



POLITÉCNICA



TEMA 23 : El depósito de materiales



JOSÉ LUIS GARCÍA RODRÍGUEZ
UNIDAD DOCENTE DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL
E.T.S. DE INGENIEROS DE MONTES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

- **Equilibrio de fondo**
- **Pendiente de equilibrio**
- **Pendiente de compensación**
- **Aplicaciones**



Respuesta Cualitativa de los Sistemas Fluviales

Método de predicción de respuesta

Es posible predecir el comportamiento de una corriente (río, arroyo, torrente, etc) ante un determinado cambio aplicando una serie de conceptos cualitativos cuyo planteamiento inicial es simple.

Se puede comenzar con el establecimiento de las relaciones entre los **parámetros** que intervienen en el fenómeno.

Parámetros

**h, calado
sólido**

Q, caudal líquido

Qs, caudal

**b, anchura
del cauce**

s, sinuosidad

S, pendiente



Se puede enunciar en primera aproximación que:

- i) el ancho del cauce es directamente proporcional al caudal sólido, Q_s , y al caudal líquido, Q .
- ii) el calado, h , es de forma aproximada directamente proporcional al caudal líquido, Q .
- iii) la pendiente es directamente proporcional a Q_s .
- iv) el calado es directamente proporcional a la pendiente y la caudal sólido.
- v) el caudal sólido es directamente proporcional al ancho.

La fórmula desarrollada por Simons (1975) es la siguiente:

$$Q_s = \frac{(\tau_0 v) b C_f}{d_{50}}$$



$$Q_s = \frac{(\tau_0 v) b C_f}{d_{50}}$$

Siendo,

Q_s , es el caudal sólido.

τ_0 , es el cortante del contorno.

v , es la velocidad media.

b , es la anchura del cauce.

C_f , es la concentración de material fino en suspensión y

d_{50} , es el diámetro de material arrastrado.



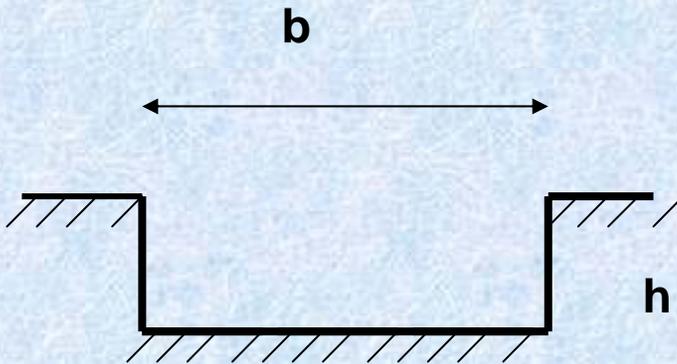
Pero, τ_0 , tiene la expresión siguiente:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot S$$

Por tanto:

$$Q_s = \frac{(\gamma \cdot R \cdot S) b \cdot c_f \cdot v}{d_{50}}$$

Si el cauce es suficientemente grande (ancho) y lo suponemos rectangular ($b \cdot h$)



$$R = \frac{b \cdot h}{b + 2h} \approx h$$

Por lo tanto,

$$Q_s = \frac{(\gamma \cdot R \cdot S) b \cdot c_f \cdot v}{d_{50}} = \frac{\gamma \cdot S \cdot Q \cdot c_f}{d_{50}}$$

De otro modo,

$$Q_s \cdot d_{50} \approx (\gamma \cdot c_f) \cdot Q \cdot S$$

Finalmente

$$Q_s \cdot d_{50} \cong Q \cdot S$$



Se dice que un fondo se encuentra en equilibrio en presencia de materiales transportados (suspensión y arrastre de fondo) cuando no sufre modificación en su cota. (Martín – Vide)

