

**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA**

**CÁTEDRA DE "CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS"**

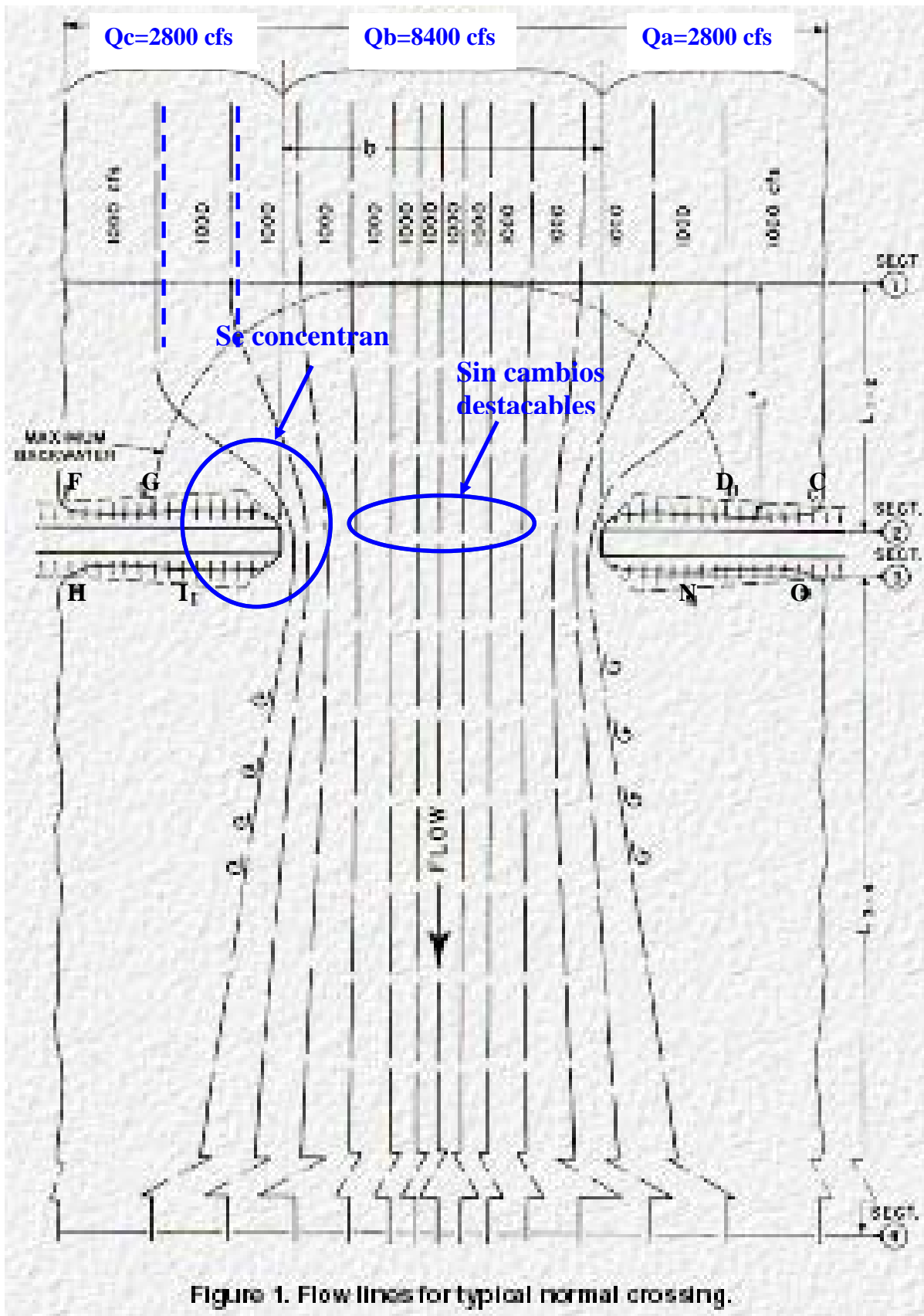
**HIDRAULICA DE PUENTES**

**VERSIÓN AL 18/09/2007**

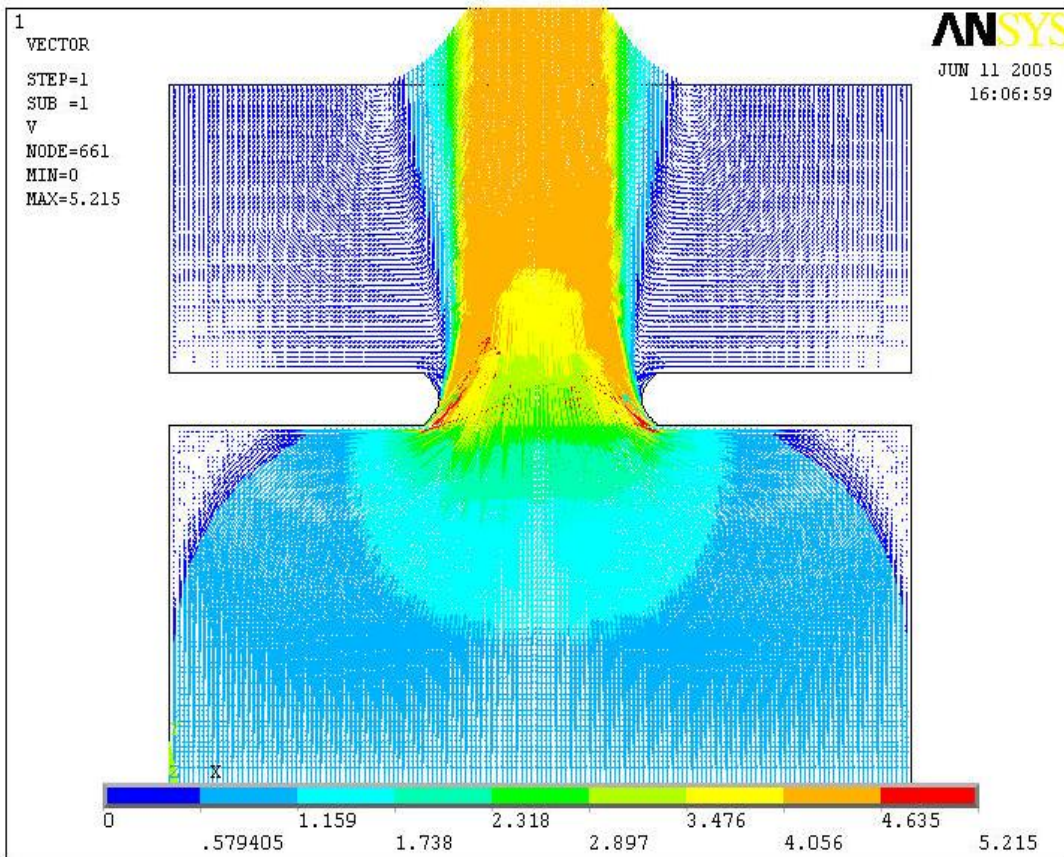
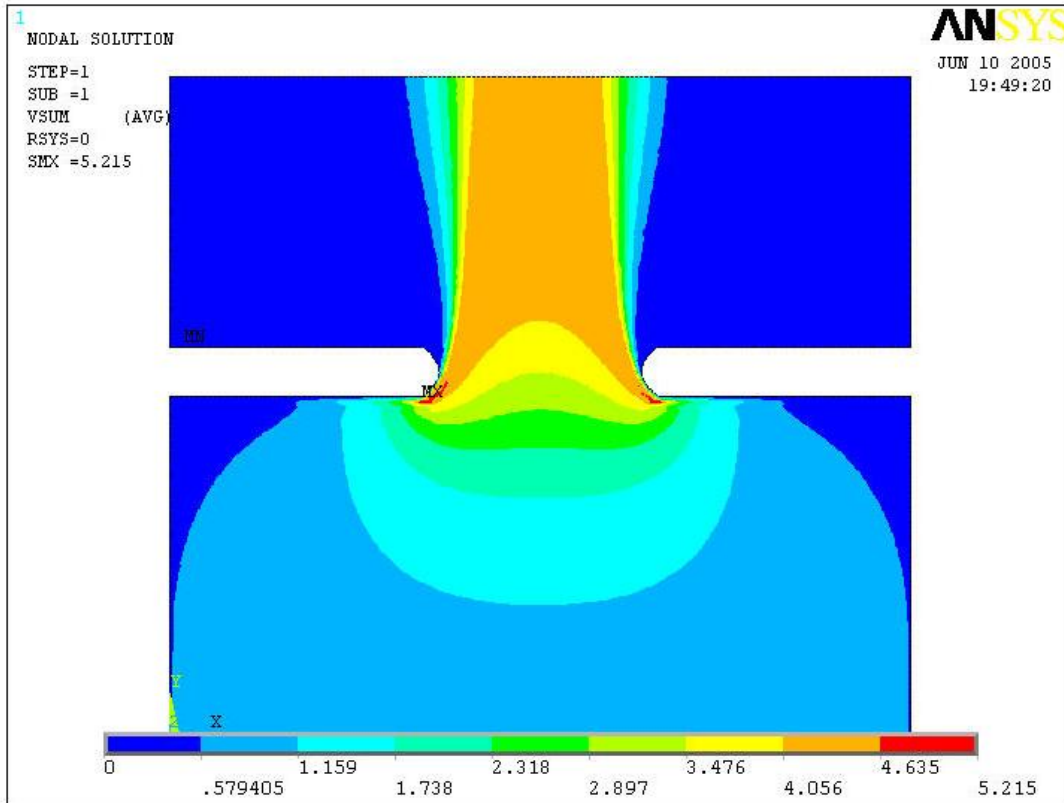
**Ing. Adolfo GUTELMAN**

