

# **Fundamentos de Conservación de suelos y aguas V**

**Diseño de ingeniería en el cálculo de  
variables hidráulicas en canales parabólicos  
( $y=a*x^2$ ,  $0<a<1$ ) con vegetación ajustados en  
su tamaño, tirante y coeficiente de rugosidad  
correctos**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela Ingeniería Agrícola**

**Autores:**

**Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal**

Esta obra está bajo licencia [\*\*CC BY-NC-ND 4.0\*\*](#)

**Diciembre del 2025**

[\*\*CC BY-NC-ND 4.0\*\*](#)

## **Dedicatoria y agradecimiento**

**A Dios sobre todas las cosas que es el dador de  
vida y de toda buena dádiva**

**A nuestras familias que siempre nos han apoyado en todo  
momento**

**A los estudiantes Kevin Eduardo Fallas Quesada. Roger Marcelo  
Quesada Blanco y Dany Jojansel Ureña Monge que tuvieron una  
actividad muy fuerte y meritoria en la confección de esta  
publicación o libro que está en servicio a nivel tanto nacional  
como internacional como un insumo que facilita el diseño de  
ingeniería en canales conductores de agua en conservación de  
suelos en pendientes.**

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Índice General

Índice de cuadros.....	4
Índice de figuras.....	5
Variables que se presentan en un canal conductor de agua con forma parabólica y variables a tomar en cuenta para corrección de los diseños en canales o vías de agua con vegetación .....	7
Diseño de canal parabólico con $a = 0,0625 = 1\sqrt{16}$ .....	14
Ejemplo de cálculo de la rugosidad para un canal empastado con las condiciones antes vistas .....	33
Diseño de canal parabólico con $a = 0,125 = 1\sqrt{8}$ .....	44
Ejemplo de cálculo de la rugosidad para un canal empastado con las condiciones antes vistas .....	63
Diseño de canal parabólico con $a = 0,25 = 1\sqrt{4}$ .....	69
Ejemplo de cálculo de la rugosidad para un canal empastado con las condiciones antes vistas .....	85

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Índice de cuadros

Cuadro 1: Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas para un canal parabólico para una función definida como $f(x) = y = (1/16) * x^2$ .	32
Cuadro 2: ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas del Canal Parabólico para una función definida como $f(x) = y = 0,125 * x^2$ .....	62
Cuadro 3: Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas de los canales parabólico para una función definida como $f(x) = y = 0,25 * x^2$ ...	84

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Índice de figuras

Figura 1: Canal o acequia de ladera con forma parabólica .....	7
Figura 2: Canales a diseñar con sus correcciones .....	8
Figura 3: Clasificación según la altura de la vegetación en las vías de agua o canales conductores de agua.....	9
Figura 4: Valores de “n” según la altura de los pastos en las vías o canales conductores de agua que están empastados.....	12
Figura 5: Canal parabólico para la ecuación: $y = (1\sqrt{16}) * x^2$ .....	15
Figura 6: Coeficiente de rugosidad para la primera iteración dando un valor de $n = 0,13$ .....	35
Figura 7: Coeficiente de rugosidad para la segunda iteración dando un valor de $n = 0,18$ .....	38
Figura 8: Coeficiente de rugosidad para la tercera iteración dando un valor de $n = 0,19$ .....	41
Figura 9: Canal parabólico para la ecuación $y = 0,125 * x^2 = x^2$ .....	44
Figura 10: Coeficiente de rugosidad para la primera iteración dando un valor de $n = 0,29$ .....	64
Figura 11: Coeficiente de rugosidad para la segunda iteración dando valor no encontrado .....	67
Figura 12: Canal parabólico para la ecuación $y = 0,25 * x^2 = x^2$ .....	69
Figura 13: Coeficiente de rugosidad para la primera iteración dando valor $n=0,125$ .....	88
Figura 14: Coeficiente de rugosidad para la segunda iteración dando valor $n=0,15$ .....	91
Figura 15: Coeficiente de rugosidad para la tercera iteración dando valor $n=0,295$ .....	94

**CC BY-NC-ND 4.0**

Figura 16: Coeficiente de rugosidad para la cuarta iteración dando valor  $n=0,19\ 97$

Figura 17: Coeficiente de rugosidad para la quinta iteración dando valor  $n=0,22$

..... 100

Figura 18: Coeficiente de rugosidad para la sexta iteración dando valor  $n=0,23\ 103$

Figura 19: Coeficiente de rugosidad para la séptima iteración dando valor  **$n=0,23$**

..... 106

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Variables que se presentan en un canal conductor de agua con forma parabólica y variables a tomar en cuenta para corrección de los diseños en canales o vías de agua con vegetación

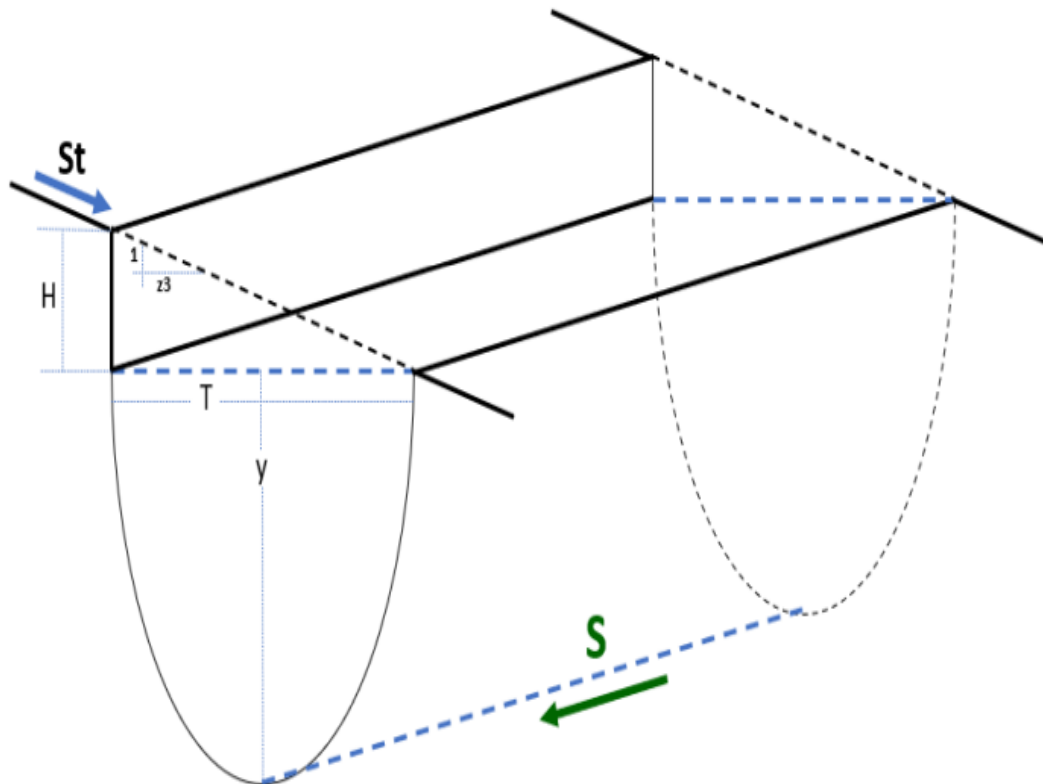


Figura 1: Canal o acequia de ladera con forma parabólica

Según se observa la imagen tenemos los siguientes parámetros:

$z_3$  = talud natural que se forma debido a la pendiente del terreno (adimensional)

$y$  = tirante de agua que corresponde a la mayor profundidad de agua en la acequia de ladera triangular (m)

$T$  = ancho del espejo de agua en el canal en la sección transversal de la acequia de ladera triangular

$St$  = pendiente del terreno (%)

$S$  = pendiente del canal (m/m)

$H$  = altura desplazada en la pendiente

Se confeccionan diseños de canal parabólico con sus correcciones con respecto al tamaño y esto es debido a que son revestidos con diferentes tipos de vegetaciones llamados canales o vías de agua empastados, pero de diferentes portes densidad y altura, lo cual produce un aumento en el coeficiente de rugosidad que disminuye la velocidad del agua en el canal y aumenta el tirante o nivel de agua máximo en el canal o vía de agua (Figuras 1 y 2).

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal

adchavarría@itcr.ac.cr

chavarrivae@gmail.com

La forma de las ecuaciones que representan los canales parabólicos es  $f(x) = y = a * x^2$  y se utilizarán los valores de  $a = 0,0625 = \frac{1}{16}$ ;  $a = 0,125 = \frac{1}{8}$  y  $a = 0,25 = \frac{1}{4}$ ; para los diferentes canales y/o diferentes ecuaciones.

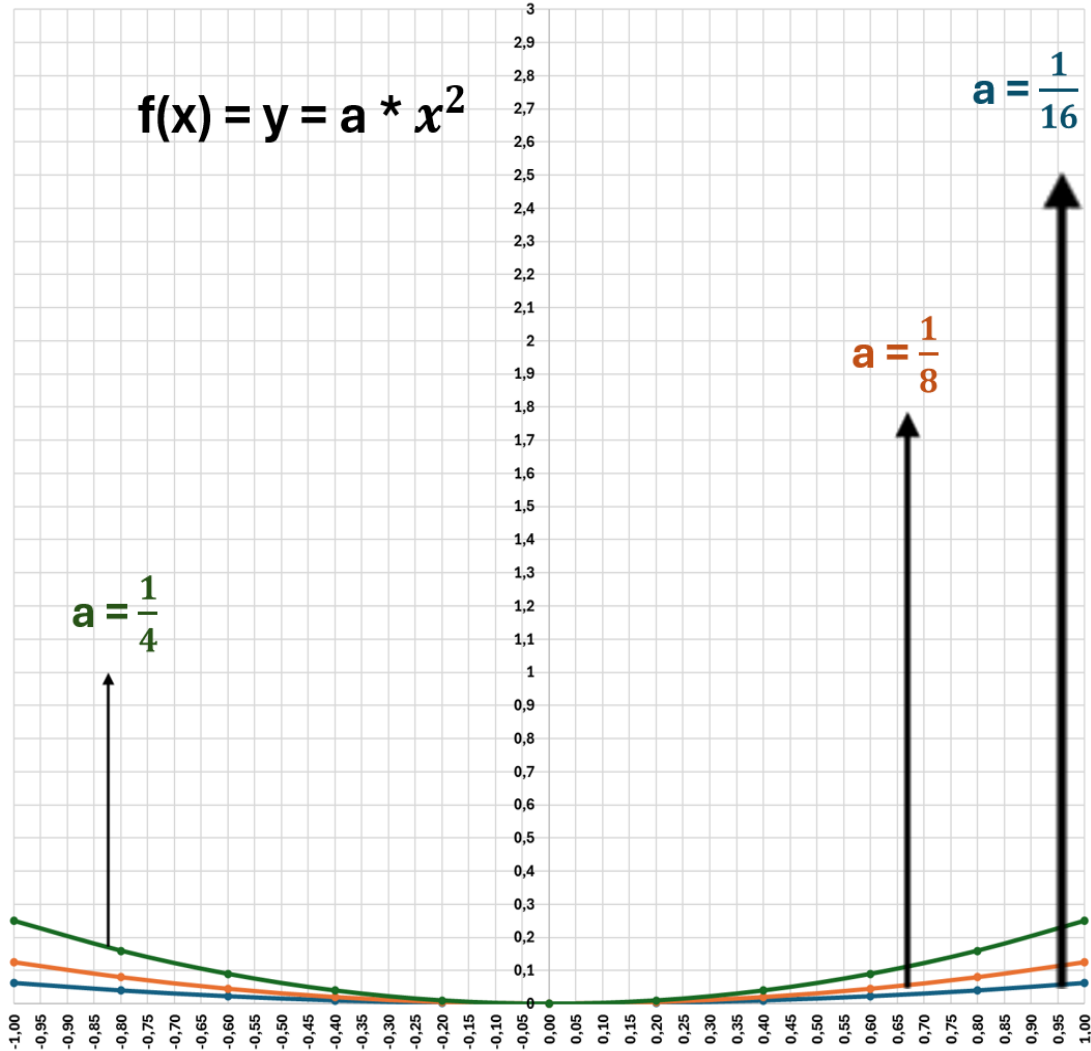


Figura 2: Canales a diseñar con sus correcciones

Para considerar los valores de coeficiente de rugosidad según porte y densidad de la vegetación en los canales se tomarán los valores de clasificación del desarrollo y porte de la vegetación que se presenta en los canales de manera natural y se muestran en la figura “3” y del coeficiente de rugosidad “n” de la figura “4”.

Se tomarán del libro “**HANDBOOK OF CHANNEL DESIGN FOR SOIL AND WATER CONSERVATION**” cuya dirección electrónica es “[https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/75242/dot\\_75242\\_DS1.pdf](https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/75242/dot_75242_DS1.pdf)” las figuras 3 y 4 y sus continuaciones para realizar los ajustes en los diseños e ingeniería de los canales parabólicos que se verán en este libro

**CC BY-NC-ND 4.0**

Note: Covers classified have been tested in experimental channels. Covers were green and generally uniform.

Retardance	Cover	Condition
A	Weeping lovegrass.....	Excellent stand, tall, (average 76.2 centimeters)
	Yellow bluestem Ischaemum.....	Do tall, (average 91.4 centimeters)
	Kudzu.....	Very dense growth, uncut
	Bermudagrass.....	Good stand, tall, (average 30.5 centimeters)
	Native grass mixture (little bluestem, blue grama, and other long and short midwest grasses).....	Good stand, unmowed
	Weeping lovegrass.....	Good stand, tall, (average 61.0 centimeters)
	Lespedeza sericea.....	Good stand, not woody, tall (average 48.3 cent.)
	Alfalfa.....	Good stand, uncut, (average 27.9 centimeters)
	Weeping lovegrass.....	Good stand, mowed, (average 33.0 centimeters)
	Kudzu.....	Dense growth, uncut
B	Blue grama.....	Good stand, uncut, (average 33.0 centimeters)
	Crabgrass.....	Fair stand, uncut (25.4 to 121.9 centimeters)
	Bermudagrass.....	Good stand, mowed (average 15.2 centimeters)
	Common lespedeza.....	Good stand, uncut (average 27.9 centimeters)
	Grass-legume mixture--summer(orchard grass, redtop, Italian ryegrass, and common lespedeza).....	Good stand, uncut (15.2 to 20.3 centimeters)
	Centipede grass.....	Very dense cover (average 15.2 centimeters)
	Kentucky bluegrass.....	Good stand, headed (15.2 to 30.5 centimeters)
	Bermudagrass.....	Good stand, cut to 6.4-centimeter height
	Common lespedeza.....	Excellent stand, uncut (average 11.4 centimeters)
	Buffalograss.....	Good stand, uncut (7.6 to 15.2 centimeters)
C	Grass-legume mixture--fall, spring(Orchard grass, redtop, Italian ryegrass, and common lespedeza).....	Good stand, uncut (10.2 to 12.7 centimeters)
	Lespedeza sericea.....	After cutting to 5.1-centimeter height. Very good stand before cutting.
	Bermudagrass.....	Good stand, cut to 3.8 centimeters
D	Bermudagrass.....	Burned stubble.
	Bermudagrass.....	

Figura 3: Clasificación según la altura de la vegetación en las vías de agua o canales conductores de agua

**CC BY-NC-ND 4.0**

-Guide to selection of vegetal retardance

Stand	Average length of vegetation	Degree of retardance
Good.....	Longer than 76.2 cm.	A
	27.9 to 61.0 cm.	B
	15.2 to 25.4 cm.	C
	5.1 to 15.2 cm.	D
	Less than 5.1 cm.	E
Fair.....	Longer than 76.2 cm.	B
	27.9 to 61.0 cm.	C
	15.2 to 25.4 cm.	D
	5.1 to 15.2 cm.	D
	Less than 5.1 cm.	E

Continuación de figura 3

**CC BY-NC-ND 4.0**

Grado		Grado de retardatividad	Condición
	Promedio de altura de la planta (cm)	A. Muy Alto	Excelentemente establecido (promedio 75 cm de alto) 7 Excelentemente establecido (90) cm. de altura promedio
		B. Alto	Crecimiento denso sin cor. Bien establecido, alto (30 cm. promedio) Bien establecida, sin segar  Bien establecido (60 cm alto promedio) Bien establecida, no leñosa, alta (50 cm. Promedio) Bien establecida, sin cortar (28 cms. promedio) Bien establecida, segada (33 cm. promedio) Bien establecida, sin cortar (33 cms. promedio)
A	75	C. Moderado	Bien establecido, segado (15 cm. promedio) Bien establecida, sin cortar (28 cms. promedio) Bien establecida sin cortar (15 a 20 cm)  Bien esta. floreciente (15 a 30)
B	25 - 60	D. Bajo	Bien esta. cortando a 7.5 alto Muy bien esta. 19 cm. de alt. Bien esta. sin cor. 7.5 a 15 cm. Bien esta. sin cor. (10 a 12 cm)
C	15 - 25	E. Muy Bajo	Muy bien esta. cortada a 5 cm.
D	5 - 15		Bien esta. cortado a 5 cm. Altura Quemado
E	5		

