

MODELACIÓN DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL FLUJO N DE MANNING PARA DISEÑO DE CANALES CON RÉGIMEN SUBCRÍTICO

Marcial Sebastián Calero Amores¹ y Laura de Jesús Calero Proaño²

^{1,2} Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Docente-Investigador/a Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Miembro del Comité Científico, Facultad de Arquitectura, Universidad de Guayaquil.

¹ Universidad Laica Vicente Rocafuerte – Guayaquil Ecuador – Docente Investigador-Director Laboratorio Hidráulica –FIIC
Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción - Cel: 0993060390
E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec

Resumen

La selección y modelación idónea del coeficiente de resistencia al flujo “n” de Manning para diseñar canales, impacta técnica y económicamente en el dimensionamiento, la hidrodinámica y el caudal transportado. La documentación técnica actual estima el valor del coeficiente n de Manning solo por la rugosidad del material, sin considerar que este coeficiente esté en función de las características hidrodinámicas del flujo. En la investigación desarrollada en el Laboratorio Hidráulico de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción FIIC-ULVRG, se levantó y validó más de 570 registros experimentales y se calculó y aplicó modelos con confiabilidad mayor al 99.5%, disminuyendo aproximadamente el 10% del impacto negativo en el diseño. Se estableció el régimen uniforme, pendiente constante y régimen turbulento y subcrítico y, además, se calcularon modelos entre el coeficiente n de Manning relacionado con tirante Y, caudal Q y tirante Y/ancho b. Se estimaron modelos relacionando parámetros adimensionales, $\frac{n_i}{n_j}$ con $\left(\frac{Y}{b}\right)$ o $\frac{Q}{\sqrt{gb} b^2}$, para calcular coeficientes Kn que, correlacionados con $K_n = \frac{n_{diseño}}{n_{asumido\ manual}}$, estima $n_{modificado/diseño}$ para proyectar canales, con base en las características del flujo que pueden extenderse a diferentes materiales. El cálculo de la variación del coeficiente n de Manning por tirante Y, caudal Q o la relación Y/b y el coeficiente $n_{diseño}$ de Manning, son aportes científicos que actualmente no han sido estudiados y optimizan técnica y económicamente los canales proyectados.

Palabras claves

Canal. Resistencia al flujo. Técnico-económico.

Introducción

Los canales son conducciones de amplio uso en la hidráulica, y tienen como uno de los parámetros principales el coeficiente de resistencia al flujo como el n de Manning. Subestimar o sobreestimar el coeficiente en una milésima modificará el caudal transportado alrededor del 10% e impactará técnica y económicamente. En la actualidad estos coeficientes se estiman solo por la rugosidad del material, sin considerar el impacto debido a las características hidrodinámicas del flujo, lo que constituye el objetivo de la investigación.

Tratados de Hidráulica de canales como, V. T. CHow (1994), French (1993), Sotelo (2002) y Naudascher (2002), señalan de manera general que el coeficiente n de Manning depende del tirante, pero, no definen cuantitativamente la relación y variables involucradas. Osío, M. Valencia, F. *et al.* (1992) y Román (2014), estiman la rugosidad para casos particulares en cauces naturales. Chansón (2002) y León (1989) presentan tablas para seleccionar el coeficiente n de Manning con intervalos y por material.

En el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la ULVR, se levantaron

experimentalmente más de 570 registros validados, relacionando el coeficiente n de Manning con variables hidrodinámicas y estados del flujo, obteniendo así modelos con confiabilidad superior al 99.5%, determinando el impacto de las características del flujo en el factor n de Manning. Se desarrollaron funciones adimensionales entre “ $n_{experimental}$ ” y características del flujo Y/b y $\left(\frac{Q}{\sqrt{gb} (b^2)}\right)$ determinando coeficientes Kn para corregir el factor $n_{diseño}$ de Manning.