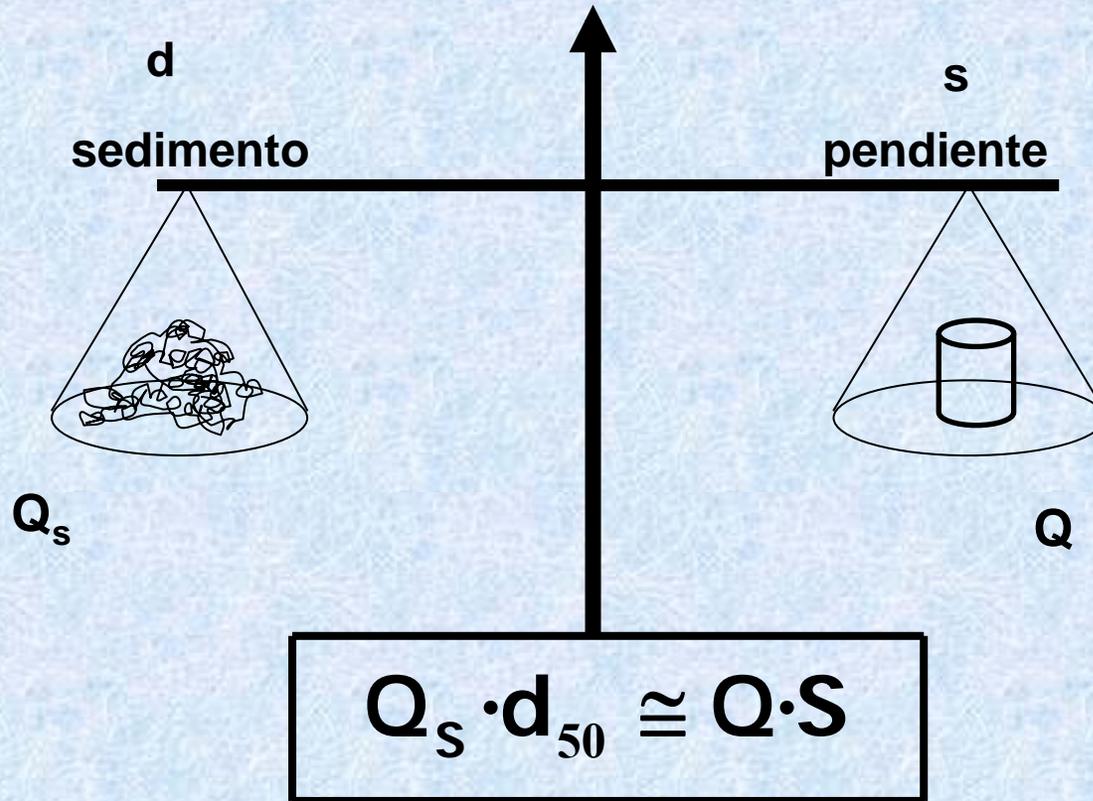


Equilibrio en cauces. La balanza de Lane (1955)

