

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES



FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

CÁTEDRA DE "CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS"

HIDRAULICA DE PUENTES

VERSIÓN AL 18/09/2007

Ing. Adolfo GUILTELMAN

HIDRÁULICA DE PUENTES

1. EFFECTOS DE LA CONTRACCIÓN:

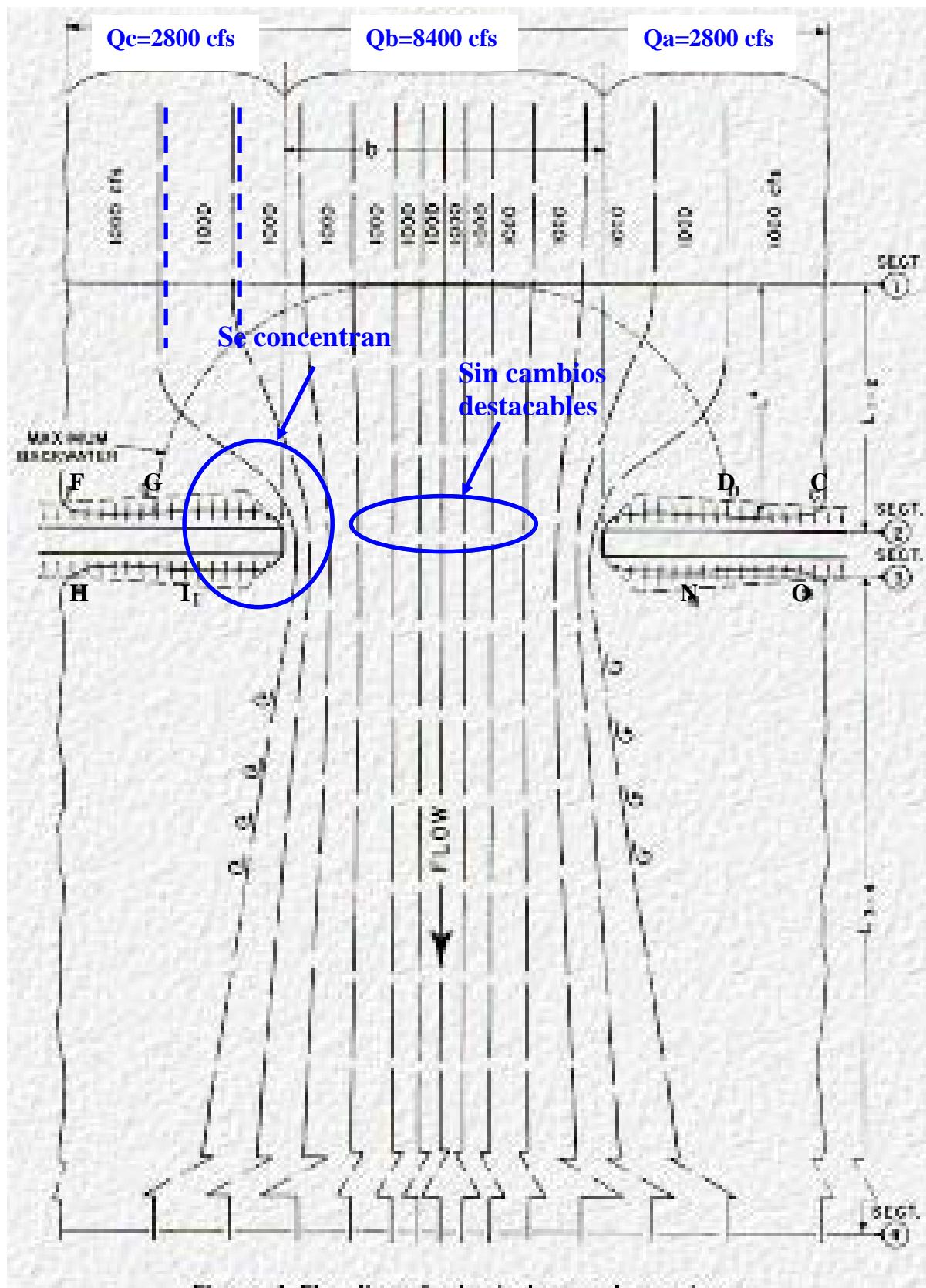
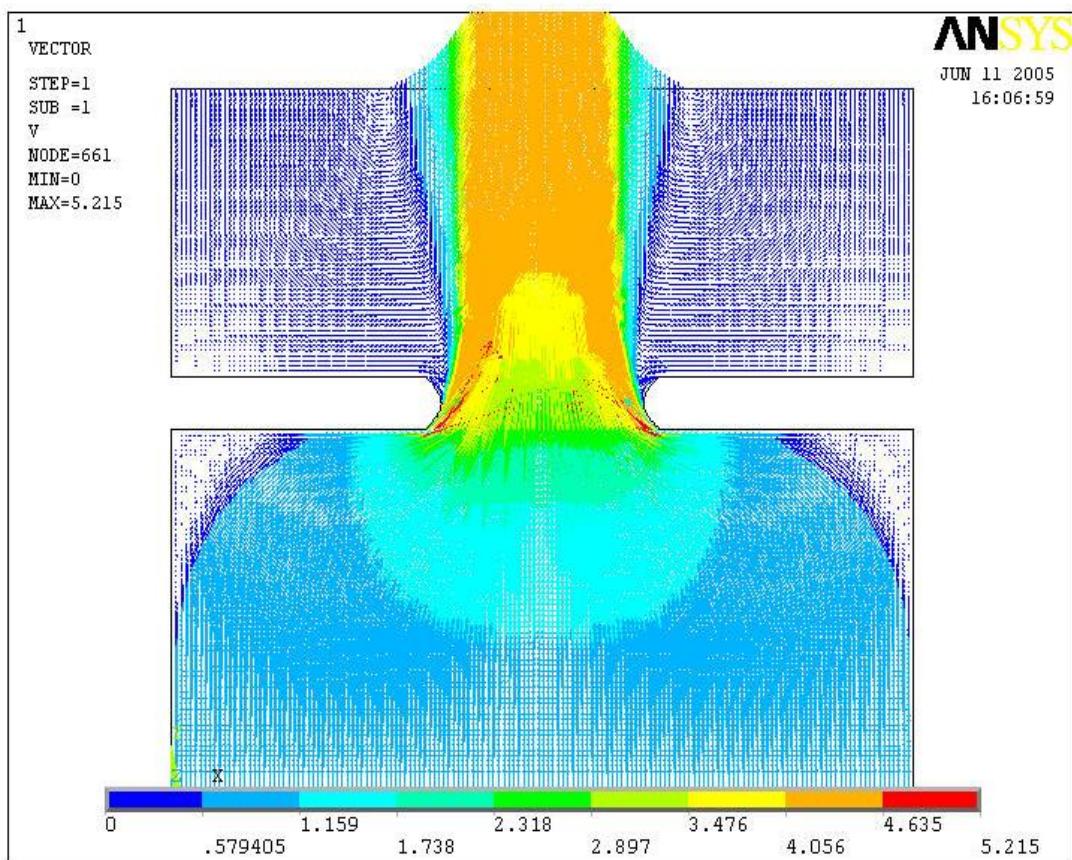
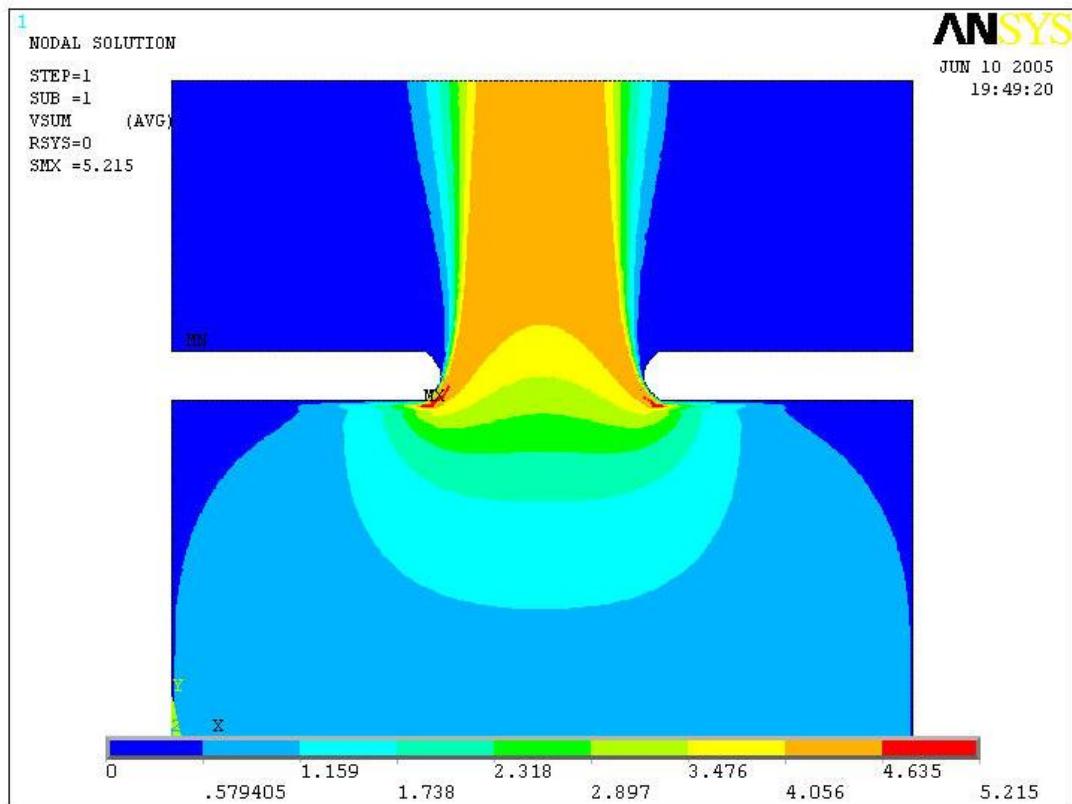