Continuación de figura 3

**CC BY-NC-ND 4.0**

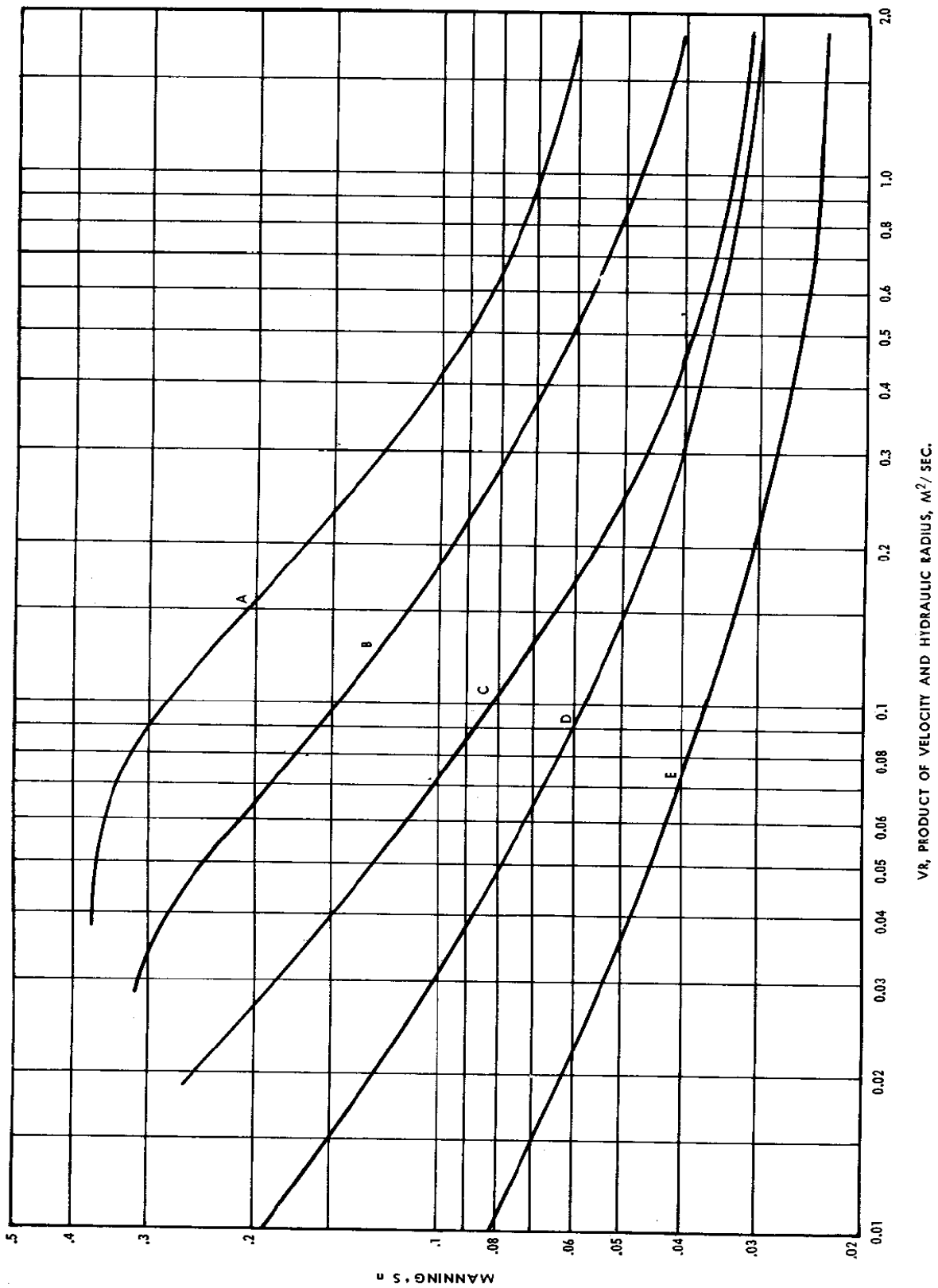


Figura 4: Valores de "n" según la altura de los pastos en las vías o canales conductores de agua que están empastados

**CC BY-NC-ND 4.0**

-Permissible canal velocities after aging; for channels with linings other than vegetation<sup>1</sup>

Original material excavated	Clear water, no detritus	Water transporting colloidal silts	Water transporting noncolloidal silts, sands, gravels, or rock fragments
	meters per sec.	meters per sec.	meters per sec.
Fine sand, noncolloidal.....	0.457	0.762	0.457
Sandy loam, noncolloidal.....	0.533	0.762	0.610
Silt loam, noncolloidal.....	0.610	0.914	0.610
Alluvial silts, noncolloidal.....	0.610	1.067	0.610
Ordinary firm loam.....	0.762	1.067	0.686
Volcanic ash.....	0.762	1.067	0.610
Fine gravel.....	0.762	1.524	1.143
Stiff clay, very colloidal.....	1.143	1.524	0.914
Graded, loam to cobbles, noncolloidal.....	1.143	1.524	1.524
Alluvial silts, colloidal.....	1.143	1.524	0.914
Graded, silt to cobbles, colloidal.....	1.219	1.676	1.524
Coarse gravel, noncolloidal.....	1.219	1.829	1.981
Cobbles and shingles.....	1.524	1.676	1.981
Shales and hardpans.....	1.829	1.829	1.524

Continuación de figura 4

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal

adchavarría@itcr.ac.cr

chavarrivae@gmail.com

<sup>1</sup>Recommended in 1926 by Special Committee on Irrigation Research, American Society of Civil Engineers.

Although not specifically stated in the original recommendations, these values apply only to channels with mild bed slopes.

-Permissible velocities for channels lined with vegetation<sup>1</sup>  
The values apply to average, uniform stands of each type of cover.

Cover	Slope range <sup>2</sup> Percent	Permissible velocity	
		Erosion resistant soils Meters per sec.	Easily eroded soil Meters per sec.
Bermudagrass	0-5 5-10 over 10	2.438 2.134 1.829	1.829 1.524 1.219
Buffalograss	0-5	2.134	1.524
Kentucky bluegrass	5-10	1.829	1.219
Smooth brome	over 10	1.524	0.914
Blue grama	<sup>2</sup> 0-5	1.524	1.219
Grass mixture	5-10	1.219	0.914
Lespedeza sericea			
Weeping lovegrass			
Yellow bluestem			
Kudzu	<sup>3</sup> 0-5	1.067	0.762
Alfalfa			
Crabgrass			
Common lespedeza <sup>4</sup>	5-10	1.067	0.762
Sudangrass <sup>4</sup>			

Continuación de figura 4

**CC BY-NC-ND 4.0**

<sup>1</sup>Use velocities exceeding 1.524 meters per second only where good covers and proper maintenance can be obtained.

<sup>2</sup>Do not use on slopes steeper than 10 percent except for side slopes in a combination channel.

<sup>3</sup>Do not use on slopes steeper than 5 percent except for side slopes in a combination channel.

<sup>4</sup>Annuals--used on mild slopes or as temporary protection until permanent covers are established.

<sup>5</sup>Use on slopes steeper than 5 percent is not recommended.

## Diseño de canal parabólico con $a = 0,0625 = \frac{1}{16}$

La función matemática que representa el canal es  $y = \frac{1}{16}x^2$  y el canal se representa en la figura 5.

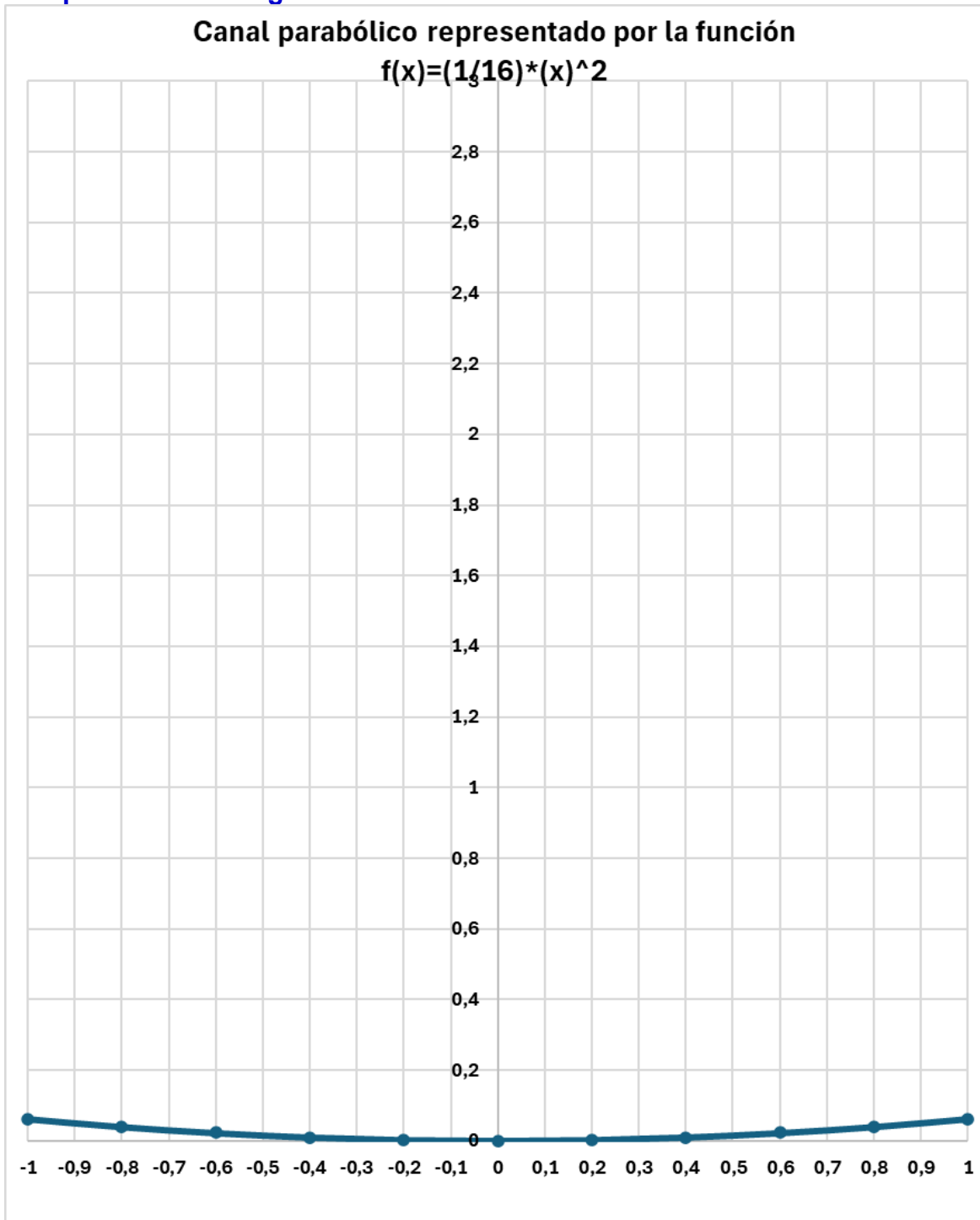


Figura 5: Canal parabólico para la ecuación:  $y = \frac{1}{16}x^2$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Calculando “f” para establecer las ecuaciones en una sola variable

$$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$$

$$f = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{16}}}$$

$$f = \frac{2}{\frac{\sqrt{1}}{\sqrt{16}}}$$

$$f = \frac{2}{\frac{1}{4}}$$

$$f = \frac{2 * 4}{1}$$

$$f = 8$$

La relación matemática entre “T” y “y” es la siguiente:

$$T = f * \sqrt{y}$$

$$T = 8 * \sqrt{y}$$

$$T = 8 * y^{\frac{1}{2}}$$

El cálculo del área hidráulica que es la misma que el área de corte 1 “Ac1”:

$$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$$

$$Ac1 = \frac{2 * 8 * y^{\frac{1}{2}} * y^1}{3}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Ac1 = \frac{16 * y^{\frac{1}{2} + \frac{2}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

Cálculo del área de corte 2 “Ac2” combinando las siguientes ecuaciones:

$$Ac2 = \frac{T^2 * S_t}{200}$$

$$T = 8\sqrt{y}$$

$$Ac2 = \frac{(8\sqrt{y})^2 * S_t}{200}$$

$$Ac2 = \frac{8^2 * y * S_t}{200}$$

$$Ac2 = \frac{64 * y * S_t}{200}$$

$$Ac2 = \frac{8 * y * S_t}{25}$$

Calculando el área de corte total

$$Ac_T = Ac1 + Ac2$$

$$Ac_T = \frac{2T * y}{3} + \frac{T^2 * S_t}{200}$$

$$Ac_T = T \left( \frac{2 * y}{3} + \frac{T * S_t}{200} \right)$$

$$Ac_T = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}} + \frac{8 * y * S_t}{25}$$

$$Ac_T = 8 * y * \left( \frac{S_t}{25} + \frac{2}{3} * y^{\frac{1}{2}} \right)$$

Act = área de corte total m<sup>2</sup>

**CC BY-NC-ND 4.0**

Para calcular el volumen de corte total por cada metro lineal del canal

$$V_{c_T} = T \left( \frac{2*y}{3} + \frac{T*S_t}{200} \right) (m^2) * 1,0 \frac{m}{m}$$

$$V_{c_T} \left( \frac{m^3}{m} \right) = T \left( \frac{2*y}{3} + \frac{T*S_t}{200} \right)$$

$$V_{c_T} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}} + \frac{8*y*S_t}{25}$$

$$V_{c_T} \left( \frac{m^3}{m} \right) = 8 * y * \left( \frac{S_t}{25} + \frac{2 * y^{\frac{1}{2}}}{3} \right)$$

Definición de “y” en términos de “T”:

$$T = 8\sqrt{y}$$

$$\frac{T}{8} = \sqrt{y}$$

$$\left( \frac{1}{8} * T \right)^2 = y$$

$$\frac{1}{64} * T^2 = y$$

$$y = 0,015626 * T^2$$

Cálculo de las variables hidráulicas del perímetro mojado “P”, radio hidráulico “R” y el tirante hidráulico “y”:

$$0 < G \leq 1$$

Se debe de cumplir para este caso “a” que:

$$G \leq 1$$

$$\frac{\sqrt{y}}{2} \leq 1$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\sqrt{y} \leq 2$$

$$y \leq 2^2$$

$$G \leq 1 \text{ cuando } y \leq 4m$$

**El tirante “y” calculado debe de ser menor a 4 m para poder usar el caso**

$$0 < G < 1$$

Combinación de las siguientes ecuaciones:

$$T = 8\sqrt{y}$$

$$Pm = \frac{3T^2 + 8y^2}{3T}$$

Para el perímetro mojado:

$$P = \frac{3(8\sqrt{y})^2 + 8y^2}{3 * 8\sqrt{y}}$$

$$P = \frac{3 * 8^2 * y + 8y^2}{3 * 8\sqrt{y}}$$

$$P = \frac{3 * 8 * 8 * y + 8y^2}{3 * 8 * \sqrt{y}}$$

$$P = \frac{8 * y + 8y^2}{y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{8 * y * (1 + y)}{\sqrt{y}}$$

$$P = 8\sqrt{y} * (1 + y)$$

$$P = 8 * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)$$

Para el radio hidráulico:

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}}{8\sqrt{y} * (1 + y)}$$

$$R = \frac{16}{3} * \frac{y^{\frac{1}{2}} * y^{\frac{2}{2}}}{8 * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)}$$

$$R = \frac{16 * y}{3 * 8 * (1 + y)}$$

$$R = \frac{2 * y}{3 * (1 + y)}$$

Para el tirante combinación de las siguientes ecuaciones:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s) máximo en la acequia de ladera

A: área (m<sup>2</sup>)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = A * \frac{A^{\frac{2}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

Sustituyendo las ecuaciones del área y del perímetro

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Ac1 = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

$$P = 8\sqrt{y} * (1 + y)$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\left(\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(8\sqrt{y} * (1 + y)\right)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\left(\frac{16}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{\left(8\sqrt{y}\right)^{\frac{2}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{(2^4)^{\frac{5}{3}}}{3^{\frac{5}{3}}} * \frac{y^{\frac{5}{2}}}{8^{\frac{2}{3}} * y^{\frac{2}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{20}{3}}}{3^{\frac{5}{3}}} * \frac{y^{\frac{5}{2}}}{(2^3)^{\frac{2}{3}} * y^{\frac{1}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{20}{3}}}{3^{\frac{5}{3}}} * \frac{y^{\frac{13}{6}}}{2^{\frac{6}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{20}{3}} * y^{\frac{13}{6}}}{3^{\frac{5}{3}} * 2^2 * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{20}{3} - \frac{6}{3}} * y^{\frac{13}{6}}}{3^{\frac{5}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{14}{3}} * y^{\frac{13}{6}}}{3^{\frac{5}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{14}{3}}}{3^{\frac{5}{3}}} * \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \sqrt[3]{\frac{2^{14}}{3^5}} * \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left(\frac{3^5}{2^{14}}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

Se define “m” como una constante

$$m = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left(\frac{3^5}{2^{14}}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Entonces:

$$m = \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$m * (1 + y)^{\frac{2}{3}} = y^{\frac{13}{6}}$$

$$\left(m * (1 + y)^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{3}{2}} = \left(y^{\frac{13}{6}}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$m^{\frac{3}{2}} * (1 + y)^{\frac{2}{3} * \frac{3}{2}} = y^{\frac{13}{6} * \frac{3}{2}}$$

$$m^{\frac{3}{2}} * (1 + y) = y^{\frac{13}{4}}$$

$$m^{\frac{3}{2}} + y * m^{\frac{3}{2}} = y^{\frac{13}{4}}$$

$$y^{\frac{13}{4}} - m^{\frac{3}{2}} * y - m^{\frac{3}{2}} = 0$$

Combinando las siguientes ecuaciones:

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$m = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * m^{\frac{3}{2}} - m^{\frac{3}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} - \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{2}} - \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{13}{4}}} * \frac{3^{\frac{5}{2}}}{2^7} - \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{13}{4}}} * \frac{3^{\frac{5}{2}}}{2^7} = 0$$

**Ejemplo: Para resolver la Ecuación se puede realizar por el método del tanteo o por el método gráfico o cualquier otro método. Ejemplo de cálculo con los mismos datos**

$$Q = 0,1 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$S = 0,003 \text{ m/m}$$

$$n = 0,033$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} - \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3} * \frac{3}{2}} - \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3} * \frac{3}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{\left( S^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{\left( S^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{1}{2} * \frac{3}{2}}} * \frac{\sqrt{3^5}}{\sqrt{2^{14}}} - \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{1}{2} * \frac{3}{2}}} * \frac{\sqrt{3^5}}{\sqrt{2^{14}}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} - \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(0,1 * 0,033)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} - \frac{(0,1 * 0,033)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - 0,0018010397 * y - 0,0018010397 = 0$$

$$\mathbf{y = 0,1493m}$$

Comprobando el valor encontrado mediante el cálculo del caudal por medio del valor de "y":

$$T = 8\sqrt{y}$$

$$T = 8\sqrt{0,1493}$$

$$\mathbf{T = 3,0911m}$$

$$Ac1 = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

$$Ac1 = \frac{16}{3} * 0,1493^{\frac{3}{2}}$$

$$\mathbf{Ac1 = 0,3077m^2}$$

$$P = 8\sqrt{y} * (1 + y)$$

$$P = 8\sqrt{0,1493} * (1 + 0,1493)$$

$$\mathbf{Pm = 3,5527m}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{0,3077}{3,5527}$$

$$R = 0,0866m$$

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s) máximo en la acequia de ladera