# HIDRÁULICA DE PUENTES

## 1. EFFECTOS DE LA CONTRACCIÓN:



La contracción del flujo causa una pérdida de energía, la mayor parte ocurre en la re-expansión de aguas abajo.



## TRANSPORTE:

Por ecuación de Chezy-Manning:

$$q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2}$$

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (\text{para una pendiente constante})$$

## RELACIÓN DE APERTURA DEL PUENTE: (Utilizada para los gráficos y tablas)

La sección irregular en cursos naturales y la variación de la rugosidad, resulta en una variación en la velocidad en la sección transversal del río:

Expresada en función de caudales:

$$M = \frac{Q_b}{Q_a + Q_b + Q_c} = \frac{Q_b}{Q}$$

Siendo los caudales de cada subsección de la primer figura

Expresada en función de relaciones de transporte, asumiendo que todas las subsecciones tienen la misma pendiente:

$$M = \frac{K_b}{K_a + K_b + K_c} = \frac{K_b}{K}$$

## RELACIÓN DE APERTURA DEL PUENTE: (Utilizada para los gráficos y tablas)

## COEFICIENTE DE ENERGÍA CINÉTICA:

$$\alpha_1 = \frac{\sum(q \cdot V^2)}{Q \cdot V_1^2} = \frac{V_1^2}{2g} = \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2 \cdot \frac{1}{2g}$$

En la sección de la contracción:  $\alpha_2 = \frac{\sum(q \cdot V^2)}{Q \cdot V_2^2}$  se obtiene de la siguiente tabla:

