



FDI - CORFO



INFOR
Instituto Forestal



Seminario Internacional

*Ingeniería para el
Aprovechamiento y Conservación
de Aguas y Suelos*

*Autor: José Luis García Rodríguez
U.D. Hidráulica e Hidrología
E.T.S. Ingenieros de Montes. U.P.M.*

*21 de Noviembre de 2003.
Santiago de Chile.*

Hidrotecnias

PRINCIPIOS
DE
HIDRAULICA TORRENCIAL
SU APLICACION
A LA CORRECCION DE TORRENTES

POR
JOSE MARIA GARCIA NAJERA
INGENIERO DE MONTES

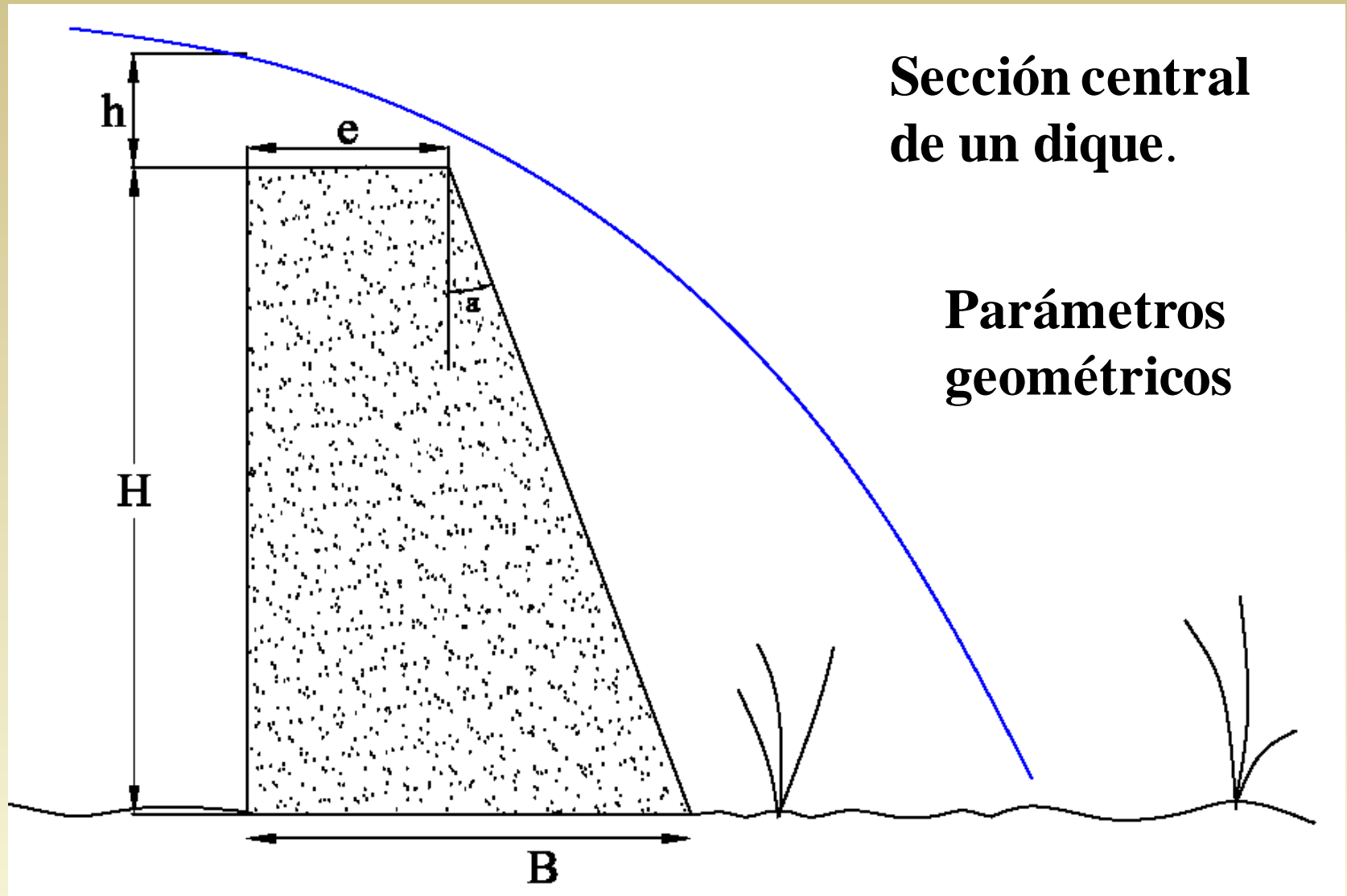


INSTITUTO FORESTAL DE INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS
MADRID
1 9 4 3

SISTEMA CORRECTOR DE UNA CUENCA

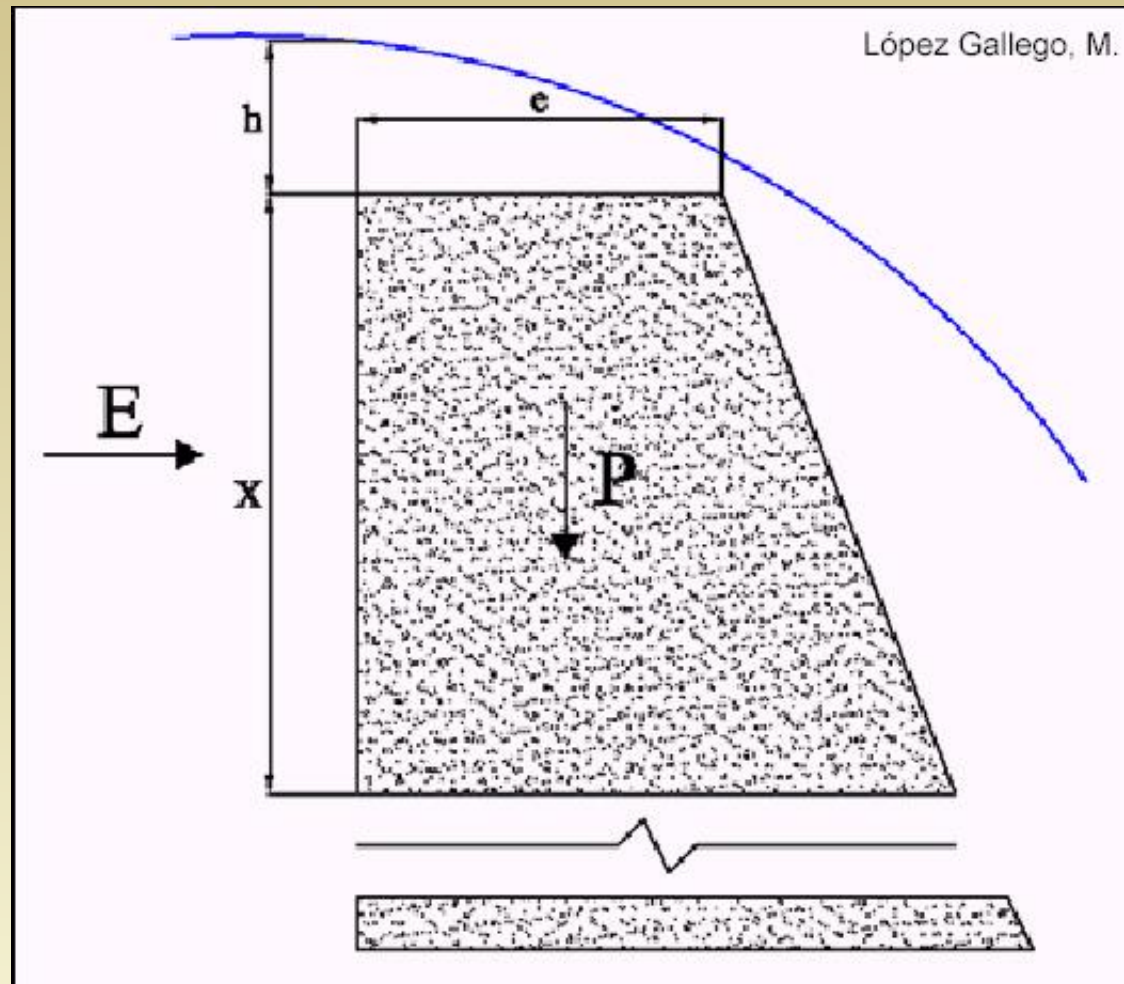
Sistema corrector de una cuenca torrencial.

Acciones				
Localización	Características		Propósito	
En la cuenca		Acciones biológicas	Coberturas vegetales Forestación	Control de erosión laminar y en regueros Mejoras de la infiltración Control de escorrentías directas
		Prácticas mecánicas	Terrazas Drenajes	Control de erosión laminar y regueros Control de la humedad del suelo Control de los movimientos en masa
		Pequeñas obras transv.	Albaradas, palizadas Fajinas	Control de cárcavas Control de la erosión remontante
En el cauce (Régimen torrencial)	Area de erosión	Obras transversales	Diques de consolidación	Perfil de equilibrio o compensación (control de erosión del lecho) Consolidación de laderas marginales
			Diques de retenida	Total Selectiva
	Area de sedimentación	Obras longitudinales	Umbrales de fondo Cubiertas vegetales y revestimientos Espigones Muros de defensa Soleras	Control de la erosión del lecho Defensa contra erosiones laterales aumentando resistencia de las márgenes y/o controlando la velocidad del agua Defensa contra erosiones laterales desviando las aguas Defensa de márgenes y rectificación del eje hidráulico Protección del lecho contra la erosión
			Obras mixtas	Perfil escalonado con tramos erosionables (muros longitudinales, solera, rastrillos)
En el cauce (Régimen fluvial)		Obras longitudinales	Revestimientos y espigones Malecones	Defensa de márgenes contra erosiones laterales Defensa contra inundaciones y rectificación del eje hidráulico



