

# Fundamentos de Conservación de suelos y aguas III

## Diseño de ingeniería en el cálculo de movimiento de tierras y variables hidráulicas en canales parabólicos (no tiene “b” o base)

Escuela Ingeniería Agrícola

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Autor:

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

Esta obra está bajo licencia [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

2025

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

[CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/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 mi amada esposa Kattia Lorena Moreno Valencia**

**A mis amados hijos Jafet y Kemuel Chavarría Moreno**

**A todos aquellos que, en algún momento, en alguna  
medida o en alguna ocasión me han apoyado, ayudado y  
aconsejado**



**CC BY-NC-ND 4.0**

## Índice General

Índice de cuadros .....	5
Índice de figuras .....	6
Capítulo 1: Ecuaciones fundamentales generales tomadas del libro Fundamentos de Conservación de suelos y aguas I (Diseño de ingeniería en el cálculo de movimiento de tierras y variables hidráulicas en canales triangulares y circulares (no tiene “b” o base)).....	7
Capítulo 2: Acequia de ladera Parabólico .....	9
Ecuaciones para calcular los volúmenes de corte de la sección conductora de agua en un canal parabólico juntamente con su perímetro mojado, el área hidráulica y el radio hidráulico las cuales son iguales tanto para la figura 1 como la figura 2. ( $z_3 \neq 0$ ) .....	9
Estimación de la relación matemática entre espejo de agua “T” y el tirante “y” en un canal parabólico .....	16
1- Definición de la familia de parábolas a utilizar en los canales parabólicos. 16	
2- Formas de las funciones que serían lo mismo que las formas de los canales en las secciones conductoras de agua. ....	17
3- Relación de los valores de “y” con los valores de “T” donde “ $T = 2*x$ ” cuadro 2 y figura 5. ....	18



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Caso 1: Ecuaciones para calcular los volúmenes de corte totales en un canal conductor parabólico sin talud en la pared del terreno donde se construye, donde el talud debido a la pendiente del terreno natural es diferente de cero ( $z_3 \neq 0$ ) (Figura 8) .....	26
Caso 2: Ecuaciones para calcular los volúmenes de corte del área de corte 2 “Ac2” en un canal conductor parabólico con talud en la pared del terreno donde se construye, donde el talud debido a la pendiente del terreno natural es diferente de cero ( $z_3 \neq 0$ ) (Figura 10).....	103



**CC BY-NC-ND 4.0**

## Índice de cuadros

Cuadro 1: Valores de “x” y “y” en un eje cartesiano para secciones parabólicas con diferentes coeficientes “a” .....	21
Cuadro 2: Valores de “x” y “y” en un eje cartesiano para secciones parabólicas con diferentes coeficientes “a” .....	23
Cuadro 3: Ecuaciones básicas hidráulicas para los diferentes valores de “a” para los canales parabólicos con “ <b>a=1</b> ” .....	51
Cuadro 3: Continuación de las ecuaciones básicas hidráulicas para los diferentes valores de “a” para los canales parabólicos con “ <b>a=0,5</b> ” .....	76
Cuadro 3: Continuación de las ecuaciones básicas hidráulicas para los diferentes valores de “a” para los canales parabólicos con “ <b>a=2</b> ” .....	101



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Índice de figuras

Figura 1: Acequia de ladera con sección parabólica según caso 1 sin talud en la pared del terreno donde se construye .....	9
Figura 2: Acequia de ladera con sección parabólica según caso 1 con talud en la pared del terreno donde se construye .....	10
Figura 3: Acequia de ladera con sección parabólica .....	12
Figura 4: Formas de parábolas que representan los canales conductores de los canales o las acequias de ladera calculadas en el cuadro 1 .....	22
Figura 5: Relaciones del tirante “y” con respecto a los valores del espejo de agua “T” para diferentes valores de “a” .....	24
Figura 6: Variación del coeficiente “f” en términos del coeficiente “a” de la función parabólica establecida en la Ecuación 10 .....	25
Figura 7: Acequia de ladera parabólica para el caso 1 .....	27
Figura 8: Acequia de ladera parabólica para el caso 1 .....	53
Figura 9: Acequia de ladera parabólica para el caso 1 .....	78
Figura 10: Acequia de los canales parabólicos de los tres ejemplos anteriores con los diferentes valores de “a” .....	102
Figura 11: Acequia de ladera parabólica para el caso 2 .....	103



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Capítulo 1: Ecuaciones fundamentales generales tomadas del libro Fundamentos de Conservación de suelos y aguas I (Diseño de ingeniería en el cálculo de movimiento de tierras y variables hidráulicas en canales triangulares y circulares (no tiene “b” o base))

Ecuaciones generales utilizadas en los libros Fundamentos de Conservación de suelos y aguas tomos I y II para calcular los volúmenes de corte y las variables hidráulicas en y para el diseño y construcción de los canales conductores

Para calcular el área total de corte se utiliza la siguiente Ecuación:

$$Ac_T = Ac_1 + Ac_2 \dots\dots\dots\text{Ecuación 1}$$

Donde

Ac1 = área de corte 1 correspondiente a la sección de área hidráulica de la acequia de ladera (m) (triángulo inferior)

Ac2 = área de corte 2 correspondiente a la sección de área hidráulica de la acequia de ladera (m) (triángulo superior)

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

Para calcular este volumen de corte total  $V_{cT}(\frac{m^3}{m})$  se utiliza solamente la distancia de 1,0 metro lineal (m-l) del canal a construir o en construcción

$$V_{cT}(\frac{m^3}{m}) = Ac_T(m^2) * 1,0 \frac{m-l}{m-l} \dots\dots\dots\text{Ecuación 2}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Ecuaciones para calcular las variables hidráulicas de los canales

Cálculo del radio hidráulico de la sección transversal de conducción de agua en su máxima capacidad

$$R = \frac{A}{P} \text{ .....Ecuación 3}$$

Donde:

A = área hidráulica de la sección transversal conductora de agua (m<sup>2</sup>)

P = perímetro mojado de la sección transversal conductora de agua (m)

Según Manning (French, 2017) el caudal está definido por

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \text{ .....Ecuación 4}$$

donde:

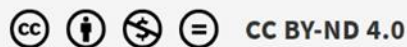
Q: caudal (m<sup>3</sup>/s) máximo en la acequia de ladera o canal

A: área (m<sup>2</sup>)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad (adimensional)



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Capítulo 2: Acequia de ladera Parabólico

Ecuaciones para calcular los volúmenes de corte de la sección conductora de agua en un canal parabólico juntamente con su perímetro mojado, el área y el radio hidráulico los cuales son iguales tanto para la figura 1 como la figura 2 donde  $z_3 \neq 0$

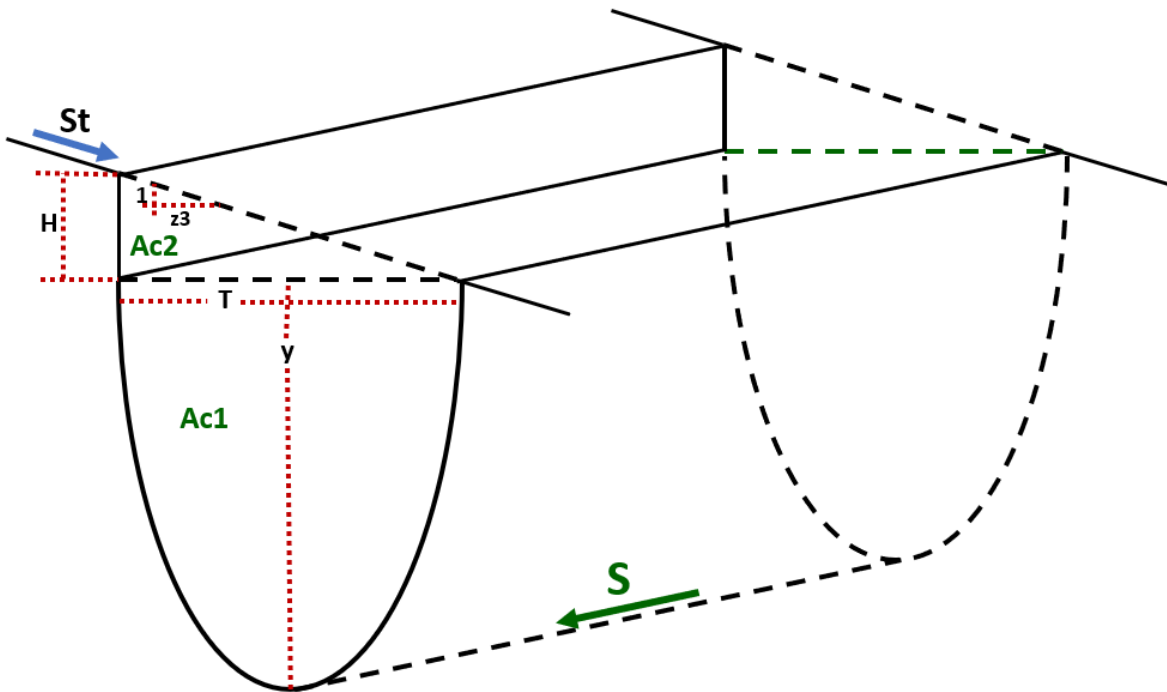


Figura 1: Acequia de ladera con sección parabólica según caso 1 sin talud en la pared del terreno donde se construye