A: área (m<sup>2</sup>) R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

$$R^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,0866^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,1957395541$$

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S}}{n}$$

$$Q = \frac{0,3077 * 0,1957395541 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$

$$Q = 0,099966 m^3/s$$

$$Q = 0,1 m^3/s$$

**Se observa que el valor del caudal calculado es igual al valor de caudal de diseño.**

**1-G > 1:**

Combinando las siguientes ecuaciones:

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal    adchavarría@itcr.ac.cr    chavarrivae@gmail.com

$$G = \frac{4y}{T}$$

$$P = T = 8\sqrt{y}$$

$$G = \frac{4y}{8\sqrt{y}}$$

$$G = \frac{4y}{8\sqrt{y}} * \frac{\sqrt{y}}{\sqrt{y}}$$

$$G = \frac{4y\sqrt{y}}{8y}$$

$$G = \frac{\sqrt{y}}{2}$$

$$G = \frac{y^{\frac{1}{2}}}{2}$$

$G > 1$  donde:

Combinando las siguientes ecuaciones:

$$T = 8\sqrt{y}$$

$$G = \frac{\sqrt{y}}{2}$$

$$P = \frac{T}{2} \left[ (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{G} \text{Ln} \left( G + (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

Estimación del perímetro mojado:

$$P = \frac{8\sqrt{y}}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{\sqrt{y}}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{\left( \frac{\sqrt{y}}{2} \right)} * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y}}{2} + \left( 1 + \left( \frac{\sqrt{y}}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

$$P = 4\sqrt{y} \left[ \left( 1 + \frac{y}{4} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1 * 2}{\sqrt{y}} * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y}}{2} + \left( 1 + \frac{y}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$P = 4\sqrt{y} * \sqrt{\frac{4}{4} + \frac{y}{4}} + 4\sqrt{y} * \frac{2}{\sqrt{y}} * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2} \right)$$

$$P = 4\sqrt{y} * \sqrt{\frac{4+y}{2^2}} + \frac{2 * 4\sqrt{y}}{\sqrt{y}} * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2} \right)$$

$$P = 4\sqrt{y} * \frac{\sqrt{4+y}}{2} + 8 * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2} \right)$$

$$P = 2\sqrt{y} * \sqrt{4+y} + 8 * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2} \right)$$

$$P = 2\sqrt{y * (4+y)} + 8 * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2} \right)$$

Cálculo de radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{y * (4+y)} + 8 * \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2} \right)}$$

Cálculo de “y”:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s) máximo en la acequia de ladera

A: área (m<sup>2</sup>) R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal    adchavarría@itcr.ac.cr    chavarriavae@gmail.com

$$\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{0,1 * 0,033}{\sqrt{0,003}} = 0,060249$$

$$\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} = 0,060249$$

$$\frac{\left(\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(2\sqrt{y(4+y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2}\right)\right)^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{\left(\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(2\sqrt{y * (4+y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2}\right)\right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

**Ejemplo tomando los mismos datos del ejemplo anterior**

**Q = 0,1 m<sup>2</sup> /s**

**S = 0,003**

**n = 0,033**

Cálculo de “y”:

$$\frac{\left(\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(2\sqrt{y(4+y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2}\right)\right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{0,1 * 0,033}{\sqrt{0,003}} = 0$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal

adchavarría@itcr.ac.cr

chavarrivae@gmail.com

$$\frac{\left(\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(2\sqrt{y(4+y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2}\right)\right)^{\frac{2}{3}}} - 0,060249 = 0$$

$$y = 0,1433m$$

**se cumple que  $y < 4m$**

Comprobando el caudal con el valor de “y” encontrado  
Cálculo de T

$$T = 8\sqrt{y}$$

$$T = 8\sqrt{0,1433}$$

$$T = 3,0284 m$$

Cálculo del área hidráulica que es la misma ecuación que el área de corte 1 o el área hidráulica:

$$Ac1 = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

$$Ac1 = \frac{16}{3} * 0,1433^{\frac{3}{2}}$$

$$Ac1 = 0,289313m^2$$

Cálculo del perímetro mojado:

$$P = 2\sqrt{y(4+y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4+y}}{2}\right)$$

$$P = 2\sqrt{0,1433 * (4 + 0,1433)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{0,1433} + \sqrt{4 + 0,1433}}{2}\right)$$

$$P = 3,046385m$$

Cálculo del radio hidráulico:

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0,289313}{3,046385}$$

$$R = 0,0949724m$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,0949724^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,2081605$$

Cálculo del caudal utilizando Manning para comprobar que los valores son correctos:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S}}{n}$$

$$Q = \frac{0,289313 * 0,2081605 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$

$$Q = 0,099957 m^3/s$$

$$Q = 0,1 m^3/s$$

Donde se puede observar que el caudal calculado es el caudal de diseño que va a pasar por el canal o acequia de ladera que era de  $Q = 0,1 m^3/s$  por lo cual nos dice que este caso también se puede aplicar.

Calculando el área de corte 2 "Ac2" con los valores encontrados de la metodología del caso donde  $0 < G < 1$  aunque se puede usar los valores de la condición 2, porque ambas son correctas.

$$y = \frac{1}{16} * x^2 \quad \text{donde se observa que} \quad a = \frac{1}{16}$$

$$y = 0,1493m$$

$$Ac1 = 0,3077m^2$$

$$T = 3,0911m$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 3,5527m$$

$$R = 0,0866m$$

$$S = 30\%$$

$$Ac2 = \frac{8 * y * S_t}{25}$$

$$Ac2 = \frac{8 * 0,1493 * 30}{25}$$

$$Ac2 = 1,4332m^2$$

Calculado el área de corte total:

$$Ac_T = Ac1 + Ac2$$

$$Ac_T = 0,3077 + 1,4332$$

$$Ac_T = 1,7409m^2$$

Donde Act = área de corte total m<sup>2</sup>

Para calcular el volumen de corte total por cada metro lineal del canal se multiplica por 1,0m de distancia

$$Vc_T \left( \frac{m^3}{m} \right) = 1,7409$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

**Cuadro 1: Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas para un canal parabólico para una función definida como  $f(x) =$**

$$y = \frac{1}{16} * x^2$$

Valor de "a"	$0,0625 = \frac{1}{16}$	
$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$		$f = 8$
$f = f * \sqrt{y}$		$T = 8 * \sqrt{y} = 8 * y^{\frac{1}{2}}$
Área hidráulica o Ac1	$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$	$Ac1 = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$
Valor de G	$G = \frac{4y}{T}$	$G = \frac{y^{\frac{1}{2}}}{2}$
Perímetro mojado para la condición $0 < G \leq 1$	$P = T + \frac{8y^2}{3T}$	$P = 8 * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)$ O $P = 8\sqrt{y} * (1 + y)$
Radio hidráulico condición $0 < G \leq 1$	$R = \frac{3 * T^2 * y}{3 * T^2 + 8 * y^2}$	$R = \frac{2 * y}{3 * (1 + y)}$
Perímetro mojado para la condición $G > 1$	$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln\left(\frac{4y}{T} + \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]$	$P = 2\sqrt{y * (4 + y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4 + y}}{2}\right)$
Radio hidráulico para la condición $G > 1$	$R = \frac{2T * y}{T \left[ \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln\left(\frac{4y}{T} + \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]}$	$R = \frac{\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{y * (4 + y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4 + y}}{2}\right)}$
Cálculo del tirante "y" para la condición $0 < G \leq 1$	$y^{\frac{13}{4}} - y * \left(\frac{Q * n}{S^2} * \left(\frac{3^5}{2^{14}}\right)^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{Q * n}{S^2} * \left(\frac{3^5}{2^{14}}\right)^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{3}{2}} = 0$	
Cálculo del tirante "y" para la condición $G > 1$	$\frac{\left(\frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(2\sqrt{y * (4 + y)} + 8 * \ln\left(\frac{\sqrt{y} + \sqrt{4 + y}}{2}\right)\right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^2} = 0$	

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Ejemplo de cálculo de la rugosidad para un canal empastado con las condiciones antes vistas

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0,033$$

$$S = 0,003 \text{ m/m}$$

$$St = 30\%$$

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{R^{\frac{2}{3}}}$$

$$m = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} * \left( \frac{3^5}{2^{14}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * m^{\frac{3}{2}} - m^{\frac{3}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} - \frac{(Q * n)^{\frac{3}{2}}}{S^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(0,1 * 0,033)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} - \frac{(0,1 * 0,033)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * 0,0018010397 - 0,0018010397 = 0$$

$$y = 0,1493 \text{ m}$$

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$A = \frac{16}{3} * 0,1493^{\frac{3}{2}}$$

$$A = 0,307672m^2$$

$$V = \frac{0,1m^3/s}{0,307672m^2}$$

$$V = 0,325021m/s$$

Ahora con el radio:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = \frac{2\sqrt{y} * (3 + 2y)}{3}$$

$$P = \frac{2\sqrt{0,1493} * (3 + 2 * 0,1493)}{3}$$

$$P = 0,849705m$$

$$R = \frac{0,307672m^2}{0,849705m}$$

$$R = 0,362093m$$

Para encontrar el valor del coeficiente de rugosidad "n" en la tabla mencionada multiplicamos R\*V

$$R * V = 0,362093m * 0,325021m/s$$

$$R * V = 0,12$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

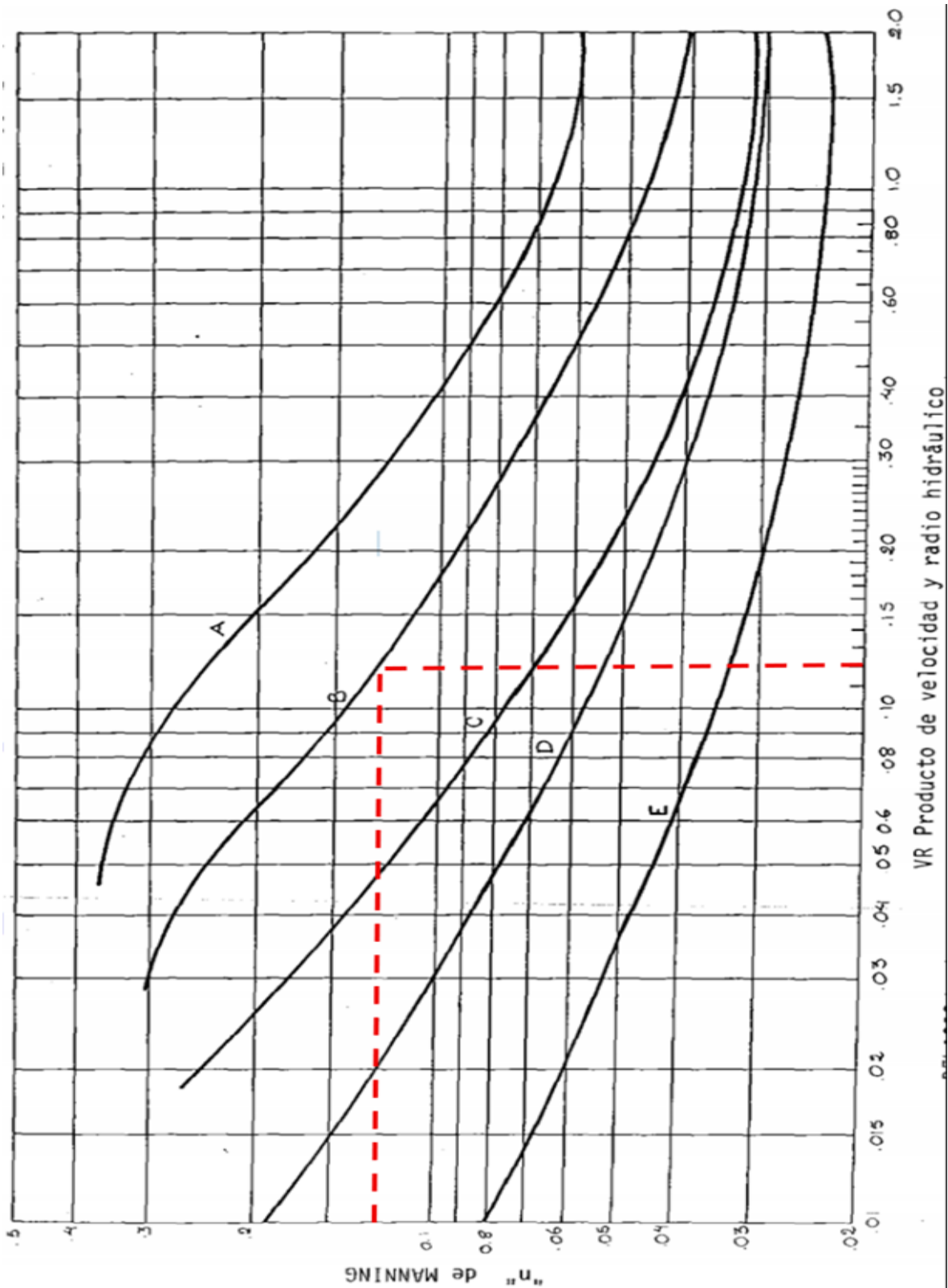


Figura 6: Coeficiente de rugosidad para la primera iteración dando un valor de

$$n = 0,13$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Recalculamos el “y” con el nuevo “n” y repetimos

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(0,1 * 0,13)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} - \frac{(0,1 * 0,13)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * 0,01408209451 - 0,01408209451 = 0$$

$$\mathbf{y = 0,2914304m}$$

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

$$A = \frac{16}{3} * 0,2914304^{\frac{3}{2}}$$

$$\mathbf{A = 0,839075m^2}$$

$$V = \frac{0,1m^3/s}{0,839075m^2}$$

$$\mathbf{V = 0,119179m/s}$$

Ahora con el radio:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = \frac{2\sqrt{y} * (3 + 2y)}{3}$$

$$P = \frac{2\sqrt{0,2914304} * (3 + 2 * 0,2914304)}{3}$$

$$\mathbf{P = 1,289455m}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{0,839075m^2}{1,289455m}$$

$$R = 0,6507207m$$

Ahora para ver en la tabla, multiplicamos R\*V

$$R * V = 0,6507207m * 0,119179m/s$$

$$R * V = 0,077$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

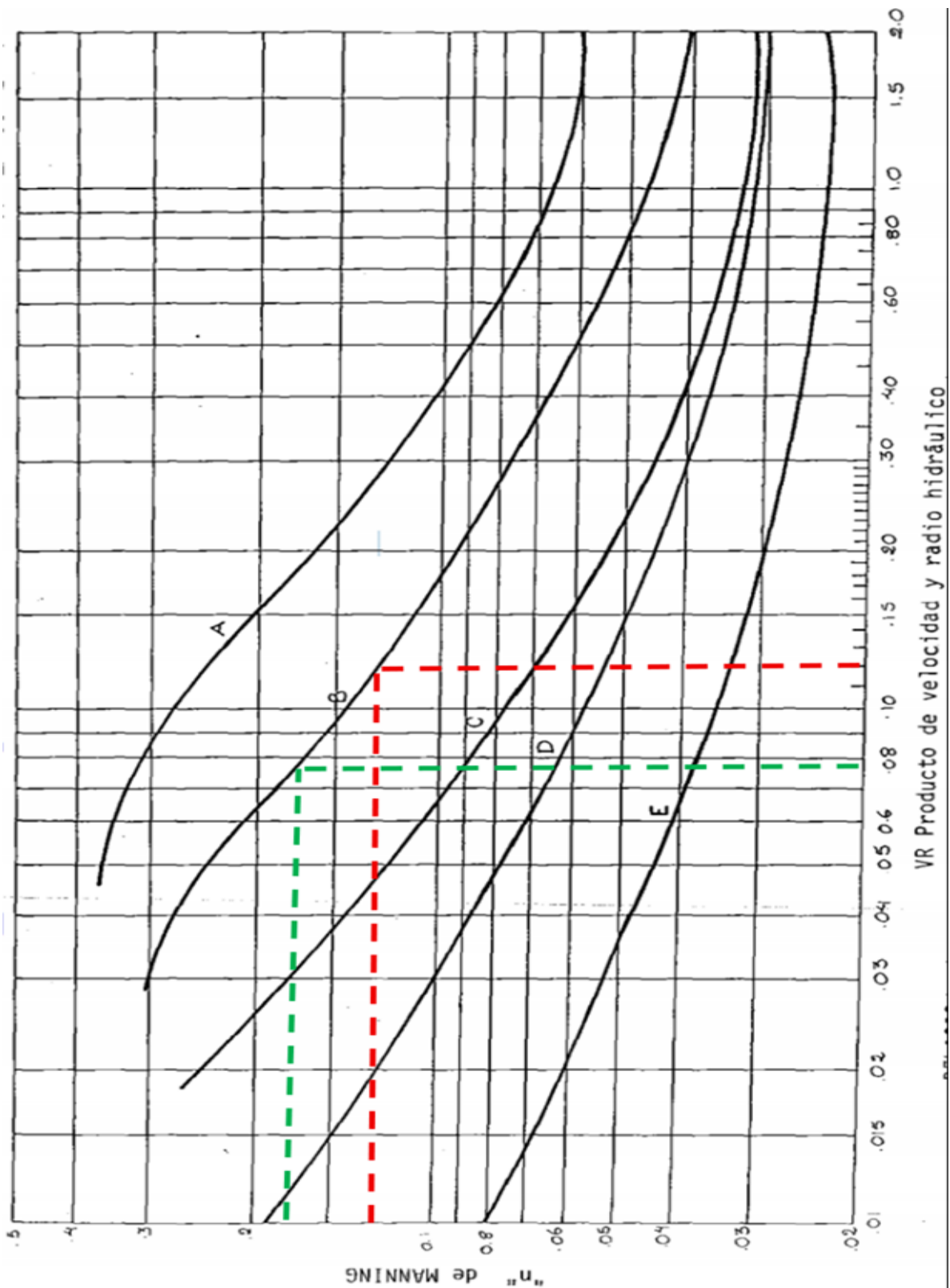


Figura 7: Coeficiente de rugosidad para la segunda iteración dando un valor de

$$n = 0,18$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Recalculamos el “y” con el nuevo “n” y repetimos

