

New estimate to the mathematical model of maximum permissible speed in the design of open channels

Rodríguez Santos Josué, MSc¹, Varas Flores Marco, MSc², Cordova Rizo Francisco, MSc³
{josue.rodriguez¹, marco.varas², francisco.cordova³}@ug.edu.ec
Universidad de Guayaquil - Ecuador.

Abstract– Abstract- The purpose of this research is to present a new option in the design of open channels without coating, considering the maximum permissible flow velocity method that can withstand the runway without being eroded, research contemplates Manning's model in the continuity equation.

The traditional maximum permissible speed method presents a possible solution, which can include parameters that categorizing to the channel as width; the channel design should be readjusted under the latter consideration. This procedure can be improved considering the depth of draught in the correction of flow velocity, proposed by Russia, for channels dug into colloidal and non-colloidal soils.

The research proposes a range of solutions for the aforementioned method, obtaining designs that meet the conditions of hydraulic operation; in addition, it generates more efficient designs (it has savings in the upper width and volume of excavation).

Keywords— Open channel design, erosion and sedimentation, maximum permissible velocity.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.131>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Nueva estimación al modelo matemático de velocidad máxima permisible en el diseño de canales abiertos

Rodríguez Santos Josué, MSc¹, Varas Flores Marco, MSc², Cordova Rizo Francisco, MSc³
{josue.rodriguez¹, marco.varas², francisco.cordova³}@ug.edu.ec
Universidad de Guayaquil - Ecuador.

Resumen- El propósito de esta investigación es presentar una opción nueva en el diseño de canales abiertos sin revestimiento, considerando el método de la Velocidad Máxima Permissible de flujo que puede soportar el cauce sin ser erosionado, la investigación contempla el modelo de Manning en la ecuación de continuidad.

El método de la Velocidad Máxima Permissible de manera tradicional presenta una solución posible, la que puede incluir parámetros que categoricen al canal como ancho; bajo esta última consideración se debería reajustar el diseño del canal. Este procedimiento puede ser mejorado considerando la profundidad del calado en la corrección de la velocidad del flujo, propuesta por Rusia, para canales excavados en suelos coloidales y no coloidales.

La investigación propone un rango de soluciones para el método antes citado, obteniéndose diseños que cumplen con las condiciones de funcionamiento hidráulico; además, genera diseños más eficientes (presenta ahorro en el ancho superior y volumen de excavación).

Nueva propuesta de diseño de canales abiertos sin revestimiento, propuesto para verificarse a través de modelos físicos reducidos (modelación hidráulica).

Palabras claves: Diseño de canales abiertos, erosión y sedimentación, velocidad máxima permisible, canales no revestidos.

Abstract- The purpose of this research is to present a new option in the design of open channels without coating, considering the maximum permissible flow velocity method that can withstand the runway without being eroded, research contemplates Manning's model in the continuity equation.

The traditional maximum permissible speed method presents a possible solution, which can include parameters that categorizing to the channel as width; the channel design should be readjusted under the latter consideration. This procedure can be improved considering the depth of draught in the correction of flow velocity, proposed by Russia, for channels dug into colloidal and non-colloidal soils.

The research proposes a range of solutions for the aforementioned method, obtaining designs that meet the conditions of hydraulic operation; in addition, it generates more efficient designs (it has savings in the upper width and volume of excavation).

New proposal for design of open channels without coating, proposed to occur through reduced physical models (hydraulic modeling).

Keywords: Open channel design, erosion and sedimentation, maximum permissible velocity, unclad channels.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.131>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

I. INTRODUCCIÓN

Un canal abierto, es una conducción en la cual el agua está en contacto con la presión atmosférica y fluye por acción de la gravedad [1] [2]. Son estructuras hidrotécnicas aplicadas a sistemas de navegación, centrales hidroeléctricas, sistemas de abastecimiento, saneamiento, riego, drenaje, obras de ingeniería que pueden ser revestidas o en terreno natural.