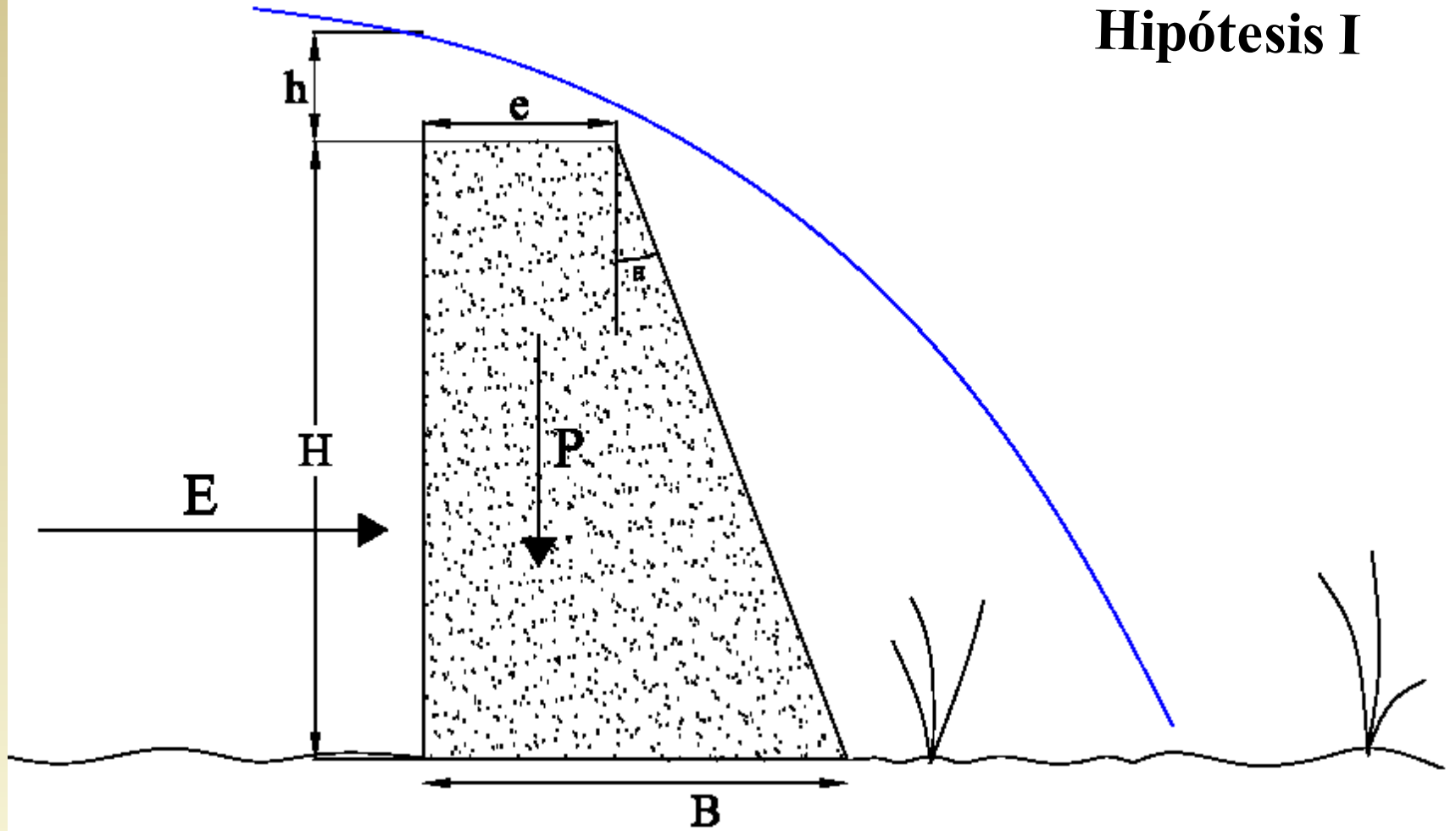
**Sección central
de un dique.**

**Parámetros
geométricos**

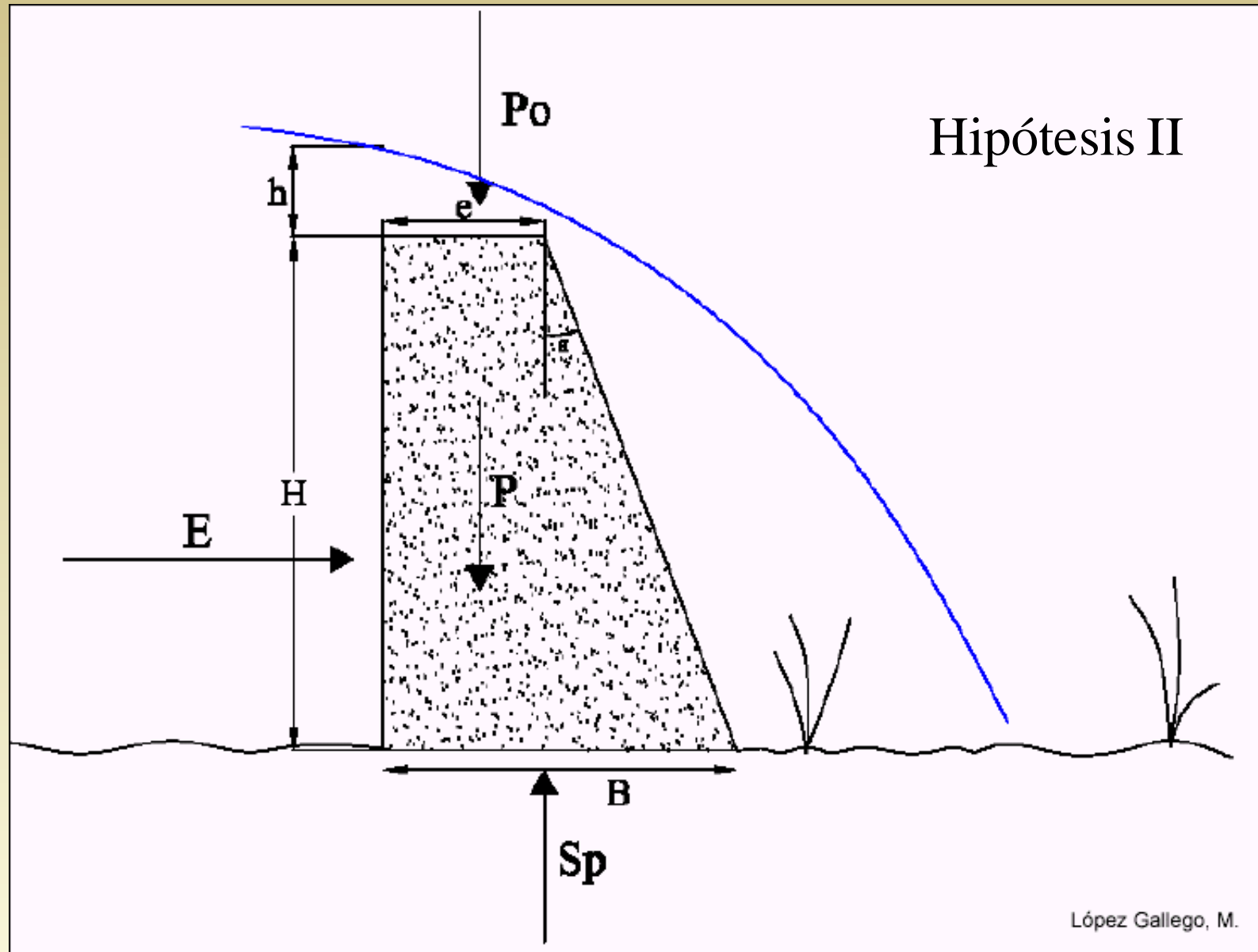


Espesor en coronación de un dique

Hipótesis I

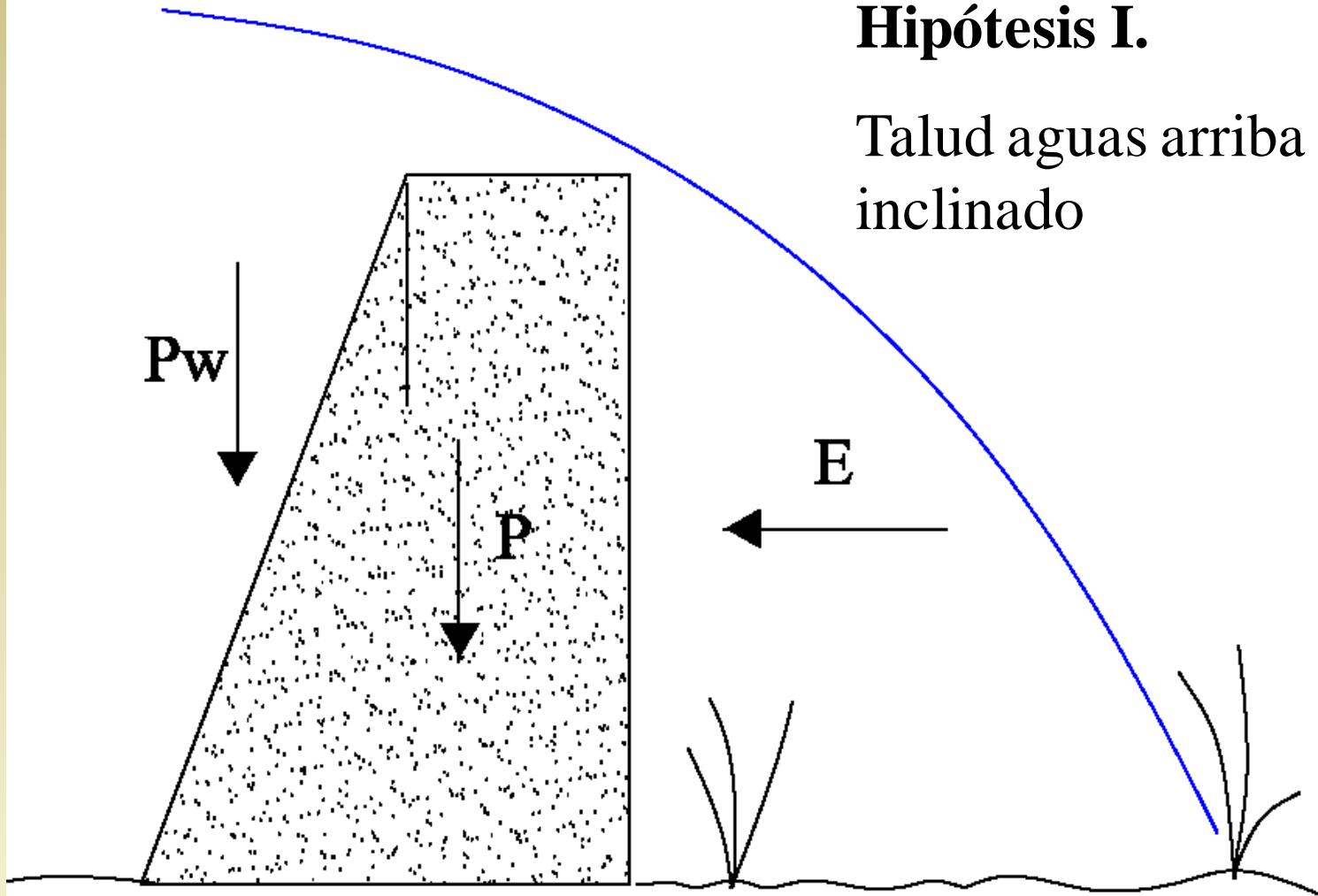


Hipótesis II



Hipótesis I.