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(0,1 * 0,18)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} - \frac{(0,1 * 0,18)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * 0,02294356942 - 0,02294356942 = 0$$

$$\mathbf{y = 0,342745m}$$

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

$$A = \frac{16}{3} * 0,342745^{\frac{3}{2}}$$

$$\mathbf{A = 1,070174m^2}$$

$$V = \frac{0,1m^3/s}{1,070174m^2}$$

$$\mathbf{V = 0,0934427m/s}$$

Ahora con el radio:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = \frac{2\sqrt{y} * (3 + 2y)}{3}$$

$$P = \frac{2\sqrt{0,342745} * (3 + 2 * 0,342745)}{3}$$

$$\mathbf{P = 1,438433m}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{1,070174m^2}{1,438433m}$$

$$R = 0,743986m$$

Ahora para ver en la tabla, multiplicamos R\*V

$$R * V = 0,743986m * 0,0934427m/s$$

$$R * V = 0,07$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

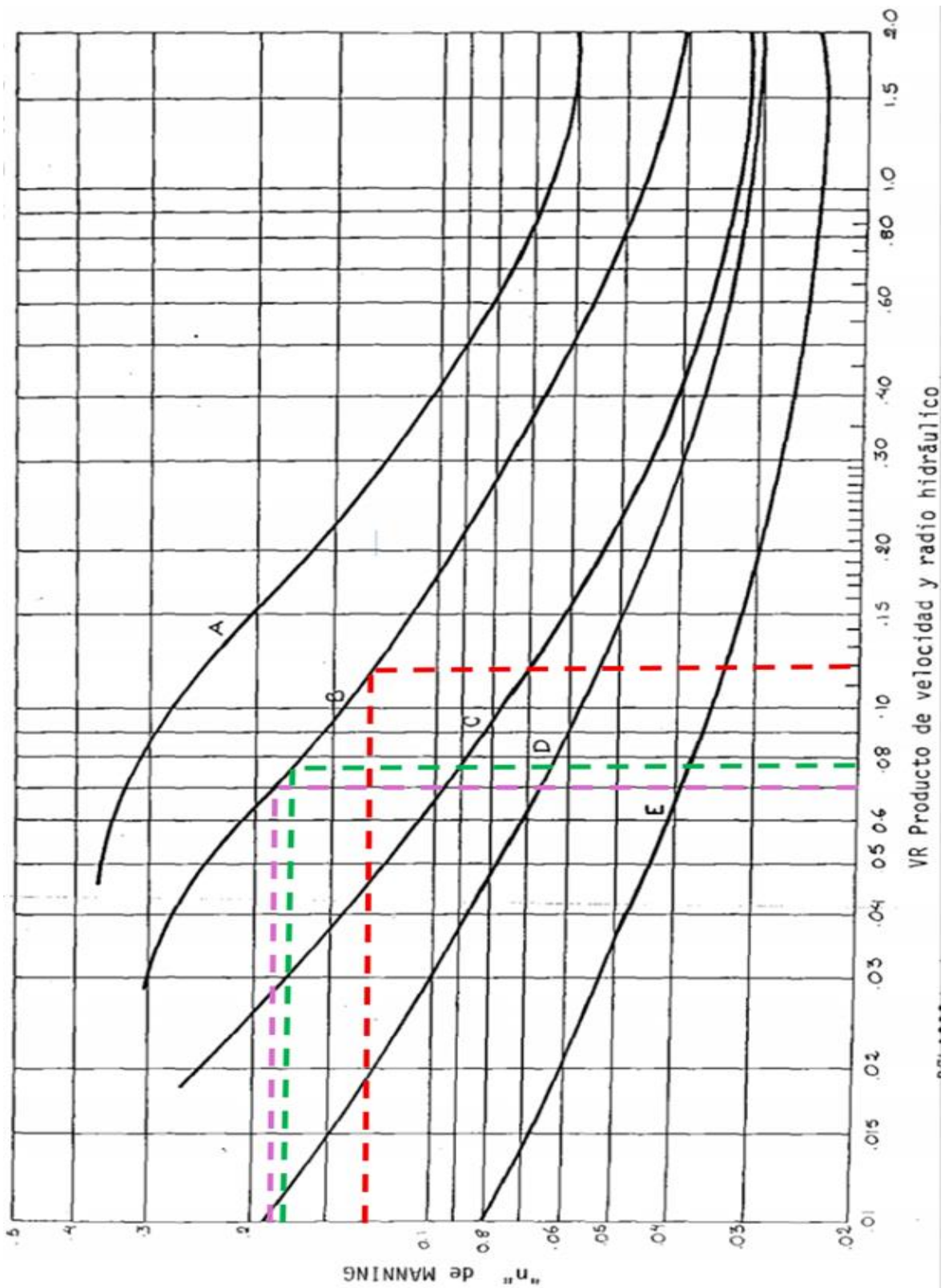


Figura 8: Coeficiente de rugosidad para la tercera iteración dando un valor de  $n = 0,19$

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Recalculamos el “y”

$$y^{\frac{13}{4}} - y * \frac{(0,1 * 0,19)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} - \frac{(0,1 * 0,19)^{\frac{3}{2}}}{0,003^{\frac{3}{4}}} * \frac{9\sqrt{3}}{128} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - y * 0,0248818477 - 0,0248818477 = 0$$

$$\mathbf{y = 0,352162m}$$

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{16}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

$$A = \frac{16}{3} * 0,352162^{\frac{3}{2}}$$

$$\mathbf{A = 1,114581m^2}$$

$$V = \frac{0,1m^3/s}{1,114581m^2}$$

$$\mathbf{V = 0,08972m/s}$$

Ahora con el radio:

$$\mathbf{R = \frac{A}{P}}$$

$$P = \frac{2\sqrt{y} * (3 + 2y)}{3}$$

$$P = \frac{2\sqrt{0,352162} * (3 + 2 * 0,352162)}{3}$$

$$\mathbf{P = 1,465512m}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{1,114581m^2}{1,465512m}$$

$$R = 0,760541m$$

Por lo que finalmente se decide un  $n = 0,19$  donde se contempla una condición de rugosidad más acorde a la realidad tratándose de una acequia en tierra, donde la materia vegetal, piedras, raíces, pasto y diversidad de plantas que crecen aumentan la rugosidad que se suele encontrar en los libros.

Por lo que con esto vamos a calcular el área de corte total:

$$Act = Ac2 + Ac1$$

$$Ac2 = \frac{8 * y * S_t}{25}$$

$$Ac2 = \frac{8 * 0,352162 * 35\%}{25}$$

$$Ac2 = 3,944214m^2$$

$$Act = 3,944214m^2 + 1,114581m^2 = 5,05879m^2$$

Por lo tanto se tienen los parámetros para este canal parabólico.

$$Q = 0,1m^3/s$$

$$y = 0,352162m$$

$A1 = 1,114581m^2$  donde A1 es el área hidráulica y At es el área de corte total.

$$At = 5,05879m^2$$

$$n = 0,19$$

$$P = 1,465512m$$

$$R = 0,760541m$$

$$S = 0,003m/m$$

$$St = 35\%$$

$$V = 0,08972m/s$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Diseño de canal parabólico con $a = 0,125 = \frac{1}{8}$

La función matemática que representa el canal es  $y = 0,125 * x^2 = \frac{x^2}{8}$  y el canal se representa en la figura 9.

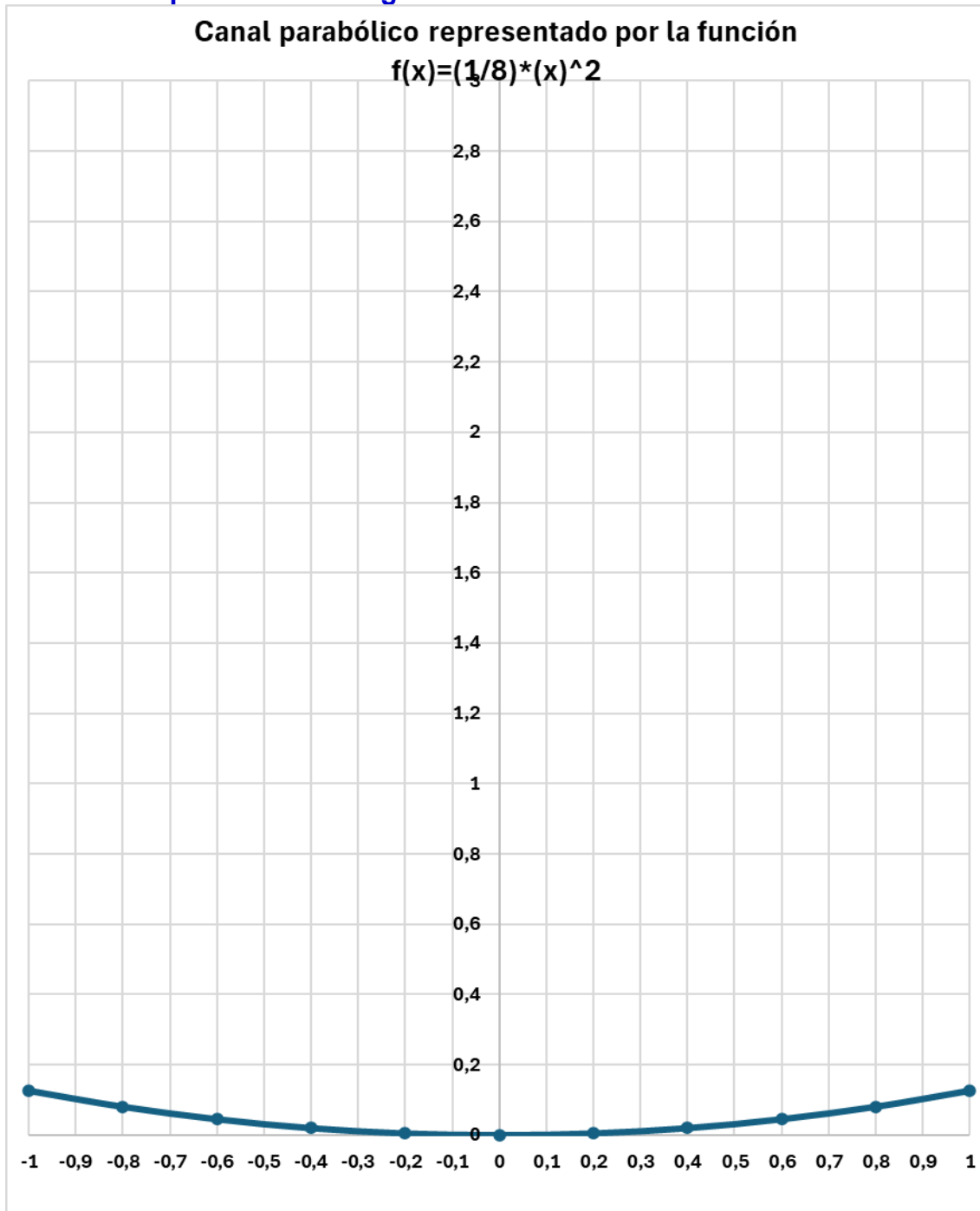


Figura 9: Canal parabólico para la ecuación  $y = 0,125 * x^2 = \frac{x^2}{8}$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Calculando “f”

$$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$$

$$f = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{1}{8}\right)}}$$

$$f = \frac{2}{\frac{\sqrt{1}}{\sqrt{8}}}$$

$$f = \frac{2 * \sqrt{8}}{\sqrt{1}}$$

$$f = \frac{2 * 2\sqrt{2}}{1}$$

$$f = 4 * \sqrt{2}$$

$$f = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

Estimación de la relación matemática entre “T” y “y”

$$T = f * \sqrt{y}$$

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

Según se observa la imagen tenemos los siguientes parámetros:

z3 = talud natural que se forma debido a la pendiente del terreno (adimensional)

y = Tirante de agua que corresponde a la mayor profundidad de agua en la acequia de ladera triangular (m)

T = ancho del espejo de agua en el canal en la sección transversal de la acequia de ladera triangular

**CC BY-NC-ND 4.0**

St = pendiente del terreno (%)

S = pendiente del canal (m/m)

Para el cálculo de las áreas y volúmenes de corte primeramente se expresará en términos del espejo de agua “T” y el tirante “y” para luego calcular dichas áreas según la función matemática específica que representa el canal conductor de la acequia de ladera expresando las Ecuaciones de las variables hidráulicas de **Ac1**, **Ac2**, **P** y **R** en función de “y”

El cálculo del área hidráulica que es la misma que el área de corte 1 “Ac1”:

$$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$$

$$Ac1 = \frac{2 * 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * y}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

Cálculo del área de corte 2 “Ac2” combinando las siguientes ecuaciones:

$$Ac2 = \frac{T^2 * St}{200}$$

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

$$Ac2 = \frac{T^2 * St}{200}$$

$$Ac2 = \frac{\left(4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}\right)^2 * St}{200}$$

$$Ac2 = \frac{4^2 * (\sqrt{2})^2 * (y^{\frac{1}{2}})^2 * St}{200}$$

$$Ac2 = \frac{16 * 2 * y * St}{200}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Ac2 = \frac{16 * y * St}{100}$$

$$Ac2 = \frac{4y * St}{25}$$

Calculando el área de corte total

$$AcT = Ac1 + Ac2$$

$$A_{ct} = \frac{2Ty}{3} + \frac{T^2St}{200}$$

$$A_{ct} = T \left( \frac{2 * y}{3} + \frac{T * St}{200} \right)$$

$$Act = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{4y * St}{25}$$

Act = área de corte total m<sup>2</sup>

Para calcular el volumen de corte total por cada metro lineal del canal

$$V_{cT} = T \left( \frac{2 * y}{3} + \frac{T * St}{200} \right) (m^2) * 1,0 \frac{m}{m}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{2Ty}{3} + \frac{T^2St}{200}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = T \left( \frac{2y}{3} + \frac{T * St}{200} \right)$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{4y * St}{25}$$

Definición de “y” en términos de “T”:

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{T}{4\sqrt{2}} = \sqrt{y}$$

$$\left(\frac{T}{4\sqrt{2}}\right)^2 = y$$

$$\frac{(T)^2}{(4)^2 * (\sqrt{2})^2} = y$$

$$\frac{T^2}{16 * 2} = y$$

$$\frac{T^2}{32} = y$$

$$y = 0,03125 * T^2$$

VARIABLES HIDRÁULICAS DEL PERÍMETRO MOJADO “P”, RADIO HIDRÁULICO “R” Y EL TIRANTE HIDRÁULICO “y”:

$$0 < G \leq 1:$$

Combinando las siguientes ecuaciones para la estimación del perímetro mojado:

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

$$P = \frac{3T^2 + 8y^2}{3T}$$

$$P = \frac{3T^2 + 8y^2}{3T}$$

$$P = \frac{3\left(4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}\right)^2 + 8y^2}{3 * 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$P = \frac{3 * 4^2 * (\sqrt{2})^2 * \left(y^{\frac{1}{2}}\right)^2 + 8y^2}{3 * 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{3 * 4 * 4 * 2 * y + 8y^2}{3 * 4 * \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{4 * 2 * y + 8y^2}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{8y + 8y^2}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{8y * (1 + y)}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{8y^1 * (1 + y)}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{8 * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)}{\sqrt{2}} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}}$$

$$P = \frac{8 * \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)}{2}$$

$$P = 4 * \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)$$

$$P = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)$$

Estimación del radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{\frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}}{4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)}$$

$$R = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3 * 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)}$$

$$R = \frac{8 * \sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3 * 4 * \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)}$$

$$R = \frac{2 * y}{3 * (1 + y)}$$

Para la estimación del tirante:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s) máximo en la acequia de ladera

A: área (m<sup>2</sup>)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = A * R^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = A * \frac{A^{\frac{2}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\left(\frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)\right)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\frac{(8\sqrt{2})^{\frac{5}{3}} * \left(y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{(3)^{\frac{5}{3}}}}{(4\sqrt{2})^{\frac{2}{3}} \left(y^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\frac{(2 * 4\sqrt{2})^{\frac{5}{3}} * \left(y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{(3)^{\frac{5}{3}}}}{(4\sqrt{2})^{\frac{2}{3}} \left(y^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{(2)^{\frac{5}{3}} * (4)^{\frac{5}{3}} * \left(2^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * 4^{\frac{2}{3}} * \left(2^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(y^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{(2)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{5}{6}} * y^{\frac{5}{2}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{2}{3}} * (2)^{\frac{2}{3}} * \left(2^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(y^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{(2)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{5}{6}} * y^{\frac{5}{2}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{2}{3}} * (2)^{\frac{2}{3}} * (2)^{\frac{1}{3}} * (y)^{\frac{1}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{(2)^{\frac{35}{6}} * y^{\frac{5}{2}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * (2)^{\frac{5}{3}} * (y)^{\frac{1}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{(2)^{\frac{25}{6}} * y^{\frac{13}{6}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * (1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{(3)^{\frac{5}{3}} * Q * n}{(2)^{\frac{25}{6}} * S^{\frac{1}{2}}} = \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(1 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{(1 + y)^{\frac{2}{3}}}{y^{\frac{13}{6}}} = \frac{(2)^{\frac{25}{6}} * S^{\frac{1}{2}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * Q * n}$$

Sustituyendo las variables conocidas:

$$m = \frac{(2)^{\frac{25}{6}} * S^{\frac{1}{2}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * Q * n}$$

$$\frac{(1 + y)^{\frac{2}{3}}}{y^{\frac{13}{6}}} = m$$

$$(1 + y)^{\frac{2}{3}} = m * y^{\frac{13}{6}}$$

$$(1 + y)^{\frac{2}{3}} = \left( m * y^{\frac{13}{6}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$1 + y = m^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}}$$

$$m^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - 1 - y = 0$$

$$m^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$\left( \frac{(2)^{\frac{25}{6}} * S^{\frac{1}{2}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * Q * n} \right)^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{\left(2\frac{25}{6}\right)^{\frac{3}{2}} * \left(S\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}}}{\left(3\frac{5}{3}\right)^{\frac{3}{2}} * Q^{\frac{3}{2}} * n^{\frac{3}{2}}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$\frac{2\frac{25}{4} * (S)^{\frac{3}{4}}}{(3)^{\frac{5}{2}} * Q^{\frac{3}{2}} * n^{\frac{3}{2}}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

Para resolver esta ecuación se puede realizar por el método del tanteo o por el método gráfico o cualquier otro método