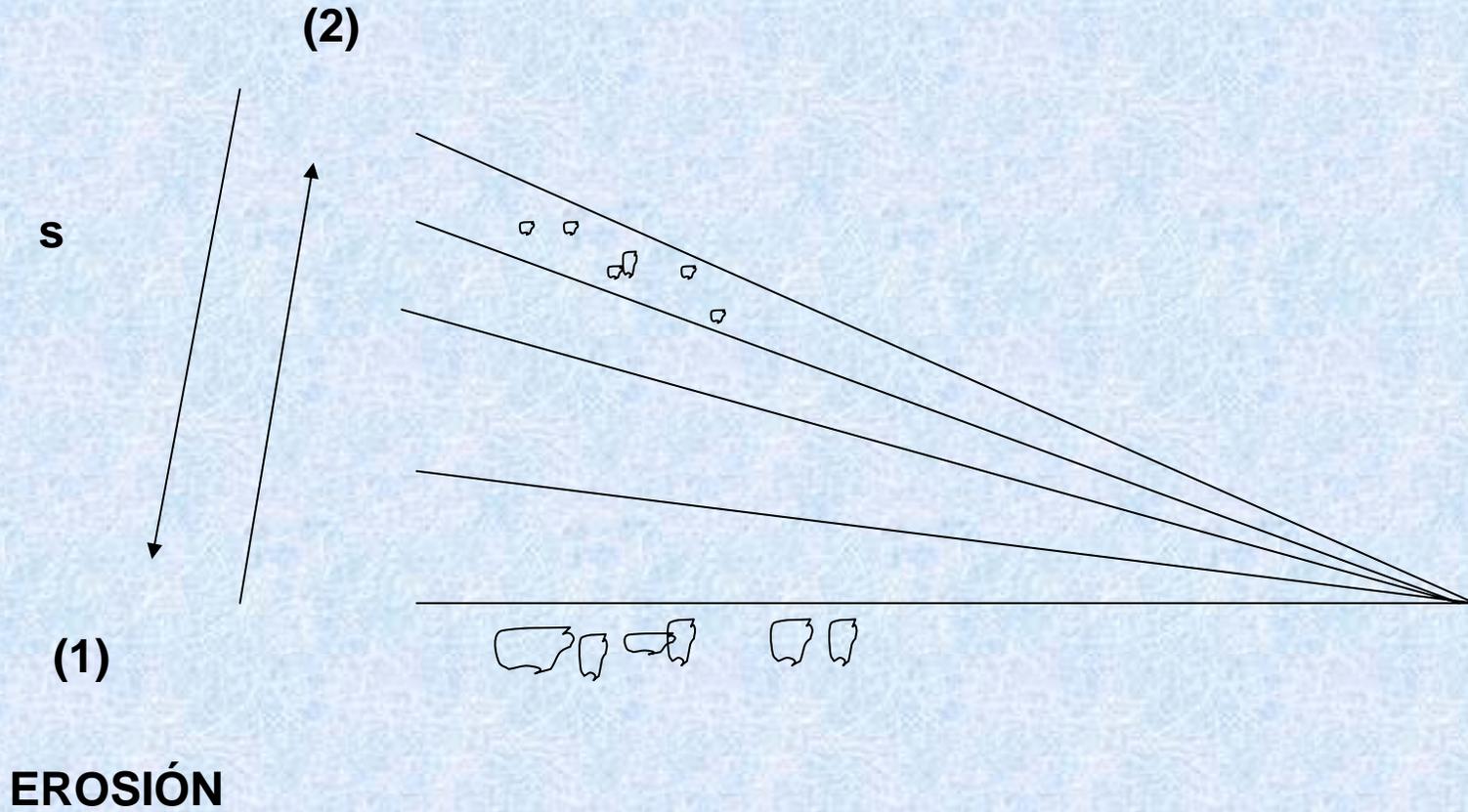
Transporte

$$Q_s \cdot d_{50} \cong Q \cdot S$$

Flujo

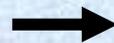


SEDIMENTACIÓN

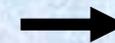


$$Q_s \cdot d_{50} \cong Q \cdot S$$

Si se modifica una



Se produce un cambio en las otras tres



Para reestablecer el equilibrio

Sección 1. Alejada del dique. Situación de equilibrio

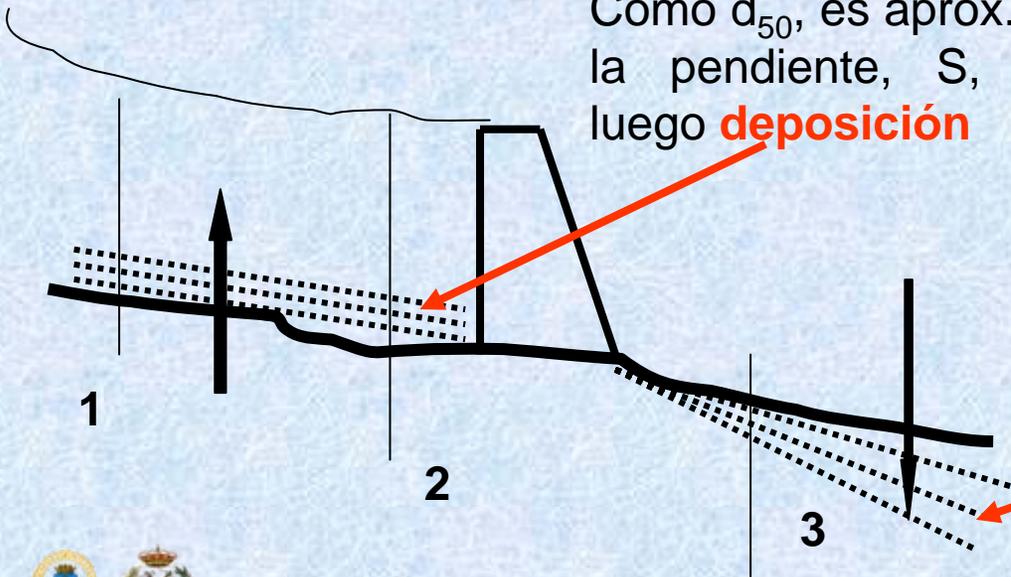
Sección 2. La capacidad de arrastre disminuye por pérdida de velocidad, por lo tanto, disminuye