Donde:

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

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

$H$  = altura del triángulo de corte (m)

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$St$  = pendiente del terreno natural (%)

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

$Ac1$  = área de movimiento de suelo correspondiente a la sección hidráulica conductora ( $m^2$ )

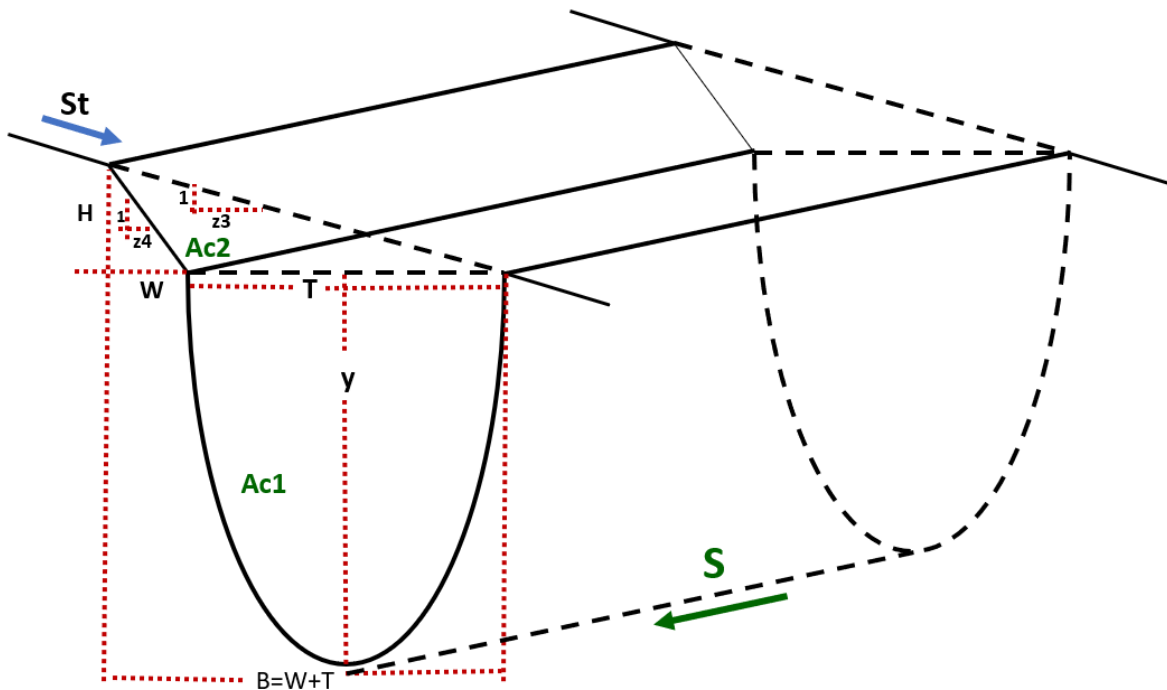


Figura 2: Acequia de ladera con sección parabólica según caso 1 con talud en la pared del terreno donde se construye

Donde:

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

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

$H$  = altura del triángulo de corte (m)

$W$  = distancia horizontal correspondiente a la inclinación debido al  $z4$  (m)

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

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

St = pendiente del terreno natural (%)

z4 = talud en la pared de construcción (adimensional)

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

Ac1 = área de movimiento de suelo correspondiente a la sección hidráulica conductora (m<sup>2</sup>)

### Cálculo del área de corte 1 “Ac1”

Para calcular el área de corte 1 se debe de calcular el área de la sección transversal de la conducción hidráulica ya que son lo mismo. Para esto haremos uso de los elementos geométricos de sección de canal parabólico que se encuentran en los libros de (Gallardo Armijos, 2018) y de (Te Chow, 2004)

Tomado de:

Ven Te Chow, HIDRAULICA\_DE\_CANALES\_ABIERTOS

Área hidráulica que es el área de corte 1 Ac1” se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$Ac1 = \frac{2T*y}{3} \dots\dots\dots Ecuación 5$$

Para calcular el perímetro mojado se tienen 2 condiciones:



**CC BY-NC-ND 4.0**

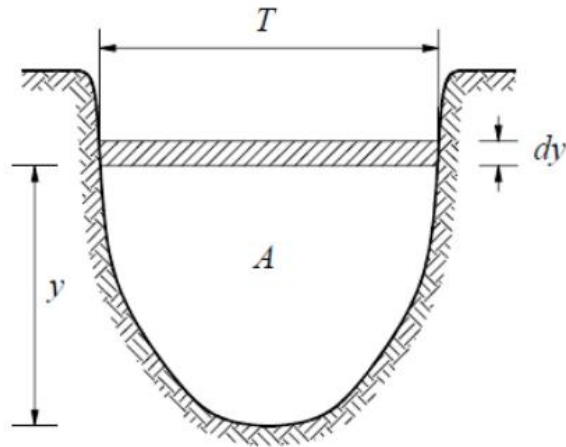


Figura 3: Acequia de ladera con sección parabólica

Donde:

$y$  = tirante de agua o mayor profundidad de agua en el canal de la acequia de ladera (m)

$T$  = espejo de agua (m)

Podemos observar que el cálculo del área de corte de la sección conductora de agua depende de dos variables que son el espejo de agua y del tirante o la altura de agua en el canal y no solamente depende de una variable.

Para calcular el perímetro mojado “ $P$ ” y el radio hidráulico “ $R$ ” se nos presentan dos condiciones que son las siguientes:

**Condición 1:**

**$0 < G \leq 1$**  donde:

$$G = \frac{4y}{T} \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$



CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0

Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Combinando las siguientes ecuaciones:

$$R = \frac{A}{P} \text{ .....Ecuación 3}$$

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

$$P = T + \frac{8y^2}{3T} \text{ .....Ecuación 6.1}$$

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

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

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

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

$$R = \frac{2 * T^2 * y}{3T^2 + 8y^2} \text{ .....Ecuación 7}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Condición 2:

**G > 1** donde:

$$G = \frac{4y}{T} \dots\dots\dots\text{Ecuación 6}$$

El perímetro mojado y el radio hidráulico se calculan con las siguientes expresiones matemáticas:

$$P = \frac{T}{2} \left[ (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{G} \text{Ln} \left( G + (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \dots\dots\dots\text{Ecuación 8}$$

Combinando las siguientes ecuaciones

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

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

$$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \text{Ln} \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \dots\dots\dots\text{Ecuación 9}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots\text{Ecuación 3}$$

$$R = \frac{\frac{2T*y}{3}}{\frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \text{Ln} \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]} \dots\dots\dots\text{Ecuación 9.1}$$

### Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas de los Canal Parabólico

Área hidráulica llamada usualmente área de corte 1	$Ac1 = \frac{2T*y}{3}$
Valor de <b>G</b>	$G = \frac{4y}{T}$
Perímetro mojado para la condición $0 < G \leq 1$	$Pm = T + \frac{8y^2}{3T}$
Radio hidráulico para la condición $0 < G \leq 1$	$R = \frac{2*T^2*y}{3*T^2+8*y^2}$
Perímetro mojado para la condición $G > 1$	$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \text{Ln} \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$
Radio hidráulico para la condición $G > 1$	$R = \frac{\frac{2T*y}{3}}{\frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \text{Ln} \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]}$

Se puede observar que en una acequia de ladera o en cualquier canal conductor que está definido por un canal parabólico en el perímetro mojado al igual que el área



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

hidráulica, se depende fundamentalmente de dos variables que son el tirante “**y**” y el espejo de agua “**T**”.

Por lo anterior, para facilitar las soluciones de los diseños hidráulicos se buscará una expresión que relacione el tirante “**y**” con el espejo de agua “**T**” para lograr dejar una variable en las ecuaciones o modelos hidráulicos y de movimiento de tierras buscando fundamentalmente que dependa del tirante “**y**”, y de esta manera lograr simplificar el diseño de ingeniería en las estimaciones, presupuestos y construcción de estos canales parabólicos.

## Estimación de la relación matemática entre espejo de agua “**T**” y el tirante “**y**” en un canal parabólico

### 1- Definición de la familia de parábolas a utilizar en los canales parabólicos.

Existe infinidad de parábolas que podrían definir las secciones transversales hidráulicas de los canales parabólicos, pero para hacer el análisis de manera concreta y más sencilla se utilizará la siguiente expresión matemática:

$$f(x) = y = a * x^2 \quad \text{.....Ecuación 10}$$

siempre con:

$$a > 0$$

Donde



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

a: es el coeficiente de la función parabólica (adimensional)

x: variable independiente

$f(x) = y$  = variable dependiente


## 2- Formas de las funciones que serían lo mismo que las formas de los canales en las secciones conductoras de agua.

Analizando la función matemática expresada en la ecuación 10 se puede observar en el cuadro 1 y la figura 4 como cambia la variable "**y = f(x)**" que es la variable dependiente en función de la variable independiente "**x**" y además, se puede observar en figura 4 que proviene del cuadro 1 diferentes parábolas que podrían representar en un diseño de un canal o una acequia de ladera con la misma forma.