### Ejemplo de cálculo con los mismos datos

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 0,003 \text{ m/m}$$

$$n = 0,033$$

$$\frac{2\frac{25}{4} * (S)^{\frac{3}{4}}}{(3)^{\frac{5}{2}} * Q^{\frac{3}{2}} * n^{\frac{3}{2}}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$\frac{2\frac{25}{4} * (0,003)^{\frac{3}{4}}}{(3)^{\frac{5}{2}} * 0,1^{\frac{3}{2}} * 0,033^{\frac{3}{2}}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$330,1447286 * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$\mathbf{y=0,176496 \text{ m}}$$

Comprobando el valor encontrado mediante el cálculo del caudal por medio del valor de “y”

Cálculo de “T” “Área”

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 4\sqrt{2} * 0,176496^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{T=2,376525}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * 0,176496^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = 0,27963$$

$$P = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)$$

$$P = 4\sqrt{2} * 0,176496^{\frac{1}{2}} * (1 + 0,176496)$$

$$P = 2,795972$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0,27963}{2,795972}$$

$$R = 0,100012$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,100012^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,21546$$

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q = \frac{0,27963 * 0,21546 * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,033}$$

$$Q = 0,099999 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 0,1 \frac{m^3}{s}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Estimación de **G**:

$$G = \frac{4y}{T}$$

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

$$G = \frac{4 * y}{4 * \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$G = \frac{y}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}}$$

$$G = \frac{\sqrt{2} * y^1}{\sqrt{2} * \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$G = \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2}$$

**G > 1** donde:

Se debe de cumplir para este caso “a” que:

$$G > 1$$

$$\frac{4y}{T} > 1$$

$$\frac{4y}{4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}} > 1$$

$$\frac{y}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} > 1$$

$$\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} > 1$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y^{\frac{1}{2}} > \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$\left(y^{\frac{1}{2}}\right)^2 > \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$y > \frac{4}{2}$$

**Se cumple que  $G > 1$  solamente cuando  $y > 2$**

El “y” calculado debe de ser menor a 2 m para poder usar el caso  $0 < G \leq 1$

Combinando las siguientes ecuaciones:

$$P = \frac{T}{2} \left[ (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{G} \text{Ln} \left( G + (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

$$G = \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Cálculo del perímetro mojado

$$P = \frac{T}{2} \left[ (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{G} \text{Ln} \left( G + (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

$$P = \frac{4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2}} \text{Ln} \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left( 1 + \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$P = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} \left[ \left( 1 + \frac{(\sqrt{2})^2 * (y^{\frac{1}{2}})^2}{2^2} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2}} \operatorname{Ln} \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left( 1 + \frac{(\sqrt{2})^2 * (y^{\frac{1}{2}})^2}{2^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

$$P = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} \left[ \left( 1 + \frac{2 * y}{4} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{2}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}} \operatorname{Ln} \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left( 1 + \frac{2 * y}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

$$P = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * 2}{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}} \operatorname{Ln} \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$P = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + 4 \operatorname{Ln} \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

**Cálculo del radio hidráulico:**

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{\frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}}{2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + 4 \operatorname{Ln} \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)}$$

$$R = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3 * \left[ 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + 4 \operatorname{Ln} \left( \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left( 1 + \frac{y}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]}$$

**Cálculo de “y”:**

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s) máximo en la acequia de ladera

A: área (m<sup>2</sup>)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

$$\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{\left(\frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left[2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4Ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{(8\sqrt{2})^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left[2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4Ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

**Ejemplo: Se toma el mismo ejemplo del caso parabólico 1 para dar la solución calculando “y”**

**Q = 0,1 m<sup>3</sup>/s**

**S = 0,003**

**n = 0,033**

$$\frac{(8\sqrt{2})^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left[2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4Ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal

adchavarría@itcr.ac.cr

chavarrivae@gmail.com

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{0,1 * 0,033}{0,003^{\frac{1}{2}}} = 0,060249$$

$$\frac{(8\sqrt{2})^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left[ 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4Ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]^{\frac{2}{3}}} - 0,060249 = 0$$

$$y = 0,1685986 \text{ m}$$

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 4\sqrt{2} * 0,1685986^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 2,322747$$

$$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * 0,1685986^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = 0,261075$$

$$P = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4Ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$$

$$P = 2\sqrt{2} * 0,1685986^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{0,1685986}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4 * Ln\left(\frac{\sqrt{2} * 0,1685986^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{0,1685986}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$$

$$P = 1,49575$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0,261075}{1,49575}$$

$$R = 0,174544$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0,174544)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,312323$$

Cálculo del caudal utilizando Manning para comprobar que los valores son correctos.

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q = \frac{0,261075 * 0,312323 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$

$$Q = 0,1353 \frac{m^3}{s}$$

Redondeando

$$Q = 0,1 \frac{m^3}{s}$$

Se puede observar que en las dos metodologías se obtuvieron valores del tirante “y” menores a 2 m y también en las dos metodologías se obtuvieron caudales muy semejantes o casi iguales entre ellos juntamente con el caudal de diseño.

Calculando el área de corte 2 “Ac2” con los valores encontrados de la metodología del caso “A” donde  $0 < G \leq 1$  porque es ligeramente más exacta:

$$y = 0,125 * x^2 = \frac{x^2}{8} \quad \text{donde se observa que } a = 0,125 = \frac{1}{8}$$

$$y = 0,176496 \text{ m}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\begin{aligned}
 Ac1 &= 0,27963 \\
 T &= 2,376525 \\
 P &= 2,795972 \\
 R &= 0,100012 \\
 St &= 30
 \end{aligned}$$

$$Ac2 = \frac{T^2 St}{200}$$

$$Ac2 = \frac{2,376525^2 * 30}{200}$$

$$\mathbf{Ac2 = 0,84718 \text{ m}^2}$$

Calculado el área de corte total utilizando la ecuación:

$$Act = Ac1 + Ac2$$

$$Act = 0,27963 + 0,84718$$

$$\mathbf{Act = 1,12681 \text{ m}^2}$$

Donde

Act = área de corte total  $\text{m}^2$

Para calcular el volumen de corte total por cada metro lineal del canal se multiplica por 1,0 m de distancia

$$Vct \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \right) = 1,12681$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

**Cuadro 2: ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas del Canal Parabólico para una función definida como  $f(x) = y = 0,125 * x^2$**

Valor de "a"		$0,125 = \frac{1}{8}$
$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$		$f = 4\sqrt{2}$
$T = f * \sqrt{y}$		$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$
Área hidráulica o área de corte 1	$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$	$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}$
Valor de G	$G = \frac{4y}{T}$	$G = \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2}$
Perímetro mojado: condición 0 $< G \leq 1$	$Pm = T + \frac{8y^2}{3T}$	$P = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)$
Radio hidráulico: condición 0 $< G \leq 1$	$R = \frac{2 * T^2 * y}{3 * T^2 + 8 * y^2}$	$R = \frac{2 * y}{3 * (1 + y)}$
Perímetro mojado: condición G $> 1$	$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln\left(\frac{4y}{T} + \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]$	$P = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4 \ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$
Radio hidráulico: condición G $> 1$	$R = \frac{2T * y}{T \left[ \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln\left(\frac{4y}{T} + \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]}$	$R = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3 * \left[ 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4 \ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]}$
Tirante "y" hidráulico: condición 0 $< G \leq 1$		$\frac{2^{\frac{25}{4}} * (S)^{\frac{3}{4}}}{(3)^{\frac{5}{2}} * Q^{\frac{3}{2}} * n^{\frac{3}{2}}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$
Tirante "y" hidráulico: condición G $> 1$		$\frac{(8\sqrt{2})^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left[ 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + 4 \ln\left(\frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}{2} + \left(1 + \frac{y}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^2} = 0$

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Ejemplo de cálculo de la rugosidad para un canal empastado con las condiciones antes vistas

$$y = 0,176496 \text{ m}$$

$$Ac1 = 0,27963$$

$$T = 2,376525$$

$$P = 2,795972$$

$$R = 0,100012$$

$$St = 30$$

Ecuación de velocidad:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

De la tabla de diseño de vías de agua empastada se tiene que el eje x equivale a:

$$V * R$$

Despejando:

$$V * R = \frac{R * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$V * R = \frac{R^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Despejando valores:

$$V * R = \frac{0,100012^{\frac{5}{3}} * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,033}$$

$$V * R = 0,0358$$

$$V * R = \mathbf{0,036}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

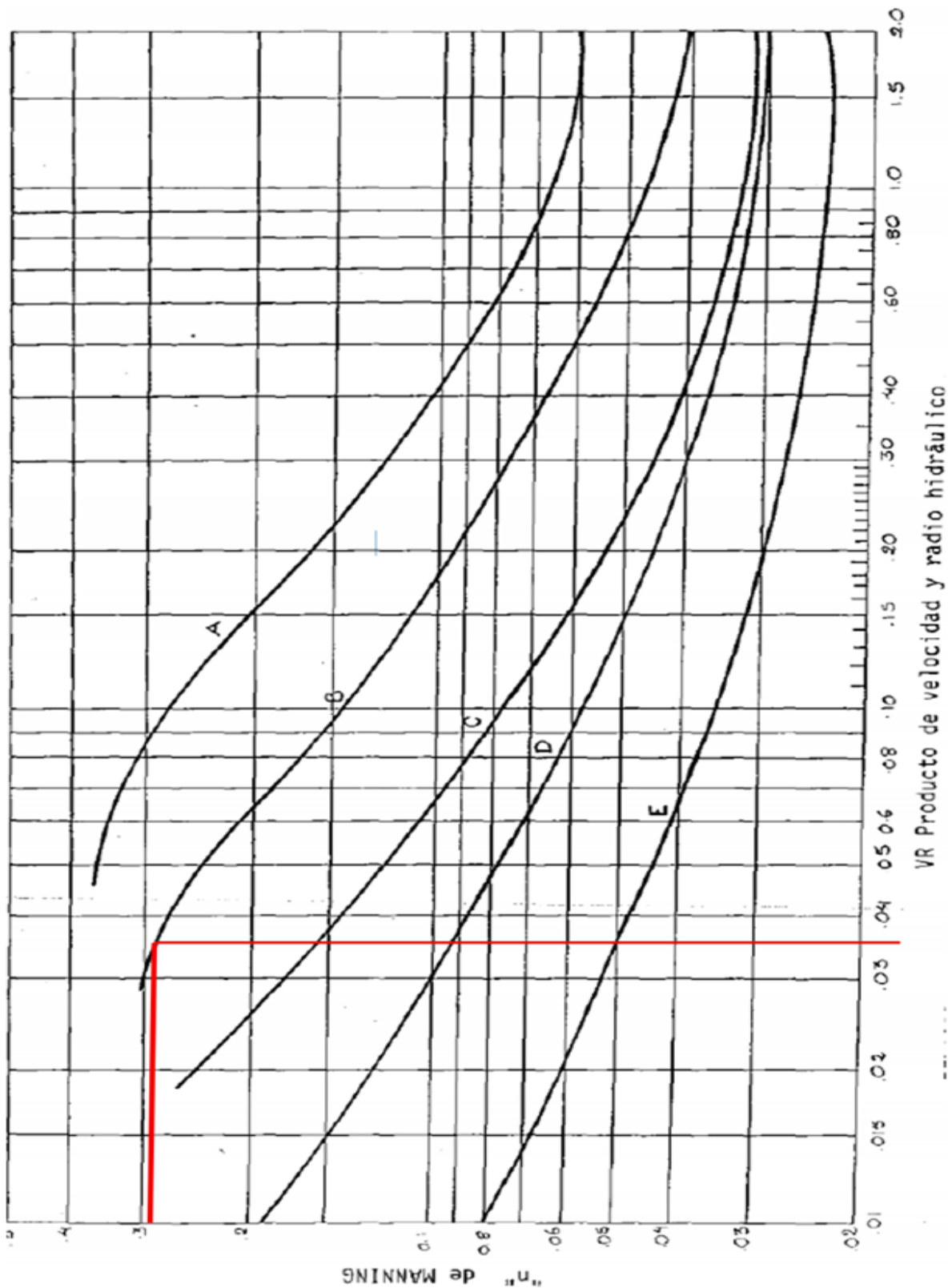


Figura 10: Coeficiente de rugosidad para la primera iteración dando un valor de

$$n = 0,29$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Segunda iteración:

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 0,003$$

$$n = 0,29$$

$$\frac{2^{\frac{25}{4}} * (S)^{\frac{3}{4}}}{(3)^{\frac{5}{2}} * Q^{\frac{3}{2}} * n^{\frac{3}{2}}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$\frac{2^{\frac{25}{4}} * (0,003)^{\frac{3}{4}}}{(3)^{\frac{5}{2}} * 0,1^{\frac{3}{2}} * 0,29^{\frac{3}{2}}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$12,672966 * y^{\frac{13}{4}} - y - 1 = 0$$

$$y = 0,520805 \text{ m}$$

$$T = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 4\sqrt{2} * 0,520805^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 4,082372$$

$$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8\sqrt{2} * 0,520805^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = 1,417413$$

$$P = 4\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + y)$$

$$P = 4\sqrt{2} * 0,520805^{\frac{1}{2}} * (1 + 0,520805)$$

$$P = 6,208492$$

$$R = \frac{A}{P}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{1,417413}{6,208492}$$

$$R = 0,228302$$

$$V * R = \frac{R^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$V * R = \frac{0,228302^{\frac{5}{3}} * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,29}$$

$$V * R = 0,0161$$

$$V * R = 0,016$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

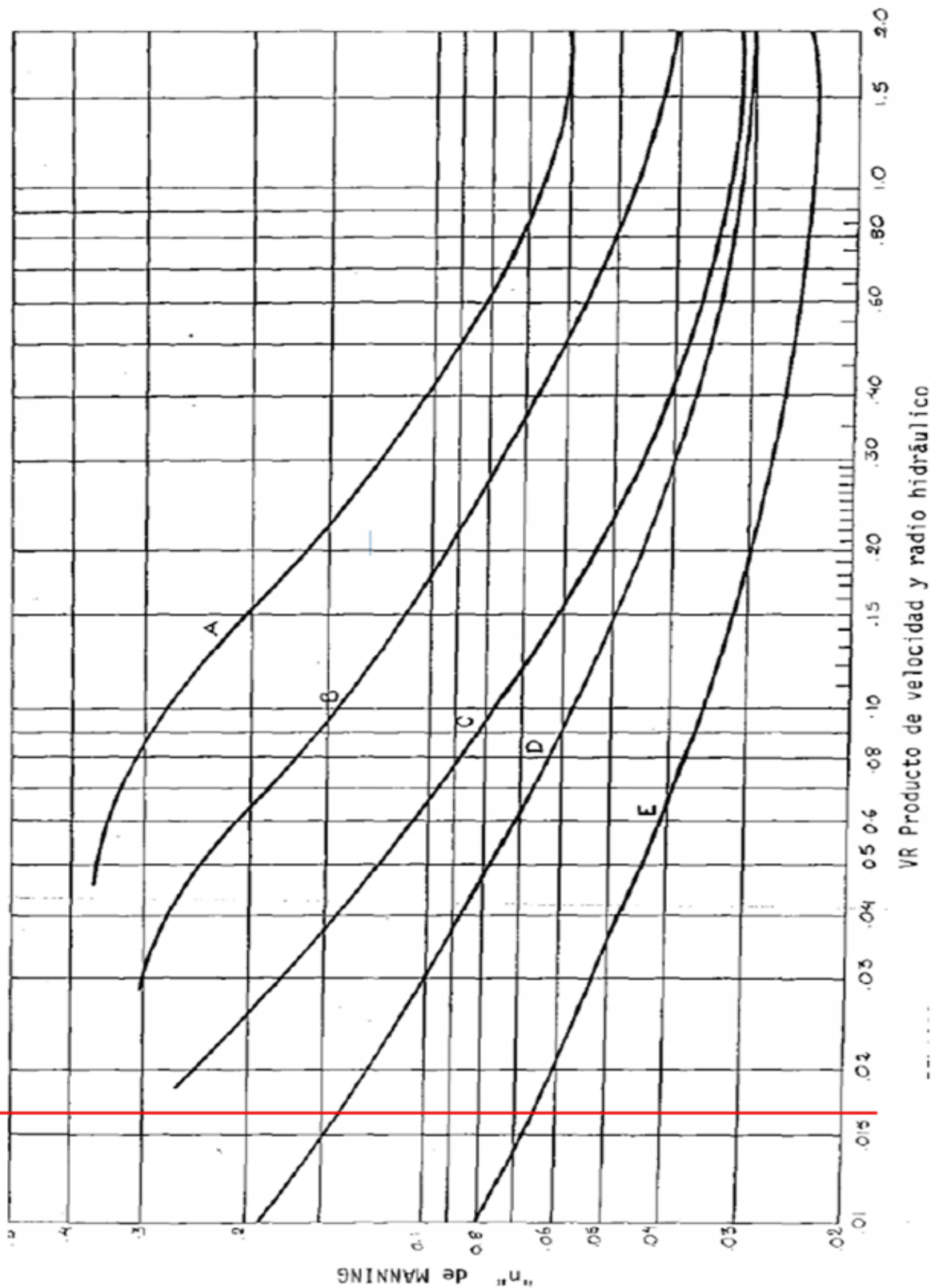


Figura 11: Coeficiente de rugosidad para la segunda iteración dando valor no encontrado

**CC BY-NC-ND 4.0**

Como se puede apreciar en la figura anterior, no hay valores de rugosidad en condición B para un producto de la velocidad y radio hidráulico igual a 0,016, por lo que se determina como rugosidad final en valor de **n = 0,29**.

El canal queda definido de la siguiente manera:

$$y = 0,520805 \text{ m}$$

$$Ac1 = 1,417413$$

$$P = 6,208492$$

$$R = 0,228302$$

$$T = 4,082372$$

Área de corte 2:

$$Ac2 = \frac{T^2 St}{200}$$

$$Ac2 = \frac{4,082372^2 * 30}{200}$$

$$Ac2 = 2,499864 \text{ m}^2$$

Calculado el área de corte total utilizando la ecuación:

$$Act = Ac1 + Ac2$$

$$Act = 1,417413 + 2,499864$$

$$Act = 3,917277 \text{ m}^2$$

Donde

Act = área de corte total m<sup>2</sup>

Para calcular el volumen de corte total por cada metro lineal del canal se multiplica por 1,0 m de distancia

$$Vct \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \right) = 3,917277$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Diseño de canal parabólico con $a = 0,25 = \frac{1}{4}$

La función matemática que representa el canal  $y = 0,25 * x^2 = \frac{x^2}{4}$  y el canal se representa en la figura 12.