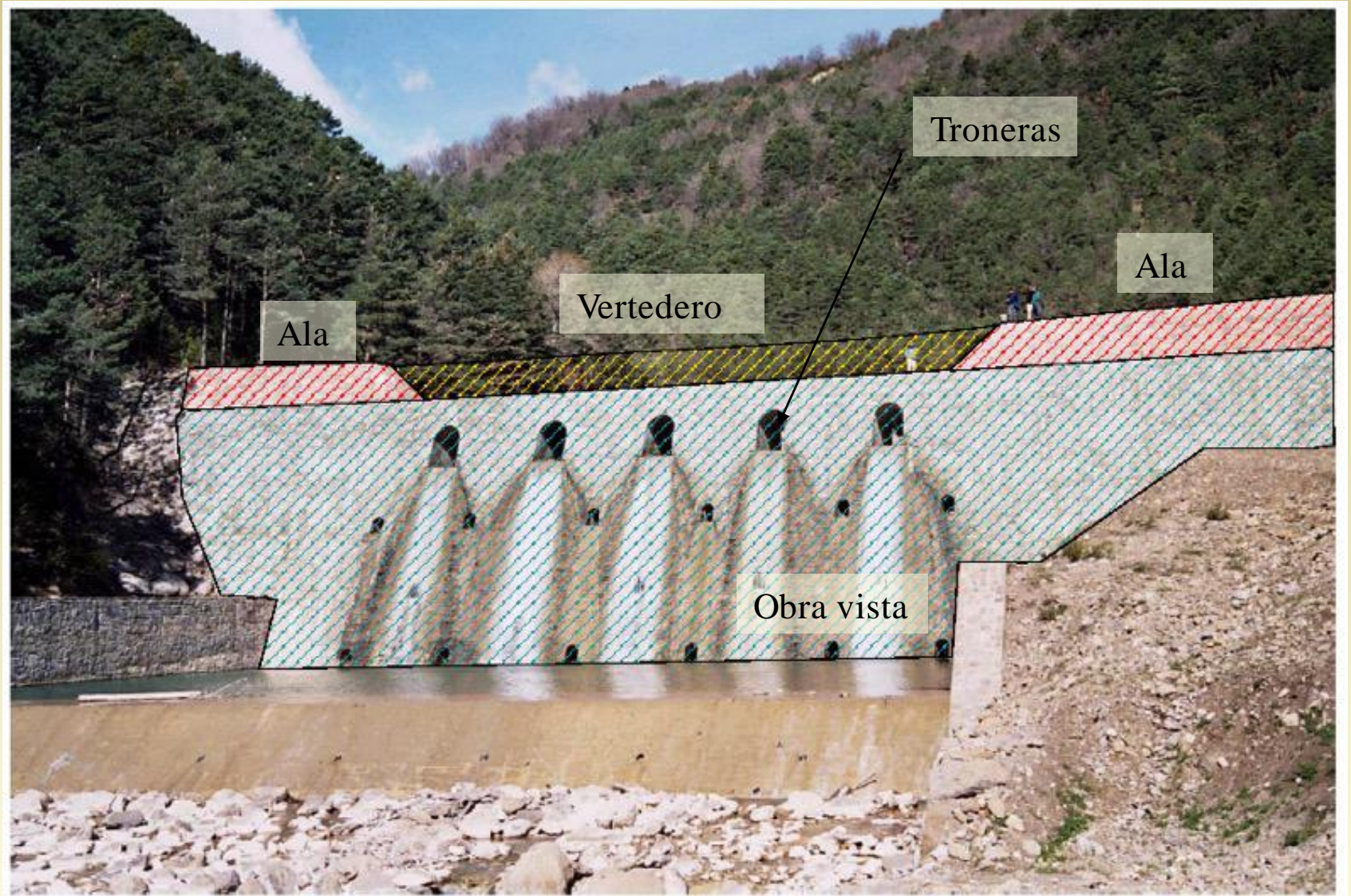
Talud aguas arriba
inclinado



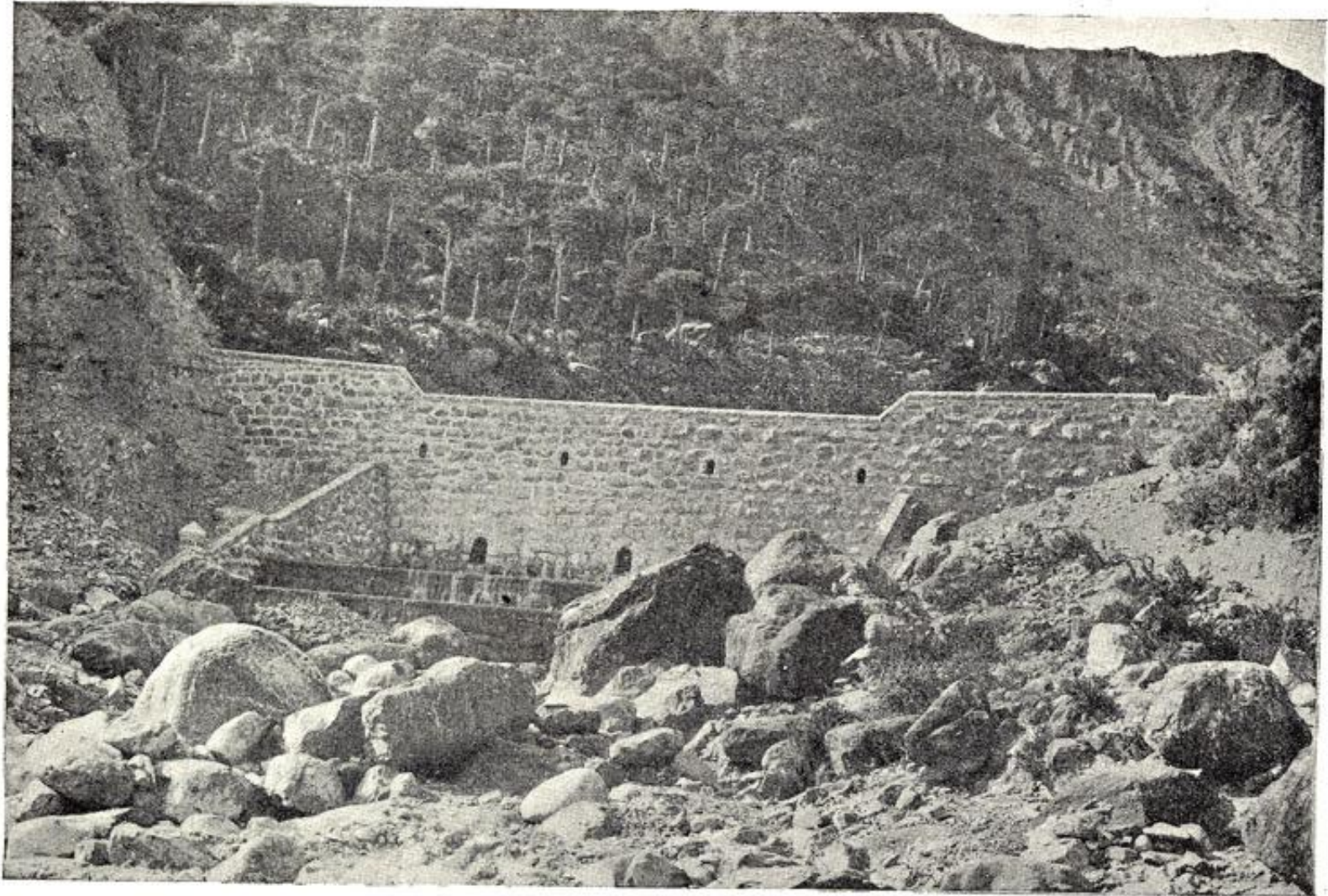
DIQUE DE CORRECCIÓN



DIQUE DE CORRECCIÓN



DIQUE DE CORRECCIÓN



CUENCA DEL GÁLLEGO - DIQUE EN EL TORRENTE ARÁS

Ayerbe fot.











DIQUE DE CORRECCIÓN

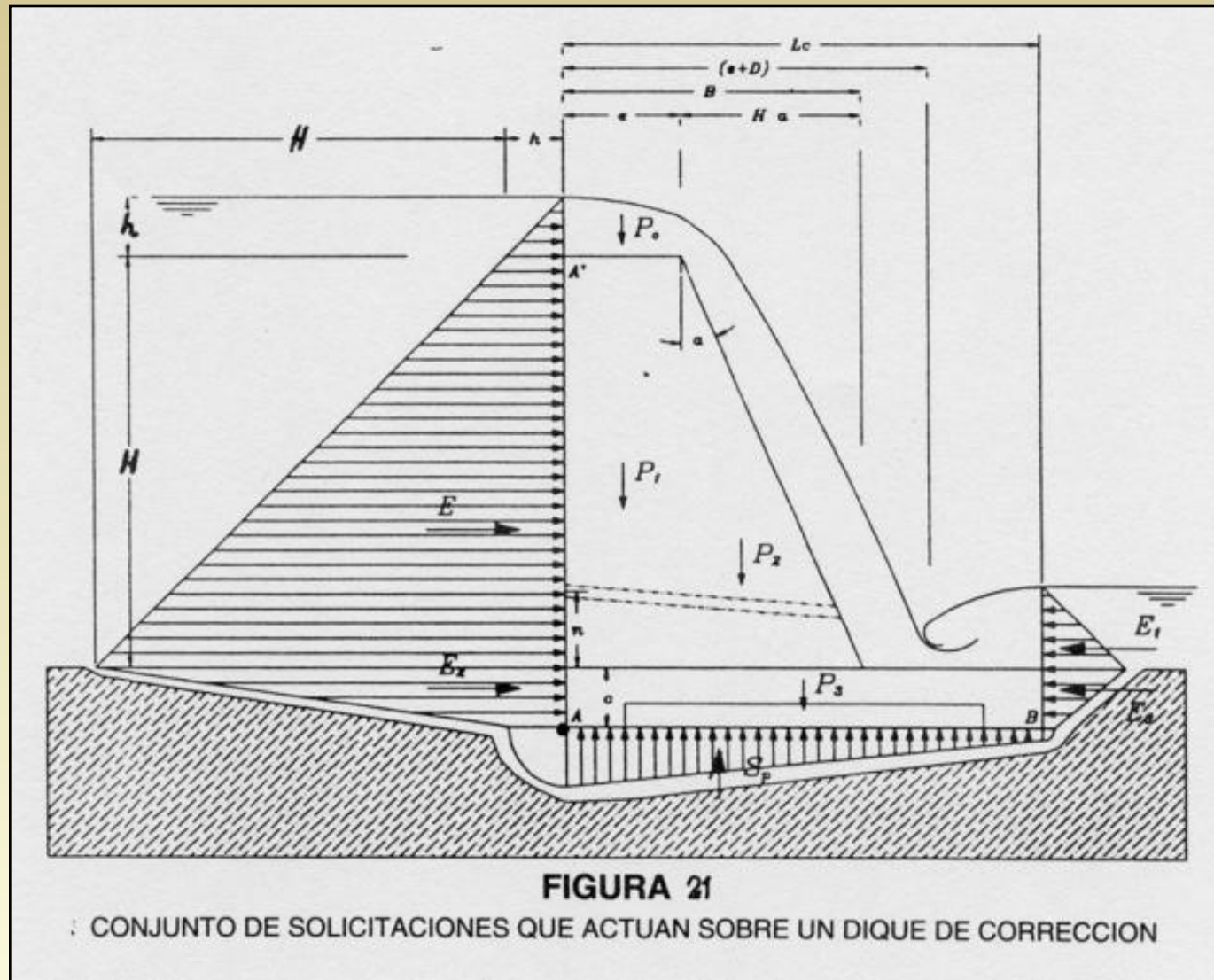
Altura del vertedero, $h = \sqrt[3]{\frac{q^2}{b^2 \cdot g}}$