Figure 1. Flow lines for typical normal crossing.

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:

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

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:

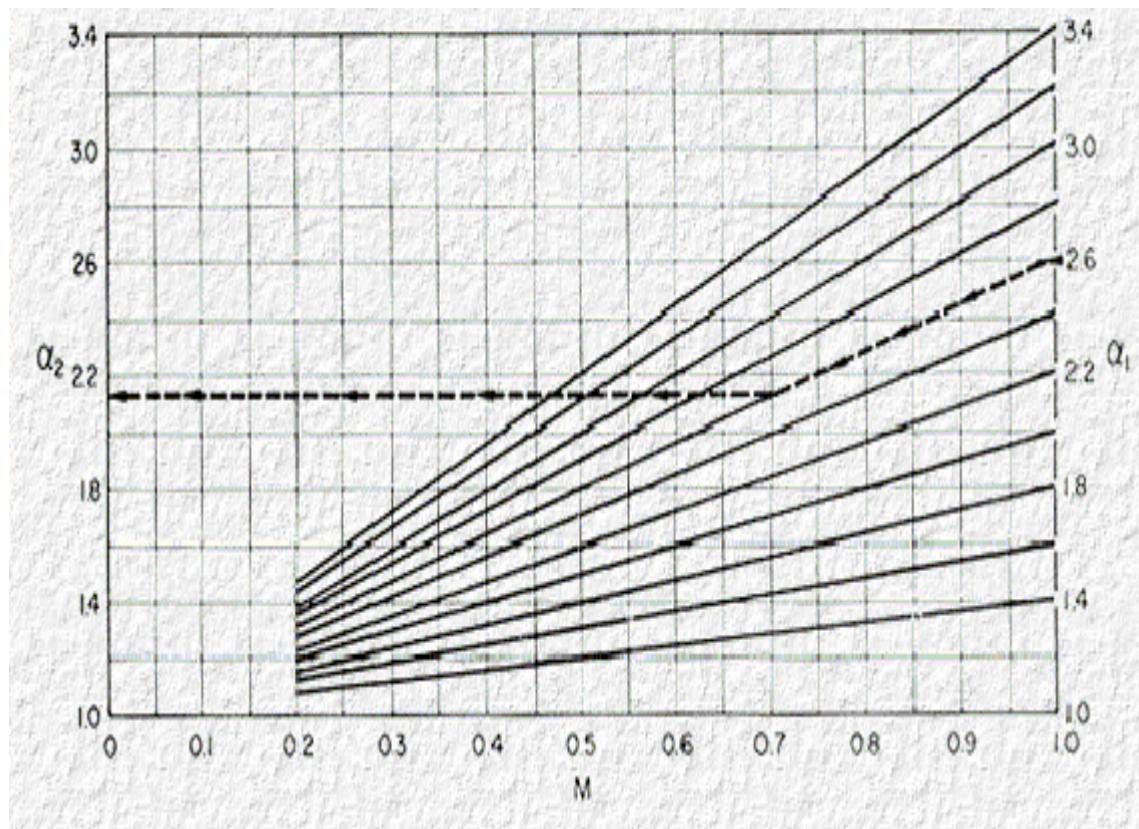


Figure 5. Aid for Estimating α_2

TIPOS DE FLUJO:

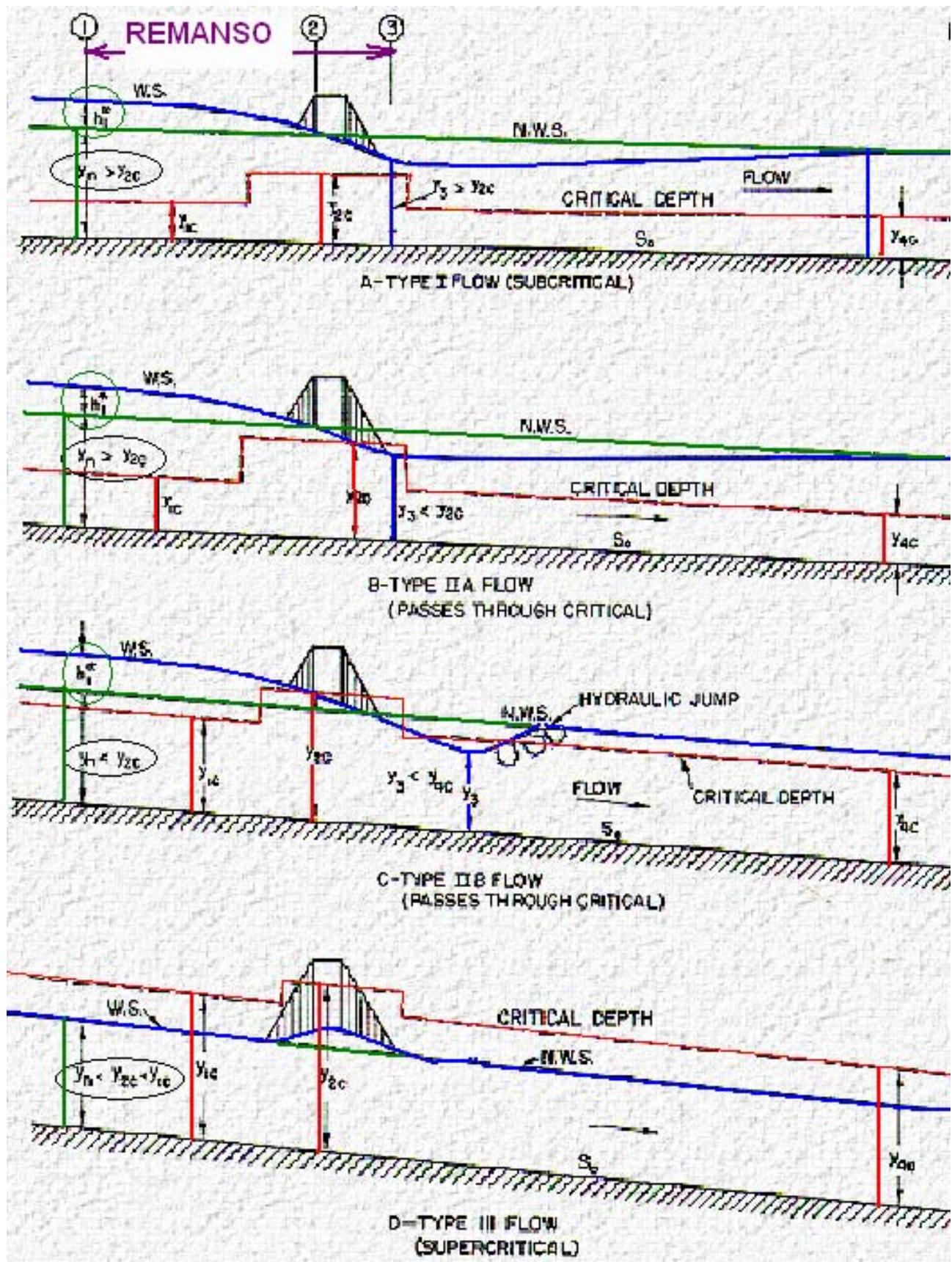
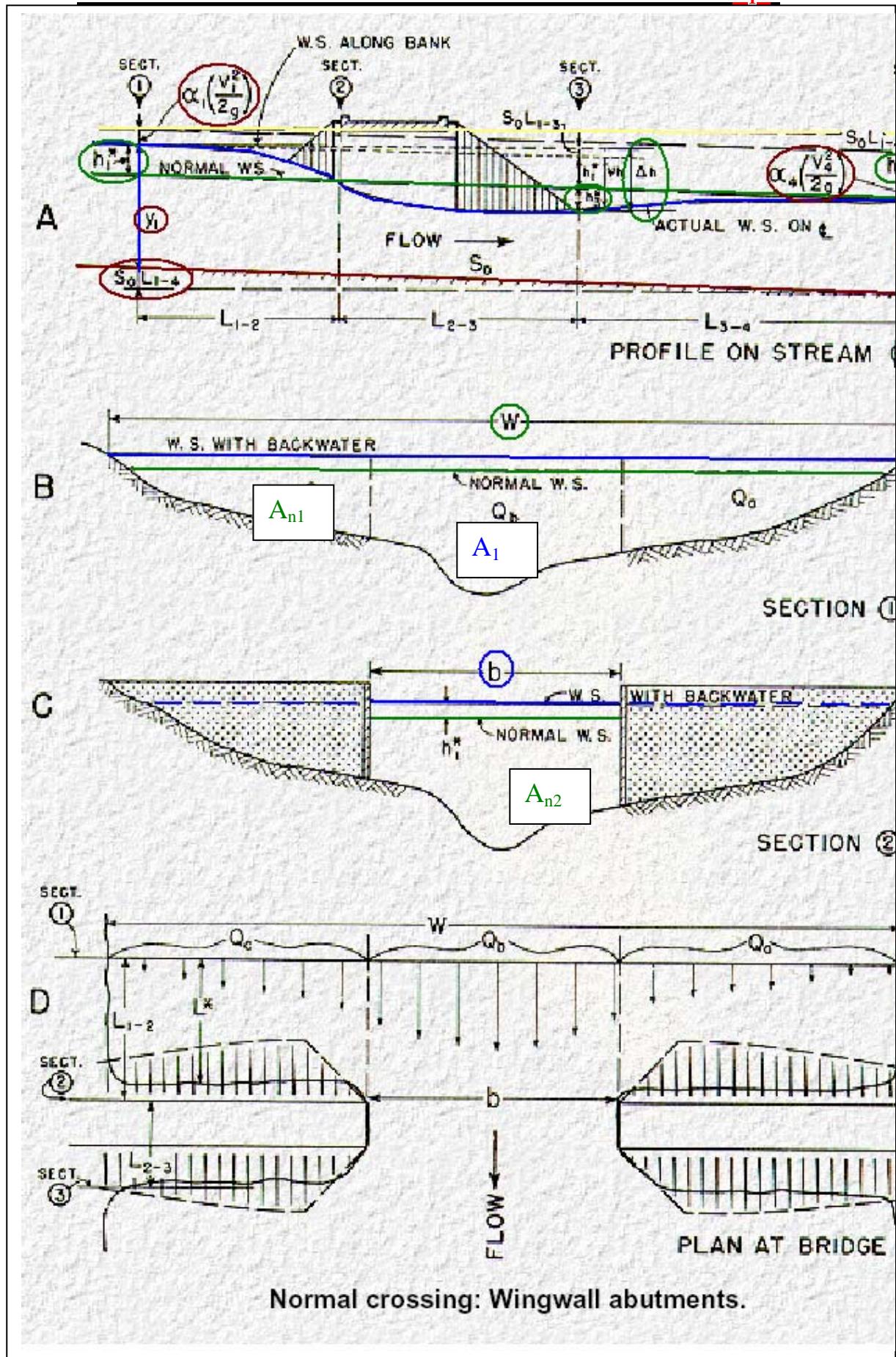