Como d_{50} , es aprox. Igual y Q es cte, la pendiente, S , debe disminuir, luego **deposición**

$$Q_s \cdot D_{50} \cong Q \cdot S$$

Sección 3. Aquí Q_s , es muy bajo, D_{50} y Q son ctes., lo que implica que S debe disminuir, luego **erosión**

$$Q_s \cdot D_{50} \cong Q \cdot S$$



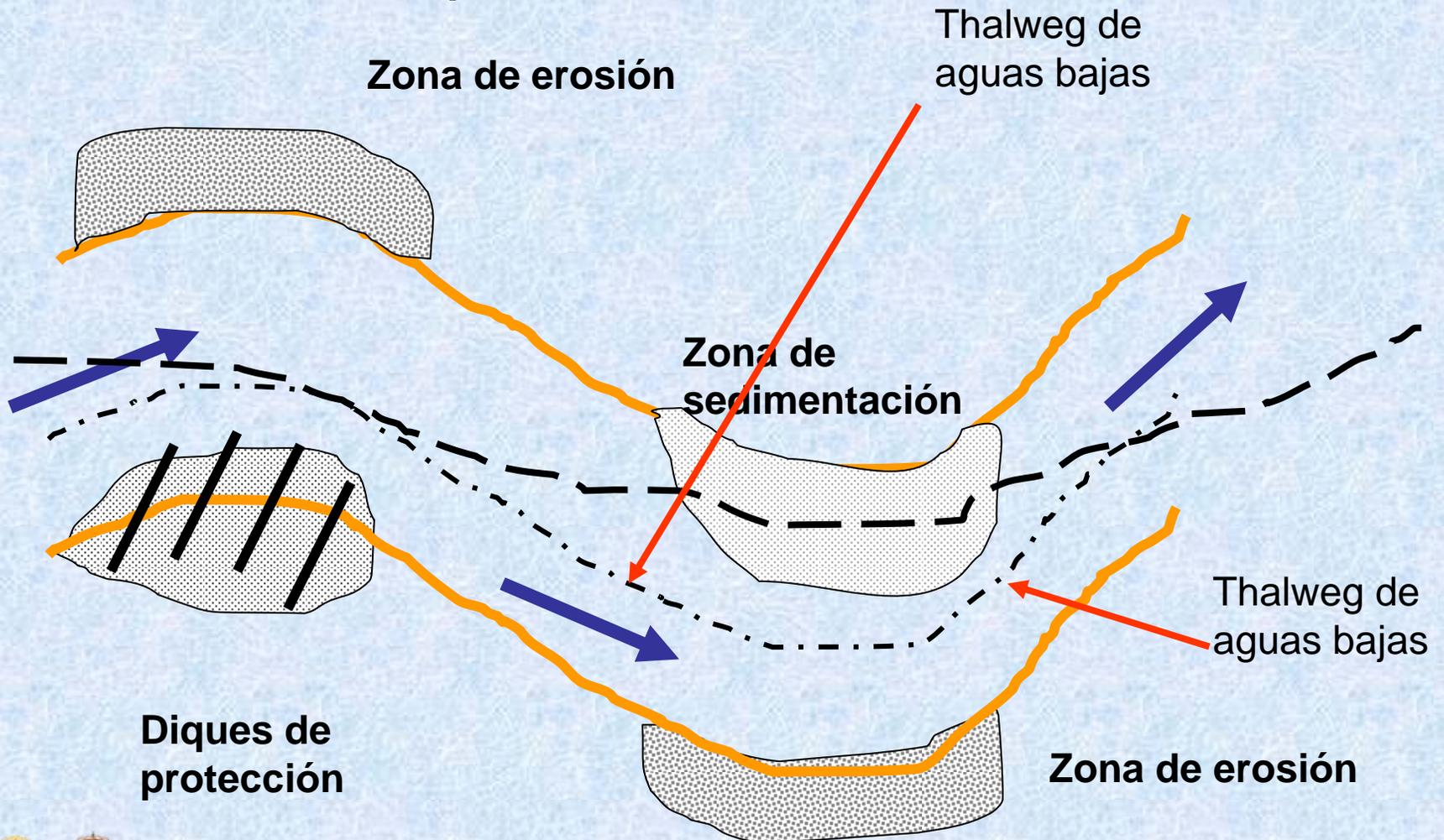
Otros casos de estudio:

- **Influencia de un río de gran caudal de un afluente con poco caudal líquido y gran caudal sólido.**
- **Un trasvase.**
- **Influencia de la variación de calado de un río principal en los afluentes. Ej.: una canalización disminuye el calado.**



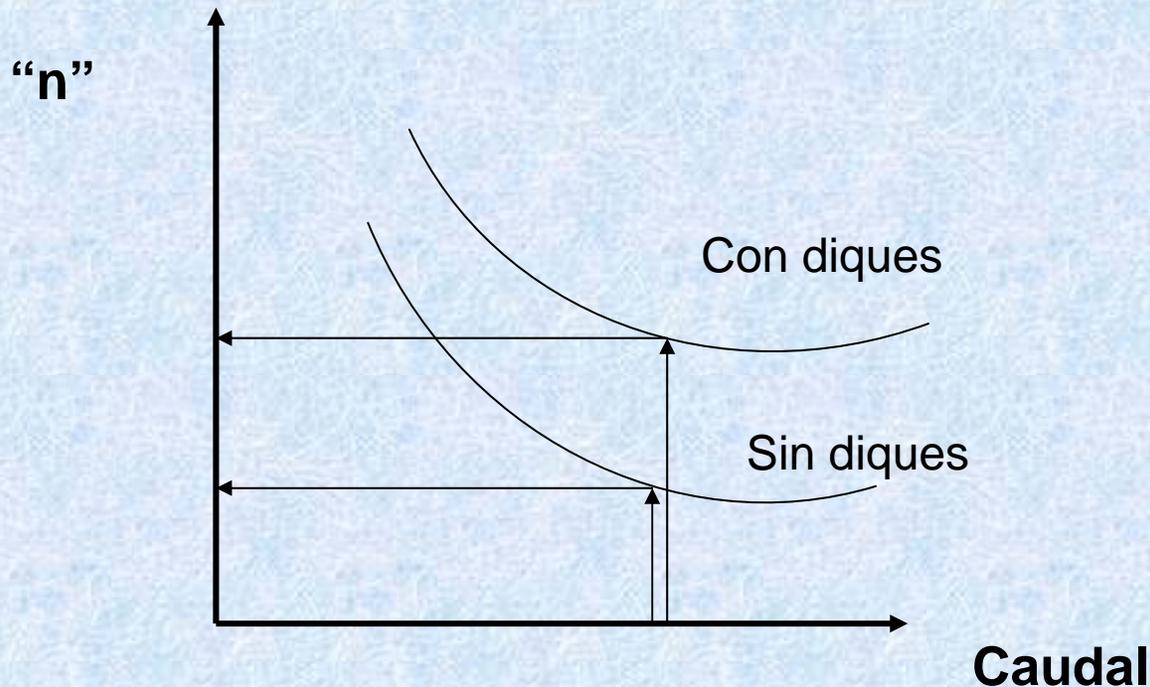
Protección de meandros

Si se pretende fijar la posición de un meandro es lógico “revestir” las zonas donde se produce erosión.



La influencia de estas protecciones aguas arriba puede ser importante:

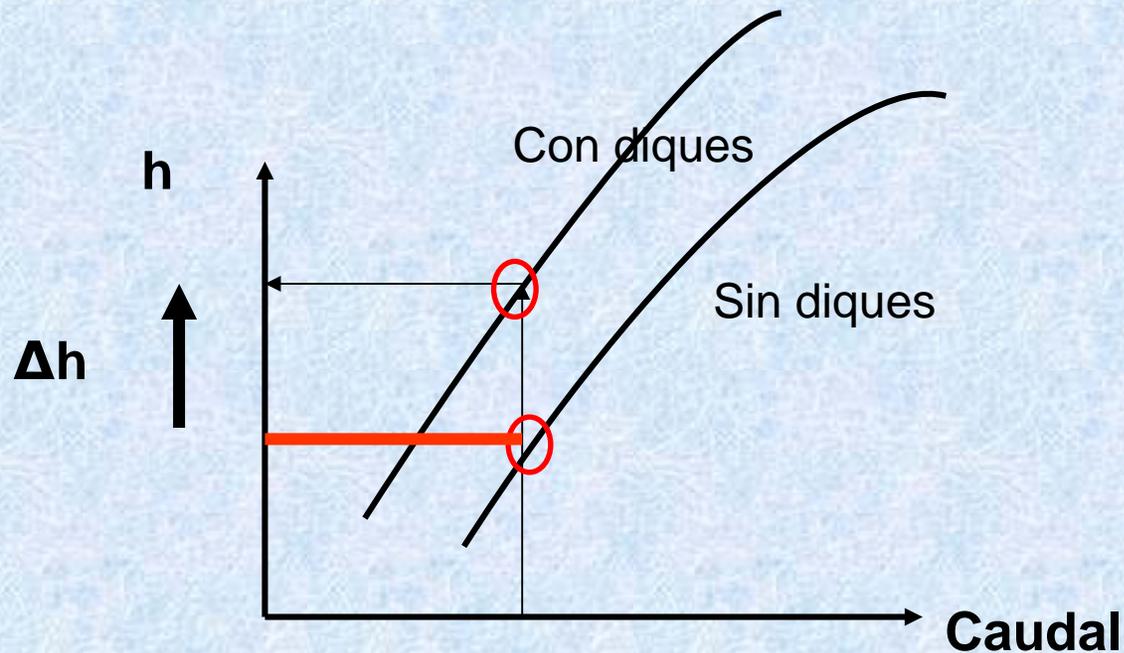
- 1) La “n” de Manning decrece al aumentar el caudal.
- 2) Si se sitúan diques en los bancos de depósito en los meandros, el “n”, varía con el caudal de forma distinta, incluso aumenta al aumentar el caudal.



3) Esto implica que para desaguar el mismo Q se necesita más calado, pudiendo aparecer inundaciones aguas arriba.

4) La curva de capacidad (GASTO) de un río es la que aparece a continuación.

Se puede apreciar el aumento del calado para un mismo caudal, por efecto de los diques.

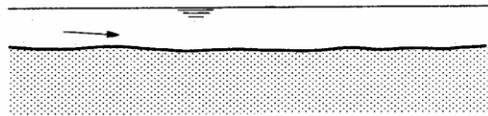


Conclusiones

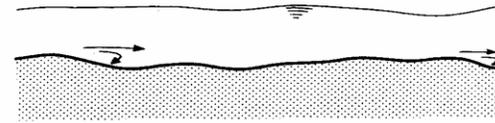
- 1) Cuando se realiza una obra fluvial que altere las condiciones de estabilidad de un río, se producirá una reacción tendente a “volver” (en lo posible) a la situación inicial, que era de equilibrio.
- 2) Como el equilibrio del río con su contorno, es un equilibrio “dinámico”, fruto del equilibrio entre erosión, transporte y sedimentación; éste puede ser alterado por distintas causas. Por ello, antes de realizar cualquier actuación en un río deberán ser evaluadas las situaciones antes y después, desde todos los puntos de vista.
- 3) Se recomiendan actuaciones lo menos “duras” posible, evitando fuertes modificaciones en sección, pendiente, trazado en planta, etc.



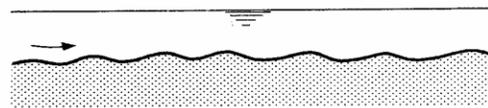
Formas de fondo



(a) FONDO PLANO, NO HAY ARRASTRE, $F_r \ll 1$



(e) TRANSICION, SE BORRAN LAS DUNAS $F_r < 1$



(b) CONFIGURACION TIPICA CON PLIEGUES O RIZOS $F_r \ll 1$ Y $d_m < 0.5 \text{ mm}$.



(f) FONDO PLANO $F_r < 1$



(c) DUNAS CON PLIEGUES SUPERPUESTOS $F_r \ll 1$ Y $d_m < 0.5 \text{ mm}$.



(g) ONDAS ESTACIONARIAS, $F_r \geq 1$



(d) DUNAS, $F_r < 1$



(h) ANTIDUNAS, $F_r > 1$

Fuente: TRAGSA (1998)



Pendiente de equilibrio en un cauce

Cauce fluvial

Pendiente de equilibrio p.p.d.