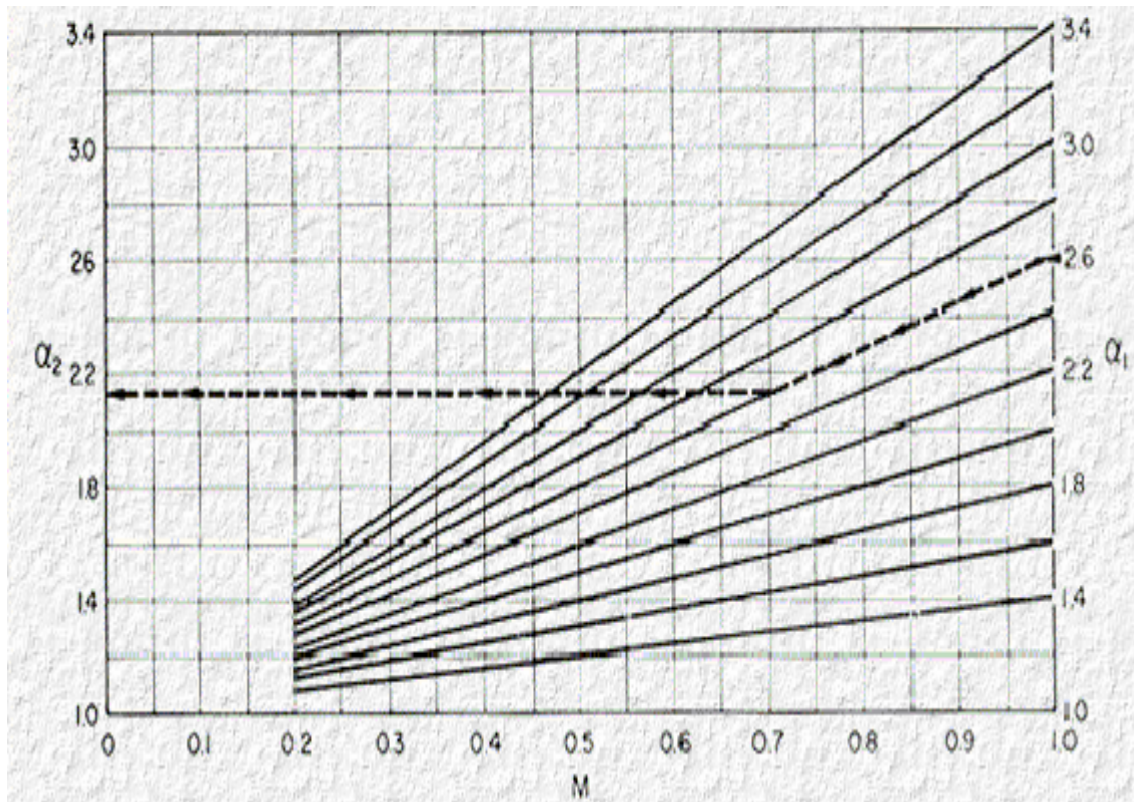


Figure 5. Aid for Estimating  $\alpha_2$

**TIPOS DE FLUJO:**

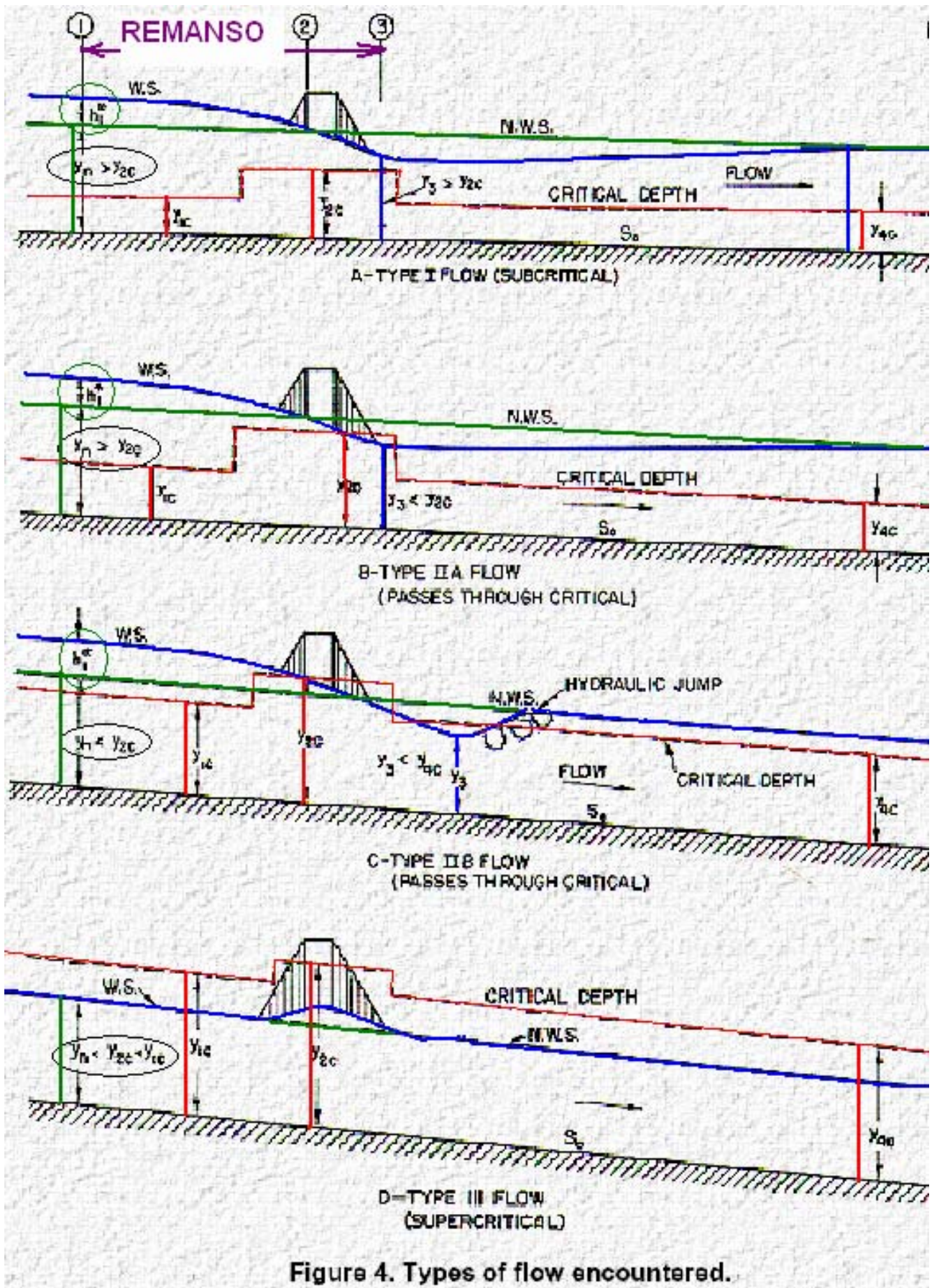
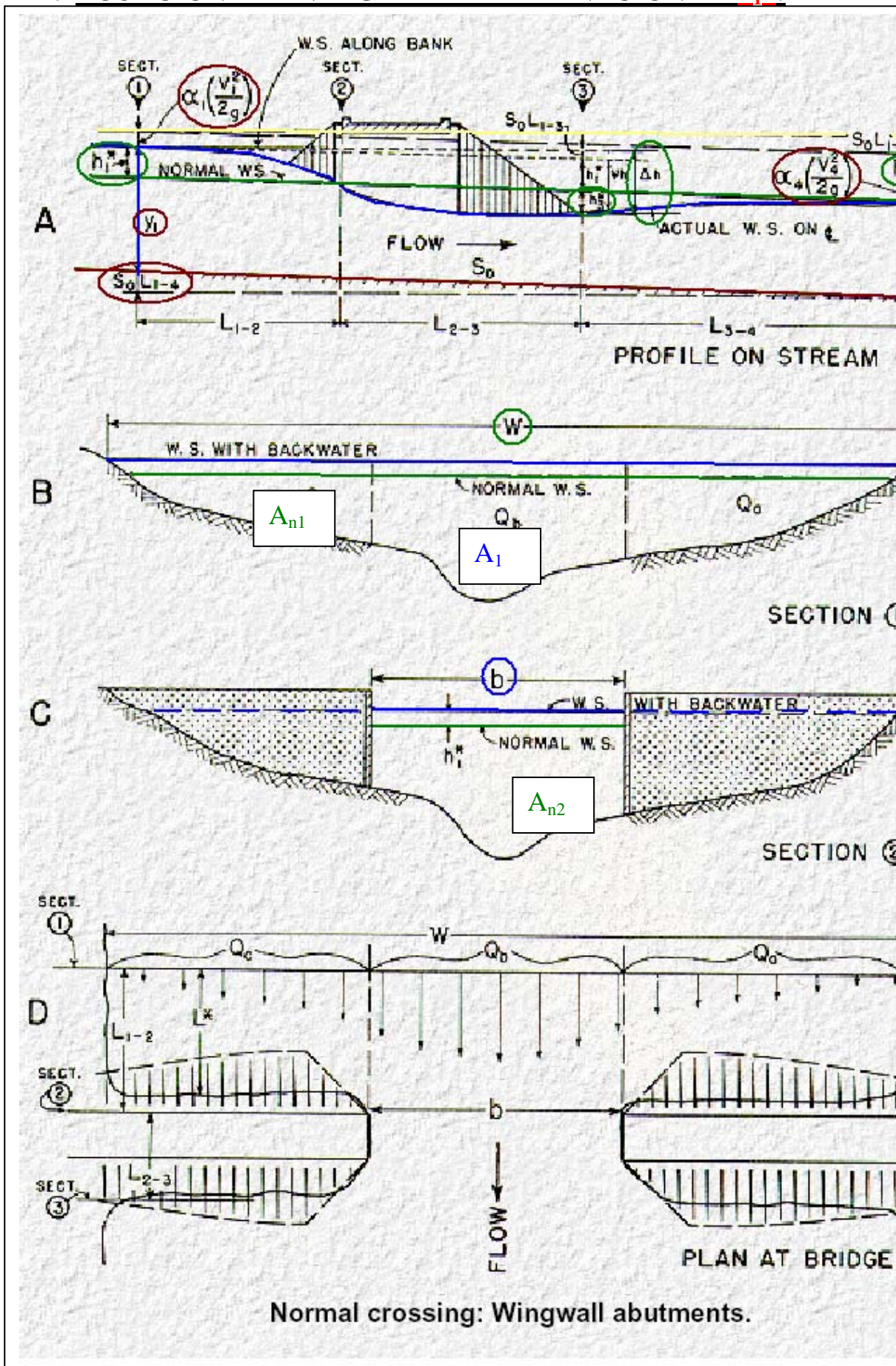