Figure 4. Types of flow encountered.

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



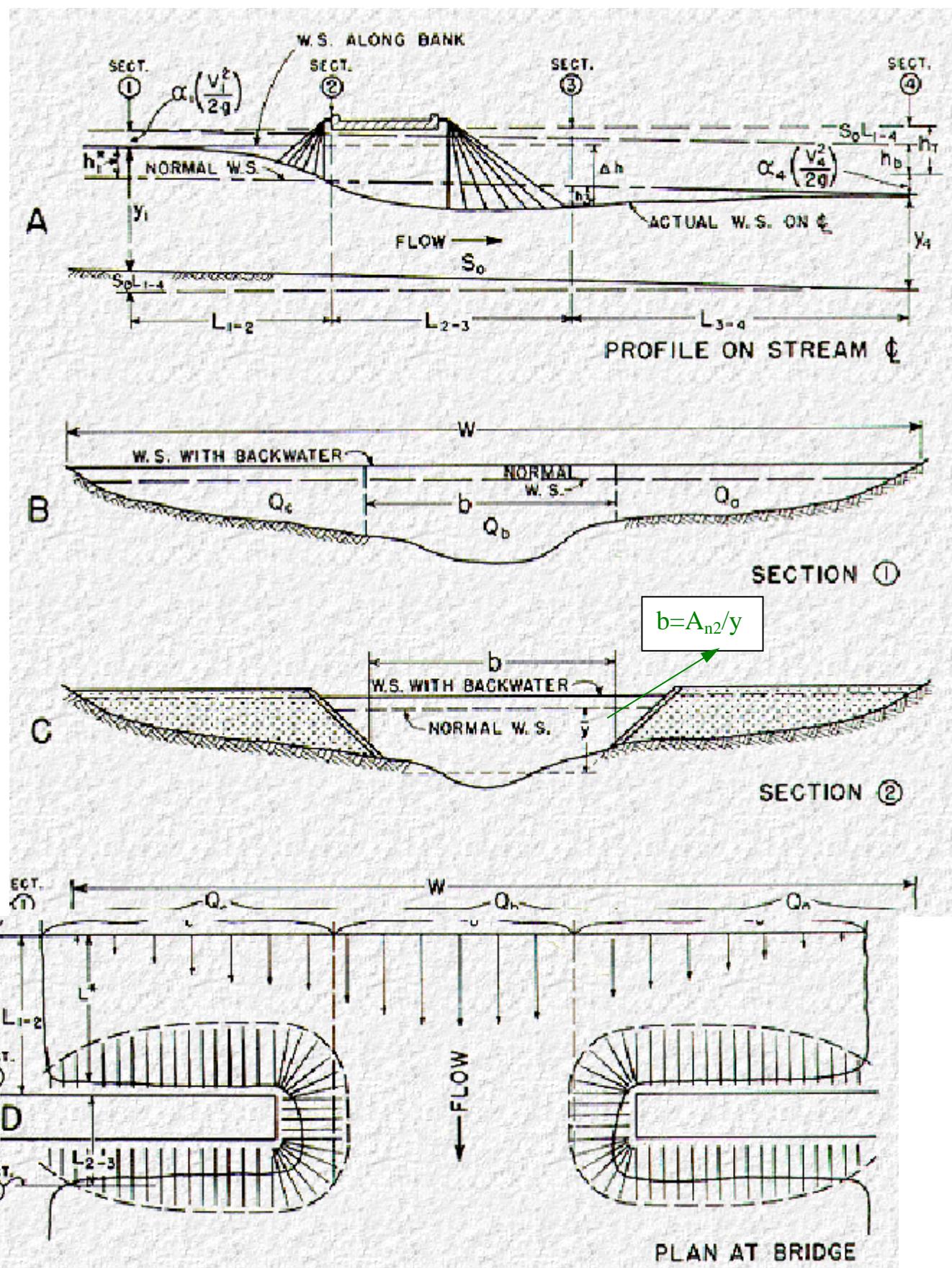


Figure 3. Normal crossings: Spillthrough abutments.

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

α_1 = coeficiente de corrección de altura de velocidad en las sección 1 y 4.

α_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:

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

2º Se determina: $A_1 = f(h_1^*)$

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

4º 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):

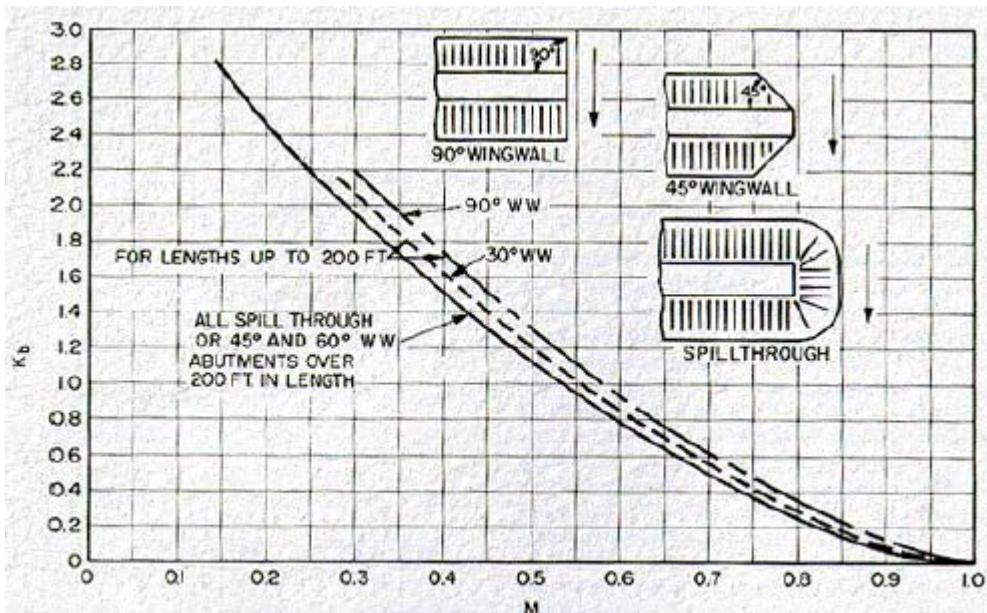


Figure 6. Backwater coefficient base curves (subcritical flow).

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.

ΔK_p : Tiene en cuenta el EFECTO DE PILAS:

ΔK_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.

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

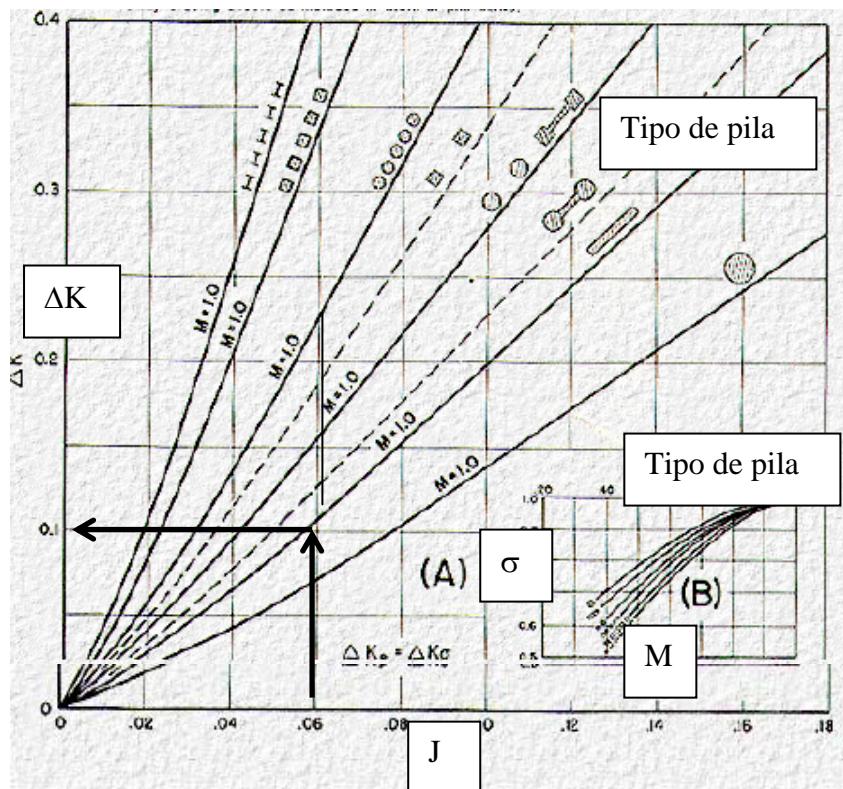
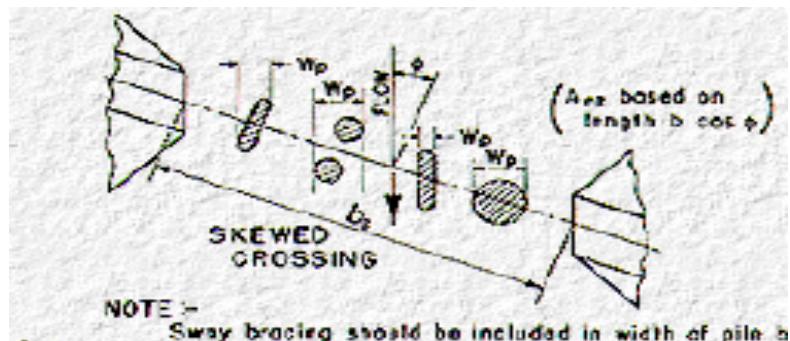


Figure 7. Incremental backwater coefficient for piers.