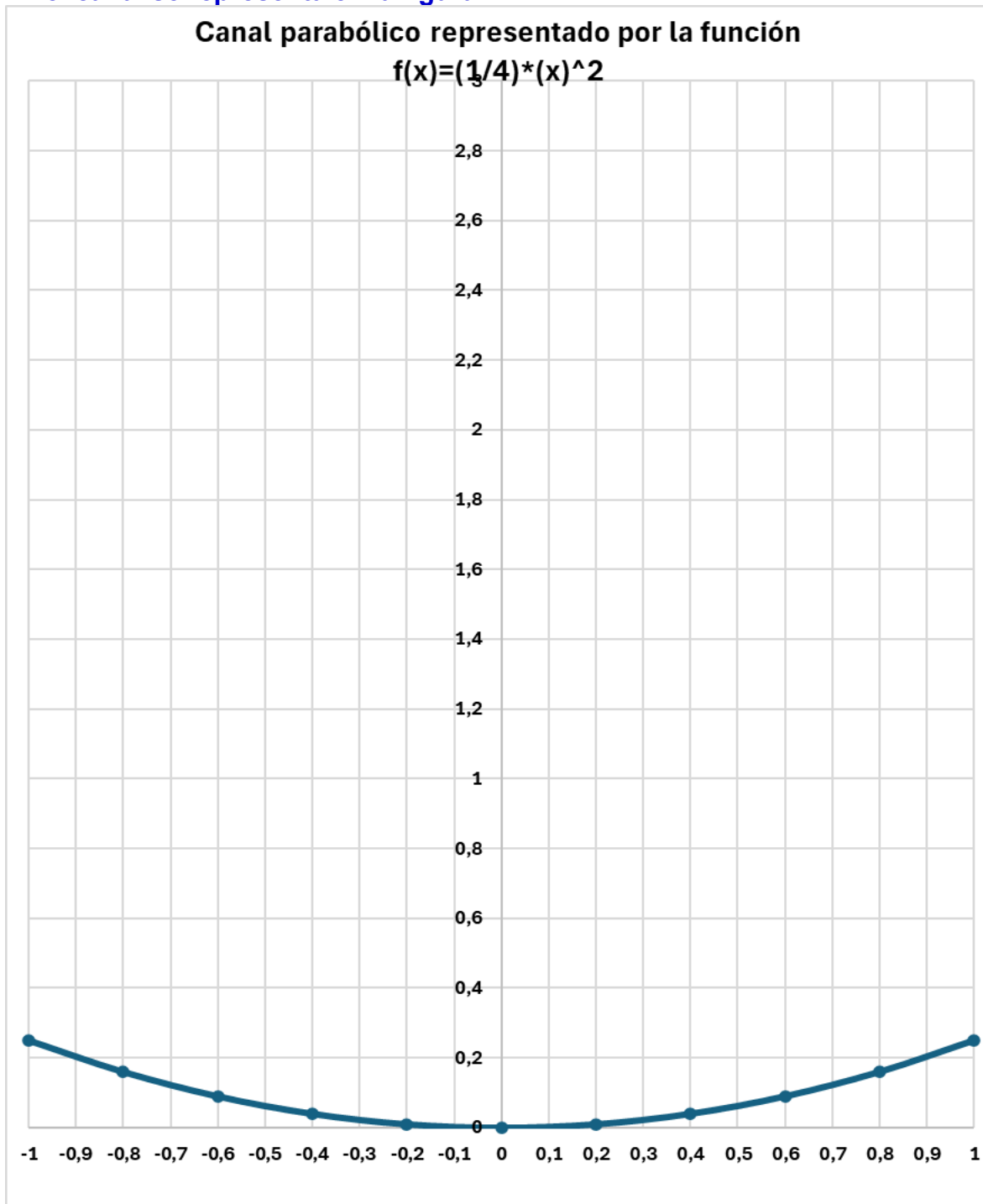


Figura 12: Canal parabólico para la ecuación  $y = 0,25 * x^2 = \frac{x^2}{4}$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Calculando “f”

$$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$$

$$f = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{4}}}$$

$$f = \frac{2}{\frac{\sqrt{1}}{\sqrt{4}}}$$

$$f = \frac{2 * \sqrt{4}}{\sqrt{1}}$$

$$f = 4$$

Estimación de la relación matemática entre “T” y “y”

$$T = f * \sqrt{y}$$

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

Para el cálculo de las áreas y volúmenes de corte primeramente se expresará en términos del espejo de agua “T” y el tirante “y” para luego calcular dichas áreas según la función matemática específica que representa el canal conductor de la acequia de ladera expresando las Ecuaciones de las variables hidráulicas de **Ac1**, **Ac2**, **P** y **R** en función de “y”

El cálculo del área hidráulica que es la misma que el área de corte 1 “Ac1”:

$$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$$

$$Ac1 = \frac{2 * 4 * y^{\frac{1}{2}} * y}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8 * y^{\frac{1}{2}} * y}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8}{3} * y^{\frac{3}{2}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Cálculo del área de corte 2 "Ac2":

$$A_{c2} = \frac{T^2 * S_t}{200}$$

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

$$A_{c2} = \frac{T^2 * S_t}{200}$$

$$A_{c2} = \frac{(4 * y^{\frac{1}{2}})^2 * S_t}{200}$$

$$A_{c2} = \frac{(4)^2 * (y^{\frac{1}{2}})^2 * S_t}{200}$$

$$A_{c2} = \frac{16 * y * S_t}{200}$$

$$A_{c2} = \frac{2 * y * S_t}{25}$$

Calculando el área de corte total

$$A_{ct} = A_{c1} + A_{c2}$$

$$A_{ct} = \frac{2T*y}{3} + \frac{T^2*S_t}{200}$$

$$A_{ct} = T\left(\frac{2*y}{3} + \frac{T*S_t}{200}\right)$$

$$A_{ct} = \frac{8}{3} * y^{\frac{3}{2}} + \frac{2*y*S_t}{25}$$

Para calcular el volumen de corte total por cada metro lineal del canal:

$$V_{cT} = T\left(\frac{2 * y}{3} + \frac{T * S_t}{200}\right) (m^2) * 1 \frac{m}{m}$$

$$V_{cT} \left(\frac{m^3}{m}\right) = \frac{2T*y}{3} + \frac{T^2*S_t}{200}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = T \left( \frac{2*y}{3} + \frac{T*S_t}{200} \right)$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{8}{3} * y^{\frac{3}{2}} + \frac{2*y*S_t}{25}$$

Definición de “y” en términos de “T”:

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{T}{4} = \sqrt{y}$$

$$\left( \frac{T}{4} \right)^2 = y$$

$$\frac{(T)^2}{(4)^2} = y$$

$$\frac{T^2}{16} = y \quad \bullet \quad y = 0,0625 * T^2$$

Variables hidráulicas del perímetro mojado “P”, radio hidráulico “R” y el tirante hidráulico “y”:

$$0 < G \leq 1:$$

Combinando las siguientes ecuaciones:

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

$$P = \frac{3T^2 + 8y^2}{3T}$$

$$P = \frac{3T^2 + 8y^2}{3T}$$

$$P = \frac{3(4 * y^{\frac{1}{2}})^2 + 8y^2}{3 * 4 * y^{\frac{1}{2}}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$P = \frac{3(4)^2 * (y^{\frac{1}{2}})^2 + 8y^2}{3 * 4 * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{3 * 16 * y + 8y^2}{3 * 4 * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{48 * y + 8y^2}{12 * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{8y(6 + y)}{12 * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{2}{3} * \frac{y}{y^{\frac{1}{2}}} * (6 + y)$$

$$P = \frac{2}{3} y^{\frac{1}{2}} (6 + y)$$

$$P = \frac{2}{3} y^{\frac{1}{2}} (6 + y)$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{\frac{8}{3} * y^{\frac{3}{2}}}{\frac{2}{3} y^{\frac{1}{2}} (6 + y)}$$

$$R = \frac{\frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3} * 3}{2 * y^{\frac{1}{2}} (6 + y)}$$

$$R = \frac{8 * y^{\frac{3}{2}} * 3}{3 * 2 * y^{\frac{1}{2}} (6 + y)}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{2 * y^{\frac{1}{2}}(6 + y)}$$

$$R = \frac{4y}{(6 + y)}$$

$$R = \frac{4y}{6 + y}$$

Para el tirante:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s) máximo en la acequia de ladera

A: área (m<sup>2</sup>)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = A * R^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = A * \frac{A^{\frac{2}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\left(\frac{8}{3}y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(\frac{2}{3}y^{\frac{1}{2}}(6 + y)\right)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\left(\frac{8}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} * y^{\frac{1}{3}} * (6 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{\left(\frac{8}{3}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{2}{3}}} * \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(6 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{13}{3}}}{\sqrt[3]{\frac{4}{9}}} * \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(6 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{\sqrt[3]{\frac{4}{9}}}{2^{\frac{13}{3}}} * \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(6 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{\sqrt[3]{\frac{4}{9}} * Q * n}{2^{\frac{13}{3}} * S^{\frac{1}{2}}} = \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(6 + y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{y^{\frac{13}{6}}}{(6 + y)^{\frac{2}{3}}} = \frac{\sqrt[3]{\frac{4}{9}} * Q * n}{2^{\frac{13}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}$$

Se define “m” como una constante

$$m = \frac{\sqrt[3]{\frac{4}{9}} * Q * n}{2^{\frac{13}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}$$

Entonces

$$\frac{y^{\frac{13}{6}}}{(6 + y)^{\frac{2}{3}}} = m$$

$$y^{\frac{13}{6}} = m * (6 + y)^{\frac{2}{3}}$$

$$(y^{\frac{13}{6}})^3 = (m * (6 + y)^{\frac{2}{3}})^3$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y^{\frac{13}{2}} = m^3 * (6 + y)^2$$

$$y^{\frac{13}{4}} - m^3(6 + y) = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - \left( \frac{\sqrt[3]{\frac{4}{9}} * Q * n}{2^{\frac{13}{3}} * S^{\frac{1}{2}}} \right)^3 (6 + y) = 0$$

Para resolver esta ecuación se puede realizar por el método del tanteo o por el método gráfico o cualquier otro método

**Ejemplo de cálculo con los mismos datos**

**Q= 0,1 m<sup>3</sup>/s**

**S = 0,003 m/m**

**n = 0,033**

$$y^{\frac{13}{4}} - \left( \frac{\sqrt[3]{\frac{4}{9}} * 0,1 * 0,033}{2^{\frac{13}{3}} * 0,003^{\frac{1}{2}}} \right)^3 (6 + y) = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - (1,86 \times 10^{-6})(6 + y) = 0$$

$$\mathbf{y = 0,23061m}$$

Comprobando el valor encontrado mediante el cálculo del caudal por medio del valor de “y”  
Cálculo de “T” “Área”

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 4 * 0,23061^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{T = 1,9214m}$$

$$Ac1 = \frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8 * 0,23061^{\frac{3}{2}}}{3}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Ac1 = 0.2957$$

$$P = \frac{2}{3} y^{\frac{1}{2}} (6 + y)$$

$$P = \frac{2}{3} 0,23061^{\frac{1}{2}} (6 + 0,23061)$$

$$P = 1,9951m$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0,2957}{1,9951}$$

$$R = 0,1482$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,1482^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,28239$$

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q = \frac{0,2957 * 0,28239 * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,033}$$

$$Q = 0,1385 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 0,1 \frac{m^3}{s}$$

Estimación de **G**:

$$G = \frac{4y}{T}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

$$G = \frac{4y}{4 * y^{\frac{1}{2}}}$$

$$G = y^{\frac{1}{2}}$$

**G > 1:**

Se debe de cumplir para este caso "a" que:

$$G \leq 1$$

$$\frac{4y}{T} \leq 1$$

$$\frac{4y}{4 * y^{\frac{1}{2}}} \leq 1$$

$$y^{\frac{1}{2}} \leq 1$$

**Se cumple que G > 1 siempre y cuando y ≤ 1**

El "y" calculado debe de ser menor a 0,5 m para poder usar el caso **0 < G ≤ 1**

Cálculo del perímetro mojado

Combinando las siguientes ecuaciones:

$$P = \frac{T}{2} \left[ (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{G} \ln(G + 1 \left( 1 + G^2 \right)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

$$G = y^{\frac{1}{2}}$$

$$P = \frac{T}{2} \left[ (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{G} \ln(G + 1 \left( 1 + G^2 \right)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$P = \frac{4 * y^{\frac{1}{2}}}{2} \left[ (1 + (y^{\frac{1}{2}})^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + 1 (1 + (y^{\frac{1}{2}})^2)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$P = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + (y^{\frac{1}{2}})^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + 1 (1 + (y^{\frac{1}{2}})^2)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$P = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$P = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

**Cálculo del radio hidráulico**

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{\frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3}}{2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]}$$

$$R = \frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3 * \left( 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)}$$

Cálculo de “y”:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s) máximo en la acequia de ladera

A: área (m<sup>2</sup>)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal    adchavarría@itcr.ac.cr    chavarriavae@gmail.com

$$\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{\left(\frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{\left(\frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

$$\frac{8^{5/3} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

**Ejemplo:** Se toma el mismo ejemplo del caso parabólico 1 para dar la solución calculando “y”

**Q = 0,1 m<sup>2</sup>/s**

**S = 0,003**

**n = 0,033**

$$\frac{8^{5/3} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{0,1 * 0,033}{\sqrt{0,003}} = 0,060249$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} = 0,060249$$

$$\frac{8^{5/3} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left( 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

$$\frac{8^{5/3} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left( 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}}} - 0,060249 = 0$$

$$y = 0,199640m$$

$$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 4 * 0,199640^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 1,787244$$

$$Ac1 = \frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = \frac{8 * 0,199640^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = 0,237870$$

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 2 * 0,199640^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 0,199640)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{0,199640^{\frac{1}{2}}} \ln(0,199640^{\frac{1}{2}} + (1 + 0,199640)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$\mathbf{Pm = 1,8467488}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0,237870}{1,8467488}$$

$$\mathbf{R = 0,128805}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0,128805)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mathbf{R^{\frac{2}{3}} = 0,255048}$$

Cálculo del caudal utilizando Manning para comprobar que los valores son correctos.

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * s^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q = \frac{0,237870 * 0,255048 * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,033}$$

$$\mathbf{Q = 0,1005379 \frac{m^3}{s}}$$

Redondeando

$$\mathbf{Q = 0,1 \frac{m^3}{s}}$$

Se puede observar que en las dos metodologías se obtuvieron valores del tirante “y” menores a 0,5 m y también en las dos metodologías se obtuvieron caudales muy semejantes o casi iguales entre ellos juntamente con el caudal de diseño.

Calculando el área de corte 2 “Ac2” con los valores encontrados de la metodología del caso “A” donde  $0 < G \leq 1$  porque es ligeramente más exacta

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y = 0,25 * x^2 = \frac{x^2}{4} \text{ donde se observa que } a = 0,25 = \frac{1}{4}$$

$$y = 0,199640\text{m}$$

$$Ac1 = 0,237870\text{m}^2$$

$$T = 1,787244\text{m}$$

$$Pm = 1,8467488\text{m}$$

$$R = 0,128805\text{m}$$

$$St = 30$$

$$A_{c2} = \frac{T^2 * S_t}{200}$$

$$A_{c2} = \frac{1,787244^2 * 30}{200}$$

$$A_{c2} = 0,479136 \text{ m}^2$$

Calculado el área de corte total utilizando la Ecuación1:

$$A_{ct} = A_{c1} + A_{c2}$$

$$A_{ct} = 0,237870 + 0,479136$$

$$A_{ct} = 0,717006 \text{ m}^2$$

Donde

Act = área de corte total  $\text{m}^2$

Para calcular el volumen de corte total por cada metro lineal del canal se multiplica por 1,0 m de distancia

$$V_{cT} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \right) = 0,717006$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

**Cuadro 3: Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas de los canales parabólico para una función definida como  $f(x) = y = 0,25 * x^2$**

Valor de "a"		$0,25 = \frac{1}{4}$
$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$		$f = 4$
$T = f * \sqrt{y}$		$T = 4 * y^{\frac{1}{2}}$
Área hidráulica o Ac1	$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$	$Ac1 = \frac{8}{3} * y^{\frac{3}{2}}$
Valor de G	$G = \frac{4y}{T}$	$G = y^{\frac{1}{2}}$
Perímetro mojado: condición $0 < G \leq 1$	$Pm = T + \frac{8y^2}{3T}$	$P = \frac{2}{3} y^{\frac{1}{2}} (6 + y)$
Radio hidráulico: condición $0 < G \leq 1$	$R = \frac{2 * T^2 * y}{3 * T^2 + 8 * y^2}$	$R = \frac{4y}{6 + y}$
Perímetro mojado: condición $G > 1$	$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln\left(\frac{4y}{T} + \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]$	$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$
Radio hidráulico para la condición $G > 1$	$R = \frac{\frac{2T * y}{3}}{\frac{T}{2} \left[ \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln\left(\frac{4y}{T} + \left(1 + \left(\frac{4y}{T}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \right]}$	$R = \frac{8 * y^{\frac{3}{2}}}{3 * \left( 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)}$
Tirante "y" hidráulico: condición $0 < G \leq 1$	$\left( \frac{S^{\frac{1}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * Q * n} \right)^{\frac{3}{2}} * 8^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - y - 2 = 0$	
Tirante "y" hidráulico: condición $G > 1$	$\frac{8^{5/3} * y^{5/2}}{3^{\frac{5}{3}} * \left( 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$	

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Ejemplo de cálculo de la rugosidad para un canal empastado con las condiciones antes vistas

Para el diseño de este canal se van a utilizar los siguientes datos

$Q=0,5\text{m}^3/\text{s}$

$n=0,033$

$s=0,003$

Para la realización del diseño del canal vamos a utilizar la ecuación de Manning

Para el tirante:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) máximo en la acequia de ladera

A: área ( $\text{m}^2$ )

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

$$A = \frac{2T * y}{3}$$

$$A = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

Como primer paso se utiliza la fórmula del perímetro mojado "p" cuando **G>1**

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

Ya teniendo la fórmula de área y perímetro sustituimos en Manning para la obtención del y

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * \sqrt{S}}{P^{\frac{2}{3}} * n}$$

$$0.5 = \frac{\left( \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3} \right)^{\frac{5}{3}} * \sqrt{0.003}}{\left( 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}} * 0,033}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y = 0,62188 \text{ m}$$

Encontrando y procedemos a calcular área, velocidad, el perímetro y radio hidráulico

$$A = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = \frac{4 * 0,62188^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = 0,6535 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,5}{0,6535}$$

$$V = 0,7652 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del perímetro utilizando la condición de **G>1**

Sustituyendo el valor de y en la ecuación 2.