Figure 4. Types of flow encountered.

## 2. ECUACIÓN DE ENERGÍA Y DETERMINACIÓN DE $h_1^*$ :



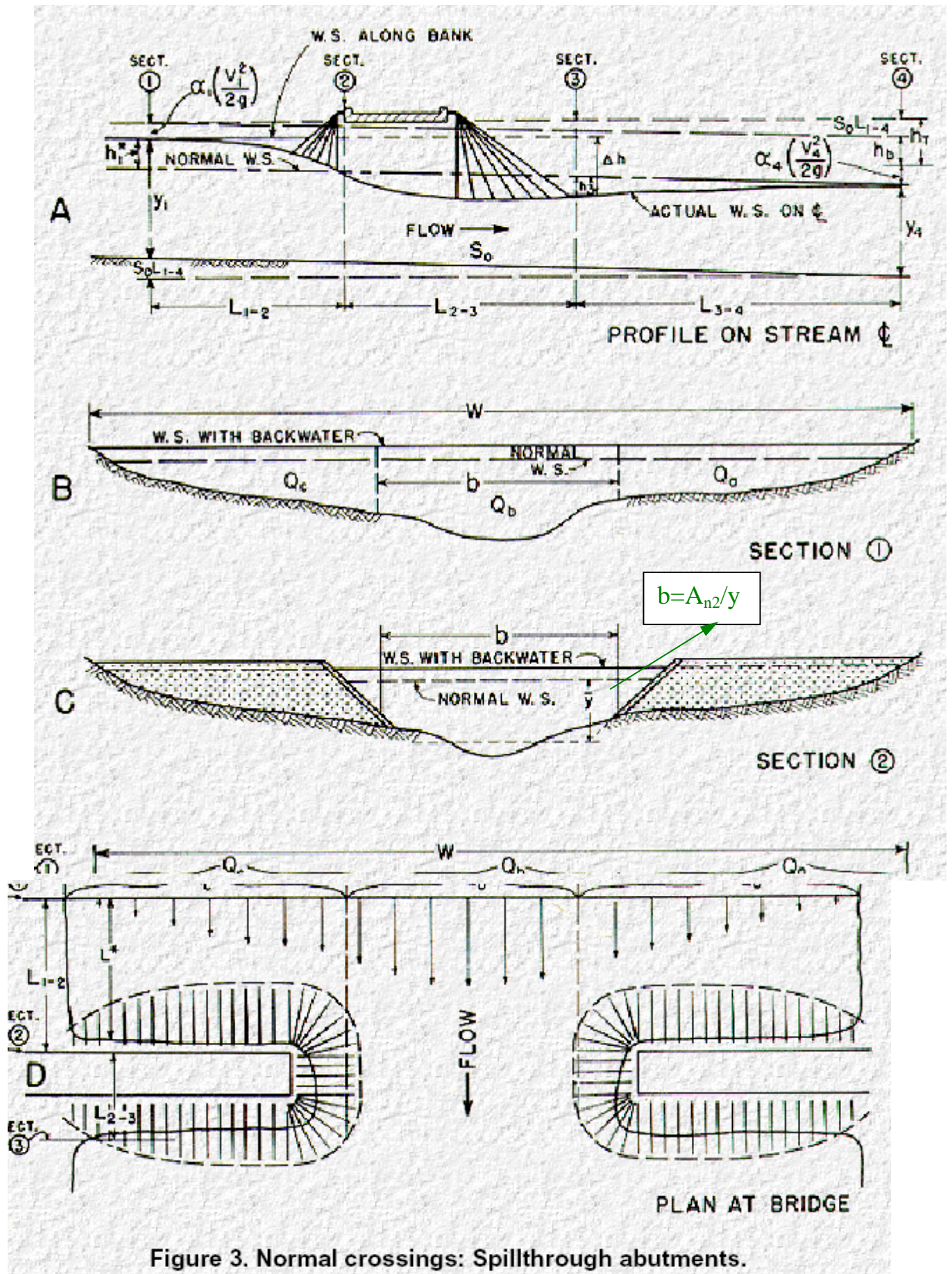


Figure 3. Normal crossings: Spillthrough abutments.

## HIPÓTESIS:

- Canal recto
- Área transversal uniforme
- La pendiente de fondo es aproximadamente constante entre 1 y 4.
- El flujo está libre de contracciones y expansiones
- No hay erosión apreciable en el lecho de la contracción
- Flujo subcrítico (FLUJO TIPO I)

Igualando energías entre las secciones 1 y 4:

$$S_0 \cdot L_{1-4} + y_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = y_4 + \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} + h_T$$

Siendo  $h_T$  la pérdida total de energía entre las secciones 1 y 4

$$y_1 - y_4 = \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_T - S_0 \cdot L_{1-4}$$

reemplazando:

$$h_1^* = \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_b$$

Las pérdidas pueden expresarse como producto de un coeficiente de pérdida,  $K^*$  y la altura de velocidad en la sección 2:

$$h_b = K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

Siendo  $V_{n2}$  la velocidad media en la sección contraída, para el nivel de agua normal, antes de construido el puente.

Reemplazando:

$$h_1^* = \left[ \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right] + K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

Asumiendo que las secciones transversales en 1 y 4 son iguales,  $\alpha_4 = \alpha_1$   
Por condición de continuidad:

$$A_1 \cdot V_1 = A_4 \cdot V_4 = A_{n2} \cdot V_{n2}$$

Las velocidades son proporcionales a las áreas, luego puede expresarse:

$$h_1^* = \left[ \left( \frac{A_{n2}}{A_4} \right)^2 - \left( \frac{A_{n2}}{A_1} \right)^2 \right] \cdot \frac{V_{n2}^2}{2g} + K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

Representa la diferencia de energía cinética entre la sección 1 y 4

Variables:

$h_1^*$  = remanso total

$K^*$  = coeficiente de pérdidas totales en el remanso

$\alpha_1$  = coeficiente de corrección de altura de velocidad en las sección 1 y 4.

$\alpha_2$  = coeficiente de corrección de altura de velocidad en la contracción.