Espesor en coronación, $e \geq \frac{h \cdot \gamma}{\gamma_s \cdot f}$

Espesor en la base, $B = a \cdot H + e$

$a = \text{tg } \alpha$

Solicitaciones y sus brazos de cálculo en la hipótesis II



Solicitaciones y sus brazos de cálculo en la hipótesis II

$$P_0 = e \cdot h \cdot \gamma$$

$$X(P_0) = \frac{(4aH + e)}{6}$$

$$P = \frac{(a \cdot H + 2e)}{2} H \cdot \gamma_s$$

$$X(P) = \frac{(a \cdot H + e)^2 + e(a \cdot H + e) - e^2}{3(a \cdot H + 2 \cdot e)}$$

$$E = H \left(\frac{H}{2} + h \right) \gamma$$

$$X(E) = \frac{H(H + 3h)}{3(H + 2h)}$$

$$Sp = \left(\frac{a \cdot H + e}{2} \right) (H + h) \gamma_0 \cdot k$$

$$X(S_p) = \frac{(aH + e)}{3}$$

Solicitaciones y sus brazos de cálculo para calcular la cimentación.

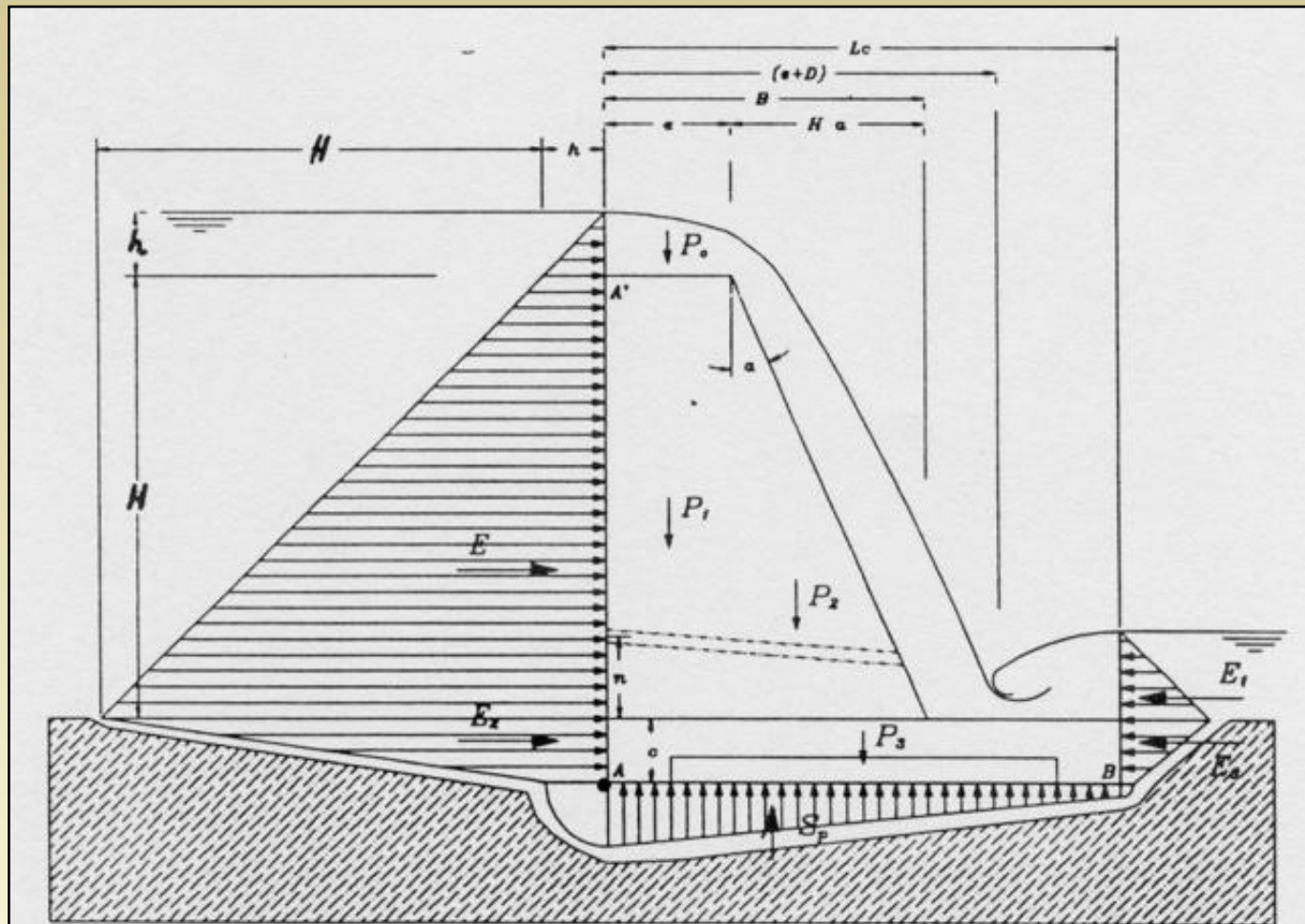


FIGURA 21

: CONJUNTO DE SOLICITACIONES QUE ACTUAN SOBRE UN DIQUE DE CORRECCION

Solicitaciones y sus brazos de cálculo para calcular la cimentación.

Alcance de la lámina vertiente

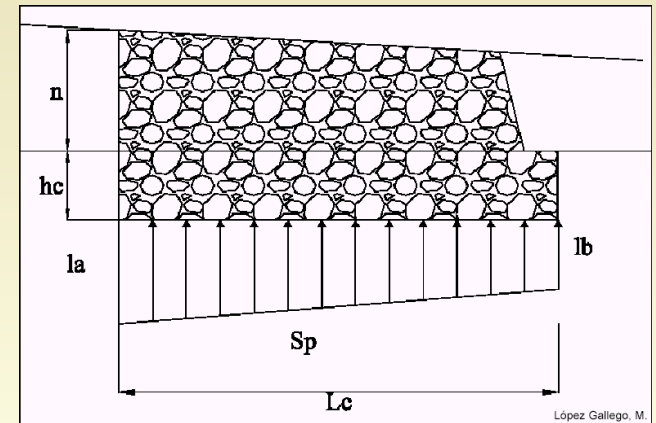
$$D = \sqrt{2H \cdot h + h^2}$$

Longitud de cimentación

$$Lc \geq D+e$$

Subpresión

$$la = n - \left(\frac{c}{2c + \frac{Lc}{3}} \right) \cdot n \quad lb = n - \left(\frac{c + \frac{Lc}{3}}{2c + \frac{Lc}{3}} \right) \cdot n$$



Solicitaciones y sus brazos de cálculo para calcular la cimentación.

Solicitaciones y brazos

$$E = H \left(\frac{H}{2} + h \right) \gamma$$

$$X(E) = \frac{1}{3}(H + h) + h_c$$

$$P_0 = e \cdot h \cdot \gamma$$

$$X(P_0) = \frac{e}{2}$$

$$P_{11} = e \cdot H \cdot \gamma_s$$

$$X(P_{11}) = \frac{e}{2}$$

$$P_{12} = \frac{(B - e) \cdot H \cdot \gamma_s}{2}$$

$$X(P_{12}) = \frac{1}{3}(B - e) + e$$

$$P_2 = L_c \cdot h_c \cdot \gamma_s$$

$$X(P_2) = \frac{L_c}{2}$$

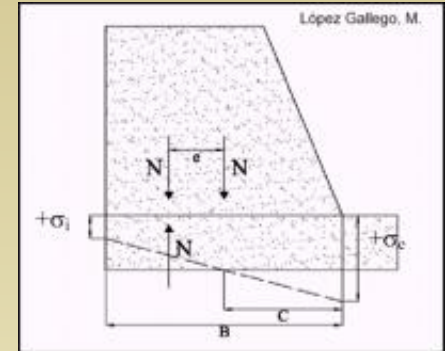
$$Sp = \left(\frac{la + lb}{2} \right) \cdot L_c \cdot \gamma_0 \cdot k$$

$$X(Sp) = \frac{L_c \cdot (2lb + la)}{3 \cdot (la + lb)}$$

Solicitaciones y sus brazos de cálculo para calcular la cimentación.

Excentricidad

$$e \leq \frac{Lc}{6} \quad e = m - \frac{Lc}{2} = \frac{\sum M_A}{\sum F_V} - \frac{Lc}{2}$$



Tensiones de compresión que soporta el suelo

$$\sigma_B = \frac{\sum FV}{Lc} \cdot \left(1 + \frac{6e}{Lc}\right)$$

$$\sigma_A = \frac{\sum FV}{Lc} \cdot \left(1 - \frac{6e}{Lc}\right)$$

$$\sigma_m = \frac{1}{4} \cdot (3 \cdot \sigma_B + \sigma_A) \rightarrow \sigma_A > 0$$

$$\sigma_m = \frac{1}{4} \cdot (3 \cdot \sigma_B) \rightarrow \sigma_A < 0$$

Condición de deslizamiento

$$\frac{\sum F_H}{\sum F_V} \leq f_{\text{zapata-terreno}}$$

Resalto hidráulico. Casos

Número de Froude al pie del dique, en el supuesto que se trate de aguas limpias.