También se puede observar en la figura 4 y el cuadro 1 que las parábolas van variando, dependiendo conforme varía el factor "**a**".

Para construir el cuadro "1" se definió para la función matemática parabólica que se estableció con diferentes valores de "**a**", tomando distintos valores del ancho del canal que es usualmente llamado espejo de agua "**T**", como las unidades o valores del eje "**x**" en un ámbito desde -1,5 y hasta 1,5. Se calcularon los diferentes valores de "**y**" que representaría el tirante o el nivel del agua en la sección transportadora del agua en el canal (o los diferentes valores de "**f(y)**"). Los valores de "**a**" que se escogieron son todos mayores de cero con valores desde 1/8 hasta 1,0 y valores mayores a 1,0 que van desde 1,0 hasta 2,0 para mostrar el comportamiento de las funciones matemáticas para los diferentes coeficientes de "**a**" en la función parabólica de la ecuación 10.

Graficamente se presentan los comportamientos de las funciones matemáticas en la figura 4 según cada función resultante de la correlación entre ambos parámetros

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

“x” y “a” para obtener “y”. Se puede deducir que de acuerdo al aumento del valor de “a” la parábola es mas cerrada y por lo contrario, a menores valores de “a” la parábola es mas abierta.

Además, podemos observar la variación de los valores en “y” de forma directa y proporcional para cada valor distinto de “a” para un mismo caudal, pendiente y del coeficiente de roce del canal.

### 3- Relación de los valores de “y” con los valores de “T” donde “ $T = 2 * x$ ” cuadro 2 y figura 5.

Como vimos, para un valor de “ $a = 0,5$ ” tendríamos la siguiente función parabólica como se muestra en la ecuación 11

$$f(x) = y = 0,5 * x^2 \text{ .....Ecuación 11}$$

Para esta función parabólica o ecuación 11 y para las otras funciones parabólicas, de la figura 5 y del cuadro 2 donde se relacionan los valores de “y” con los valores de “T” y se muestra como varía el espejo de agua “T” en función del tirante “y” donde se tiene que “ $T = 2 * x$ ” para los diferentes valores de “a”.

Se puede apreciar en la figura 5, que estas ecuaciones en todos los caso presentan una constante o factor numérico multiplicado que para nuestro caso le llamaremos “f”. Por ello, se manifiesta una relación matemática entre “T” y “y” la cuál es la siguiente:

$$T = f * \sqrt{y} \text{ .....Ecuación 12}$$



**CC BY-NC-ND 4.0**

$$T = f * y^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots\text{Ecuación 13}$$

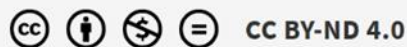
Esta expresión matemática que se encuentran en las ecuaciones 12 y 13, como se mencionó, “**f**” es el coeficiente resultante de la relación que se define entre el tirante “**y**” y el espejo de agua “**T**”; pero no obstante, se presentan muchos valores de “**f**” conforme varía el valor de “**a**” en la ecuación 10. Por esto, de los valores mostrados en el cuadro 2 se desarrolla la relación entre los valores de “**f**” y los valores de “**a**” como se muestra en la figura 6 donde podemos definir las ecuaciones 14 y 15 que determinan o se logra establecer el valor de “**f**” definido en las ecuaciones 12 y 13 en términos de “**a**” cuya relación matemática es la siguiente:

$$f = \frac{2}{\sqrt{a}} \dots\dots\dots\text{Ecuación 14}$$

$$f = \frac{2}{a^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots\text{Ecuación 15}$$

Estas relaciones encontradas nos resuelven las ecuaciones que se encuentran en términos de las dos variables “**T**” y “**y**” y nos da la opción de poder expresarlas solamente en términos de una variable que en nuestro caso sería la variable independiente “**y**” que representaría la altura de agua máxima en la sección conductora del canal parabólico o tirante hidráulico

Combinando las siguientes ecuaciones tenemos:



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

$$T = \frac{2}{\sqrt{a}} * \sqrt{y} \dots\dots\dots \text{Ecuación 15.1}$$

De esta manera se logra definir el tirante “y” en términos del espejo de agua “T” para cualquier coeficiente “a” de la función parabólica establecida en la ecuación 10 y para todas las otras ecuaciones de los parámetros hidráulicos con dos variables. Estas ecuaciones nos facilitan la solución de las ecuaciones parabólicas del área hidráulica, perímetro mojado y del radio hidráulico e inclusive, el cálculo del tirante hidráulico “y” ya que podemos establecer “T” en función de “y” dejando las ecuaciones en una sola variable y viceversa utilizando el valor del coeficiente “a”.

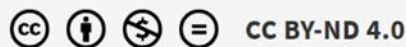


Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Cuadro 1: Valores de “x” y “y” en un eje cartesiano para secciones parabólicas con diferentes coeficientes “a”

a =	0,1250	0,1667	0,2500	0,3333	0,5000	0,6667	1,0000	1,2500	1,5000	1,7500	2,0000
a =	1/8	1/6	1/4	1/3	1/2	1/1,5	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2
x	$y=f(x)=x^2/8$	$y=f(x)=x^2/6$	$y=f(x)=x^2/4$	$y=f(x)=x^2/3$	$y=f(x)=x^2/2$	$y=f(x)=x^2/1,5$	$y=f(x)=x^2$	$y=f(x)=1,25*x^2$	$y=f(x)=1,5*x^2$	$y=f(x)=1,75*x^2$	$y=f(x)=2,0*x^2$
-1,5	0,281	0,375	0,563	0,750	1,125	1,500	2,250	2,813	3,375	3,938	4,500
-1,4	0,245	0,327	0,490	0,653	0,980	1,307	1,960	2,450	2,940	3,430	3,920
-1,3	0,211	0,282	0,423	0,563	0,845	1,127	1,690	2,113	2,535	2,958	3,380
-1,2	0,180	0,240	0,360	0,480	0,720	0,960	1,440	1,800	2,160	2,520	2,880
-1,1	0,151	0,202	0,303	0,403	0,605	0,807	1,210	1,513	1,815	2,118	2,420
-1	0,125	0,167	0,250	0,333	0,500	0,667	1,000	1,250	1,500	1,750	2,000
-0,9	0,101	0,135	0,203	0,270	0,405	0,540	0,810	1,013	1,215	1,418	1,620
-0,8	0,080	0,107	0,160	0,213	0,320	0,427	0,640	0,800	0,960	1,120	1,280
-0,7	0,061	0,082	0,123	0,163	0,245	0,327	0,490	0,613	0,735	0,858	0,980
-0,6	0,045	0,060	0,090	0,120	0,180	0,240	0,360	0,450	0,540	0,630	0,720
-0,5	0,031	0,042	0,063	0,083	0,125	0,167	0,250	0,313	0,375	0,438	0,500
-0,4	0,020	0,027	0,040	0,053	0,080	0,107	0,160	0,200	0,240	0,280	0,320
-0,3	0,011	0,015	0,023	0,030	0,045	0,060	0,090	0,113	0,135	0,158	0,180
-0,2	0,005	0,007	0,010	0,013	0,020	0,027	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080
-0,1	0,001	0,002	0,003	0,003	0,005	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,001	0,002	0,003	0,003	0,005	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020
0,2	0,005	0,007	0,010	0,013	0,020	0,027	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080
0,3	0,011	0,015	0,023	0,030	0,045	0,060	0,090	0,113	0,135	0,158	0,180
0,4	0,020	0,027	0,040	0,053	0,080	0,107	0,160	0,200	0,240	0,280	0,320
0,5	0,031	0,042	0,063	0,083	0,125	0,167	0,250	0,313	0,375	0,438	0,500
0,6	0,045	0,060	0,090	0,120	0,180	0,240	0,360	0,450	0,540	0,630	0,720
0,7	0,061	0,082	0,123	0,163	0,245	0,327	0,490	0,613	0,735	0,858	0,980
0,8	0,080	0,107	0,160	0,213	0,320	0,427	0,640	0,800	0,960	1,120	1,280
0,9	0,101	0,135	0,203	0,270	0,405	0,540	0,810	1,013	1,215	1,418	1,620
1	0,125	0,167	0,250	0,333	0,500	0,667	1,000	1,250	1,500	1,750	2,000
1,1	0,151	0,202	0,303	0,403	0,605	0,807	1,210	1,513	1,815	2,118	2,420
1,2	0,180	0,240	0,360	0,480	0,720	0,960	1,440	1,800	2,160	2,520	2,880
1,3	0,211	0,282	0,423	0,563	0,845	1,127	1,690	2,113	2,535	2,958	3,380
1,4	0,245	0,327	0,490	0,653	0,980	1,307	1,960	2,450	2,940	3,430	3,920
1,5	0,281	0,375	0,563	0,750	1,125	1,500	2,250	2,813	3,375	3,938	4,500