$A_{n2}$  = Área mojada en la contracción con nivel de agua normal.

$V_{n2} = Q/A_{n2}$ : Velocidad media en la contracción con tirante normal

$A_4$  = Área mojada en la sección 4 (luego de restablecido el régimen normal)

$A_1$  = Área mojada en la sección 1 (con la contracción)

Hallar  $h_1^*$  es un PROCESO ITERATIVO:

1° Se estima:  $h_1^* \cong K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$

2° Se determina:  $A_1 = f(h_1^*)$

3° Se calcula:  $h_1^* = \left[ \left( \frac{A_{n2}}{A_4} \right)^2 - \left( \frac{A_{n2}}{A_1} \right)^2 \right] \cdot \frac{V_{n2}^2}{2g} + K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$

4° Se compara  $h_1^*$  con el estimado.

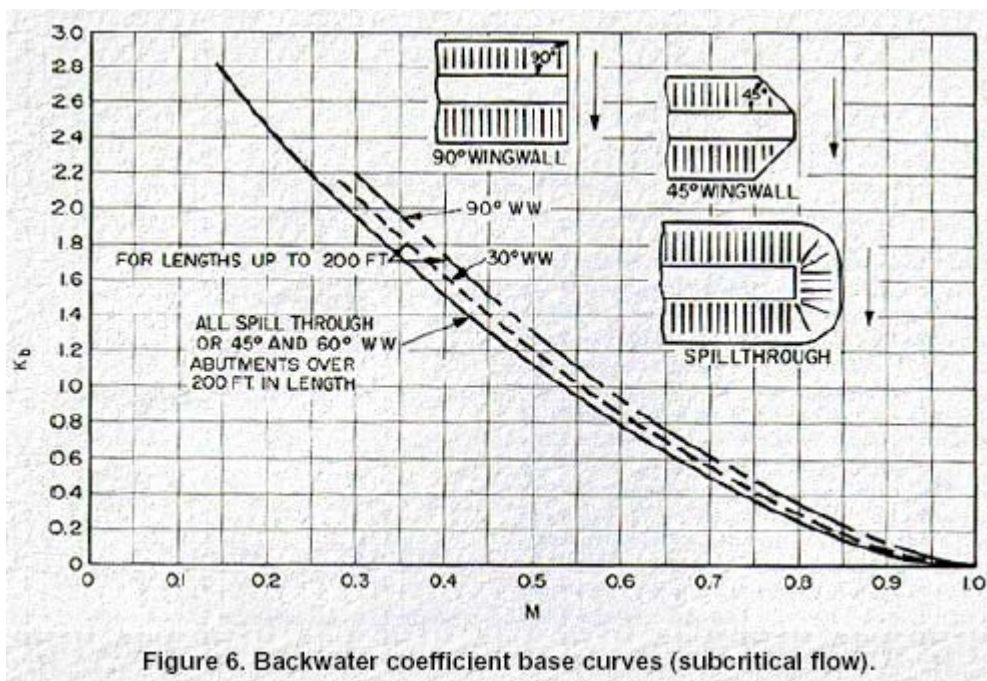
## Determinación del coeficiente de pérdidas $K^*$ :

$$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e + \Delta K_s$$

El símbolo  $K_b$  es el coeficiente de remanso para un puente en el que sólo se considera la relación de apertura  $M$ .

- El valor total del coeficiente  $K^*$ , también se ve afectado por :
- Número, tamaño, forma y orientación de pilas en la contracción
- Excentricidad o posición asimétrica del puente con respecto a la sección transversal
- Inclinación o ángulo entre el eje del camino y el eje del canal.

$K_b$ : Tiene en cuenta la LOS ESTRIBOS (Curvas base):



El valor de  $K_b$  aumenta al disminuir  $M$  (aumenta la contracción)

Para puentes de longitud mayor a 60 m, independientemente de la forma del estribo, se utiliza la curva más baja, porque la geometría del estribo tiene menos importancia cuando la luz del puente aumenta.

$\Delta K_p$ : Tiene en cuenta el EFECTO DE PILAS:

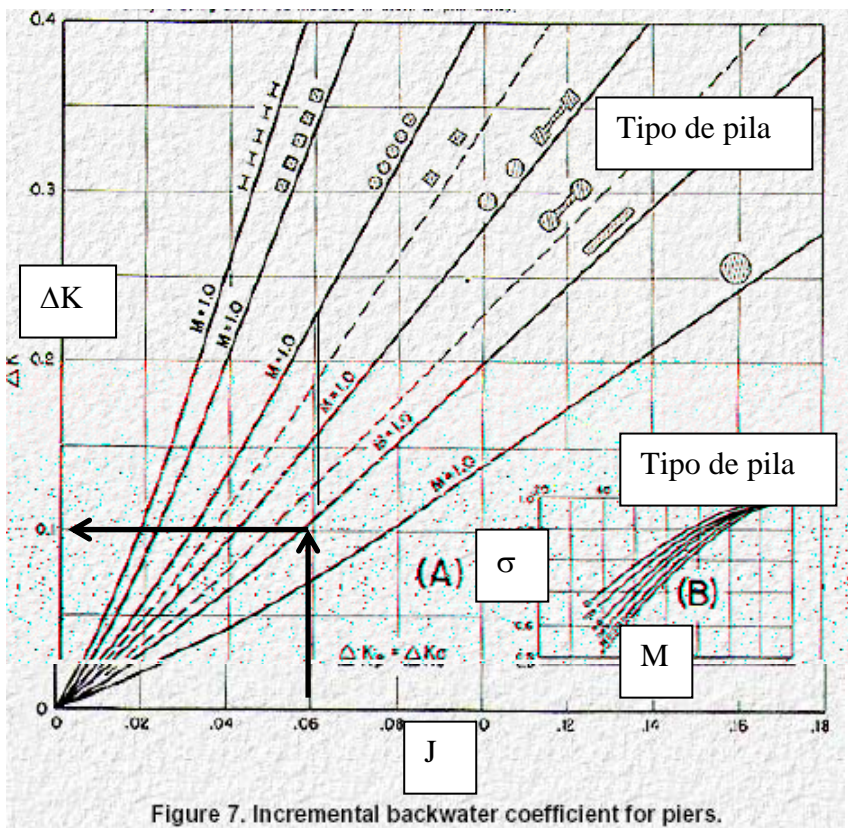
$\Delta K_p$ , depende de:

- la relación entre el área de las pilas y el área de apertura del puente:

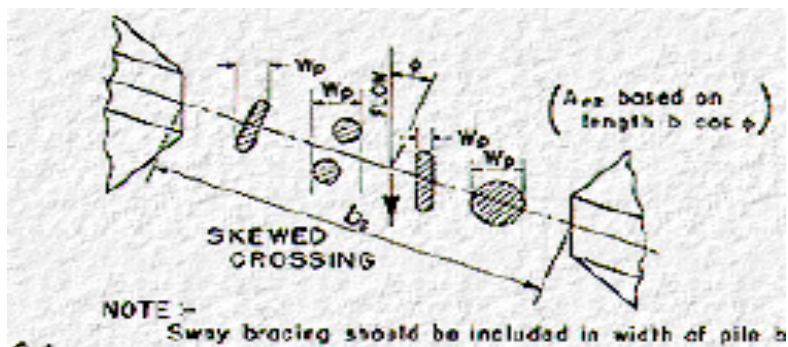
$$J = \frac{A_p}{A_{n2}}$$

- El tipo de pilas
- El valor de la relación de apertura: M
- La angularidad de las pilas con la dirección del flujo.

$$\Delta K_p = \sigma \cdot \Delta K$$



Para cruces inclinados, se utilizan los mismos gráficos y se varía el cálculo de J,  $\Delta_{n2}$  y M.