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{(g \cdot h_1)}}$$

Si $F_1 = 1$, es la situación de una sección crítica.

Si, $1 \leq F_1 < 1,7$, no es preciso realizar el dissipador de energía, bastando con un zampeado de mampostería hidráulica u hormigón, para la protección del lecho y seguridad de la obra.

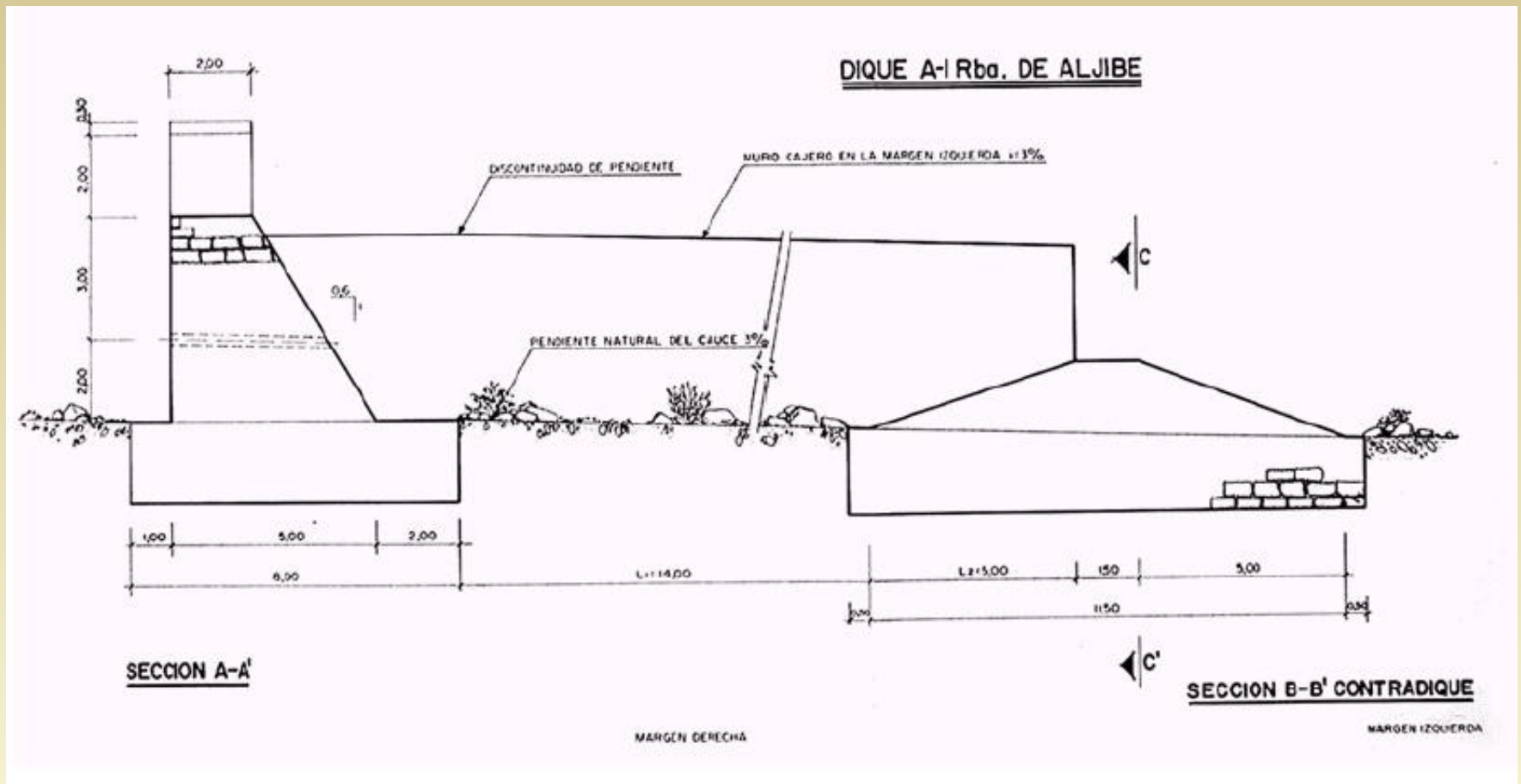
Si $1,7 \leq F_1 < 2,5$, el empleo del dissipador de energía es discrecional, en cualquier caso su efecto es poco relevante. Se puede utilizar el cuenco amortiguador.

Si $2,5 \leq F_1 < 4,5$, se trata de una zona crítica en donde el resalto se estabiliza con dificultad. Si es posible, conviene evitar este intervalo, operando con las dimensiones del vertedero, a fin de modificar el régimen de descarga.

Si $4,5 \leq F_1 < 9$, se trata de valores para los que el empleo de los dissipadores de energía resulta adecuado.

Si $F_1 \geq 9$, se recomienda variar la geometría del vertedero.

Disipadores de energía



Disipadores de energía

$$H + h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = h_1 + \frac{Q^2}{2g \cdot b_1^2 \cdot h_1^2 \cdot \varphi^2}$$

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot h_1}}$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left[\left(\sqrt{1 + 8 \cdot F_1^2} \right) - 1 \right]$$

$$L_1 = 5(h_2 - h_1)$$

$$p = h_2 - h_4$$

$$2p \leq L_2 \leq 4p$$

$$L_3 = e_{cd} = \frac{h_3 \cdot \gamma}{\gamma_s \cdot f}$$

$$h_4 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{b_{cd}^2 \cdot g}}$$

$$h_3^{5/3} = \frac{n \cdot q}{I^{1/2}}$$

Mampostería gavionada. Perfiles

PERFIL	CONDICIONES	
	no deslizamiento	núcleo central
<p>(I)</p>	$\varphi \cdot \gamma_g (a_1 + \dots + a_i) \geq \frac{1}{2} \gamma \cdot i^2 \text{ de donde:}$ $a_i \geq \frac{\gamma i^2}{2\varphi \cdot \gamma_g} - (a_1 + \dots + a_{i-1})$	$\gamma_g \left[(a_1 \left(\frac{2}{3} a_1 - \frac{a_1}{2} \right) + a_1 (a_1 \left(\frac{2}{3} a_1 - \frac{a_1}{2} \right) \right) - \frac{1}{6} i^3 \gamma \text{ de donde:}$ $a_i \geq -2 [a_1 + \dots + a_{i-1}] + \sqrt{4 [a_1 + \dots + a_{i-1}]^2 + 3 [a_1^2 + \dots + a_{i-1}^2] + \frac{\gamma}{\gamma_g} i^3}$
<p>(II)</p>	$\varphi \cdot \gamma_g [a + (a+d) + \dots + (a + (i-1) d)] \geq \frac{\gamma i^2}{2}$ <p>de donde:</p> $d \geq \frac{2}{i-1} \left[\frac{1\gamma}{2\varphi \gamma_g} - a \right]$	$\gamma_g \left[a \left[\frac{2}{3} (a + (i-1) d - \frac{a}{2}) + \dots + [a + (i-1) d] \left[\frac{2}{3} 8a + (i-1) d - \frac{a + (i-1) d}{2} - \frac{\gamma i^3}{3} \right] \right]$ <p>de donde:</p> $d \geq \frac{1}{2i-3} \left[-3a + \sqrt{9a^2 - 2 \left[\frac{2i-3}{i-1} \right] \left[a^2 - \frac{\gamma}{\gamma_g} i^2 \right]} \right]$
<p>(III)</p>	$\varphi \cdot \gamma_g (a_1 + \dots + a_i) \geq \frac{\gamma}{2} i^2 \text{ de donde:}$ $a_i \geq \frac{i^2 \gamma}{2\varphi \gamma_g} - [a_1 + \dots + a_{i-1}]$	$\gamma_g \left[a_1 (i-1) d + \frac{a_1}{2} - \frac{a_1}{3} \right] + \dots + a_1 \left[d + \frac{a_1}{2} - \frac{a_1}{3} \right] = \frac{\gamma}{6} i^3 \text{ de donde:}$ $\sum_{j=1}^{i-1} a_j \left[[i-j] d + \frac{a_j}{2} - \frac{a_j}{3} \right] = \frac{1}{6} \frac{\gamma i^3}{\gamma_g}$