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 2 * 0,62188^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 0,62188)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{0,62188^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(0,62188^{\frac{1}{2}} + (1 + 0,62188)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 3,46 \text{ m}$$

Determinar el radio hidráulico para poder determinar luego el flujo

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0,6535 \text{ m}^2}{3,46 \text{ m}}$$

$$R = 0,189 \text{ m}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Calculamos  $V \cdot R$  para ir al grafico

$$V * R = \text{Velocidad} * \text{Radio}$$

$$V * R = 0,7652 \frac{m}{s} * 0,189 m$$

$$\mathbf{V * R = 0,1446}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

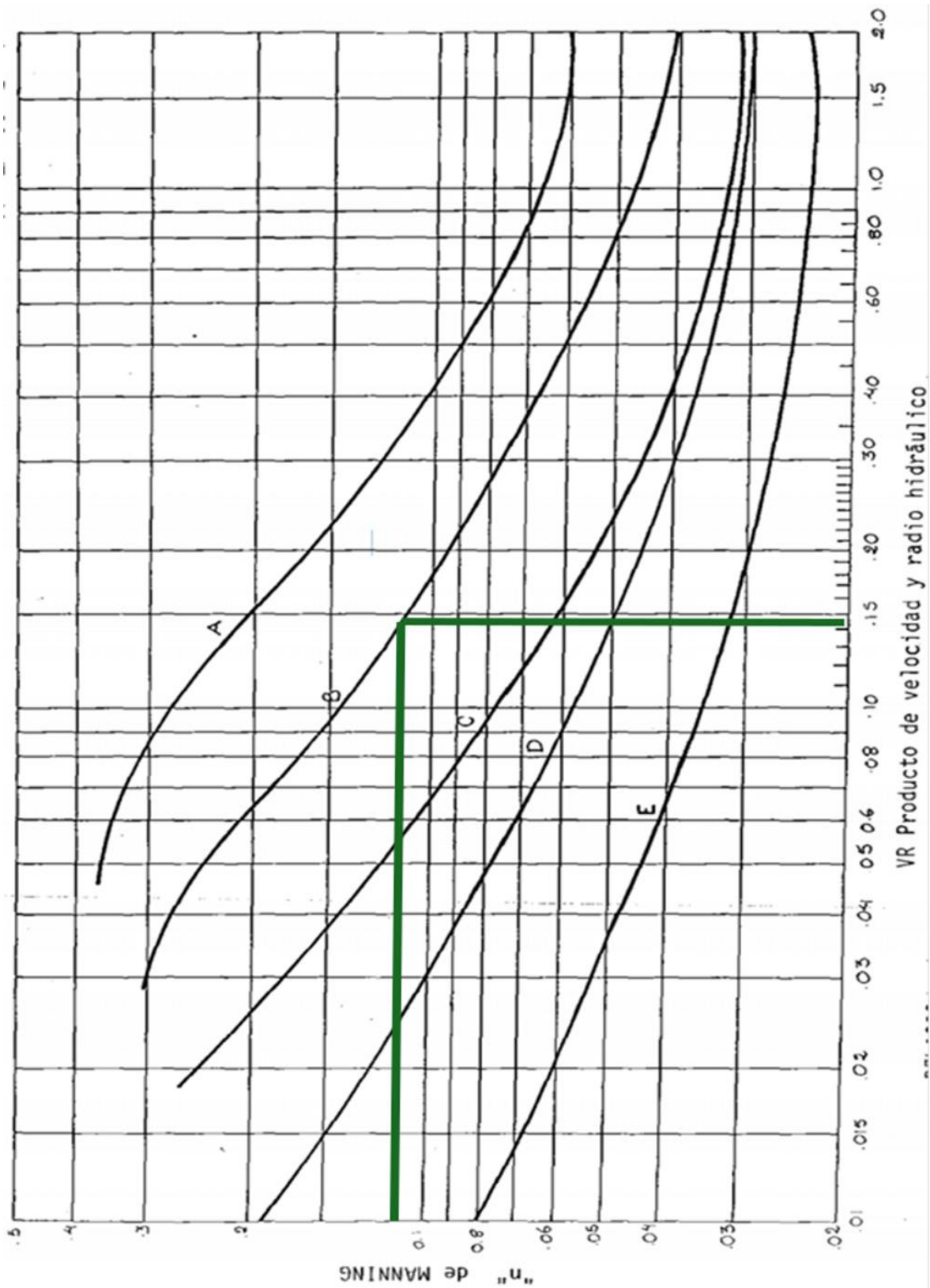


Figura 13: Coeficiente de rugosidad para la primera iteración dando valor  $n=0,125$

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Ya teniendo la fórmula de área y perímetro sustituimos en Manning para la obtención del y

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * \sqrt{S}}{P^{\frac{2}{3}} * n}$$

$$0.5 = \frac{\left(\frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * \sqrt{0,003}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}} * 0,125}$$

$$y = 1,3791 \text{ m}$$

Encontrando y procedemos a calcular área, velocidad, el perímetro y radio hidráulico

$$A = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = \frac{4 * 1,3791^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = 2,16 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,5}{2,16}$$

$$V = 0,2315 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del perímetro utilizando la condición de **G>1**:

Sustituyendo el valor de y en la ecuación 2.

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 2 * 1,3791^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 1,3791)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{1,3791^{\frac{1}{2}}} \ln(1,3791^{\frac{1}{2}} + (1 + 1,3791)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 5,618 m$$

Determinar el radio hidráulico para poder determinar luego el flujo

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{2,16m^2}{5,618 m}$$

$$R = 0,3846 m$$

Calculamos V\*R para ir al grafico

$$V * R = \text{Velocidad} * \text{Radio}$$

$$V * R = 0,2315 \frac{m}{s} * 0,3846 m$$

$$V * R = 0,089$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

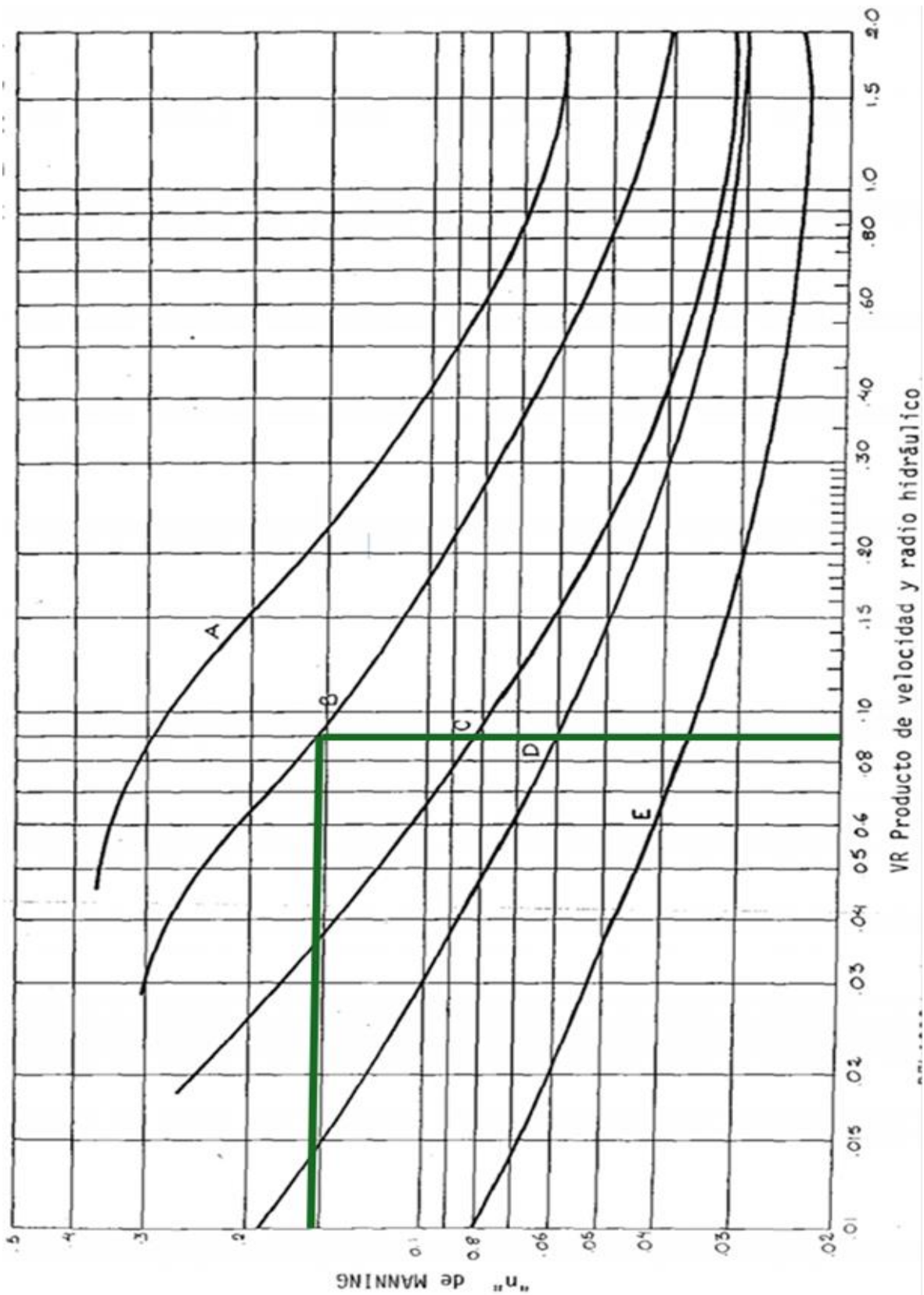


Figura 14: Coeficiente de rugosidad para la segunda iteración dando valor  $n=0,15$

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Ya teniendo la fórmula de área y perímetro sustituimos en Manning para la obtención del y

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * \sqrt{S}}{P^{\frac{2}{3}} * n}$$

$$0,5 = \frac{\left(\frac{4 * y^2}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * \sqrt{0,003}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}} * 0,15}$$

$$y = 4,899 \text{ m}$$

Encontrando y procedemos a calcular área, velocidad, el perímetro y radio hidráulico

$$A = \frac{4 * y^2}{3}$$

$$A = \frac{4 * 4,899^2}{3}$$

$$A = 14,455 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,5}{14,455}$$

$$V = 0,0346 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del perímetro utilizando la condición de **G>1**

Sustituyendo el valor de “y”

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 2 * 4,899^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 4,899)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{4,899^{\frac{1}{2}}} \ln(4,899^{\frac{1}{2}} + (1 + 4,899)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 13,81 \text{ m}$$

Determinar el radio hidráulico para poder determinar luego el flujo

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{14,455 \text{ m}^2}{13,81 \text{ m}}$$

$$R = 1,046 \text{ m}$$

Calculamos  $V * R$  para ir al grafico

$$V * R = \text{Velocidad} * \text{Radio}$$

$$V * R = 0,0346 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1,046 \text{ m}$$

$$V * R = 0,0362$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

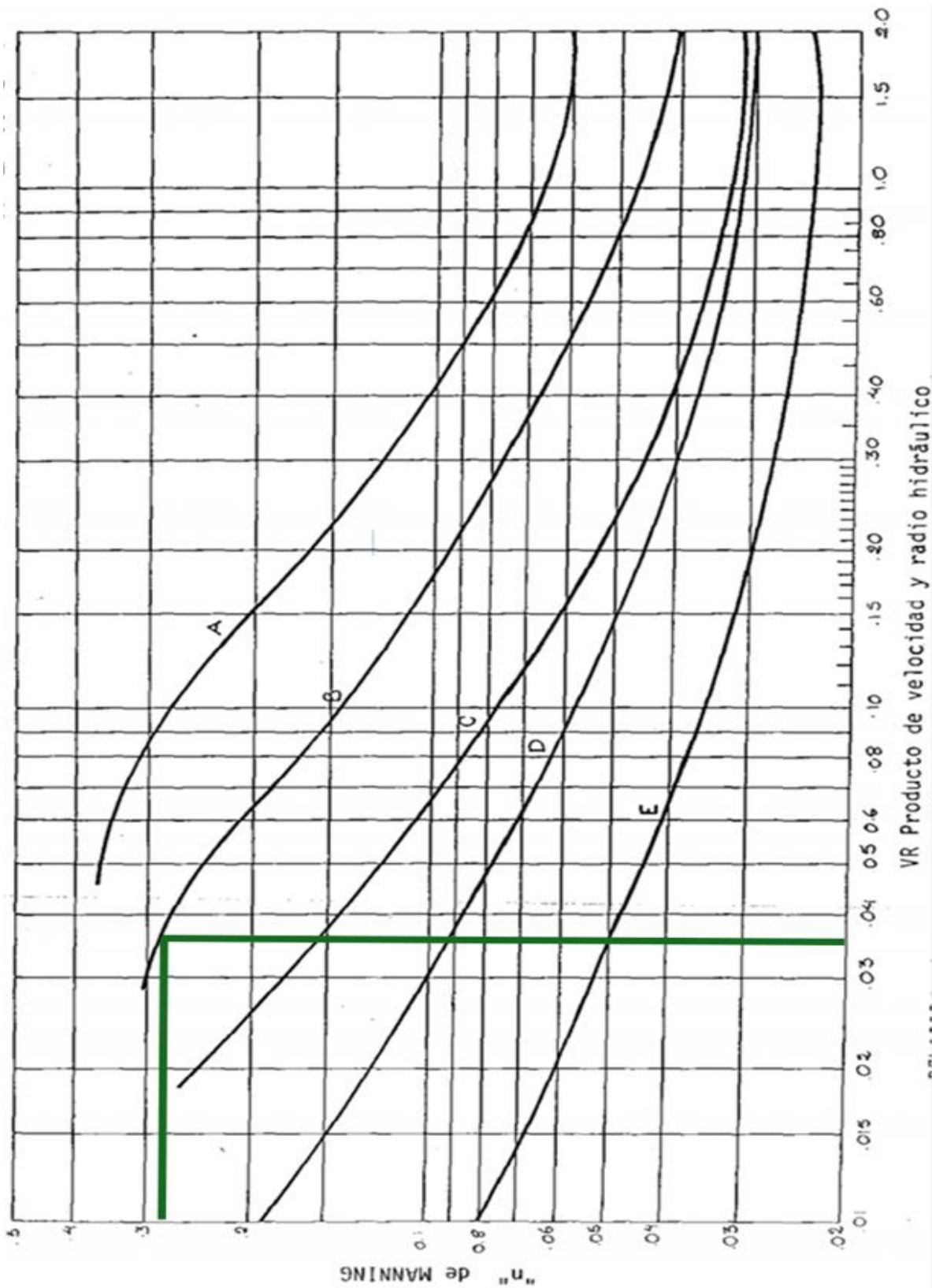


Figura 15: Coeficiente de rugosidad para la tercera iteración dando valor  $n=0,295$

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Ya teniendo la fórmula de área y perímetro sustituimos en Manning para la obtención del  $y$

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * \sqrt{S}}{P^{\frac{2}{3}} * n}$$

$$0,5 = \frac{\left(\frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * \sqrt{0,003}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}} * 0,295}$$

$$y = 1,794 \text{ m}$$

Encontrando  $y$  procedemos a calcular área, velocidad, el perímetro y radio hidráulico

$$A = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = \frac{4 * 1,794^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = 3,204 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,5}{3,204}$$

$$V = 0,156 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del perímetro utilizando la condición de  $G > 1$

Sustituyendo el valor de “ $y$ ”

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 2 * 1,794^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 1,794)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{1,794^{\frac{1}{2}}} \text{Ln}(1,794^{\frac{1}{2}} + (1 + 1,794)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$\mathbf{Pm = 6,681 m}$$

