CALCULO HIDRAULICO EN RIOS Y DISEÑO DE CANALES ESTABLES SIN USAR ECUACIONES TRADICIONALES

Eduardo E. Martínez Pérez
Profesor agregado de la Universidad Central de Venezuela. Departamento de ingeniería hidráulica de la facultad de ingeniería. Los Chaguaramos, Caracas, Venezuela. 52 416 6205380. edomartinez@hotmail.com

Introducción

Las características del lecho de un río son debidas a un precario equilibrio entre el clima, vegetación edafología, topografía, geología etc. de la cuenca y la capacidad del río para transportar sedimentos.

La forma de la sección transversal de cada río refleja el resultado de la interacción de esas variables, en consecuencia es posible y mejor hacer el estudio hidráulico de cada cauce usando solamente esa información: su forma y pendiente, para obtener el factor de fricción y el gradiente de descarga de sedimentos sin recurrir a valores empíricos obtenidos en otros ríos con cuencas de condiciones diferentes o por datos de laboratorios.

Curva Limnimétrica en Régimen Permanente y Uniforme

La solución del problema requiere de una primera hipótesis:

Hipotesis 1: La fórmula de Manning considera que para cada profundidad un canal de cualquier forma es igual a otro rectangular muy ancho de altura igual al radio hidráulico y ancho el perímetro mojado (el radio hidráulico tiende a ser igual a la profundidad).

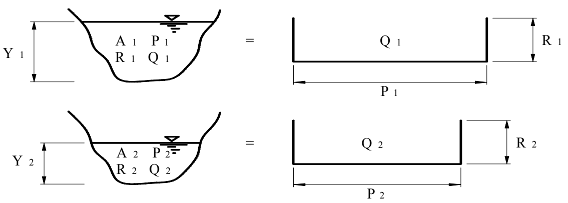

Figura 1.- Hipótesis de Manning

De acuerdo a la hipótesis, la energía específica, es la siguiente:

$$H_0 = R + \frac{V^2}{2g} = R + \frac{Q^2}{2gA^2} \qquad (1)$$

Donde: R:Radio hidráulico
V: Velocidad
Q: caudal
g: aceleración de la gravedad

Por otra parte las características geométricas del cauce, área mojada (A), perímetro mojado (P) pueden ser expresadas por las tradicionales relaciones morfológicas en función de la profundidad:

$$A = aY^b \qquad (2)$$

$$P = cY^d \qquad (3)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{aY^b}{cY^d} = eY^f \qquad (4)$$

$$e = a/c \text{ and } f = b - d \qquad (5)$$

Por tanto la energía específica se escribe así:

$$H_0 = eY^f + \frac{Q^2}{2ga^2Y^{2b}} \qquad (6)$$

En flujo permanente y uniforme, la energía específica es constante, por tanto:

$$dH_0 / dL = 0 \qquad (7)$$

Donde L es el eje longitudinal. Por tanto

$$\frac{dH_0}{dL} = \frac{dH_0}{dY}\frac{dY}{dL} = \left(\frac{dR}{dY} + \frac{Q^2}{2g}\frac{d(1/A^2)}{dY}\right)\frac{dY}{dL} = 0$$

$$\frac{dR}{dY} + \frac{Q^2}{2g}\frac{d(1/A^2)}{dY} = 0 \qquad (9)$$

Sustituyendo por las relaciones morfológicas, resulta lo siguiente:

$$efY^{(f-1)} - \frac{Q^2b}{ga^2Y^{(2b-1)}} = 0 \qquad (10)$$

En consecuencia

$$Y_n = \left(\frac{Q^2b}{ga^2ef}\right)^{\frac{1}{f+2b}} \qquad (11)$$

Y_n =profundidad normal

Resolviendo para diferentes valores de caudal (Q) se obtiene la profundidad correspondiente en régimen permanente y uniforme (Profundidad normal)

Posteriormente, si la pendiente es conocida, se puede usar la fórmula de Manning para obtener el factor fricción "n" de dicha ecuación.

Se debe resaltar, que de acuerdo a esto, la profundidad normal es solución única que depende solamente de la forma del canal y es independiente de la rugosidad y la pendiente.

Tránsito de Sedimentos

El tránsito de sedimentos consiste en la solución numérica de la ecuación de continuidad:

$$\frac{dQ_s}{dL}+\frac{dA_b}{dt}-q_s=0 \qquad (12)$$

Donde $\frac{dQ_s}{dL}$ = gradiente de descarga de sedimentos

$\frac{dA_b}{dt}$ = cambio en la sección transversal

$q_s =$ entrada lateral de sedimentos

En este caso se considera $q_s = 0$.

Para resolver esta ecuación, previamente fue realizado en tránsito de la creciente de agua. En ese caso es posible conocer la relación Area Vs. Tiempo ajustando cada tres instantes un polinomio de segundo grado

$$A = vT^2 + wT + u \qquad (13)$$

Donde $A =$ Area
$T =$ Tiempo
$v, w =$ Coeficientes
$u =$ Constante

Ahora $$\frac{dA}{dT} = 2vT + w \qquad (14)$$

Hipótesis 2: La pendiente de un río es el gradiente es la profundidad de erosión por unidad de ancho, tal como s demuestra en la figura 2

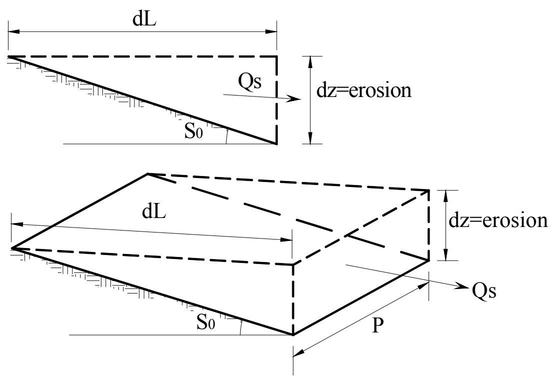

Figura 2.- Definición esquemática de hipótesis

$$dZ = -S_o dL \qquad (15)$$

Utilizando la hipótesis 1 acerca del canal rectangular virtual, resulta lo siguiente:

$$dQ_s = VPdZ = -VPS_o dL \qquad (16)$$

$$\frac{dQ_s}{dL} = -VPS_0 \qquad (17)$$

Diseño de Canales Estables de Caudal Constante

Tal como se estableció, la profundidad normal depende solo de la forma del canal, para un caudal determinado.

Por tanto para diseñar un canal estable de caudal constante y sin aporte de sedimentos, lo primero que debe es seleccionar la forma del canal y luego para diferentes pendientes se determina cual debe ser la rugosidad.

El valor de la rugosidad se calcula por cualquier fórmula del tipo de Strickler.

La iteración entre forma, pendiente y tamaño de la rugosidad permite diseñar el canal estable, con solución única.

Si hay aporte de sedimentos en el extremo aguas arriba del canal, se incorpora este valor en la ecuación del gradiente de sedimentos, se calcula la pendiente requerida para transportarlos y luego la rugosidad.