Detalle constructivo de mampostería gavionada

Detalle constructivo

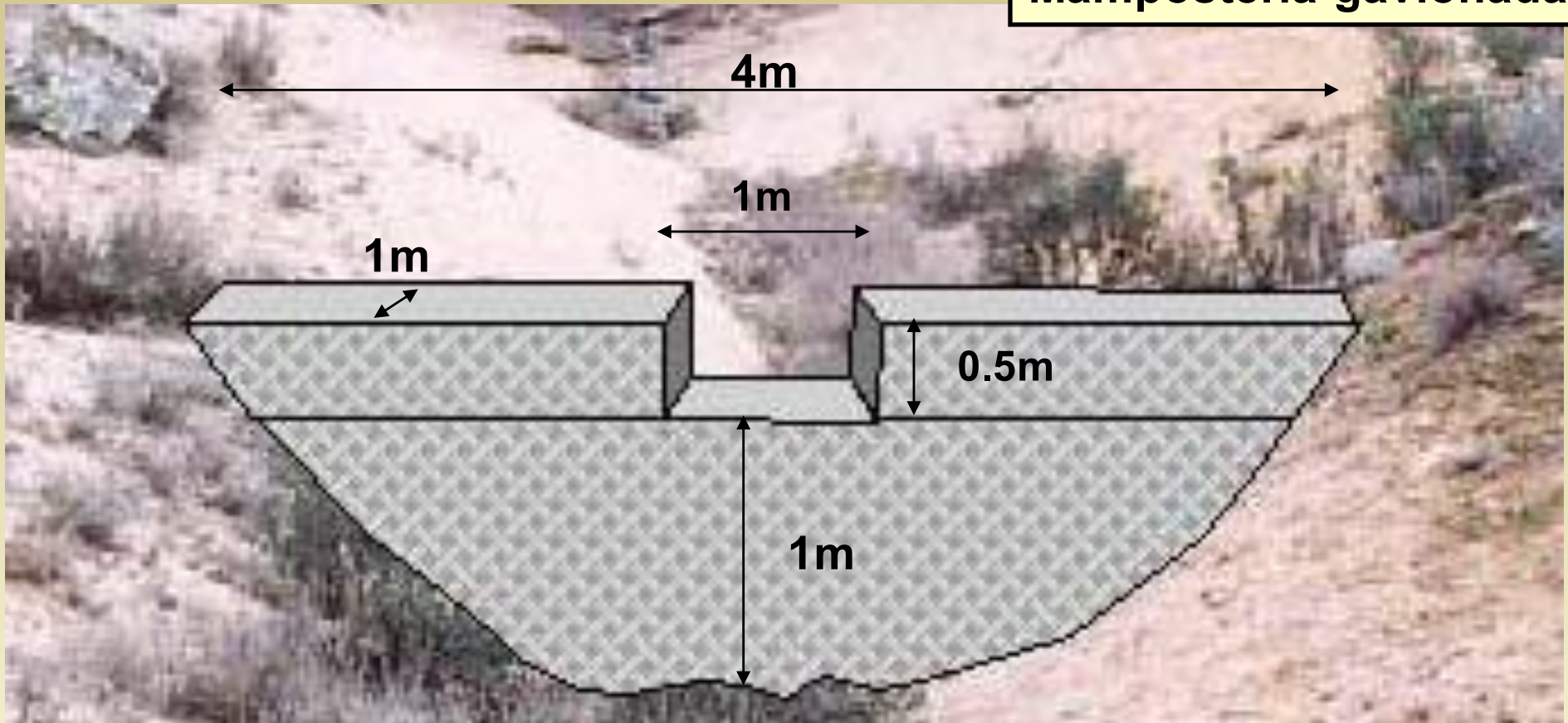


SISTEMA CORRECTOR

Obras civiles – Albarrada

Actuación propuesta

Mampostería gavionada



– establecimiento de un perfil de equilibrio o compensación que controle la erosión en el lecho de la cárcava.

– frenar el avance de la cárcava posibilitando el drenaje a través de la estructura gavionada

Presupuesto: 923,30 €

Plazo: 4 días



30. 11. 2000



11. 12. 2000



17. 1. 2001







10. 1. 2001



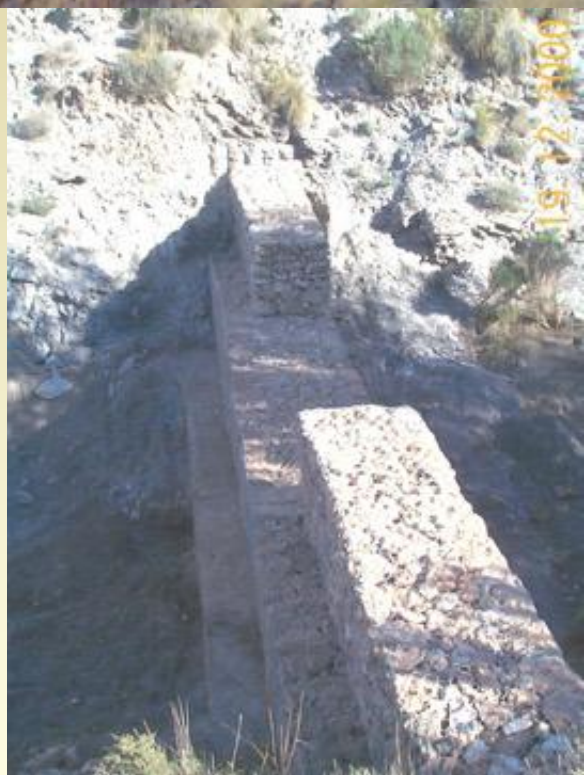
10. 1. 2001



13. 2. 2001



13. 2. 2001



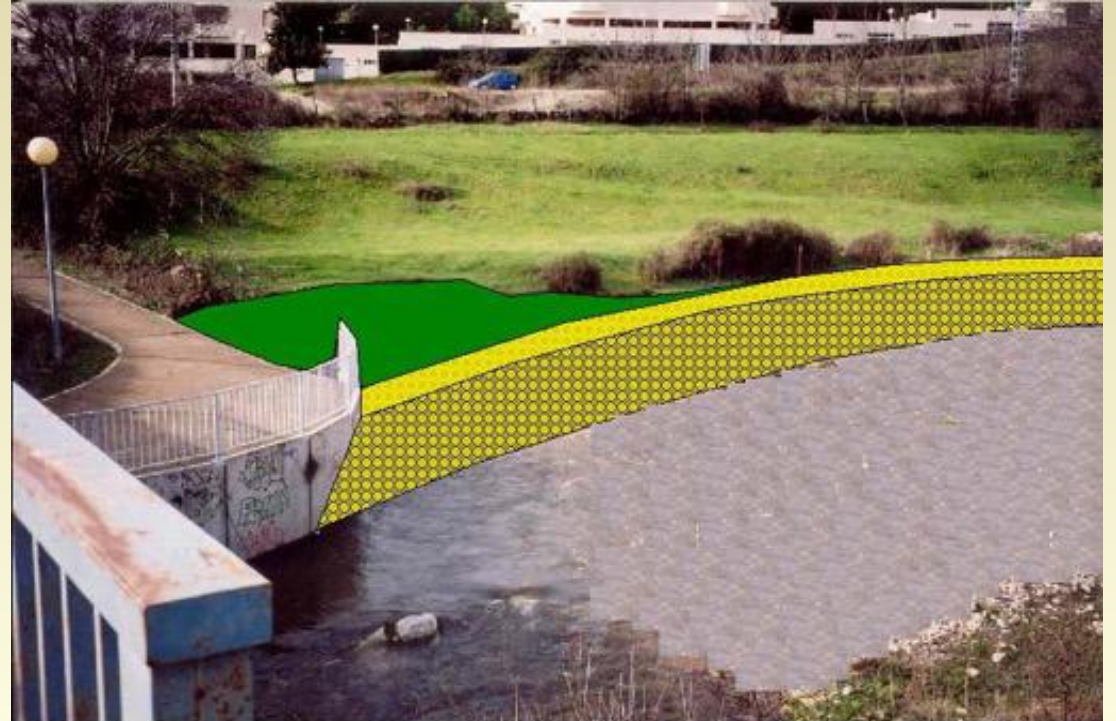








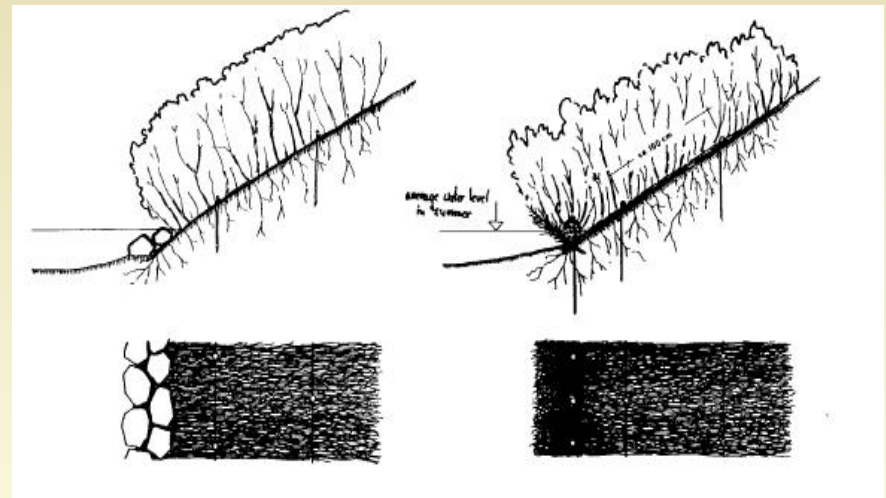
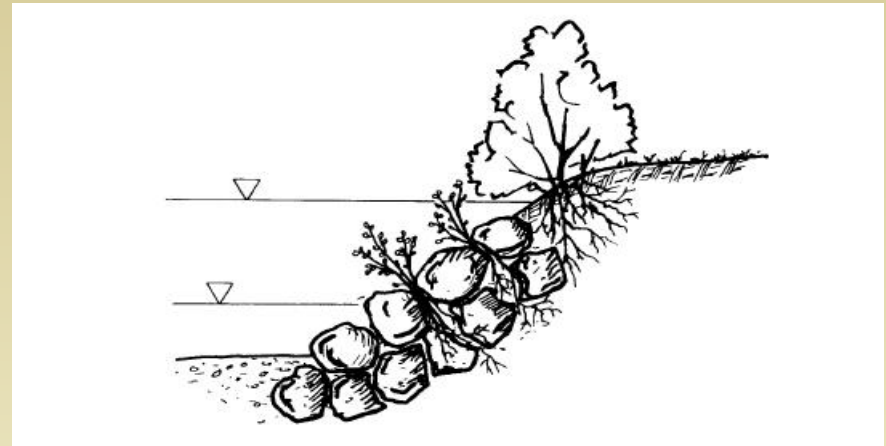
Obras longitudinales. Escollera de defensa de infraestructuras



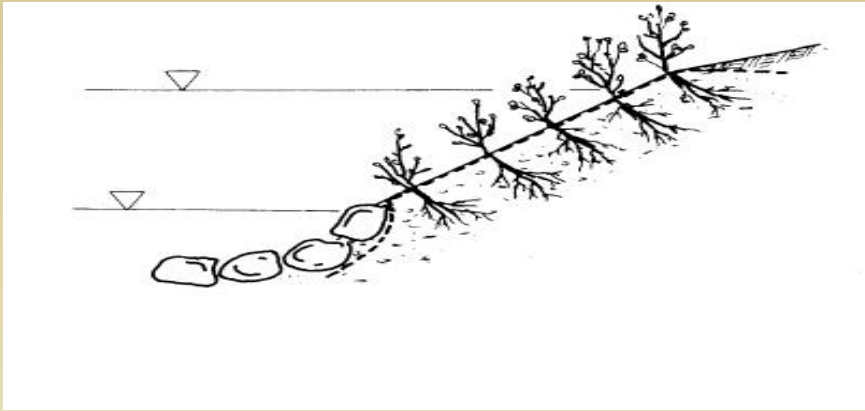
Soluciones (I)

- **Escollera vegetada.**
 - Caso extremo.
 - Aspectos paisajísticos

- **Estructura de matriz de arbustos.**
 - Puntos menos complejos.
 - Materiales naturales.