Cauce torrencial

Pendiente de compensación



Determinación de la pendiente estable en torrentes

- Método de Novak. (Rep. Chequia)**
- Sabo (Japón)**
- Romiti (Italia)**
- García Nájera (España)**



Formación de la pendiente de equilibrio. Teorías. Estimación de la pendiente por el método de García Nájera



DEFINICIÓN DE TORRENTE

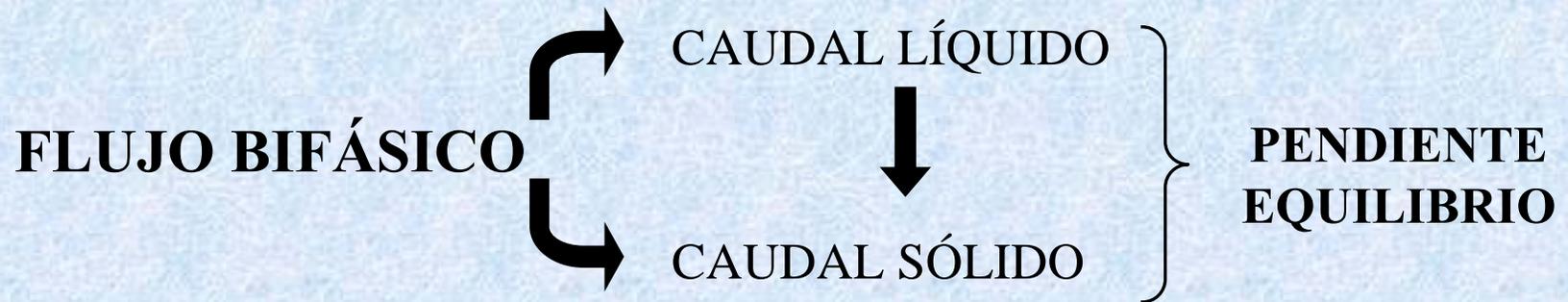
- **REAL ACADEMIA DE LA LENGUA:**

Corriente impetuosa de aguas que sobreviene en tiempo de muchas lluvias y deshielos rápidos.

- **G.O.C.H.M.C.F.E. F.A.O.:**

Pequeña corriente de agua, temporal o permanente, de fuerte pendiente, de crecidas violentas y repentinas y de caudal líquido y sólido muy variable.





¿Cuál es la pendiente que adopta el lecho tras el paso de la corriente?

FÓRMULAS EXPERIMENTALES

▪ Valentini (1895): $i_c = Const \frac{d_m}{R}$

▪ Romiti (1912):
$$i_c = \frac{1}{3 + \frac{1 - 1,5i}{i + i^3} \left(\frac{d_{\max}}{d_c} \right)^2 \left(\frac{l}{l_c} \right)^2}$$

▪ Della Lucia *et al* (1957): $i_c = k \cdot i$



FLUJO BIFÁSICO

- **L. NOVAK (1988):**

Ecuación de equilibrio: $F = f \cdot F_0$

$$C_d \rho K_1 d^2 u^2 / 2 = (K_3 d^3 (\rho_s - \rho) g - C_y \rho K_2 d^2 u^2 / 2) f$$