Los canales abiertos, varían desde canales poco profundos (calados inferiores a 60 centímetros) [3], [4], hasta canales anchos (soleras mayores a 10 calados) [5].

Debido a procesos de erosión o sedimentación un canal sufre cambios de forma; variaciones que pueden afectar considerablemente el funcionamiento hidráulico, alteraciones de geometría que podrían acortar la vida útil de la obra y la necesidad de reencauzar y/o elevar las paredes.

El diseño de canales se fundamenta en la selección y dimensionamiento de la sección transversal (área mojada), de manera que cumpla con los requisitos de funcionamiento hidráulico; además, de evitar los procesos de erosión y sedimentación. Por lo general, considera suposiciones empíricas, racionalmente consistentes con observaciones y experiencias reales, de tal forma que las condiciones de flujo se vuelvan manejables con modelos matemáticos de la hidráulica teórica, así como también en modelos hidráulicos experimentales, donde las propiedades hidráulicas de estas estructuras puedan ser controladas hasta niveles deseados, que cumplan con requisitos pre-determinados.

Aspectos generales a considerar en el diseño:

- Estudios geológicos, granulométricos, topográficos e infiltración.
- De ser posible, deben implantarse en zonas de baja pendiente longitudinal y se diseña por tramos, considerando flujo uniforme.
- La velocidad del flujo debe ser suficientemente alta, para evitar la sedimentación de partículas, y al mismo tiempo, debe ser suficientemente baja, para evitar erosionar el contorno del canal.

Parametros que intervienen en el diseño

Sección transversal. - Se define dependiendo del tipo de suelo, de consideraciones ambientales y económicas. Así, en canales revestidos pueden construirse secciones transversales de cualquier forma, mientras que canales implantados en suelos sin revestimiento, usualmente su forma es trapezoidal [6].

Borde libre.- Es la distancia vertical desde la parte superior de la pared del canal hasta la superficie del agua, distancia que debe garantizar que las fluctuaciones del agua en la superficie no rebose por los costados del canal, entre otros modelos de cálculo, la figura 1 considera bordes libres “r”, para canales con y sin estructuras reguladoras de flujo.

Ecuación de Manning.- En 1889, Robert Manning genera, a partir de datos experimentales de Bazin, verificados en 170 observaciones, el modelo matemático para determinar la velocidad media del flujo en canales abiertos. Modelo que aplica para canales con pendientes longitudinales mayores o iguales a 0.0001 y radios hidráulicos entre 0.33 y 9.00 metros [7].

Coefficiente de rugosidad.- Constante de rugosidad de Manning “n”, parámetro adimensional que define el grado de resistencia que presenta el contorno del canal al movimiento del fluido, afectando la capacidad de transporte (caudal); coeficiente que entre otros parámetros es función del tipo de material, calidad de acabado del contorno del canal, diámetro representativo de las partículas que conforman el cauce [5], [8], [9].

El coeficiente de rugosidad “n”, se puede determinar a partir de:

- Tablas o ábacos [10], [11], (tabla I).
- Con base a la similitud del cauce que se analiza, respecto a casos conocidos [1], [12].
- También, se puede determinar mediante modelos matemáticos. Modelos que pueden considerar procesos analíticos, análisis granulométricos, distribución teórica de velocidades en la sección transversal [12], (tabla II).

Tabla I. Coeficientes de rugosidades: S. Woodward and C. Posey "Hydraulics of steady flow in open channels"; ¹Bolinaga, J. J. "Drenaje Urbano" INOS 1979.

Fuente: Propia del autor.