$\Delta K_e$ : Tiene en cuenta el EFECTO DE EXCENTRICIDAD:

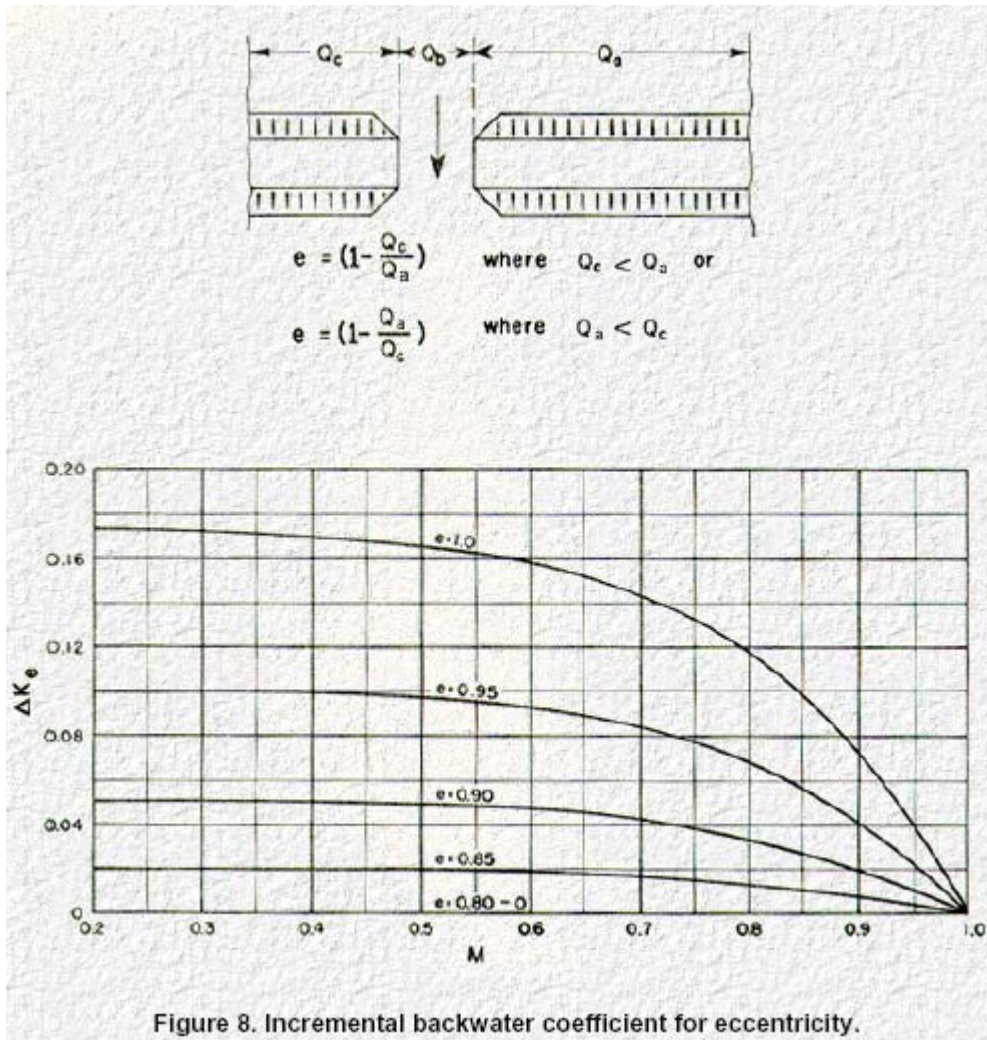


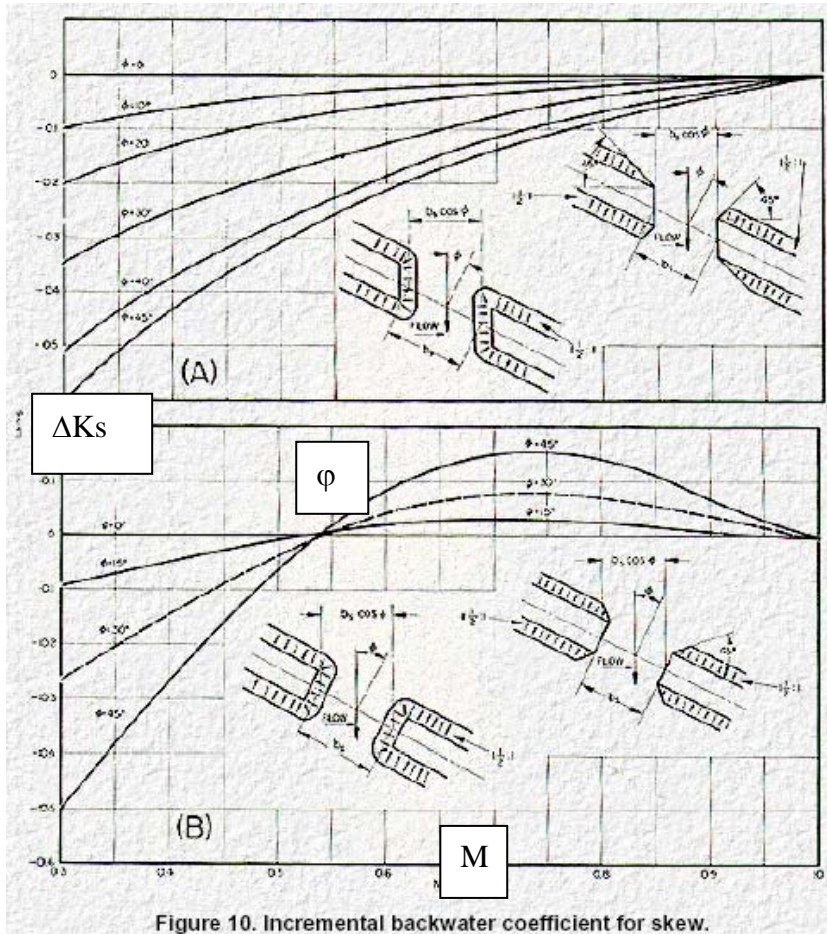
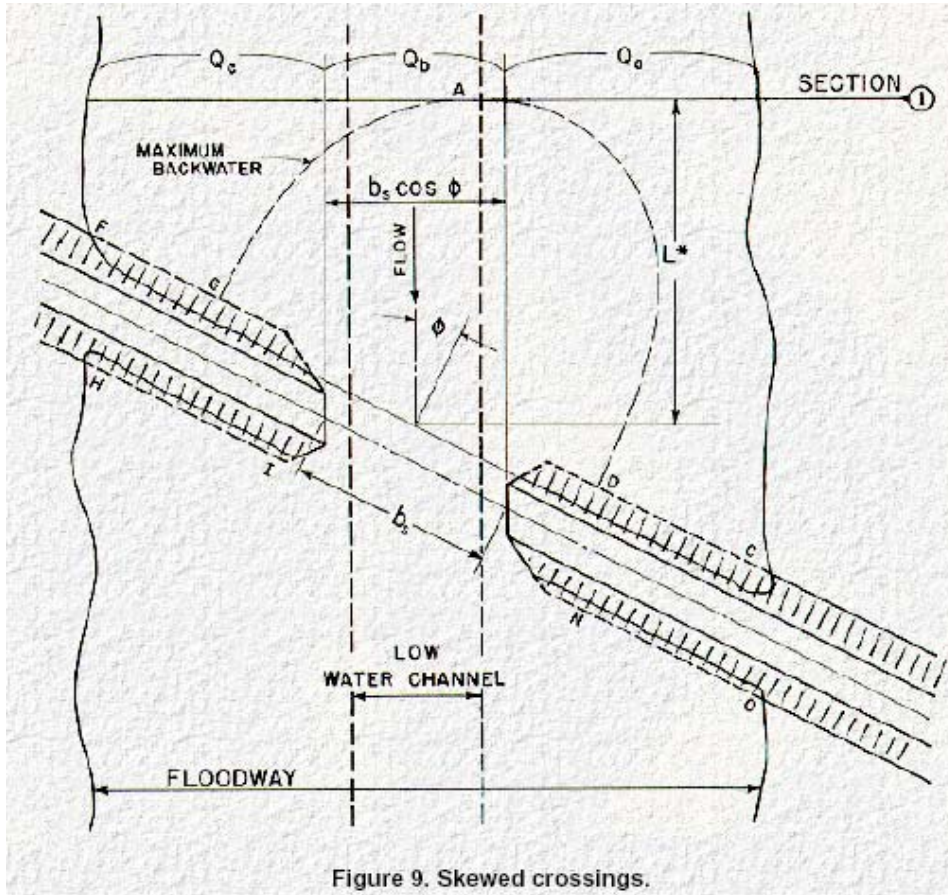
Figure 8. Incremental backwater coefficient for eccentricity.