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

CC BY-NC-ND 4.0

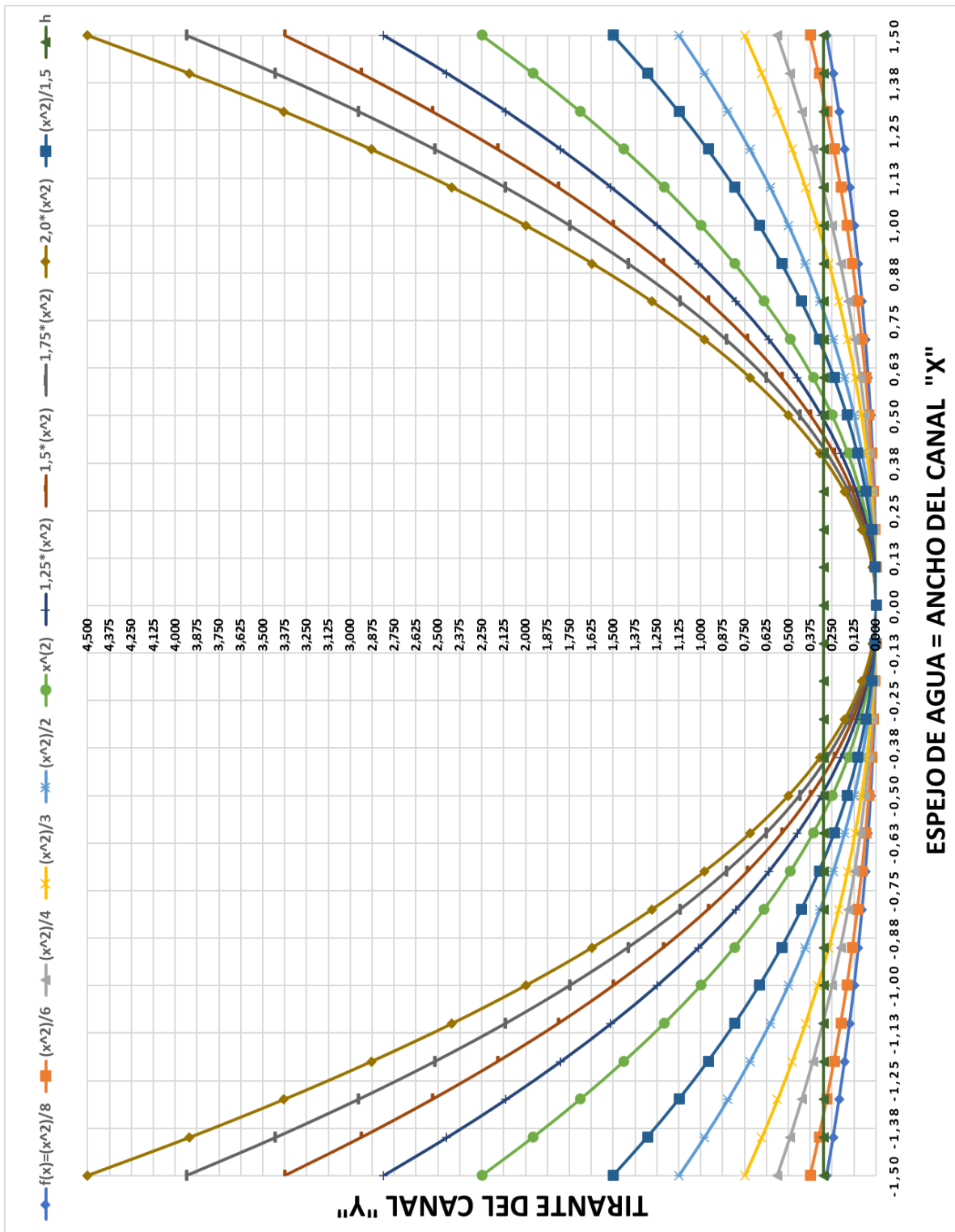


Figura 4: Formas de parábolas que representan los canales conductores de los canales o las acequias de ladera calculadas en el cuadro 1

**CC BY-ND 4.0**  
 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
 Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Cuadro 2: Valores de “x” y “y” de secciones parabólicas con diferentes coeficientes “a”

a =	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13
$T = 2 * X$	$y = a * (x^2)$	$y = a * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$	$y = f * (x^2)$
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,200	0,030	0,025	0,020	0,015	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001
0,400	0,120	0,100	0,080	0,060	0,040	0,027	0,020	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007	0,006	0,005
0,600	0,270	0,225	0,180	0,135	0,090	0,060	0,045	0,036	0,030	0,023	0,018	0,015	0,013	0,011
0,800	0,480	0,400	0,320	0,240	0,160	0,107	0,080	0,064	0,053	0,040	0,032	0,027	0,023	0,020
1,000	0,750	0,625	0,500	0,375	0,250	0,167	0,125	0,100	0,083	0,063	0,050	0,042	0,036	0,031
1,200	1,080	0,900	0,720	0,540	0,360	0,240	0,180	0,144	0,120	0,090	0,072	0,060	0,051	0,045
1,400	1,470	1,225	0,980	0,735	0,490	0,327	0,245	0,196	0,163	0,123	0,098	0,082	0,070	0,061
1,600	1,920	1,600	1,280	0,960	0,640	0,427	0,320	0,256	0,213	0,160	0,128	0,107	0,091	0,080
1,800	2,430	2,025	1,620	1,215	0,810	0,540	0,405	0,324	0,270	0,203	0,162	0,135	0,116	0,101
2,000	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	0,667	0,500	0,400	0,333	0,250	0,200	0,167	0,143	0,125
2,200	3,630	3,025	2,420	1,815	1,210	0,807	0,605	0,484	0,403	0,303	0,242	0,202	0,173	0,151
2,400	4,320	3,600	2,880	2,160	1,440	0,960	0,720	0,576	0,480	0,360	0,288	0,240	0,206	0,180
2,600	5,070	4,225	3,380	2,535	1,690	1,127	0,845	0,676	0,563	0,423	0,338	0,282	0,241	0,211
2,800	5,880	4,900	3,920	2,940	1,960	1,307	0,980	0,784	0,653	0,490	0,392	0,327	0,280	0,245
3,000	6,750	5,625	4,500	3,375	2,250	1,500	1,125	0,900	0,750	0,563	0,450	0,375	0,321	0,281
3,200	7,680	6,400	5,120	3,840	2,560	1,707	1,280	1,024	0,853	0,640	0,512	0,427	0,366	0,320
3,400	8,670	7,225	5,780	4,335	2,890	1,927	1,445	1,156	0,963	0,723	0,578	0,482	0,413	0,361
3,600	9,720	8,100	6,480	4,860	3,240	2,160	1,620	1,296	1,080	0,810	0,648	0,540	0,463	0,405
3,800	10,830	9,025	7,220	5,415	3,610	2,407	1,805	1,444	1,203	0,903	0,722	0,602	0,516	0,451
4,000	12,000	10,000	8,000	6,000	4,000	2,667	2,000	1,600	1,333	1,000	0,800	0,667	0,571	0,500
<b>f</b>	<b>1,1547</b>	<b>1,2649</b>	<b>1,4142</b>	<b>1,6330</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,4495</b>	<b>2,8284</b>	<b>3,1623</b>	<b>3,4641</b>	<b>4,0000</b>	<b>4,4721</b>	<b>4,8990</b>	<b>5,2915</b>	<b>5,6569</b>

 CC BY-ND 4.0
Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional**CC BY-NC-ND 4.0**

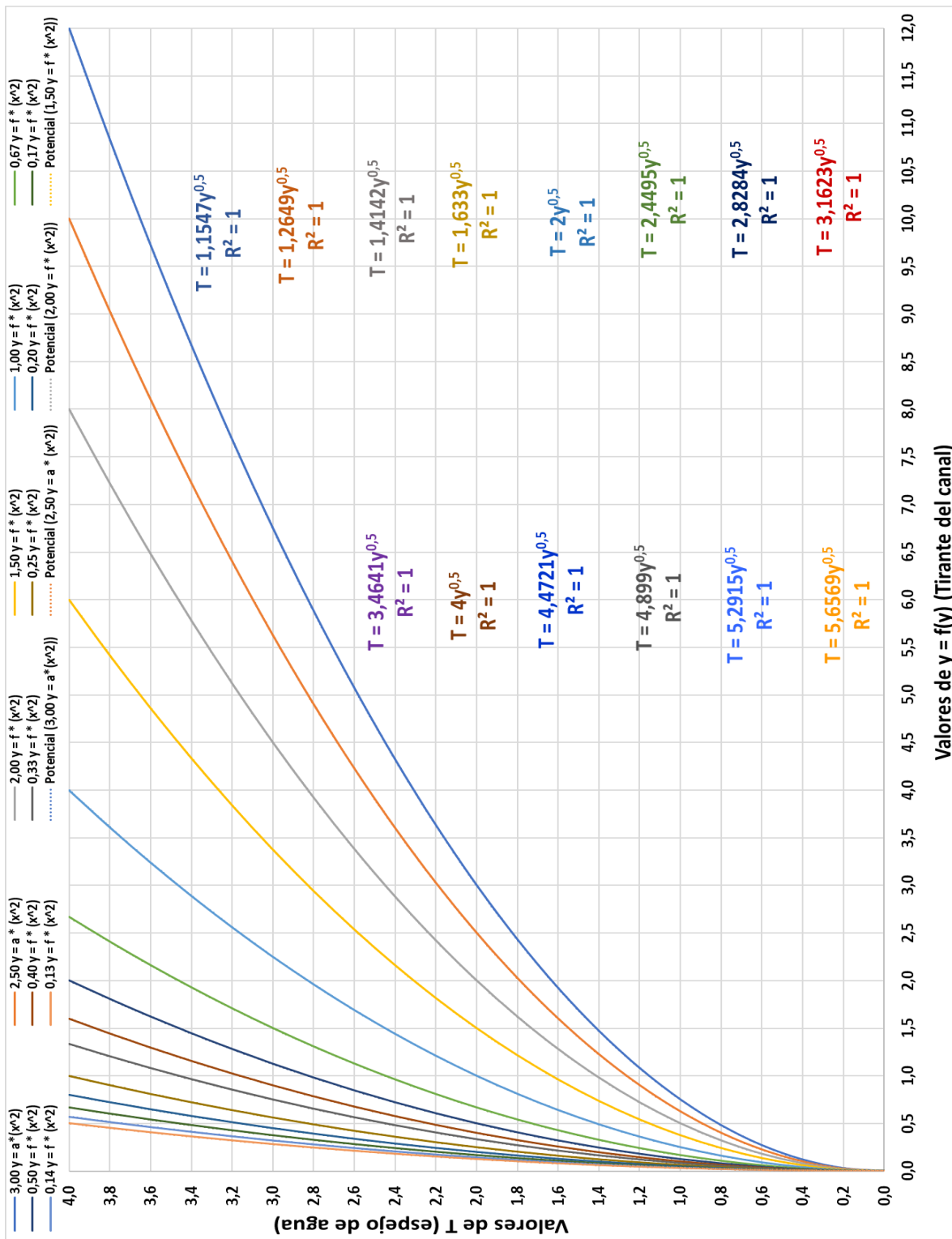
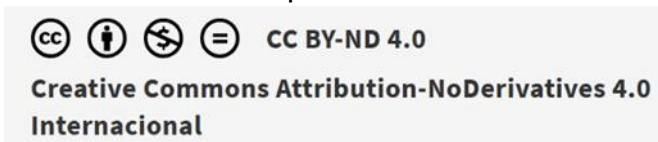