TIPO DE CONTORNO	COEF. DE MANINNG "n"
Canales sin revestimiento	
Ordinaria, superficie uniforme y lisa	0.020 - 0.025
Ordinaria, superficie irregular	0.025 - 0.035
Con alto contenido de grava, limpio ¹	0.022 - 0.025
Sección irregular y muchas malezas ¹	0.030 - 0.035
Sin vegetación y fondo de cantos rodados ¹	0.030 - 0.035
Con ligera vegetación	0.035 - 0.045
Con vegetación espesa	0.040 - 0.050
En roca, superficie uniforme y lisa	0.030 - 0.035
En roca, superficie con aristas e irregular	0.035 - 0.045
Arenas finas, no coloidales ¹	0.020
Arcilla dura, muy coloidal ¹	0.025

Tabla II. Modelos matemáticos para el cálculo de rugosidades. Fuente: Propia del autor

AUTOR	ECUACION
Garde, Raju, Subranya (1982)	$n = 0.047(D_{50}^{1/6})$
Limerinos (1970)	$n = 0.113R^{1/6}/(1.16 + 2 \lg(R/D_{84}))$
Meyer - Peter y Muller 1948	$n = 0.038(D_{90})^{1/6}$
Universidad Carabobo Venezuela (2000)	$n = 0.0336(D)^{1/6}$
Manning	$n = \frac{y^{1/6} * (x-1)}{6.78(x+0.95)} \quad x = \frac{V_{0.2}}{V_{0.8}}$ $V_{0.2} = 5.75 * V * \log\left(\frac{2.4 * y}{D}\right)$ $V_{0.8} = 5.75 * V * \log\left(\frac{6 * y}{D}\right)$
n.- Coeficiente de rugosidad. D.- Diámetro medio de la partícula (m). R.- Radio hidráulico. y.- calado (m). V _m - Velocidad media del flujo. V _{0.2} - Velocidad del flujo a 0.20*y, desde el espejo de agua. V _{0.8} - Velocidad del flujo a 0.80*y, desde el espejo de agua.	

Taludes laterales.- Condicionados principalmente por el tipo de suelo de excavación, si el canal es poco profundo o no [2], [3], además el ángulo que forma el talud lateral del canal con la horizontal debe ser menor que el ángulo de fricción interna del material para evitar deslizamientos [5], [13] (tabla III).

Tabla III. Taludes para canales en suelos no revestidos: Ven T. Chow - Hidráulica de Canales¹; Aguirre Pe, Julián Hidráulica de canales, CIDIAT, Mérida, Venezuela, 1974². Fuente: Propia del autor.

TIPO DE CONTORNO	TALUDES (X:Y)		
	Bajo agua ¹	TIPO DE CANAL ²	
		Poco Profundo	Profundo
Arenas finas - sueltas	(3.0 - 3.5):1	2:1	3:1
Limo arenoso	(2.0 - 2.5):1	1.5:1	2:1
Limo arcilloso	(1.5 - 2.0):1	1:1	1.5:1
Arena gruesa y gravas	(1.0 - 1.5):1		
Arcilla común y loes	(1.0 - 1.5):1		
Arcillas compactas	(1.0 - 1.25):1	0.5:1	1:1
Suelos semi rocosos	(0.25 - 1.0):1		
Suelos rocosos	(0.1 - 0.5):1	vertical	0.5:1.00
Arena gruesa a media	2:1		
Toba volcánica estable		1:1	1:1

Velocidad permisible del flujo.- Las velocidades de flujo admisibles están limitadas por el tipo de revestimiento del canal; en canales no revestidos, la velocidad del flujo debe prevenir procesos de erosión en el contorno y la sedimentación de partículas; además, debe evitar el crecimiento de vegetación. Velocidad que al considerarse en el diseño del canal, garantiza contornos de cauce estables [5]. En la tabla IV se presentan velocidades máximas admisibles de flujo para canales que presentan cobertura herbácea [14].

En la figura 2 se presentan velocidades de flujo admisibles, para suelos no cohesivos, datos propuestos por los EE.UU. y Rusia [5].

Tabla IV. Velocidades máximas admisibles en canales
Fuente: Norman Hudson [14].

VELOCIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES "m/s"			
CONTORNO	CANAL: COBERTURA HERBÁCEA		
	DESNUDO	NORMAL	ALTA
Arena limosa muy fina	0.30	0.75	1.50
Arena suelta fina	0.50	0.90	1.50
Suelo arenoso	0.75	1.25	1.70
Marga firme	0.75	1.50	2.00
Arcilla/suelo pedregoso duro	1.00	1.70	2.30
Guijarros grandes	1.50	1.80	2.50
Pizarra	1.50	1.80	PFCH
Capa dura, roca blanda	1.80	2.10	
Conglomerados duros	2.50	PPFCH	
PPFCH.- Poco probable que forme cobertura herbácea.			

La tabla V considera velocidades máximas permisibles por Fortier y Scobey – 1926 [7], [5].

Tabla V. Velocidades máximas permisibles según Fortier y Cobey, en canales rectos de pequeña pendiente después de envejecer.
Fuente: R. H. French [7].

VELOCIDADES MÁXIMAS PERMISIBLES "m/s"		
MATERIAL	CONDICIÓN DEL AGUA	
	LIMPIA	CON LIMOS COLOIDALES
Arenas finas, no coloidales	0.457	0.762
Franco arenoso, no coloidal	0.533	0.762
Franco limoso, no coloidal	0.610	0.914
Limos aluviales, no coloidales	0.610	1.07
Tierra negra firme común	0.762	1.07
Ceniza volcánica	0.762	1.07
Arcilla dura, muy coloidal	1.140	1.52
Limos aluviales, coloidales	1.140	1.83
Pizarra y tepetate	1.830	1.52
Grava fina	0.762	1.52
Tierra negra a piedritas, no coloidal	1.14	1.52
Limos graduados a piedritas, coloidal	1.220	1.68
Grava gruesa no coloidal	1.220	1.83
Piedritas y ripio	1.520	1.68

La figura 2, presenta velocidades permisibles en suelos no cohesivos según datos de los EE.UU y Rusia [5].

Factor de corrección de la velocidad.- La velocidad media del flujo aumenta con el incremento en la profundidad del calado [5]. Rusia propone en la figura 7-5 (Hidráulica de Canales Abiertos – Ven Te Chow), factores de corrección de velocidades en canales que atraviesan suelos cohesivos y no cohesivos, factor de corrección de velocidad expresado así:

$$f_c = 0,726 + 0,0989 \cdot y_m - 0,0047 \cdot y_m^2 \quad (1)$$
(Ecuación determinada a partir de la figura antes citada), donde "ym", es el calado medio.

Casos de diseño.- El diseño de canales considera dos puntos de vista:

Canales revestidos.- Diseñados usualmente para secciones hidráulicas óptimas, las cuales permiten transportar el agua a velocidades altas, con mínimas secciones transversales, que disminuyen la pérdida de agua (filtraciones) y aseguran la estabilidad de la estructura.

En zonas donde la topografía requiera considerar varias opciones de diseño, los canales revestidos no tienen limitación de pendiente.

Canales excavados en roca o en materiales cohesivos, resistentes a la erosión, facilitan su diseño al considerarlos como si fuesen revestidos [15].

Canales no revestidos. – El diseño de este tipo de canales, depende de los parámetros hidráulicos, principalmente de las propiedades de los materiales que forman el contorno del canal. Este proceso puede resultar complejo, debido a que algunos parámetros involucrados, no son cuantificables de forma precisa, figura 3.