$\Delta K_s$ : Tiene en cuenta EFECTO DE INCLINACIÓN.

$\Delta K_s$  puede ser positivo o negativo.

Respecto del cruce normal, se modifican los valores de:

- $M$
- $A_{n2}$
- $V_{n2} = f(A_{n2})$



El cruce inclinado con ángulos hasta 20° produce resultados objetables para cualquier tipo de estribos para ángulos mayores, la concentración del flujo en los estribos produce remolinos, reduciendo la eficiencia del canal e incrementando las posibilidades de erosión.

La longitud H-I y N-O puede definirse arbitrariamente o un valor no mayor a 2 luces del puente.

### 3. DETERMINACIÓN DE $h_3^*$ :

Partiendo de un dato fácilmente medible  $\Delta h$ , se puede trazar la curva de remanso:

La diferencia en la elevación de la superficie del agua entre aguas arriba y aguas abajo del puente en la proximidad de los estribos  $\Delta h$ , no es el remanso provocado por el puente.

Puede definirse el nuevo nivel de agua, conociendo  $h_3^*$ . La estimación es válida siempre que el perfil no ascienda por estancamiento desde aguas abajo o por planicies de inundación restringido.

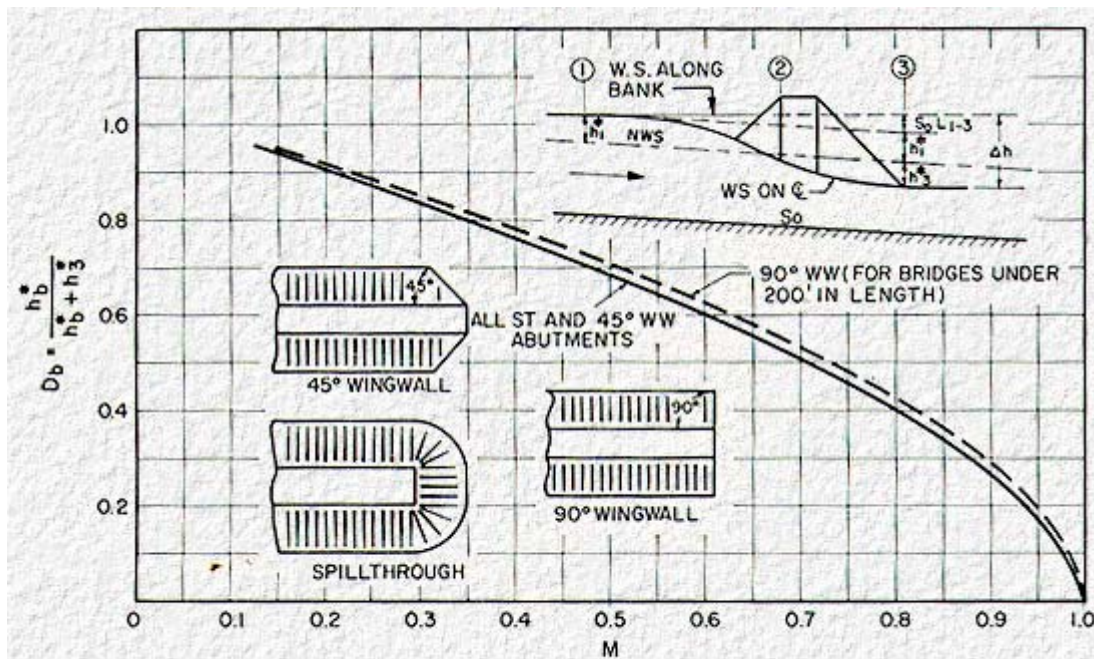


Figure 12. Differential water level ratio base curves.

$$h_3^* = h_b^* \cdot \left( \frac{1}{D_b} - 1 \right)$$

$$h_b^* = K_b \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2 \cdot g}$$

Existen correcciones por efecto de pila y de excentricidad. (De tablas en forma similar a lo explicado).