Determinar el radio hidráulico para poder determinar luego el flujo

$$\mathbf{R = \frac{A}{P}}$$

$$R = \frac{3,204m^2}{6,681 m}$$

$$\mathbf{R = 0,480 m}$$

Calculamos V\*R para ir al grafico

$$V * R = \text{Velocidad} * \text{Radio}$$

$$V * R = 0,156 \frac{m}{s} * 0,480 m$$

$$\mathbf{V * R = 0,075}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

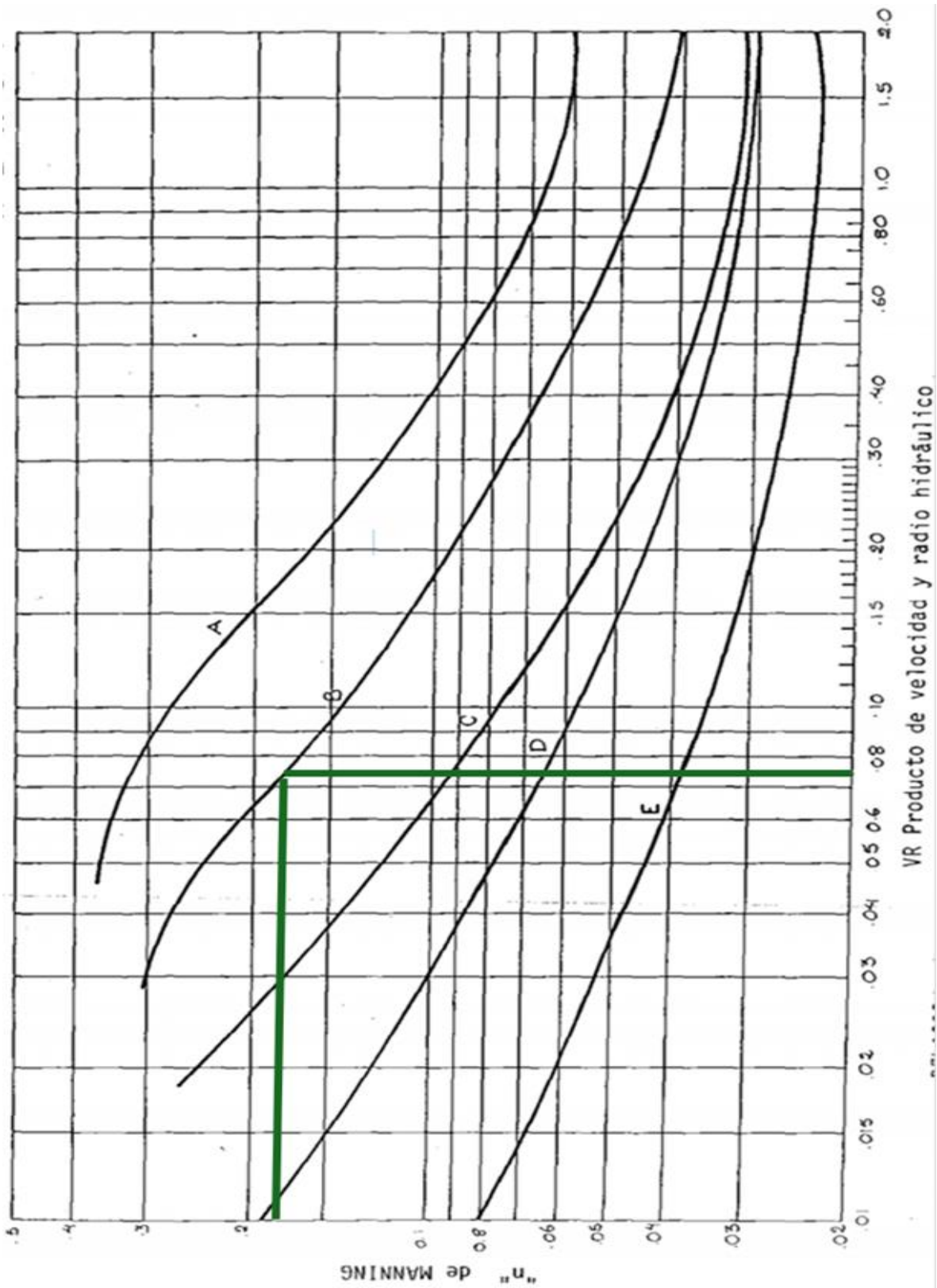


Figura 16: Coeficiente de rugosidad para la cuarta iteración dando valor  $n=0,19$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Ya teniendo la fórmula de área y perímetro sustituimos en Manning para la obtención del tirante “y”

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * \sqrt{S}}{P^{\frac{2}{3}} * n}$$

$$0,5 = \frac{\left(\frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * \sqrt{0,003}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}} * 0,19}$$

$$y = 2,790 \text{ m}$$

Encontrando y procedemos a calcular área, velocidad, el perímetro y radio hidráulico

$$A = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = \frac{4 * 2,790^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = 6,211 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,5}{6,211}$$

$$V = 0,0805 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del perímetro utilizando la condición de **G>1**

Sustituyendo el valor de y en la ecuación 2.

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 2 * 2,790^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 2,790)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2,790^{\frac{1}{2}}} \ln(2,790^{\frac{1}{2}} + (1 + 2,790)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$\mathbf{Pm = 9,063 m}$$

Determinar el radio hidráulico para poder determinar luego el flujo

$$\mathbf{R = \frac{A}{P}}$$

$$R = \frac{6,211m^2}{9,063 m}$$

$$\mathbf{R = 0,686 m}$$

Calculamos V\*R para ir al grafico

$$V * R = \text{Velocidad} * \text{Radio}$$

$$V * R = 0,0805 \frac{m}{s} * 0,686 m$$

$$\mathbf{V * R = 0,055}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

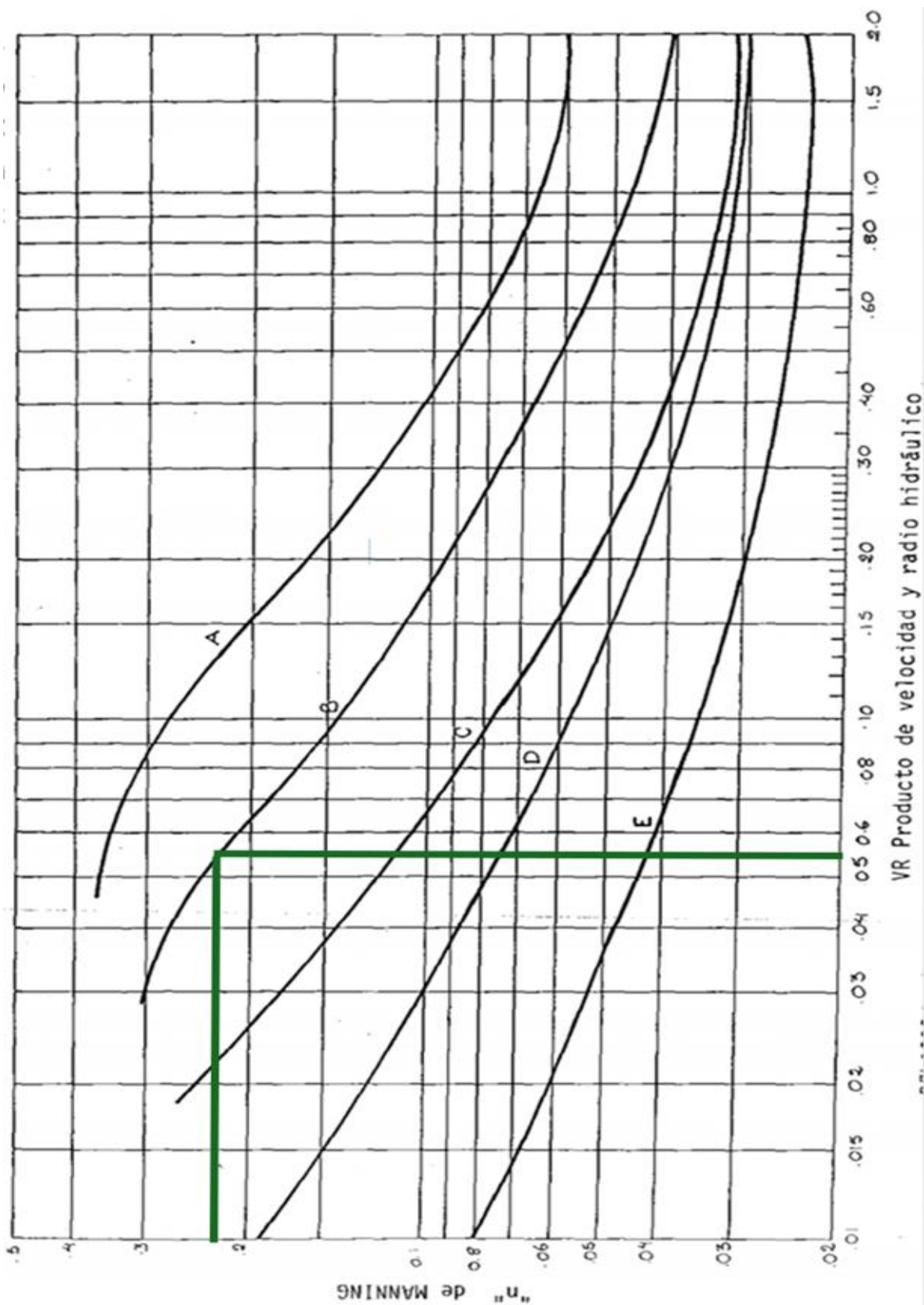


Figura 17: Coeficiente de rugosidad para la quinta iteración dando valor  $n=0,22$

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Ya teniendo la fórmula de área y perímetro sustituimos en Manning para la obtención del  $y$

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * \sqrt{S}}{P^{\frac{2}{3}} * n}$$

$$0,5 = \frac{\left(\frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * \sqrt{0,003}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}} * 0,22}$$

$$y = 3,124 \text{ m}$$

Encontrando  $y$  procedemos a calcular área, velocidad, el perímetro y radio hidráulico

$$A = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = \frac{4 * 3,124^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = 7,368 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,5}{7,368}$$

$$V = 0,0679 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del perímetro utilizando la condición de  $G > 1$

Sustituyendo el valor de “ $y$ ”

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 2 * 3,124^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 3,124)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{3,124^{\frac{1}{2}}} \ln(3,124^{\frac{1}{2}} + (1 + 3,124)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$\mathbf{Pm = 9,844 m}$$

Determinar el radio hidráulico para poder determinar luego el flujo

$$\mathbf{R = \frac{A}{P}}$$

$$R = \frac{7,368m^2}{9,844 m}$$

$$\mathbf{R = 0,749 m}$$

Calculamos V\*R para ir al grafico

$$V * R = \text{Velocidad} * \text{Radio}$$

$$V * R = 0,0679 \frac{m}{s} * 0,749 m$$

$$\mathbf{VR = 0,0509}$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

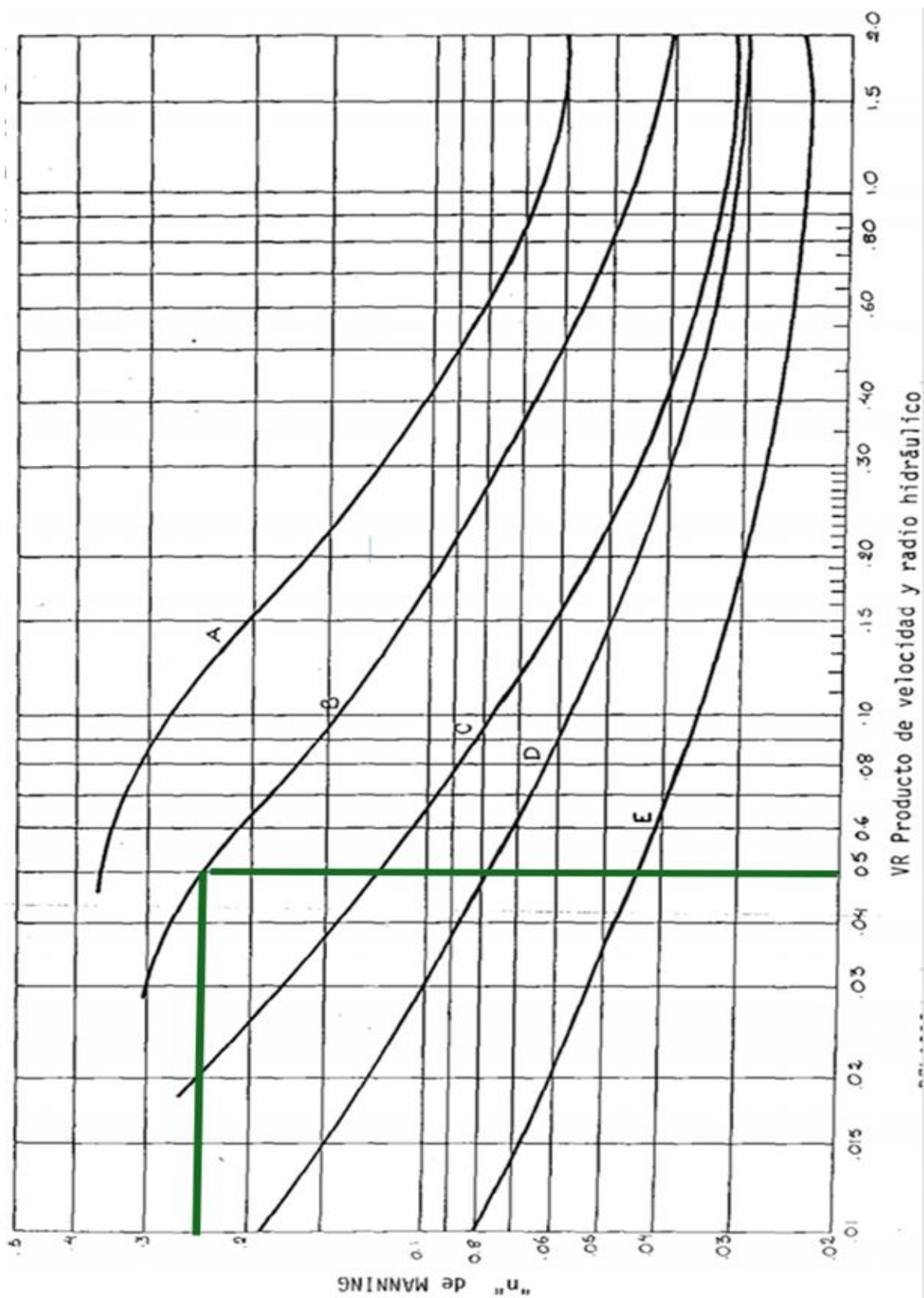


Figura 18: Coeficiente de rugosidad para la sexta iteración dando valor  $n=0,23$

**CC BY-NC-ND 4.0**

Ya teniendo la fórmula de área y perímetro sustituimos en Manning para la obtención del  $y$

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * \sqrt{S}}{P^{\frac{2}{3}} * n}$$

$$0,5 = \frac{\left(\frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} * \sqrt{0,003}}{\left(2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right] \right)^{\frac{2}{3}} * 0,23}$$

$$y = 3,370 \text{ m}$$

Encontrando  $y$  procedemos a calcular área, velocidad, el perímetro y radio hidráulico

$$A = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = \frac{4 * 3,370^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$A = 8,24 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,5}{8,24}$$

$$V = 0,0607 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo del perímetro utilizando la condición de  $G > 1$

Sustituyendo el valor de “ $y$ ”

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Pm = 2 * y^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + y)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} \ln(y^{\frac{1}{2}} + (1 + y)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 2 * 3,370^{\frac{1}{2}} \left[ (1 + 3,370)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{3,370^{\frac{1}{2}}} \ln(3,370^{\frac{1}{2}} + (1 + 3,370)^{\frac{1}{2}}) \right]$$

$$Pm = 10,41m$$

Determinar el radio hidráulico para poder determinar luego el flujo

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{8,24m^2}{10,41 m}$$

$$R = 0,792 m$$

Calculamos V\*R para ir al grafico

$$V * R = \text{Velocidad} * \text{Radio}$$

$$V * R = 0,0607 \frac{m}{s} * 0,792 m$$

$$V * R = 0,048$$

**CC BY-NC-ND 4.0**

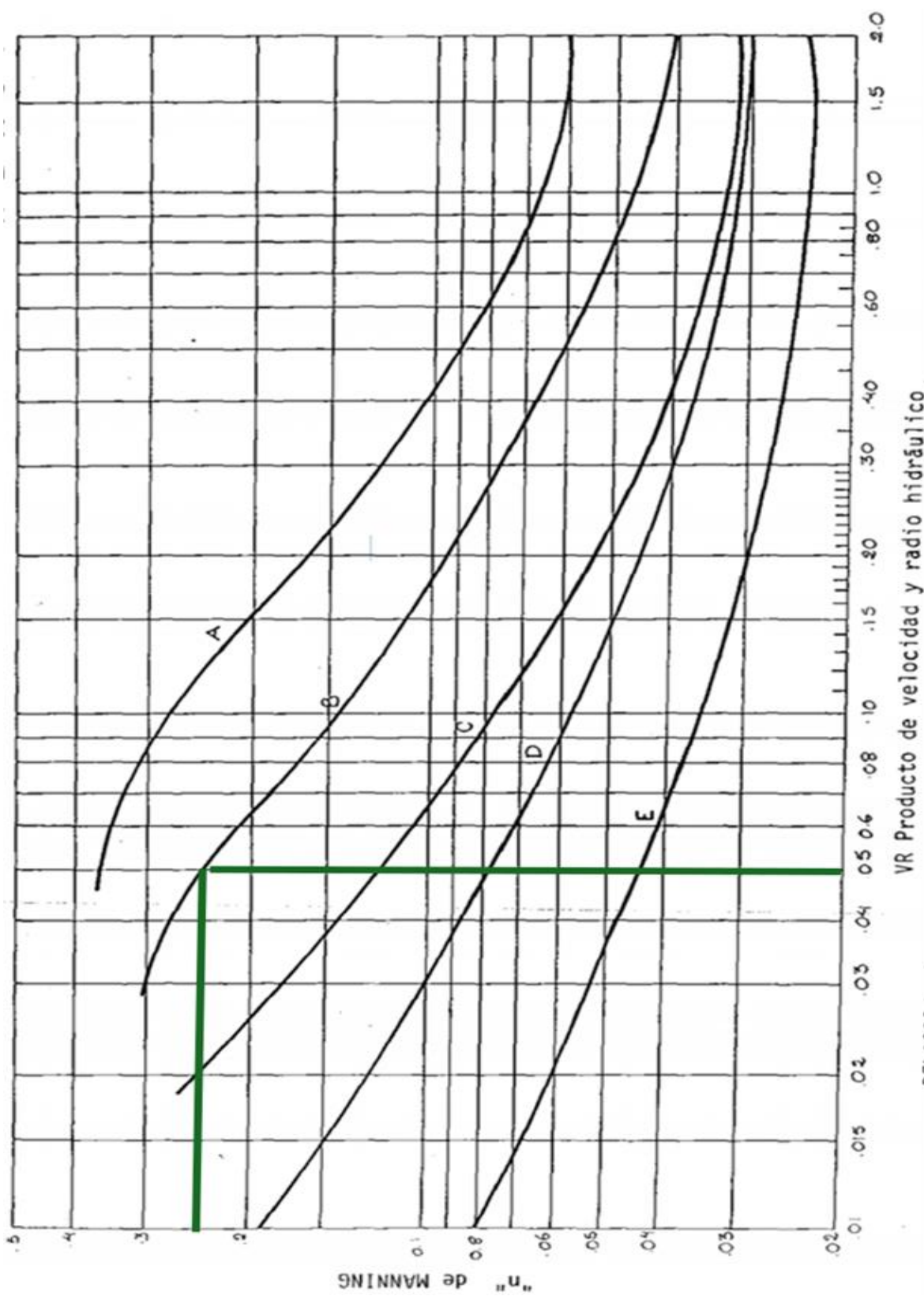


Figura 19: Coeficiente de rugosidad para la séptima iteración dando valor  $n=0,23$

[CC BY-NC-ND 4.0](#)

Se observa que se llegó al mismo coeficiente de rugosidad “n” por lo cual el tirante hidráulico ya es el correcto ajustado

**CC BY-NC-ND 4.0**