$$j = 0,035 C^2 \frac{d_m}{y}$$



FLUJO MONOFÁSICO

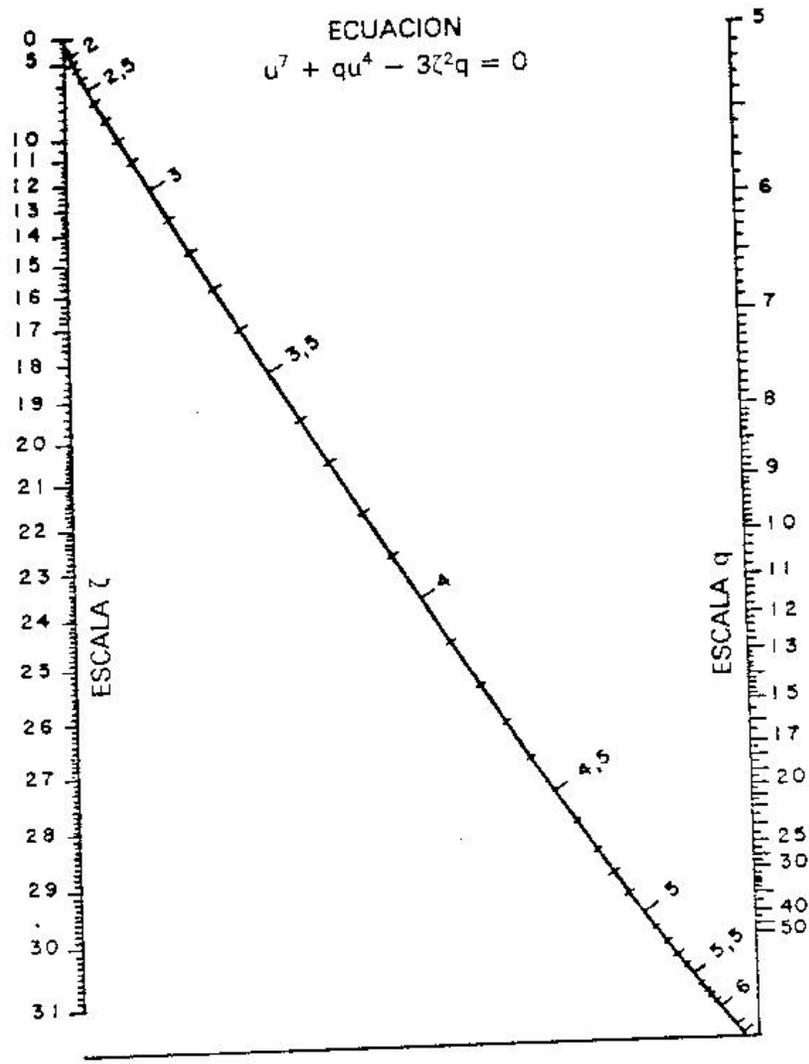
▪ GARCÍA NÁJERA

Aplicación de la conservación de la energía a una corriente con arrastres

$$j = \frac{g \cdot u^3}{2 \cdot C_s^2 \cdot q}$$



ECUACION
 $u^7 + qu^4 - 3z^2q = 0$



Ábaco de la pendiente de compensación García Nájera

$$q = \frac{gq_p}{2b} = \frac{9,8 * 61,2}{2 * 10} = 29,98 \approx 30$$

A continuación se calculan los parámetros, ε y C (coeficiente de Bazin)

$$\varepsilon = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{0,0024 * 10^4}{1200} = 0,02$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\beta}{\sqrt{h}}}$$

Por tanteos sucesivos suponiendo una velocidad inicial en torno a 3,5 – 4m/s:

1º) Si $u = 4$ m/s

2º) Si $u = 3,9$

3º) Si $u = 3,8$

$$h = \frac{61,2}{10 * 4} = 1,53\text{m}$$

$$h = 1,57$$

$$h = 1,61$$

$$\sqrt{h} = 1,237$$

$$\sqrt{h} = 1,25$$

$$\sqrt{h} = 1,27$$

En todo momento comprobamos con el ábaco para saber si el valor es el adecuado.



Una vez calculada la velocidad y los calados, se calculan los coeficientes de Bazin, el coeficiente Bazin modificado y el parámetro ζ que aparece en el ábaco.

$$C = 33,245$$

$$C_s = 0,8C = 26,596$$

$$\zeta = C_s^2 \varepsilon = 14,147$$

$$C = 33,50$$

$$C_s = 26,80$$

$$\zeta = 14,37$$

$$C = 33,77$$

$$C_s = 27,02$$

$$\zeta = 14,60$$



La expresión de la pendiente de compensación está formulada en función de tres parámetros previamente calculados mediante este método, u , C_s y q .

$$j_c = \frac{u^3 g}{2C_s^2 q} = \frac{3,8^2 9,8}{2(27,02)^2 30} = 0,0123$$

$$j_c = 1,23 \%$$



2º) Altura útil del dique, H.

En este caso, el problema plantea un hipotético caso, en el que la cuña de aterramiento marca el límite de la altura de la obra. Si la longitud de aterramiento, $L_T = 217$ m, la altura útil de la obra se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$H = L_T (j_c - j) = 217(0,04 - 0,0123) = 6,01\text{m}$$

Por tanto, se adoptan 6 m, como altura útil de la obra.