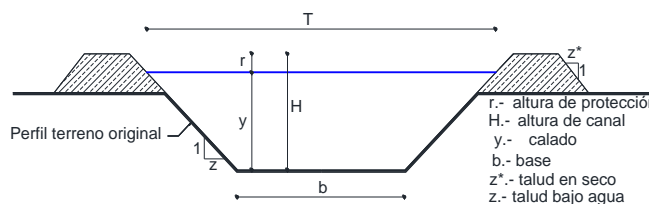


Fig. 3. Parámetros geométricos en canales.
Fuente: Propia

II. METODOLOGÍA

Diseñar un canal excavado en tierra ordinaria, terreno natural, sin revestimiento que transporte 8 m³/s, pendiente longitudinal 0.50 metros por kilómetro, el agua contiene limos en suspensión, se estima que el canal no tendrá cobertura herbácea. Determinar los parámetros geométricos del canal.

1. Diseño del canal con el método tradicional

- De acuerdo al tipo de material que conforma el canal; a partir de las tablas I o II, se determina el valor del coeficiente de rugosidad "n", coeficiente que varía entre 0.020 y 0.025 (tabla II). Se asume n = 0.025, esto por no disponer de análisis granulométricos.
- El talud lateral del canal se determina a partir de la tabla III, donde "z" varía de 1.50 a 2.00. Se asume z = 1.5
- La velocidad máxima permisible se determina a partir de la figura 1, o de las tablas IV o V. Para nuestro caso, se tiene: $V_{\text{máx}} = 0.75 \text{ m/s}$, tabla IV.

- d. Calcular el radio hidráulico a partir de la ecuación de Manning: $R = \sqrt{\left(\frac{n \cdot V_{max}}{S^{1/2}}\right)^3}$ (2).
- e. Calcular el área mojada necesaria considerando la ecuación de continuidad: $A = \frac{Q}{V_{max}}$ (3)
- f. Calcular el perímetro mojado a partir de la ecuación de radio hidráulico: $P = \frac{A}{R}$ (4)
- g. Para determinar los parámetros geométricos faltantes del canal, como son la base “b” y su calado “y”, se considera las ecuaciones de área y perímetro mojados para canales trapezoidales, expresadas así:

$$A = (b + zy)y \quad (5) \quad P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (6)$$

Despejando la base “b” de la ecuación (6) y reemplazando en la ecuación (5), se tiene la expresión:

$$0 = zy^2 + (P - 2y\sqrt{1 + z^2}) \cdot y - A \quad (7)$$

Reemplazando los valores de talud, perímetro y área, en la ecuación (7), se obtiene el calado “y”.

Del calado “y” de la ecuación (6), se obtiene la base “b”.

2. Diseño del canal con el método propuesto

La sección transversal de un canal se incrementa con el aumento del radio hidráulico o disminuye con el perímetro mojado, con estas consideraciones, la mejor sección hidráulica, será aquella que presenta el menor perímetro mojado [16].

- a. Mantener los pasos “a”, “b” y “c” del método de diseño tradicional.
- b. En la ecuación de continuidad en función de Manning:
- $$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}}{n} \quad (8)$$
- se asumirá la base “b” y se determinará el calado “y”.
- c. Determinar el área con la ecuación (5).
- d. Calcular la velocidad media del flujo no corregida:
- $$V = \frac{Q}{A} \quad (9)$$
- e. Calcular el ancho superior del canal “T” con la ecuación:
- $$T = b + 2 \cdot z \cdot y \quad (10)$$
- f. Determinar el factor de corrección de velocidad con la ecuación $fc = 0,726 + 0,0989 \cdot ym - 0,0047 \cdot ym^2$ (1)
- g. Determinar la velocidad corregida: $Vc = fc \cdot V$ (11), la cual debe ser menor o igual a la velocidad máxima permisible.

Ventajas con el modelo propuesto

- a. Determinar el porcentaje de reducción en la excavación respecto al diseño tradicional con la ecuación:
- b. $Exc (\%) = \frac{100 \cdot A}{At}$ (12), donde At.- área, según diseño tradicional.

- c. Determinar el porcentaje de reducción en la boca del canal “T”, respecto al diseño tradicional con la ecuación: $T (\%) = \frac{100 \cdot T}{Tt}$ (13), donde Tt.- ancho de boca del canal, según diseño tradicional.