Figura 5: Relaciones del tirante “y” con respecto a los valores del espejo de agua “T” para diferentes valores de “a”



**CC BY-NC-ND 4.0**

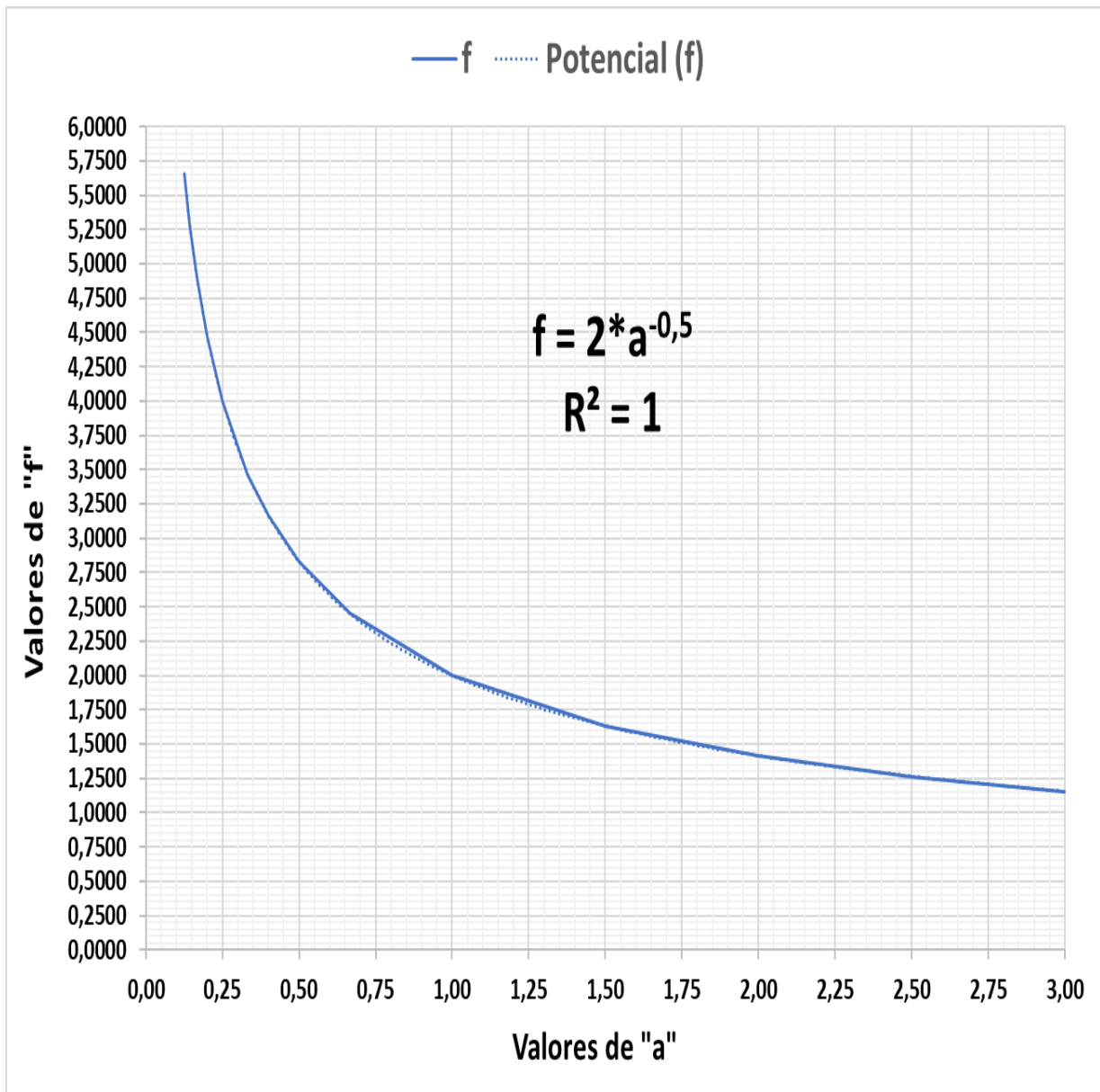


Figura 6: Variación del coeficiente “f” en términos del coeficiente “a” de la función parabólica establecida en la ecuación 10

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

**Caso 1: Ecuaciones para calcular los volúmenes de corte totales en un canal conductor parabólico sin talud en la pared del terreno donde se construye, donde el talud debido a la pendiente del terreno natural es diferente de cero ( $z_3 \neq 0$ ) (Figura 8)**

## **EJEMPLO 1 CON $a=1$**

**Tomaremos el caso de un canal parabólico en una acequia de ladera con una función matemática**

$$y = x^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 16}$$

**De donde se observa que  $a = 1$**

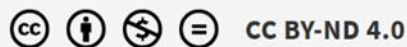
Calculando “f” para establecer las ecuaciones en una sola variable

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

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

$$f = 2$$

Lo cual nos indica que la relación matemática entre “T” y “y” queda definida de la siguiente manera:



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$T = 2\sqrt{y} \dots \dots \dots \text{Ecuación 17}$$

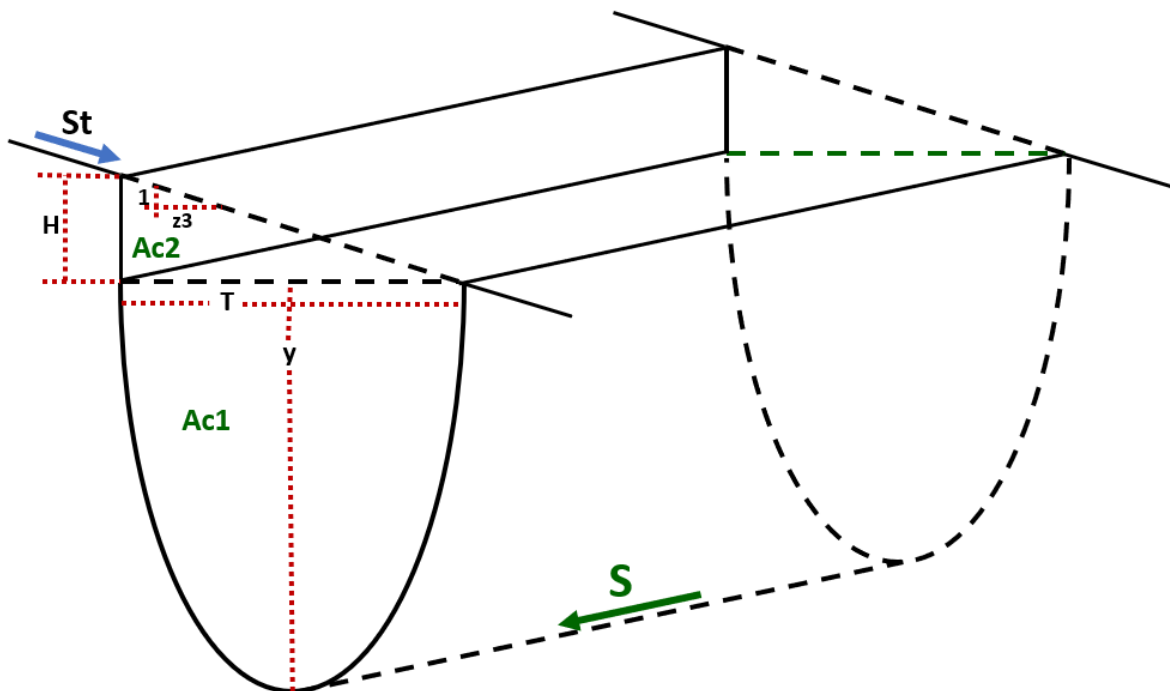


Figura 7: Acequia de ladera parabólica para el caso 1

Según se observa la imagen tenemos los siguientes parámetros:

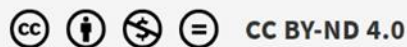
$z_3$  = talud natural que se forma debido a la pendiente del terreno (adimensional)

$y$  = 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)



CC BY-ND 4.0  
Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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 establecer las ecuaciones según la función matemática específica que representa el canal conductor de la acequia de ladera expresando en una sola variable.