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



ΔK_e : Tiene en cuenta el EFECTO DE EXCENTRICIDAD:

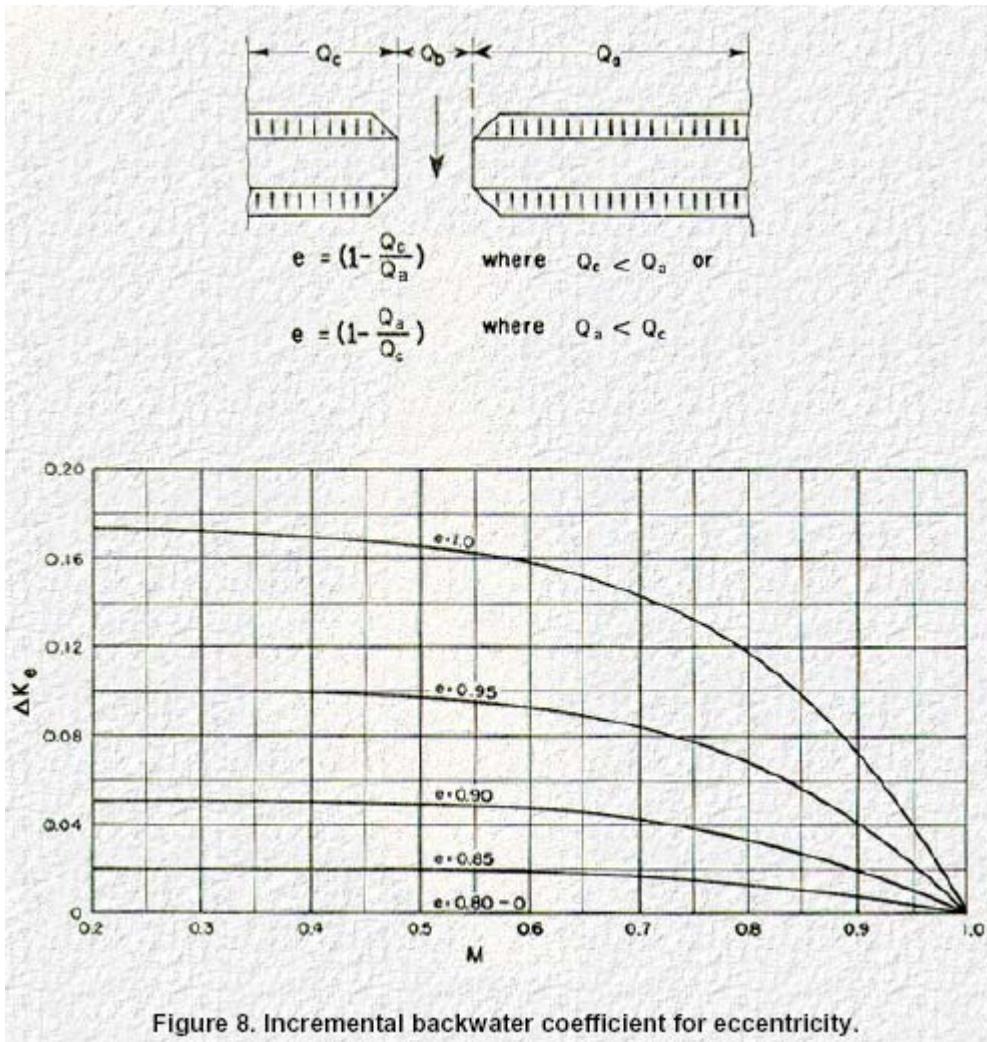


Figure 8. Incremental backwater coefficient for eccentricity.

ΔK_s : Tiene en cuenta EFECTO DE INCLINACIÓN.

ΔK_s puede ser positivo o negativo.

Respecto del cruce normal, se modifican los valores de:

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

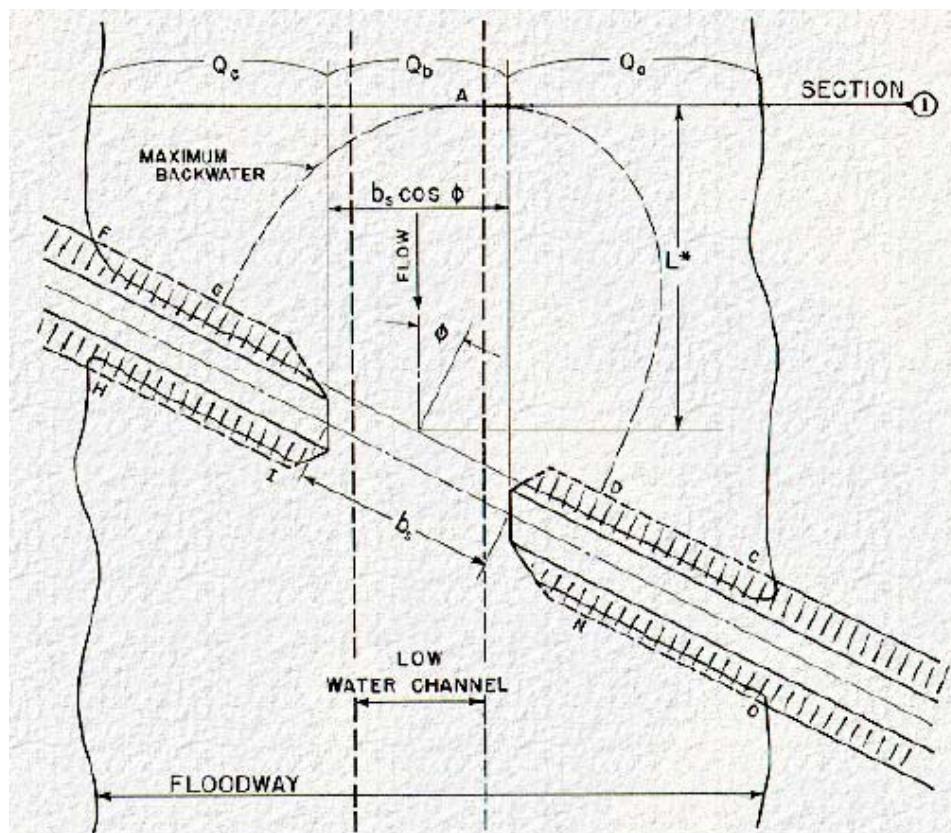


Figure 9. Skewed crossings.

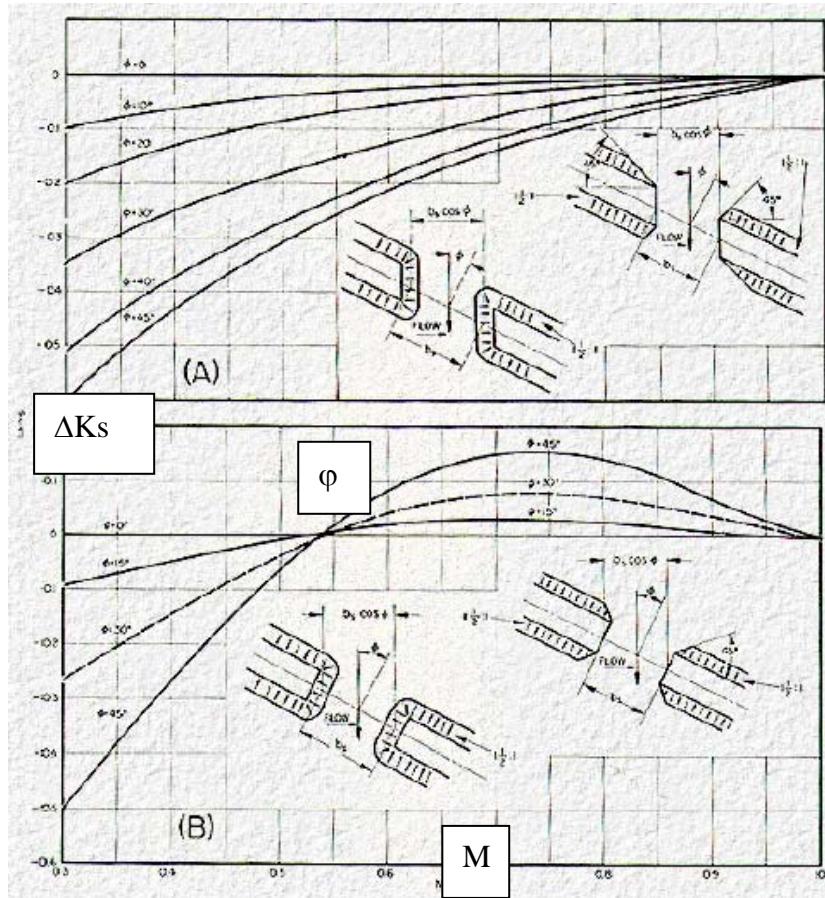


Figure 10. Incremental backwater coefficient for skew.

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 mesurable Δh , 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 Δh , 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.

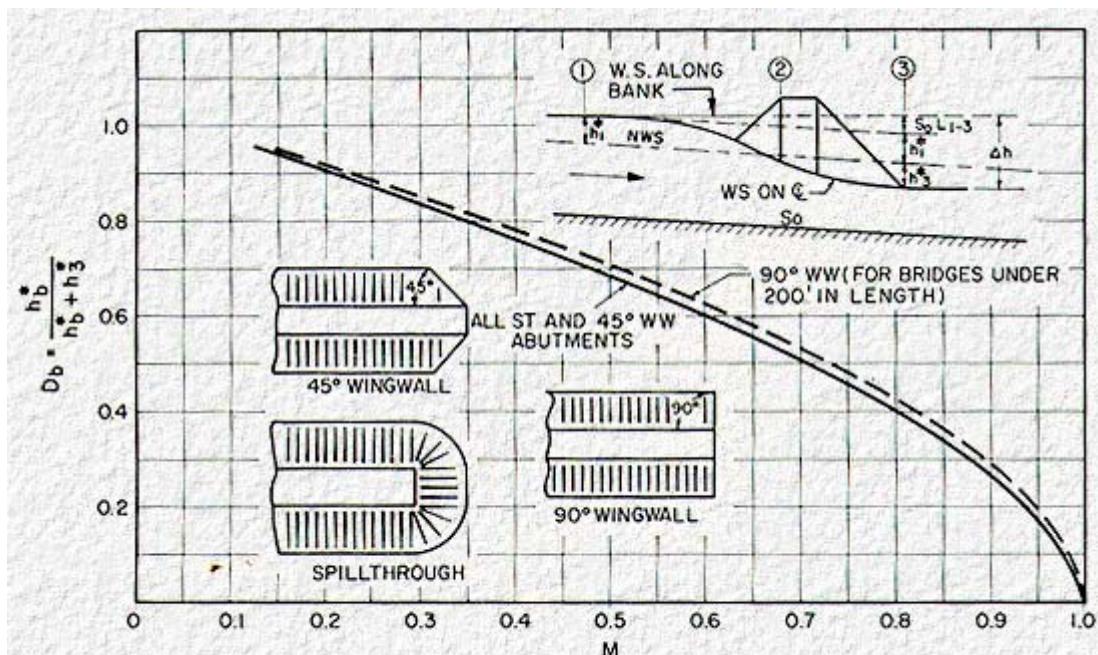


Figure 12. Differential water level ratio base curves.