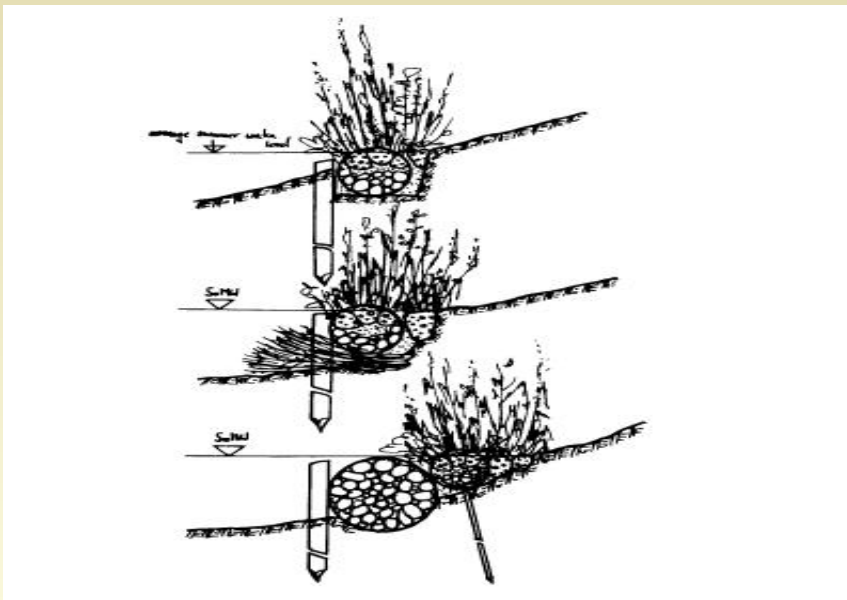


Soluciones (II)



- **Malla geotextil y estacas**

- taludes de todos los tamaños.
- Materiales biodegradables.

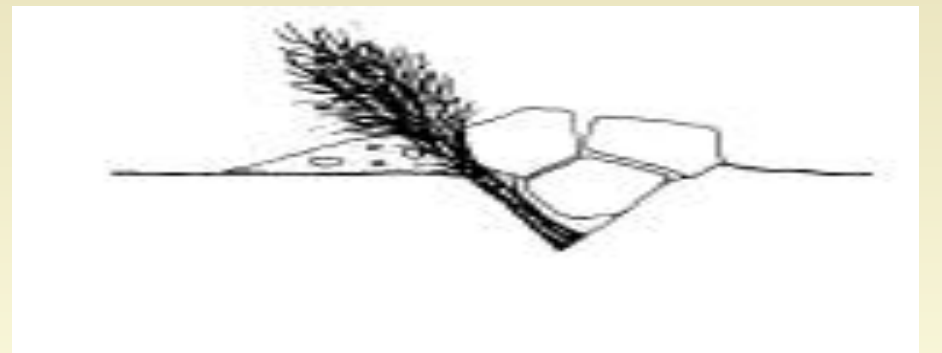
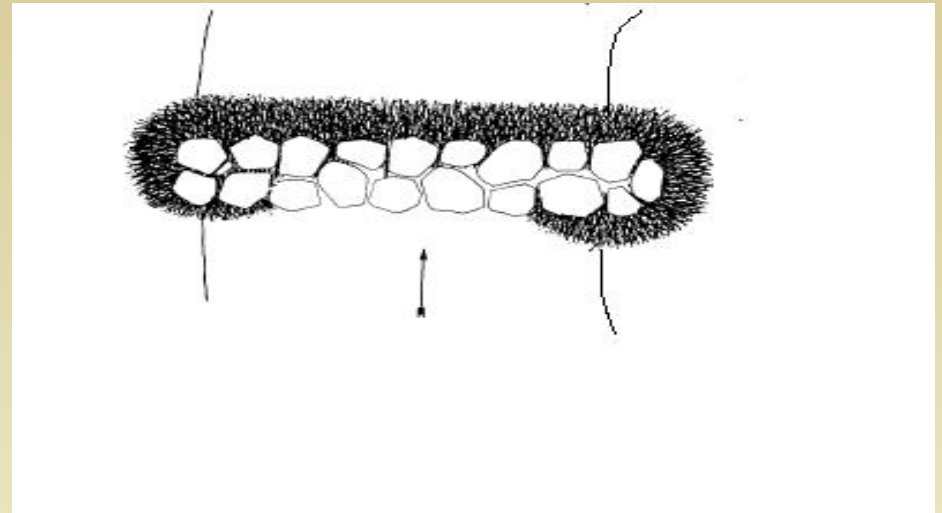


- **Biorrollos**

- Sujección y desarrollo de plantas acuáticas.
- Sujección de suelo.

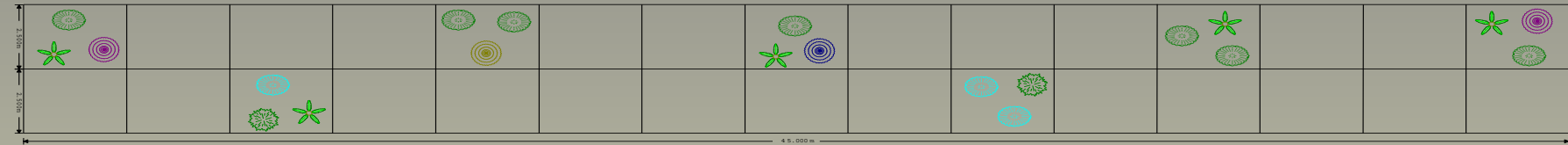
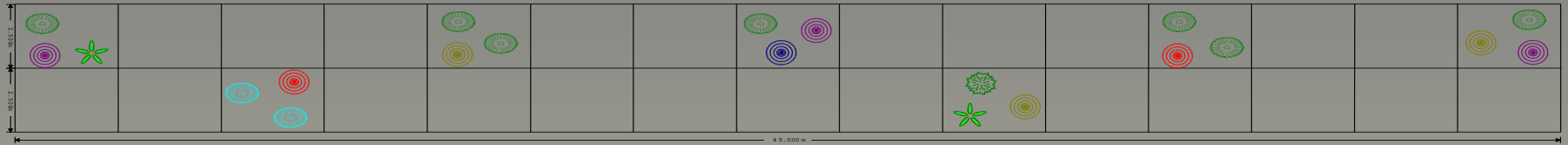
Soluciones (III)

- **Acotado de orillas al ganado**
 - Solución consensuada.
- **Diques verdes.**
 - Elevan la lámina de agua.
 - Actúan como disipadores de energía.
- **Diques de gaviones**

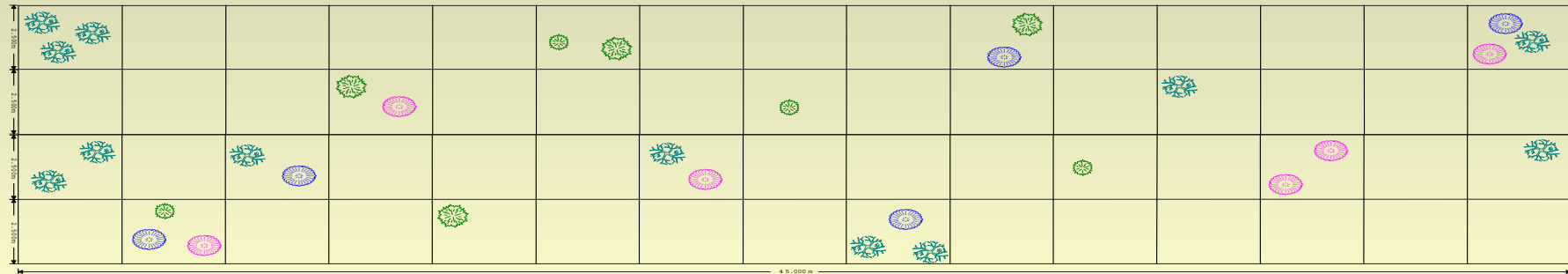
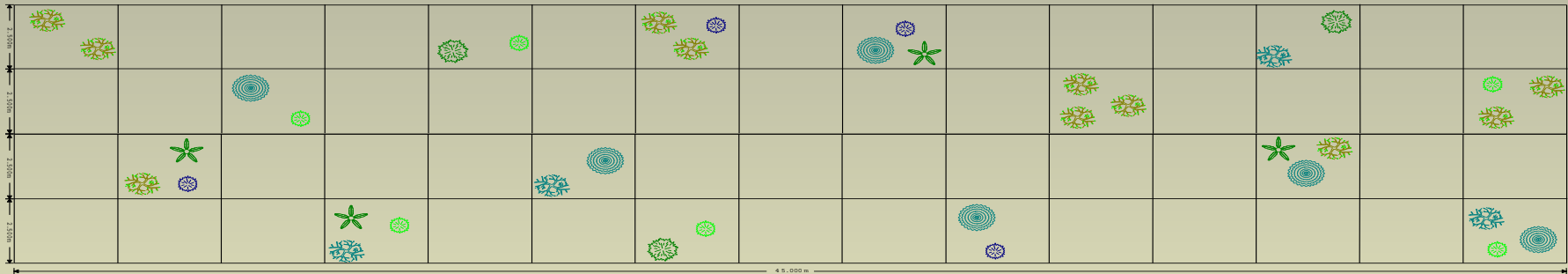


Soluciones (IV)