III RESULTADOS

Método tradicional

Aplicado el procedimiento de cálculo antes detallado, en la tabla VI, se presenta los parámetros de diseño del canal.

Tabla VI. Determinación de los parámetros geométricos del canal.
Fuente: Propia del autor.

n	z	R	A m ²	P m	y m	b m	T m
0.025	1.50	0.768	10.67	13.89	0.887	10.69	13.35

Método propuesto

Los resultados se presentan en la tabla VII, opciones de diseño que cumplen con la velocidad de flujo máxima permisible.

Tabla VII. Determinación de los parámetros geométricos del canal.
Fuente: Propia del autor.

n	z	b m	y m	A m ²	V m/s
0.025	1.50	10.69	0.89	10.67	0.75
		9.00	0.98	10.23	0.78
		8.00	1.04	9.98	0.80
		7.00	1.12	9.73	0.82
		5.00	1.33	9.27	0.86
		3.00	1.64	8.93	0.90

ym m	fc	Vc m/s	Exc %	T m	%T m
0.80	0.802	0.60	100	13.35	100
0.86	0.807	0.63	96	11.93	89
0.90	0.812	0.65	94	11.13	83
0.94	0.815	0.67	91	10.36	78
1.03	0.823	0.71	87	8.98	67
1.13	0.832	0.75	84	7.91	59

Además, a este dimensionamiento geométrico del canal, se debe considerar una altura o borde libre de protección “r”.

IV DISCUSIÓN

- Considerando el diseño tradicional, resultados presentados en la tabla VI, se puede resaltar:
- Presenta una solución única en la determinación de la geometría del canal.

- No considera la variación de la velocidad del flujo, la cual es función de la altura media del agua [5].
- En este caso la resolución presenta una relación base/calado, b/y , de 12.05, relación que lo clasifica como un canal ancho [17], [18].
- Para canales anchos se puede asumir que el radio hidráulico es semejante al calado [19], por consiguiente, se debe rediseñar el canal para esta consideración.
- El canal diseñado, puede resultar costoso, respecto al diseño propuesto en esta investigación (ver figura 4).

- Considerando la nueva estimación al modelo matemático de velocidad máxima permisible en el diseño de canales abiertos, estas cumplen los requerimientos hidráulicos de funcionamiento (velocidad máxima permisible), los resultados se adjuntan en la tabla VII, resaltando:

- Considera, para canales profundos excavados en suelos cohesivos y no cohesivos, con calados superiores a 60 centímetros, las velocidades de flujo permisibles deben ser modificadas por el factor de corrección propuesto por Ven Te Chow – Hidráulica de canales abiertos – figura 7-5, expresado como: $f_c = 0,726 + 0,0989*y_m - 0,0047*y_m^2$ (1).
- Presenta un rango de soluciones en la determinación de la base y calado (geometría del canal).
- La variación de la base y el calado se podrá considerar hasta cuando la velocidad corregida “ V_c ” sea igual o menor a la velocidad máxima permitida.
- La relación base/calado, “ b/y ” estudiadas, reduce el ancho superior de canal “ T ”, hasta un 40%, respecto al valor determinado con el método tradicional, fFigura 4.
- La relación base/calado “ b/y ” estudiadas, además reduce el volumen de excavación del canal, hasta un 15%, respecto al diseño con el método tradicional, fFigura 4.
- Los canales profundos permiten velocidades de flujo más altas que un canal poco profundo, debido a que las velocidades medias de flujo en la parte inferior son mayores [5].

Consideraciones que podrían generar errores:

- La determinación del coeficiente de rugosidad y la velocidad permisible del flujo, dependen hasta cierto punto del criterio del diseñador.
- Se asume que el canal mantiene durante su vida útil el coeficiente de rugosidad, lo cual no es real.
- Se asume que el canal tiene en todo su desarrollo el contorno uniforme, es decir no sufre deformaciones, lo cual no es cierto, entre otras.