Las ecuaciones de las variables hidráulicas de área de corte 1 (**Ac1**), área de corte 2 (**Ac2**), perímetro mojado (**Pm o P**) y radio hidráulico (**R o Rh**) en función de solamente la variable “**y**”

El cálculo del área hidráulica que es la misma que el área de corte 1 “Ac1” que esta está dada por la Ecuación 5.

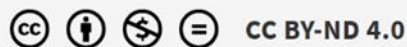
$$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$$

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

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

$$Ac1 = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3} \dots \dots \dots \text{Ecuación 18}$$

Cálculo del área de corte 2 “Ac2”:



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$A_{c2} = \frac{H * T}{2}$$

$$A_{c2} = 0,5 * H * T \dots \dots \dots \text{Ecuación 19}$$

$$S_t = \frac{H}{T} * 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 20}$$

$$H = \frac{T * S_t}{100} \dots \dots \dots \text{Ecuación 21}$$

entonces

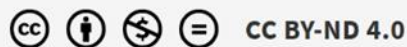
$$A_{c2} = \frac{\frac{T * S_t}{100} * T}{2}$$

$$A_{c2} = \frac{T^2 S_t}{200} \dots \dots \dots \text{Ecuación 22}$$

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

$$A_{c2} = \frac{(2\sqrt{y})^2 S_t}{200}$$

$$A_{c2} = \frac{4 * y * S_t}{200}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$A_{c2} = \frac{y * S_t}{50} \dots \dots \dots \text{Ecuación 23}$$

Calculando el área de corte total

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

$$A_{ct} = \frac{2T*y}{3} + \frac{T^2 S_t}{200} \dots \dots \dots \text{Ecuación 24}$$

$$A_{ct} = T \left( \frac{2y}{3} + \frac{T * S_t}{200} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 25}$$

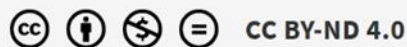
$$A_{ct} = \frac{4*y^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{y*S_t}{50} \dots \dots \dots \text{Ecuación 26}$$

$$A_{ct} = y * \left( \frac{4*y^{\frac{1}{2}}}{3} + \frac{S_t}{50} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 27}$$

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

Calculando el volumen de corte total



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{2T*y}{3} + \frac{T^2 S_t}{200} \dots \dots \dots \text{Ecuación 28}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = T \left( \frac{2y}{3} + \frac{T * S_t}{200} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 29}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{4*y^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{y*S_t}{50} \dots \dots \dots \text{Ecuación 30}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = y * \left( \frac{4*y^{\frac{1}{2}}}{3} + \frac{S_t}{50} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 31}$$

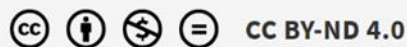
Definición de “y” en términos de “T”:

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

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

$$(0,5 * T)^2 = y$$

$$y = 0,25 * T^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 32}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y = \frac{T^2}{4} \dots \dots \dots \text{Ecuación 33}$$

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

**0 < G ≤ 1:**

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

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

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

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

$$P = \frac{3T^2 + 8y^2}{3T} \dots \dots \dots \text{Ecuación 34}$$

Combinando las ecuaciones



**CC BY-NC-ND 4.0**

$$T = 2 * \sqrt{y} \quad \text{o} \quad 2 * y^{\frac{1}{2}}$$

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

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

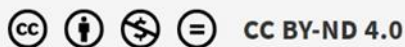
$$P = \frac{12y + 8y^2}{6y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{4y * (3 + 2y)}{6y^{\frac{1}{2}}}$$

$$P = \frac{2y^{\frac{1}{2}} * (3 + 2y)}{3} \dots \dots \dots \text{Ecuación 35}$$

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$R = \frac{2*y}{(3+2y)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 36}$$

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

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

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

Se define "m" como una constante



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$m = \frac{3*Q*n}{8 \frac{1}{2^3*S^2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 37}$$

entonces

$$\frac{y^{\frac{13}{6}}}{(3+2y)^{\frac{2}{3}}} = m \dots \dots \dots \text{Ecuación 38}$$

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

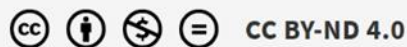
$$(y^{\frac{13}{6}})^{\frac{3}{2}} = (m * (3 + 2y)^{\frac{2}{3}})^{\frac{3}{2}}$$

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

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

$$y^{\frac{13}{4}} - 2 * m^{\frac{2}{3}} * y - 3 * m^{\frac{2}{3}} = 0 \dots \dots \dots \text{Ecuación 39}$$

Combinando las ecuaciones



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$m = \frac{3 * Q * n}{\frac{8}{2^3} * \frac{1}{S^2}}$$

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

$$y^{\frac{13}{4}} - 2 * \left( \frac{3 * Q * n}{\frac{8}{2^3} * \frac{1}{S^2}} \right)^{\frac{3}{2}} * y - 3 * \left( \frac{3 * Q * n}{\frac{8}{2^3} * \frac{1}{S^2}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0 \dots\dots\dots$$

Ecuación 40

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

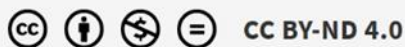
Ejemplo de cálculo

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

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

$$n = 0,033$$

$$y^{\frac{13}{4}} - 2 * \left( \frac{3 * Q * n}{\frac{8}{2^3} * \frac{1}{S^2}} \right)^{\frac{3}{2}} * y - 3 * \left( \frac{3 * Q * n}{\frac{8}{2^3} * \frac{1}{S^2}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y^{\frac{13}{4}} - 2 * \left( \frac{3 * 0,1 * 0,033}{2^{\frac{8}{3}} * 0,003^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * y - 3 * \left( \frac{3 * 0,1 * 0,033}{2^{\frac{8}{3}} * 0,003^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - 2 * 0,0048028 * y - 3 * 0,0048028 = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - 0,0096055 * y - 0,014408 = 0$$

Resolviendo la ecuación

$$y = 0,286257 \text{ m}$$

Sustituyendo el valor de “y” para encontrar “T”:

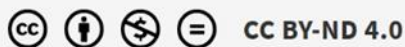
$$T = 2\sqrt{y}$$

$$T = 2 * \sqrt{0,286257}$$

$$T = 1,07006 \text{ m}$$

Calculando el área de corte 1 que coincide con el área hidráulica

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Ac1 = \frac{4}{3} * (0,286257)^{\frac{3}{2}}$$

$$Ac1 = 0,204208 m^2$$

Cálculo del perímetro mojado

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

$$P = \frac{2 * 0,286257^{\frac{1}{2}} * (3 + 2 * 0,286257)}{3}$$

$$P = 1,274268 m$$

Cálculo del radio hidráulico de la sección transversal de conducción de agua en su máxima capacidad.

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

$$R = \frac{0,204208}{1,274268}$$

$$R = 0,160255$$

Calculando el caudal con Manning.



**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

Calculando  $R^{\frac{2}{3}}$

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

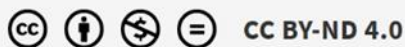
$$R^{\frac{2}{3}} = (0,160255)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,395036 \text{ m}$$

Cálculo del caudal

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

$$Q = \frac{0,204208 * 0,395036 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Q = 0,133893 \frac{m^3}{s}$$

Se observa que el caudal calculado es mayor al caudal definido en el ejemplo lo cual se debe de revisar el valor de "G" para la función matemática definida para el canal conductor de la acequia de ladera parabólica.

Probando la 2<sup>da</sup> opción

Estimación de **G**:

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

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

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

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

$$G = 2y^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 41}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$G = 2\sqrt{y} \dots \dots \dots \text{Ecuación 42}$$

De donde se puede observar que:

$$G = T \dots \dots \dots \text{Ecuación 43}$$

**G > 1** donde:

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

$$G \leq 1$$

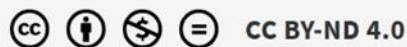
$$\frac{4y}{T} \leq 1$$

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

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y \leq 0,25 \text{ m}$$

El “y” calculado debe de ser menor a 0,25 m para poder usar el caso  $0 < G \leq 1$  pero el “y” calculado bajo esta condición es mayor ya que el valor es de 0,286257 m. Por ello se debe buscar el “y” para la condición  $G > 1$ .