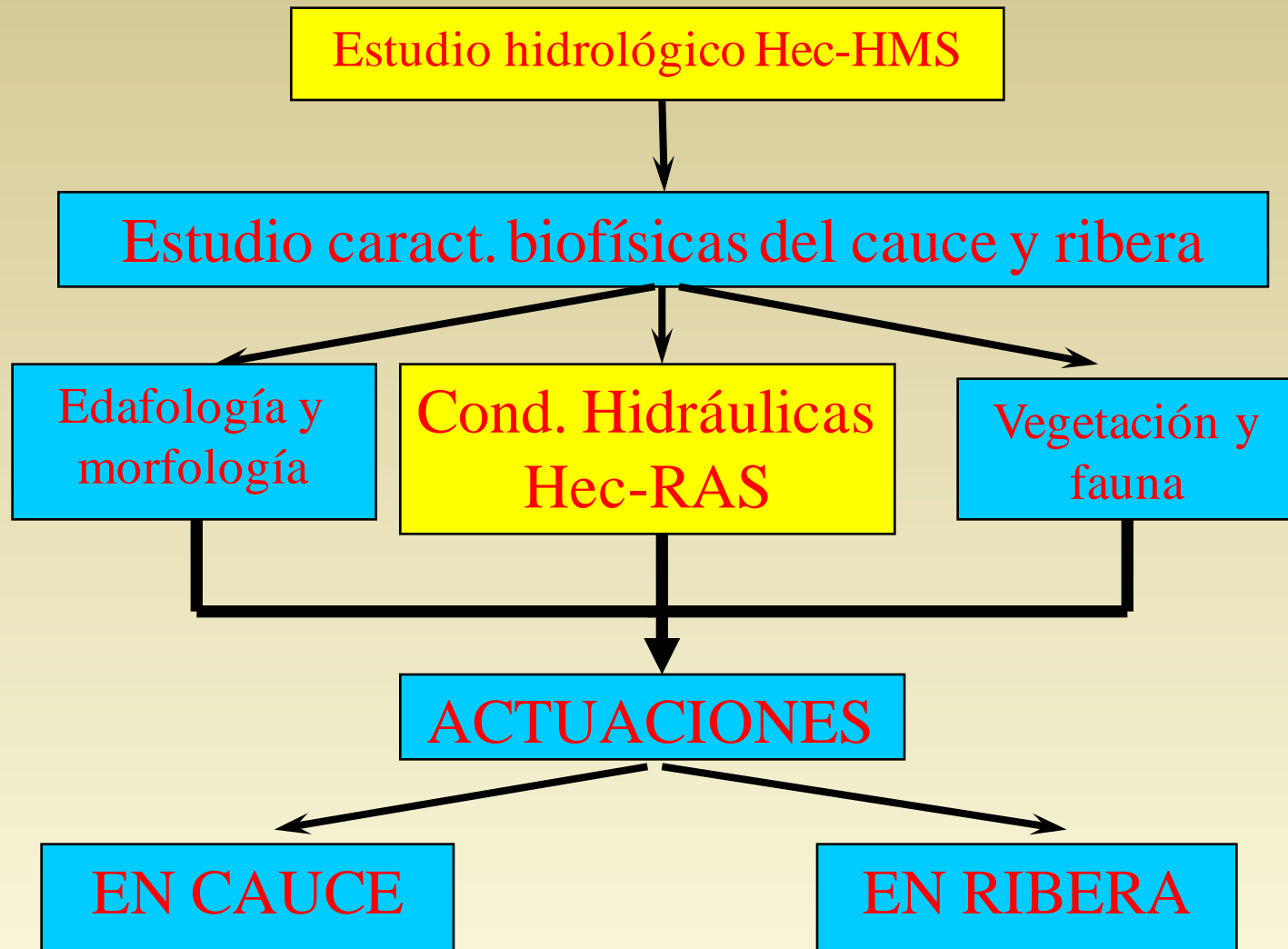
- Restauración del bosque de galería:
 - Labores de poda y claras en las zonas mejor conservadas
 - Reconstrucción del bosque en zonas más degradadas
 - Tratamientos puntuales en suelos para mejorar el arraigo de plantas



- | | | | | |
|-----------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Populus alba | Alnus glutinosa | Salix triandra | Rhamnus alaternus | Lonicera sp. |
| Populus nigra | Ulmus minor | Salix salviifolia | Sambucus nigra | Clematis sp. |
| Fraxinus angustifolia | Salix alba | Salix purpurea | Crataegus monogina | Retama sphaerocarpa |
| Tamarix gallica | Prunus spinosa | Osiris alba | | |

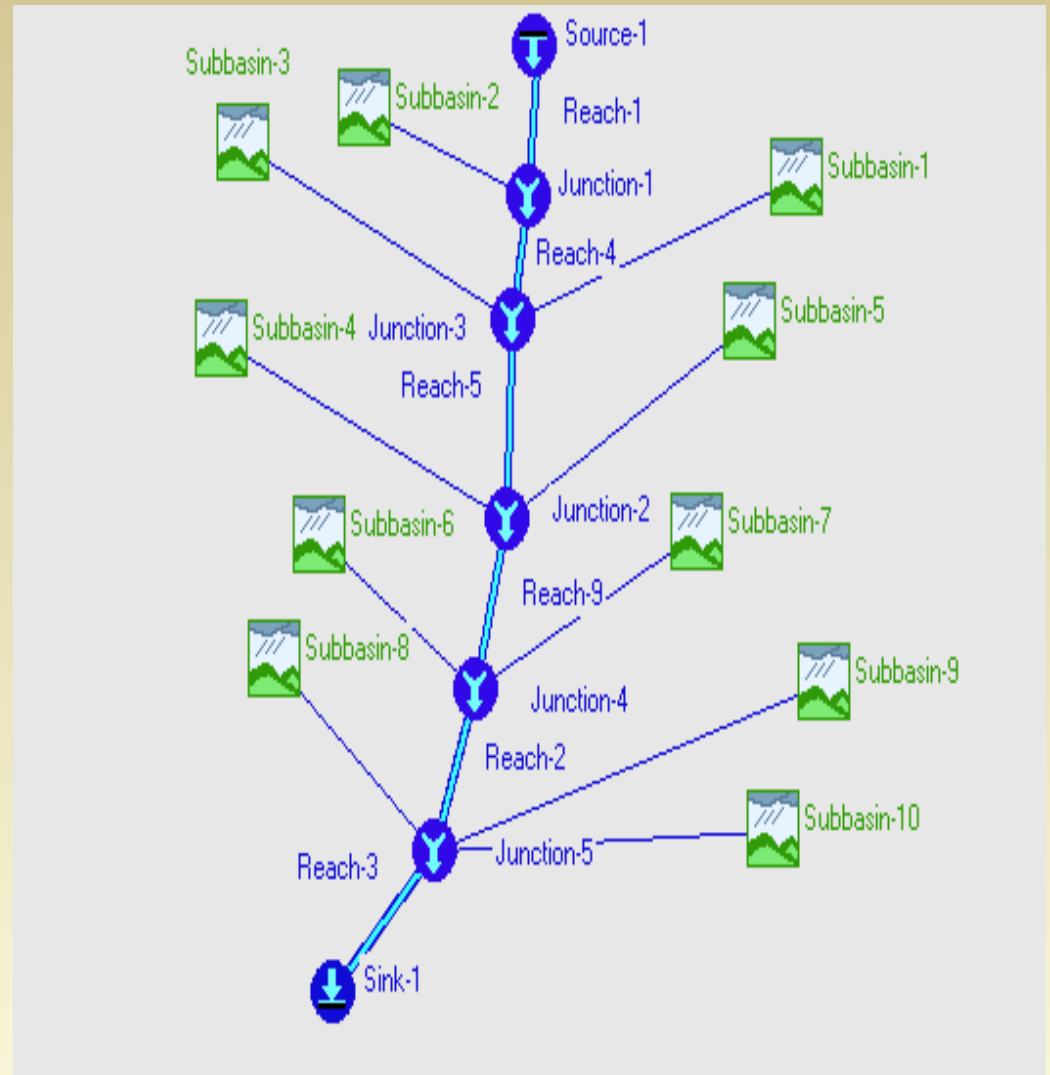


Metodología



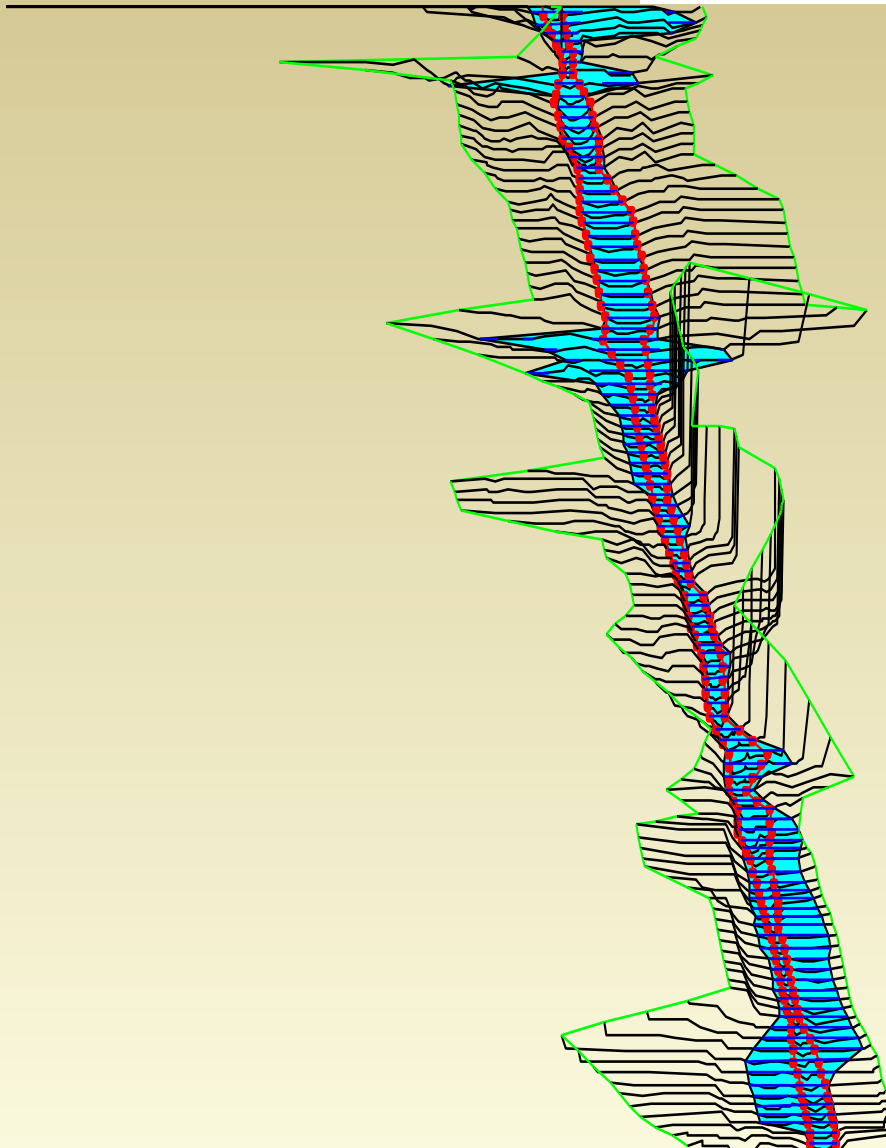
Estudio con Hec-HMS

- Se diseñó la cuenca aguas abajo del embalse de El Vado
- Se introdujeron los datos de precipitación de la estación del embalse.
- Se introdujeron datos físicos de la cuenca
- Caudal de la cuenca alta se representó como una fuente desde el aliviadero de la presa



Diseño tridimensional Hec-Ras

Daniel Plan: Plan definitivo



Legend	
	WS 5 m3/s
	Ground
	Bank Sta
	Ground
	Levee

Espero que todo esto haya quedado lo
suficientemente confuso para que vuelva el año
que viene...

MUCHAS GRACIAS

Proverbio propio