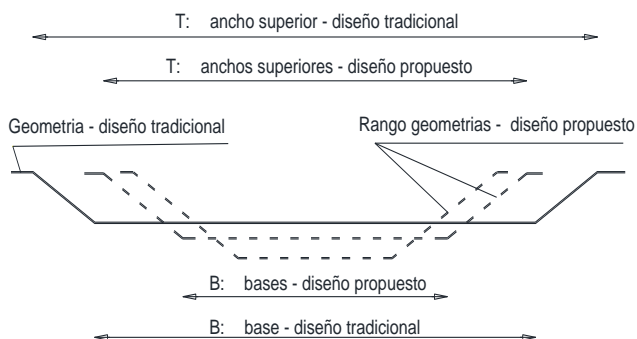


Fig. 4. Geometrías del canal, método tradicional vs método propuesto. Fuente: Propia del autor.

Recomendación

Nueva propuesta de diseño de canales abiertos sin revestimiento, considera para verificarse a través de modelos físicos reducidos (modelación hidráulica).

Agradecimiento

A las señoritas estudiantes de la Facultad de Matemáticas y Físicas de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Guayaquil – Ecuador: Melissa Briones, Emma Burgos y Erika González, por su aporte en el presente trabajo con las figuras 1 y 2.

REFERENCIAS

- [1] B. C. Yen, Channel Flow Resistance: Centennial of Manning's formula, Colorado - USA: Water Resources Publications ISBN 0-918334-72-1, 2004.
- [2] J. Rodríguez, «Análisis experimental de coeficientes de descarga en vertederos de pared delgada,» *Yachana*, pp. 30-37, 2015.
- [3] G. Ruales Zambrano, *Hidrología*, Pasto: Univ. Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, 2013.
- [4] S.-X. Dussaubat-Vargas, «Aforo en un cauce natural,» Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2005.
- [5] V. T. Chow, Hidráulica de canales abiertos, México: Limusa, 2002.
- [6] P. Rodríguez Ruiz, Hidráulica de canales, México: Civilgeeks.com, 2008.
- [7] C. J. M. Ruberto Alejandro R., «Estudio exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad en un río de llanura,» Dpto de hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional NordEste - Argentina, Chaco, 2003.
- [8] F. H. Administration, «Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood

- plains,» U.S. Department of Transportation , Virginia - EE.UU., 1984.
- [9] R. H. French, Open-Channel Hydraulics, New York: McGraw-Hill Book Company, 1987.
- [10] B. J. J., Drenaje urbano, Caracas - Venezuela: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1979.
- [11] S. - C. Woodward - Posey, Hydraulics of steady flow in open achannels, New York: Wiley, 1959.
- [12] M. G. O. Yepez, «Calculo del coeficiente de rugosidad "n" de Manning en los grandes rios de Venezuela,» *Revista Ingenieria UC: ISSN 1316-6832*, vol. 7, n° 2, pp. 1 - 13, 2000.
- [13] J. Aguirre Pe, Hidraulica de canales, Merida: CIDIAT - Venezuela, 1974.
- [14] H. Norman, Conservación del suelo, Barcelona - españa: Reverté S.A., 2010.
- [15] N. Eduard, Hidráulica de canales, México: Limusa, 2002.
- [16] M. E. Zabala, «Diseño de canales no erosionables para flujo uniforme,» [En línea]. Available: http://fluidosfluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/no_erosionables/no_erosionables.htm. [Último acceso: 30 octubre 2018].
- [17] J. Huamayalli, «Flujo a superficie libre en canales,» [En línea]. Available: http://www.academia.edu/22265779/Teoría_de_canales. [Último acceso: 10 enero 2019].
- [18] A. R. Felices, Hidráulica de tuberías y canales, Lima: Universidad Nacional de Ingenieria - Peru, 2007.
- [19] E. d. G. y. M. A. -. U. N. d. C. -. Medellin, «bdigital.unal.edu.co,» 2012. [En línea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/12697/67/3353962.2005.Parte%2012.pdf>. [Último acceso: 10 enero 2019].