Materiales y métodos

La investigación realizada en el período 2017-2018 tiene enfoque experimental, cuantitativa y empírica. Los registros se validaron y el coeficiente n de Manning se calcularon con:

$$\Delta_j = \frac{\sigma_j}{\sqrt{J}} \quad [1]$$

Siendo: Δ_j : dato a corregirse
 σ_j = desviación estándar
J= registro

$$n = \frac{A^{5/3} S_0^{1/2}}{Q P^{2/3}} \quad [2]$$

$$n = \left(\frac{P_i (n_i)^{1.5}}{\sum_{i=1}^m P_i} \right)^{2/3} \quad [3]$$

Siendo: n= coeficiente de resistencia al flujo n de Manning

A= área hidráulica
S₀=pendiente del canal
Q= caudal
p=perímetro hidráulico
p_i=perímetro del material relacionado con la rugosidad n_i

A través de la selección de la pendiente, el caudal y la zona de régimen uniforme se midieron tirantes y caudales. Aplicando las ecuaciones [2] y [3] se evaluó el coeficiente n de Manning, relacionándolos con tirantes, caudal y números de Reynolds y Froude, así como, con los parámetros adimensionales Y/b, $\left(\frac{Q}{\sqrt{gb} (b^2)}\right)$. Además, relacionando las funciones adimensionales del coeficiente n de Manning $n_{experimental} / n_{prototipo}$ con Y/b o $\left(\frac{Q}{\sqrt{gb} (b^2)}\right)$, se calcularon los coeficientes por resistencia Kn para estimar el coeficiente n de diseño:

$$n_{diseño} = K_n (n_{supuesto\ de\ manual}) \quad [4]$$

Resultados y discusión

La relación entre el tirante Y, el caudal Q y los números de Froude F y Reynolds R con el coeficiente n de Manning se describen en las figuras 1 y 2. Las funciones evidencian que este coeficiente varía por las características y los estados del flujo y modifican el estado actual del conocimiento.

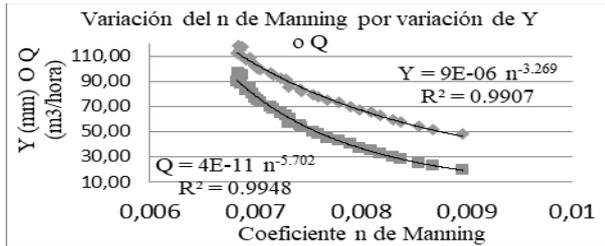


Figura 1. - Variación del n de Manning con Y y Q.

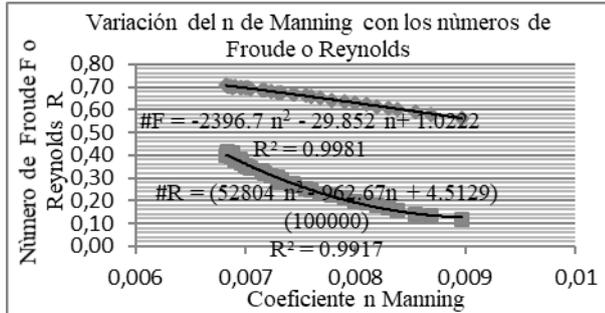
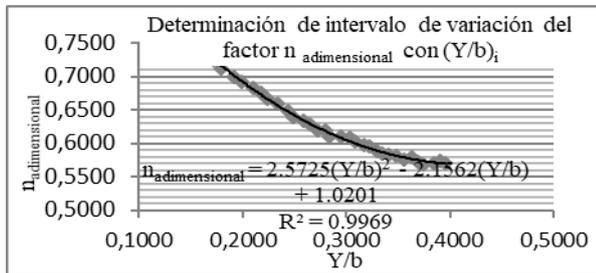
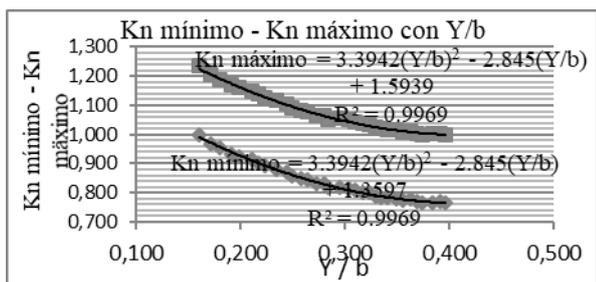
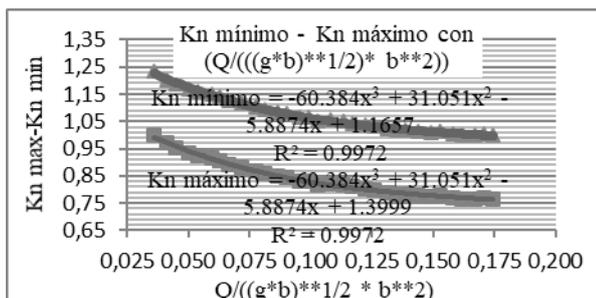


Figura 2.- Variación de n por Froude y Reynold.