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

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

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:

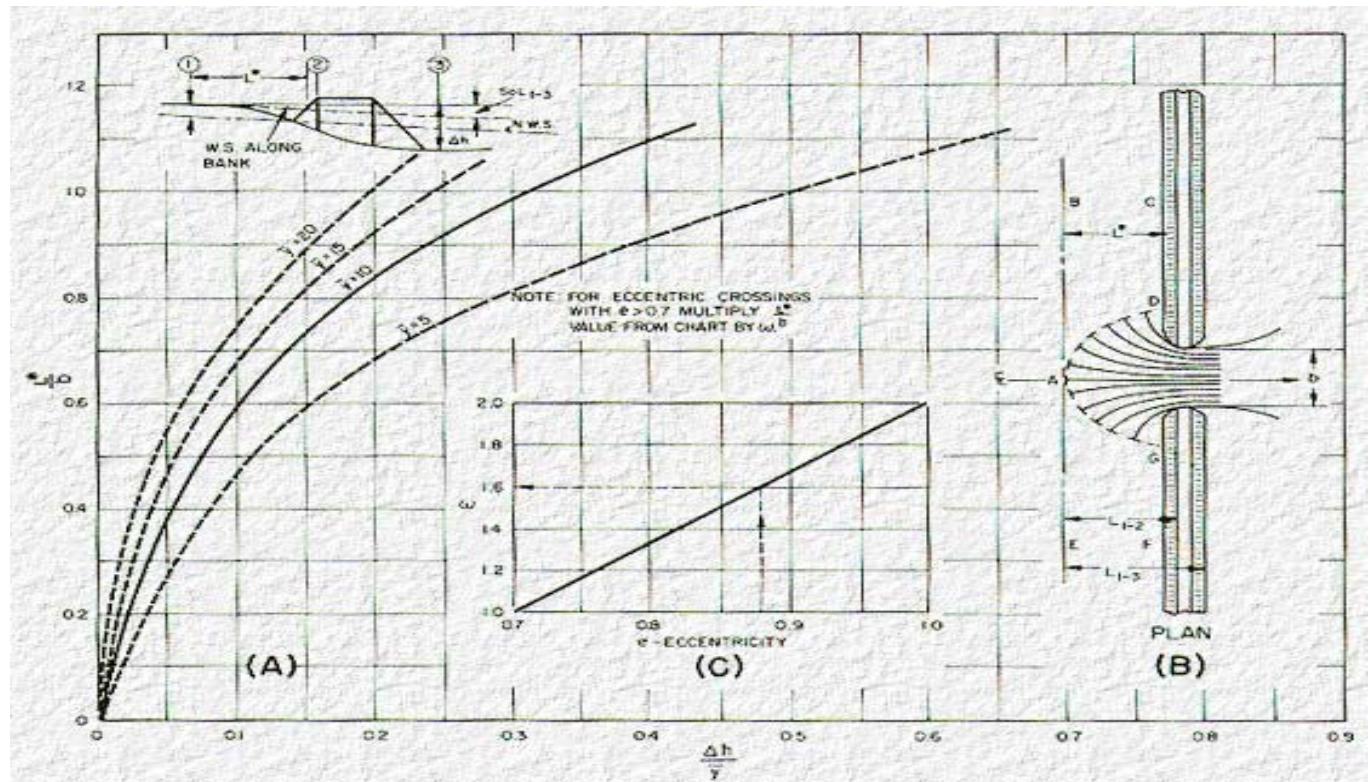


Figure 13. Distance to maximum backwater.

Proceso iterativo:

$$1^{\circ} \quad \text{Se estima: } \frac{\Delta h}{\bar{y}} \cong h_1^* + h_3^*$$

$$2^{\circ} \quad \text{Se obtiene de tablas: } \frac{L^*}{b} \rightarrow L$$

$$3^{\circ} \quad \text{Se calcula nuevamente: } \frac{\Delta h}{\bar{y}}$$

4^o Se compara Δh 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.

$$h_1^* = \alpha_2 \frac{V_{2c}^2}{2g} (C_b + 1) - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + Y_{2c} - \bar{Y} \quad (26)$$

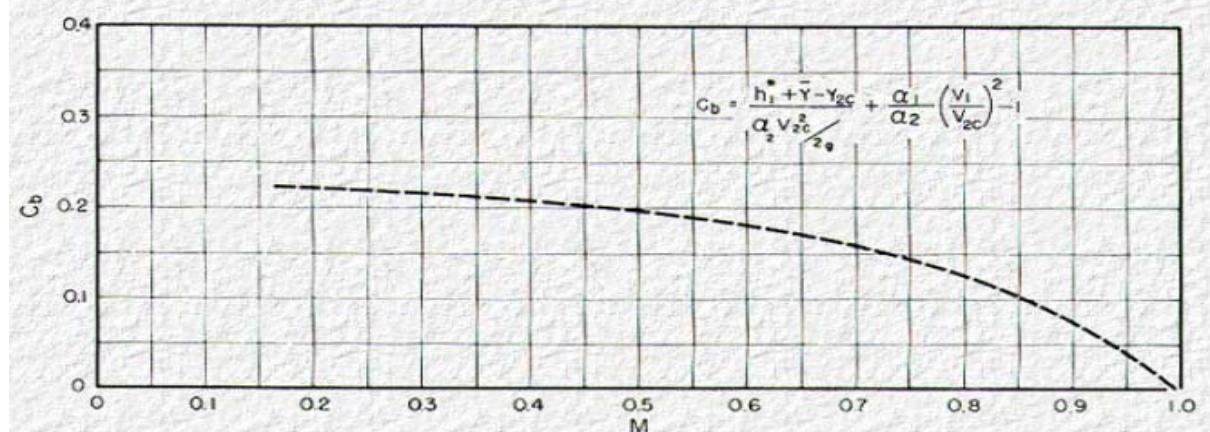


Figure 34. Tentative backwater coefficient curve for type II flow.

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

BIBLIOGRAFIA

Hydraulics of Bridge Waterways – HEC 18