#### **4. DIFERENCIA DE NIVEL EN LA SUPERFICIE DEL AGUA A TRAVÉS DEL PUENTE :**

Conocidos  $h_3^*$  y  $h_1^*$ , se puede calcular:

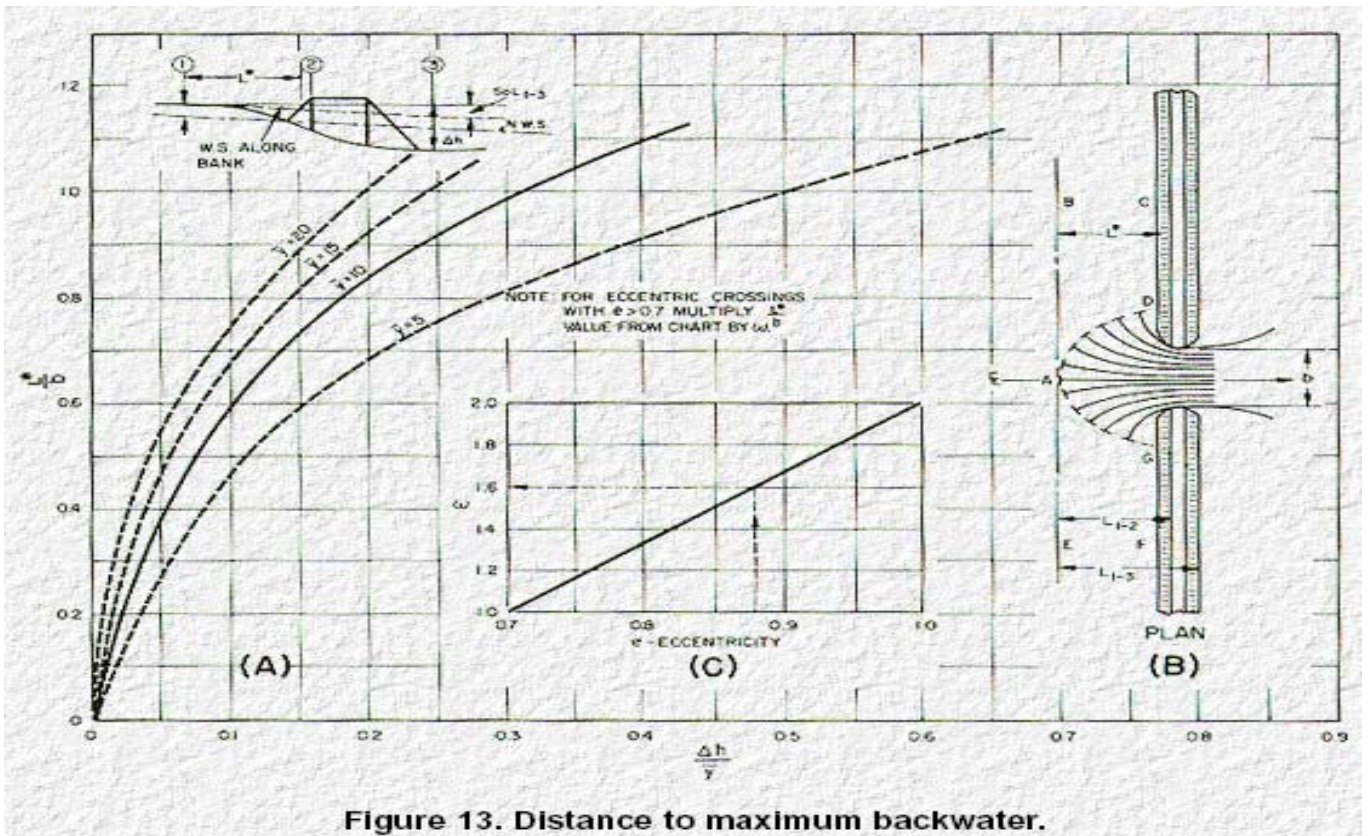
$$\Delta h = h_3^* + h_1^* + S_o \cdot L_{1-3}$$

pero se debe determinar primero:  $L_{1-3}$

#### **5. Distancia al punto de máximo remanso:**

$L^*$  desde el punto de encuentro del nivel del agua con el terraplén de aguas arriba.

Cruce Normal:



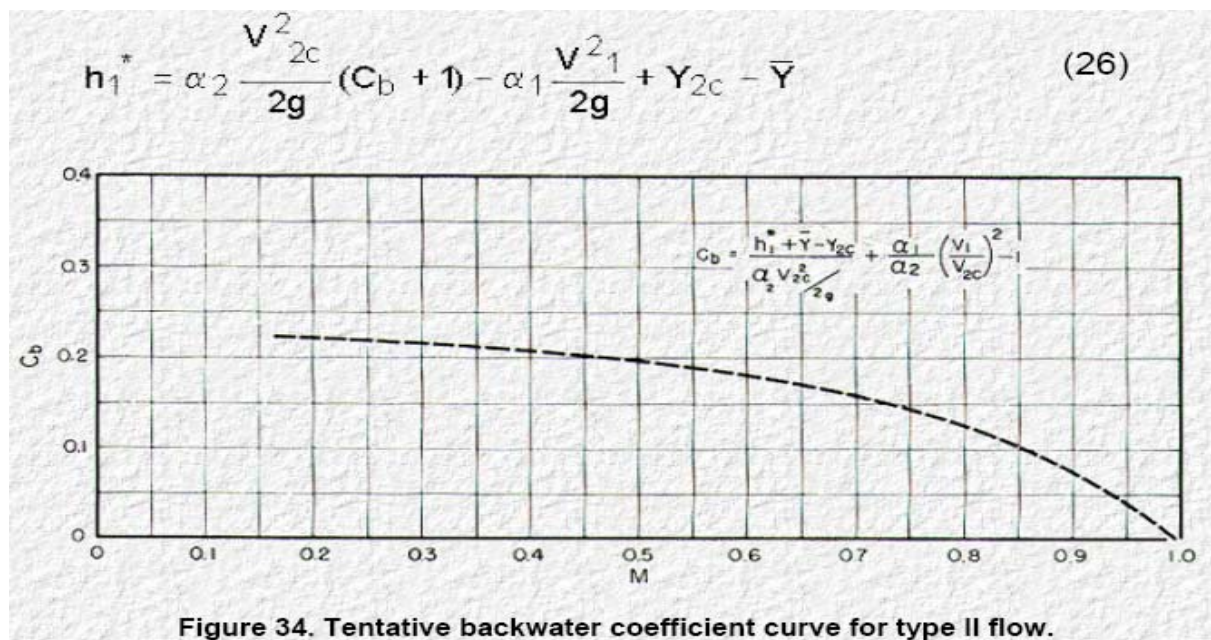
Proceso iterativo:

- 1° Se estima:  $\frac{\Delta h}{y} \cong h_1^* + h_3^*$
- 2° Se obtiene de tablas:  $\frac{L^*}{b} \rightarrow L$
- 3° Se calcula nuevamente:  $\frac{\Delta h}{y}$
- 4° Se compara  $\Delta h$  con el estimado.

Luego se determina:  $L_{1-3}$  (Ver figura 13).

Existen correcciones por excentricidad e inclinación que se calculan por medio de tablas. (Ver Hydraulics of Bridge Waterways).

En el caso de Flujo Tipo II, se procede en forma similar, calculando todos los valores y luego se corrigen entrando en Fig. 34.



El presente escrito, ha sido elaborado para comprender los criterios de cálculo de la conocida HEC-18 y las bases de cálculo que emplea el programa HEC-RAS

## BIBLIOGRAFIA

Hydraulics of Bridge Waterways – HEC 18