Combinando las siguientes ecuaciones:

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

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

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

$$G = T$$

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

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

$$P = y^{\frac{1}{2}}(1 + 4y)^{\frac{1}{2}} + 0,5\text{Ln} \left( 2y^{\frac{1}{2}} + (1 + 4y)^{\frac{1}{2}} \right)$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$P = y^{\frac{1}{2}} * (1 + 4y)^{\frac{1}{2}} + 0,5 * \text{Ln} \left( 2 * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 4 * y)^{\frac{1}{2}} \right) \dots$$

... .. Ecuación 44

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

$$R = \frac{\frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}}{\frac{1}{y^{\frac{1}{2}}(1+4y)^{\frac{1}{2}} + 0,5 \text{Ln} \left( 2y^{\frac{1}{2}} + (1+4y)^{\frac{1}{2}} \right)}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 45}$$

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$\frac{0,1 * 0,033}{\sqrt{0,003}} = 0,060249$$


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

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

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

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

Ecuación 46

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$Q = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 0,003$$

$$n = 0,033$$

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

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

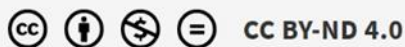
$$y = 0,2844 \text{ m}$$

*se cumple que  $y > 0,25\text{m}$*

Cálculo de T

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

$$T = 2 * \sqrt{0,2844}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$T = 1,066583 \text{ m}$$

Cálculo del área hidráulica que es el área de corte 1

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

$$Ac1 = \frac{4}{3} * 0,2844^{\frac{3}{2}}$$

$$c1=0,202224 \text{ m}^2$$

Cálculo del perímetro mojado

$$P = y^{\frac{1}{2}}(1 + 4y)^{\frac{1}{2}} + 0,5 * Ln \left( 2y^{\frac{1}{2}} + (1 + 4y)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$P = 0,2844^{\frac{1}{2}}(1 + 4 * 0,2844)^{\frac{1}{2}} + 0,5 * Ln \left( 2 * 0,2844^{\frac{1}{2}} + (1 + 4 * 0,2844)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$P = 1,243541 \text{ m}$$

Cálculo del radio hidráulico

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

$$R = \frac{0,202224}{1,243541}$$



Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = 0,16263235$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0,16263235)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,2979 \text{ m}$$

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

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

$$Q = \frac{0,202224 * 0,2979 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$

$$Q = 0,09999 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Redondeando el valor del caudal calculado

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Donde se logra comprobar que el caudal calculado es prácticamente igual al caudal propuesto para el ejemplo por lo que es correcto utilizar la segunda opción o caso “b” para los cálculos respectivos.

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

Calculando el área de corte 2 “Ac2”

$$y = 0,2844 \text{ m}$$

$$St = 30$$

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

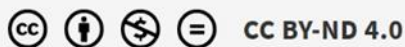
$$Ac2 = \frac{1,066583^2 * 30}{200}$$

$$A_{c2} = 0,17064 \text{ m}^2$$

Calculando el volumen de corte por metro para este caso

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{4 * 0,2844^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{0,2844 * 30}{50}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = 0,202224 + 0,17064$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = 0,3728$$

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Cuadro 3: Ecuaciones básicas hidráulicas para los diferentes valores de “a” para los canales parabólicos con “a=1”

**Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas de los Canal Parabólico para una función de la forma  $f(x) = y = a * x^2$  definida como  $f(x) = y = x^2$**

Valor de “a”		1,0
$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$		$f = 2$
$T = f * \sqrt{y}$		$T = 2\sqrt{y}$
Área hidráulica o área de corte 1	$Ac1 = \frac{2T*y}{3}$	$Ac1 = \frac{4 * y^{\frac{3}{2}}}{3}$
Valor de <b>G</b>	$G = \frac{4y}{T}$	$G = 2\sqrt{y}$
Perímetro mojado para la condición $0 < G \leq 1$	$Pm = T + \frac{8y^2}{3T}$	$Pm = \frac{2y^{\frac{1}{2}}*(3+2y)}{3}$
Radio hidráulico para la condición $0 < G \leq 1$	$R = \frac{2*T^2*y}{3*T^2+8*y^2}$	$R = \frac{2 * y}{(3 + 2y)}$
Perímetro mojado para la condición $G > 1$	$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$	$Pm = y^{\frac{1}{2}} * (1 + 4y)^{\frac{1}{2}} + 0,5 * \ln \left( 2 * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 4 * y)^{\frac{1}{2}} \right)$
Radio hidráulico para la condición $G > 1$	$R = \frac{\frac{2T*y}{3}}{\frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]}$	$R = \frac{\frac{4*y^{\frac{3}{2}}}{3}}{y^{\frac{1}{2}}(1+4y)^{\frac{1}{2}}+0,5\ln \left( 2y^{\frac{1}{2}}+(1+4y)^{\frac{1}{2}} \right)}$
Tirante “y” hidráulico para la condición $0 < G \leq 1$	$y^{\frac{13}{4}} - 2 * \left( \frac{3*Q*n}{8 * 1} \right)^{\frac{3}{2}} * y - 3 * \left( \frac{3*Q*n}{23*S^2} \right)^{\frac{3}{2}} = 0$	
Tirante “y” hidráulico para la condición $G > 1$	$\frac{\left( \frac{4}{3} \right)^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{\left[ y^{\frac{1}{2}}(1+4y)^{\frac{1}{2}} + 0,5\ln \left[ 2y^{\frac{1}{2}} + (1+4y)^{\frac{1}{2}} \right] \right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^2} = 0$	

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Ejemplo 2 con $a = 0,5$

Tomaremos el caso de un canal parabólico en una acequia de ladera con una función matemática

$$y = 0,5 * x^2 = \frac{x^2}{2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 47}$$

De donde se observa que  $a = 0,5 = \frac{1}{2}$

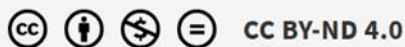
Calculando "f"

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

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$f = 2\sqrt{2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 48}$$

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

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

$$T = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 49}$$

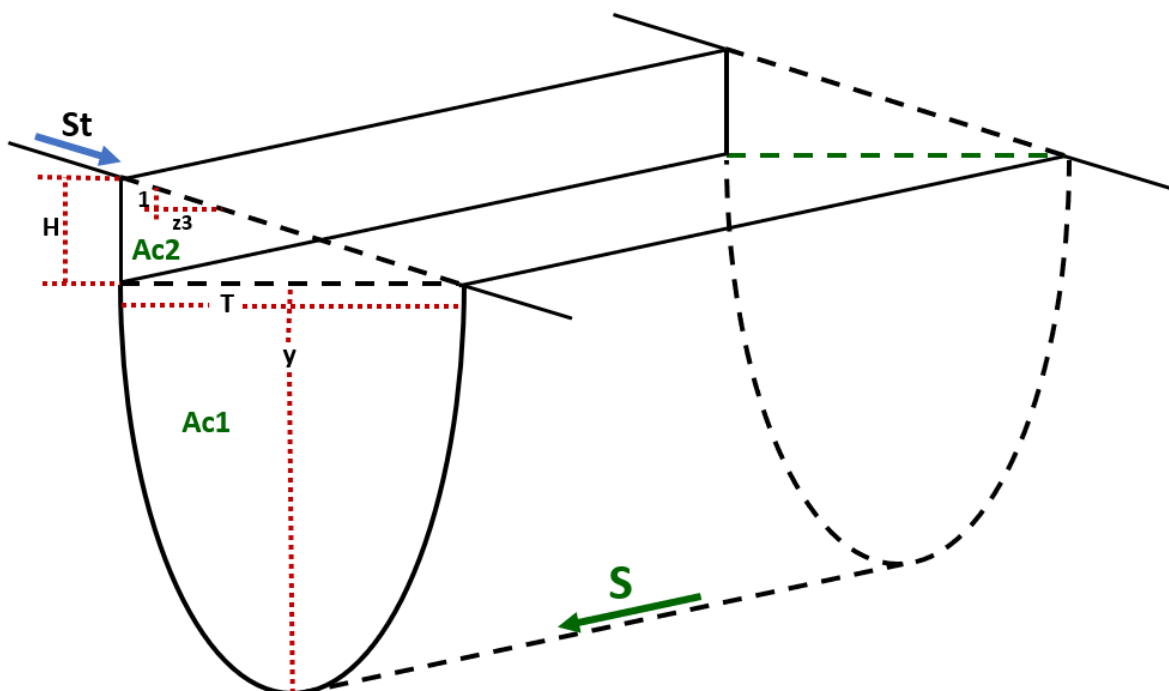


Figura 8: Acequia de ladera parabólica para el caso 1

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)

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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)

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”:

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

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

$$Ac1 = \frac{4\sqrt{2}}{3} * y^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots Ecuación 50$$

Cálculo del área de corte 2 “Ac2”:

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

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

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

$$A_{c2} = \frac{4 * 2 * y * S_t}{200}$$

$$A_{c2} = \frac{y * S_t}{25} \dots \dots \dots \text{Ecuación 51}$$

Calculando el área de corte total

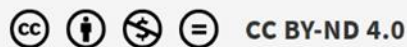
$$A_{cT} = A_{c1} + A_{c2}$$

$$A_{ct} = \frac{2Ty}{3} + \frac{T^2 S_t}{200} \dots \dots \dots \text{Ecuación 52}$$

$$A_{ct} = T \left( \frac{2*y}{3} + \frac{T*S_t}{200} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 53}$$

$$Act = \frac{4\sqrt{2}*y^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{y*S_t}{25} \dots \dots \dots \text{Ecuación 54}$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{2Ty}{3} + \frac{T^2 S_t}{200} \dots \dots \dots \text{Ecuación 55}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = T \left( \frac{2y}{3} + \frac{T * S_t}{200} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 56}$$