ANEXOS

ALTURAS DE PROTECCION EN CANALES "r"

A.- Canales sin estructuras reguladoras de caudal

B.- Canales con estructuras reguladoras de caudal

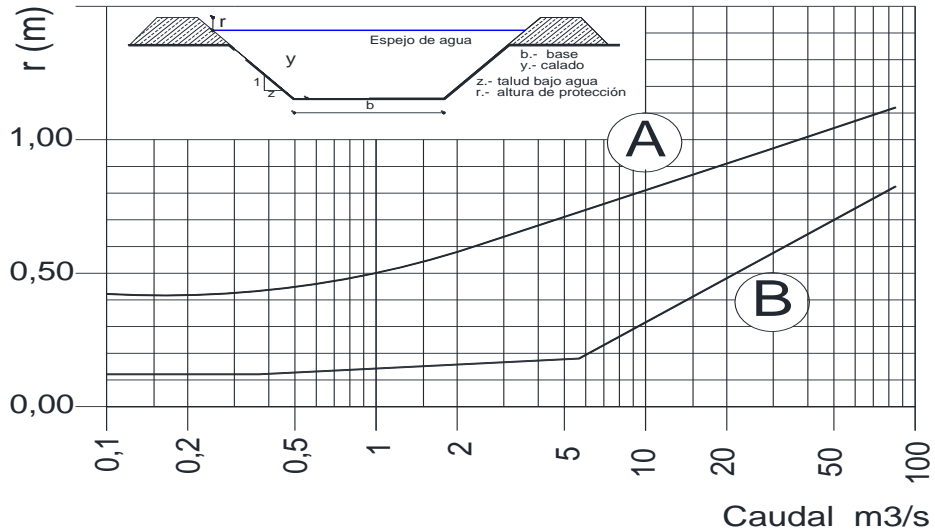


Fig. 1. Altura del borde libre - Bureau of Reclamation [5].

Fuente: Propia del autor.

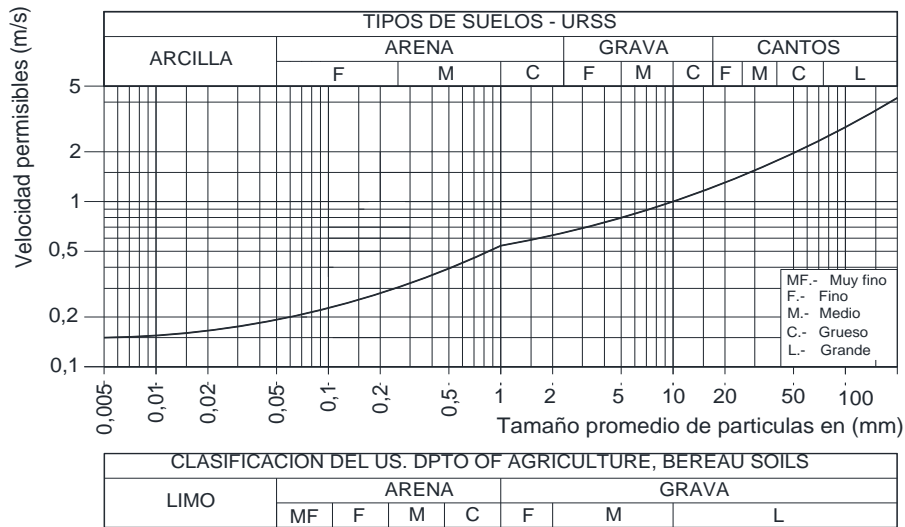


Fig. 2. Velocidades permisibles en suelos no cohesivos, datos de los EE.UU – RUSIA [5].

Fuente: Propia del autor.