Como señala la figura 3, relacionando las funciones adimensionales $\frac{Y}{b}$ o $\frac{Q}{\sqrt{gb} b^2}$ con $n_{\text{adimensional}} = (n_{\text{experimental}}/n_{\text{normal-prototipo}})$, se calcularon intervalos para estimar los coeficientes K_n máximo y mínimo, como presentan las figuras 4 y 5.

Figura 3.- Intervalos entre $n_{\text{adimensional}}$ con $(Y/b)_i$.Figura 4.- Coeficiente $K_{n_{\text{máx}}}$ - $K_{n_{\text{mín}}}$ por variación de Y/b .Figura 5.- Variación de $K_{n_{\text{máx}}}$ - $K_{n_{\text{mín}}}$ por el flujo.

A través de la correlación los mismos intervalos de los adimensionales de la fig. 4 se establecieron modelos:

$$K_{n_{\text{máximo/mínimo}}} = -60.384 \left(\frac{Q}{\sqrt{gb} b^2} \right)^3 + 31.051 \left(\frac{Q}{\sqrt{gb} b^2} \right)^2 - 5.8874 \left(\frac{Q}{\sqrt{gb} b^2} \right) + 1.3999 \quad [5]$$

$$K_{n_{\text{máximo/mínimo}}} = 3.3942 \left(\frac{Y}{b} \right)^2 - 2.845 \left(\frac{Y}{b} \right) + 1.5939 \quad [6]$$

Dónde: Q, b y Y se definieron anteriormente.

Los modelos se relacionaron con el coeficiente $n_{\text{calculado}}$ de manual estimando el coeficiente n de Manning modificado $n_{\text{modificado}}$ con la ecuación [4].

Los modelos (5), (6) y (4) modifican el valor del coeficiente n de Manning por la hidrodinámica del flujo y son relacionable con cualquier material, considerando el coeficiente n obtenido por el material. La modificación del coeficiente n de Manning impacta alrededor del 10% en la capacidad de transporte del canal, optimiza costos y dimensionamiento, aportando a un nuevo conocimiento hidráulico.

Conclusiones

El coeficiente n de Manning para el régimen subcrítico no solo depende del material sino, de la hidrodinámica y estados del flujo como $\frac{Y}{b}$, $\frac{Q}{\sqrt{gb} b^2}$, F, R. La evaluación de la variación aporta al nuevo conocimiento.

El coeficiente de resistencia K_n cuantifica como varía el coeficiente n de Manning con el flujo, determinando coeficientes $n_{\text{modificado}}$ o $n_{\text{diseño}}$ de acuerdo a la hidrodinámica e impacta técnica y económicamente en el diseño.

El coeficiente de Manning $n_{\text{modificado}}$ impacta alrededor del 10% en el caudal de diseño, Se validó con el método científico y confiabilidad $r > 95.5\%$, teniendo flexibilidad de input para diseñar, el cálculo inicial del tirante Y o la relación $\frac{Q}{\sqrt{gb} b^2}$.

Referencias

- Chanson, H.** (2002) Hidráulica del flujo en canales abiertos. McGraw-Hill. Bogotá, Colombia.
- Chow, V. T.** (1994) Hidráulica de los canales abiertos. McGraw-Hill, Interamericana S.A. Santa Fe, Bogotá Colombia.
- French, R.** (1993) Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill/Interamericana de México.
- León, A. Estopiñan, A.** (1989) Hidráulica de Canales. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- Naudascher, E.** (2002) Hidráulica de canales: Diseño de estructuras. Limusa. México.
- Osío, M. Valencia, F. Et al.** (1992) Cálculo del coeficiente de rugosidad de "n" de Manning en los grandes ríos de Venezuela. Ingeniería UC. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- Roman, J.** (2014) Trabajo Del Coeficiente de Rugosidad de Manning FINAL Cargado a <https://es.scribd.com/document/234427534/Trabajo-Del-Coeficiente-de-Rugosidad-de-Manning-FINAL>. Julio 19, 2014
- Simon, A.** (1986) Hidráulica Práctica. Editorial LIMUSA, S. A. México 1, D.F.
- Sotelo, G.** (2002) Hidráulica de canales, Volumen 2. UNAM Facultad de Ingeniería. México.