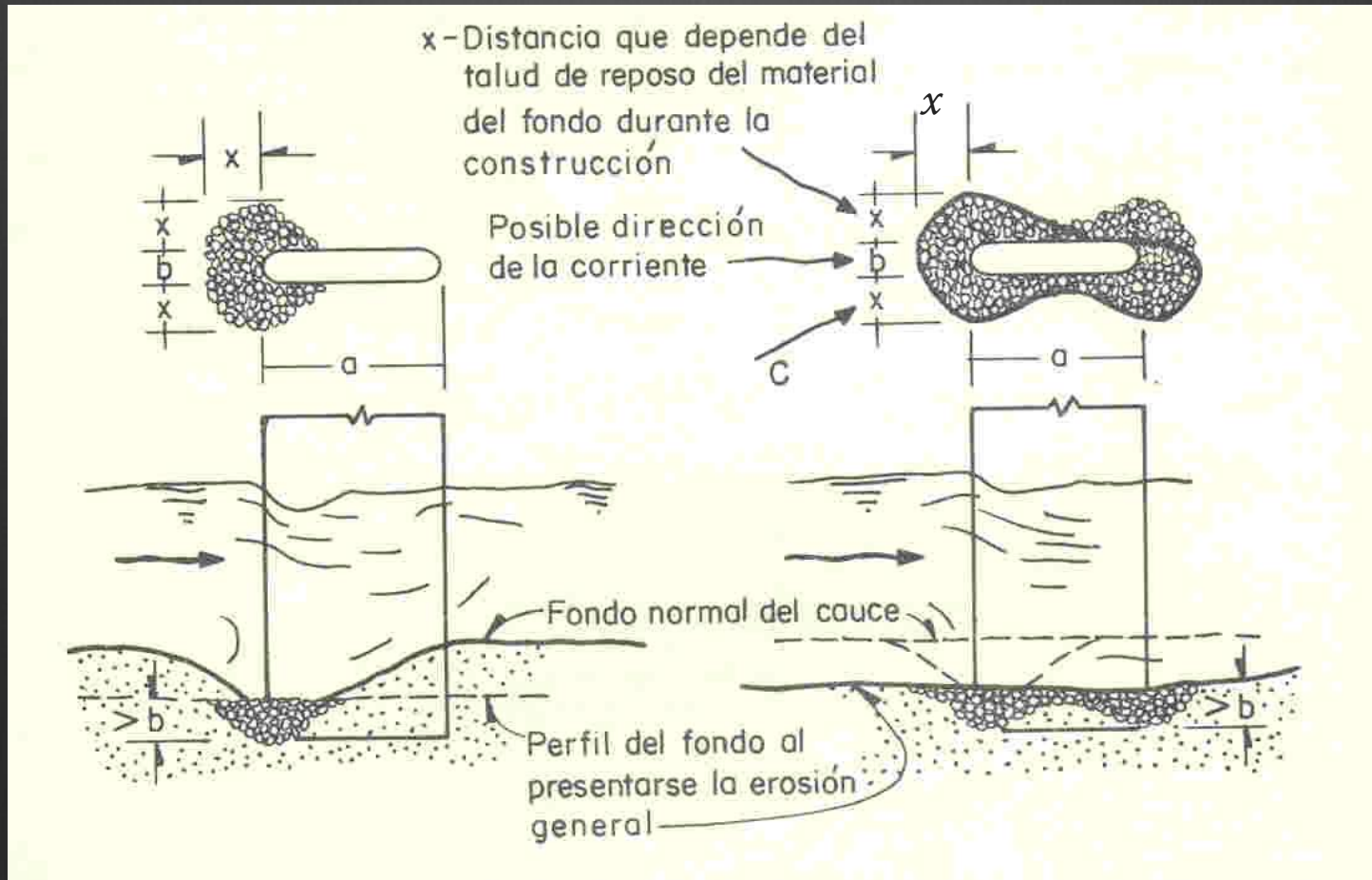
Obras de protección local

Levi-Luna



- Reduce la erosión en 70%
- Útil cuando el eje longitudinal de las pilas está alineado con la corriente
- Puede usarse cuando ya hay hoyo

Obras de protección local



Ángulo de incidencia nulo

Ángulo de incidencia variable

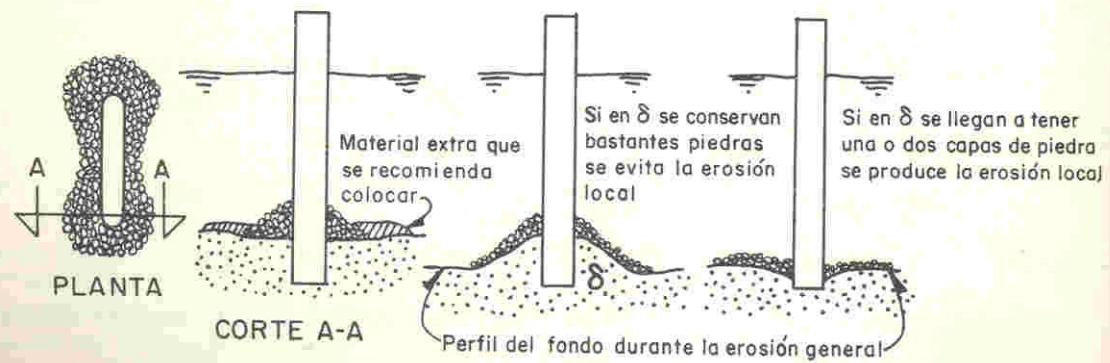
Obras de protección local

Velocidad de la corriente, V_1 m/s	Peso específico del material, en kg/m^3				
	1600	1800	2000	2200	2400
1	8	8	7	6	6
1.3	15	13	12	11	10
2.0	18	16	13	13	12
2.5	27	24	21	19	18
3.0	38	34	31	28	26
3.5	53	46	42	38	35
4.0	68	60	54	50	46
4.5	86	77	69	63	58
			85	77	70

Diámetro mínimo de las piedras (cm) para tirante $h=1$ m

$$\text{Si } h \neq 1\text{m, } V = V_1 h^\alpha, \alpha = \frac{1}{2+h}$$

- Tres capas como mínimo
- Tomar en cuenta socavación general
- Conviene colocar el material durante una creciente para aprovechar la erosión



a. Condición antes de la erosión general

b. Condición durante la erosión general

T A B L A X I X

Valores de $Z = Y_o/X_o$

Q/Q_m	1.175	1.19	- 1.33	1.35	- 1.54	1.56 - 1.82 o más
$Z = Y_o/X_o$	1.50	1.67		1.83		2.00