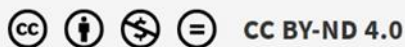
$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{4\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{y * S_t}{25} \dots \dots \dots \text{Ecuación 57}$$

Definición de “y” en términos de “T”:

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

$$\frac{T^2}{8} = y \dots\dots\dots \text{Ecuación 58}$$

$$y = 0,125 * T^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 59}$$


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

**0 < G ≤ 1:**

Combinando las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} T &= 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} \\ P &= \frac{3T^2 + 8y^2}{3T} \end{aligned}$$

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

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

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

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$P = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + 2y) \dots \dots \dots \text{Ecuación 60}$$

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

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

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

$$R = \frac{2 * y}{3 * (1 + 2y)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 61}$$

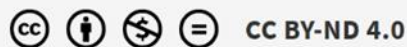
Para el tirante:

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

Donde:

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

A: área (m<sup>2</sup>)



Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

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

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

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

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

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

$$\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{2^{\frac{19}{6}} * y^{\frac{13}{6}}}{(3)^{\frac{5}{3}} * (1 + 2y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{(3)^{\frac{5}{3}} * Q * n}{2^{\frac{19}{6}} * S^{\frac{1}{2}}} = \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(1 + 2y)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\frac{(1 + 2y)^{\frac{2}{3}}}{y^{\frac{13}{6}}} = \frac{S^{\frac{1}{2}} * 2^{\frac{19}{6}}}{Q * n * (3)^{\frac{5}{3}}}$$

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Se define “m” como una constante

$$m = \frac{2^{\frac{19}{6}} * S^{\frac{1}{2}}}{Q * n * (3)^{\frac{5}{3}}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 62}$$

entonces

$$\frac{(1+2y)^{\frac{2}{3}}}{y^{\frac{13}{6}}} = m \dots \dots \dots \text{Ecuación 62.1}$$

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

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

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\left( \frac{2^{\frac{19}{6}} * S^{\frac{1}{2}}}{Q * n * (3)^{\frac{3}{5}}} \right)^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - 2y - 1 = 0 \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 63}$$

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

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

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

$$n = 0,033$$

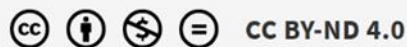
$$\left( \frac{2^{\frac{19}{6}} * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,1 * 0,033 * (3)^{\frac{3}{5}}} \right)^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - 2y - 1 = 0$$

$$\left( \frac{2^{\frac{19}{6}} * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,1 * 0,033 * (3)^{\frac{3}{5}}} \right)^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - 2y - 1 = 0$$

$$116,723788 * y^{\frac{13}{4}} - 2y - 1 = 0$$

$$y = 0,263321 \text{ m}$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Cálculo de "T" "Área"

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

$$T = 2\sqrt{2} * 0,263321^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{T = 1,451402}$$

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

$$Ac1 = \frac{4\sqrt{2} * 0,263321^{\frac{3}{2}}}{3}$$

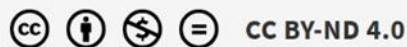
$$\mathbf{Ac1 = 0,25479}$$

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

$$P = 2\sqrt{2} * 0,263321^{\frac{1}{2}} * (1 + 2 * 0,263321)$$

$$\mathbf{P = 2,215771}$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{0,25479}{2,215771}$$

$$R = 0,114989$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,114989^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,236467$$

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

$$Q = \frac{0,25479 * 0,236467 * 0,003^{\frac{1}{2}}}{0,033}$$

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

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

Probando la 2<sup>da</sup> opción

Estimación de **G**:

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

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

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

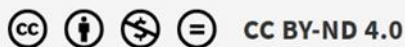
$$G = \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 64}$$

**G > 1** donde:

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

$$G \leq 1$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

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

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

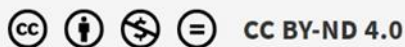
$$y^{\frac{1}{2}^2} \leq \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2$$

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

$$y \leq 0,5$$

El “y” calculado debe de ser menor a 0,5 m para poder usar el caso  $0 < G \leq 1$

Cálculo del perímetro mojado



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Combinando las siguientes ecuaciones:

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

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

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

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

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

Ecuación 65

### Cálculo del radio hidráulico

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

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

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

Ecuación 66

### Cálculo de “y”:

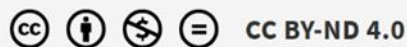
$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

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

A: área (m<sup>2</sup>)

R: radio hidráulico (m)



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

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

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

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

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

..... Ecuación 67

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

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

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$S = 0,003$$

$$n = 0,033$$

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

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

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

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y = 0,2330331 \text{ m}$$

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

$$T = 2\sqrt{2} * 0,2330331^{\frac{1}{2}}$$

$$T = 1,365381$$

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

$$Ac1 = \frac{4\sqrt{2} * 0,2330331^{\frac{3}{2}}}{3}$$

$$Ac1 = 0,2121193$$

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

$$Pm = \sqrt{2} * 0,2330331^{\frac{1}{2}} * (1 + 2 * 0,2330331)^{\frac{1}{2}} + Ln\left(\sqrt{2} * 0,2330331^{\frac{1}{2}} + (1 + 2 * 0,2330331)^{\frac{1}{2}}\right)$$

$$P = 1,465038$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$R = \frac{0,2121193}{1,465038}$$

$$\mathbf{R = 0,144788}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0,144788)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mathbf{R^{\frac{2}{3}} = 0,275732 \text{ m}}$$

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

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

$$Q = \frac{0,2121193 * 0,275732 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$

$$\mathbf{Q = 0,0971 \frac{m^3}{s}}$$

Redondeando



**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

$$y = 0,5 * x^2 = \frac{x^2}{2} \text{ donde se observa que } a = 0,5 = \frac{1}{2}$$

$$y = 0,2330331 \text{ m}$$

$$Ac1 = 0,2121193 \text{ m}^2$$

$$T = 1,365381 \text{ m}$$

$$Pm = 1,465038 \text{ m}$$

$$R = 0,144788$$

$$St = 30$$

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

$$Ac2 = \frac{1,365381^2 * 30}{200}$$

$$A_{c2} = 0,27964 \text{ m}^2$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Calculado el área de corte total utilizando la Ecuación1:

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

$$A_{ct} = 0.2121193 + 0,27964$$

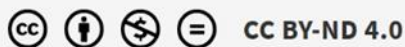
$$A_{ct} = 0,49176 \text{ m}^2$$

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

$$V_{cT} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \right) = 0,49176$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Cuadro 4: Continuación de las ecuaciones básicas hidráulicas para los diferentes valores de “a” para los canales parabólicos con “a=0,5”

**Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas de los Canal Parabólico para una función de la forma  $f(x) = y = a * x^2$  definida como  $f(x) = y = 0,5 * x^2$**

Valor de “a”		0,5
$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$		$f = 2\sqrt{2}$
$T = f * \sqrt{y}$		$T = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$
Área hidráulica o área de corte 1	$Ac1 = \frac{2T*y}{3}$	$Ac1 = \frac{4\sqrt{2}}{3} * y^{\frac{3}{2}}$
Valor de <b>G</b>	$G = \frac{4y}{T}$	$G = \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}$
Perímetro mojado para la condición <b>0 &lt; G ≤ 1</b>	$Pm = T + \frac{8y^2}{3T}$	$Pm = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + 2y)$
Radio hidráulico para la condición <b>0 &lt; G ≤ 1</b>	$R = \frac{2*T^2*y}{3*T^2+8*y^2}$	$R = \frac{2 * y}{3 * (1 + 2y)}$
Perímetro mojado para la condición <b>G &gt; 1</b>	$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$	$Pm = \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + 2y)^{\frac{1}{2}} + \ln \left( \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 2y)^{\frac{1}{2}} \right)$
Radio hidráulico para la condición <b>G &gt; 1</b>	$R = \frac{\frac{2T*y}{3}}{\frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]}$	$R = \frac{4\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{3 * \left[ \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + 2y)^{\frac{1}{2}} + \ln \left( \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 2y)^{\frac{1}{2}} \right) \right]}$
Tirante “y” hidráulico para la condición <b>0 &lt; G ≤ 1</b>	$\left( \frac{2^{\frac{19}{6}} * S^2}{5} \right)^{\frac{3}{2}} * y^{\frac{13}{4}} - 2y - 1 = 0$ $Q * n * (3)^{\frac{3}{2}}$	
Tirante “y” hidráulico para la condición <b>G &gt; 1</b>	$\frac{(4\sqrt{2})^{\frac{5}{3}} * y^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{5}{3}} * \left[ \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (1 + 2y)^{\frac{1}{2}} + \ln \left( \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 2y)^{\frac{1}{2}} \right) \right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^2} = 0$	



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

### EJEMPLO 3 CON $a=2$

Tomaremos el caso de un canal parabólico en una acequia de ladera con una función matemática

$$y = 2 * x^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 68}$$

De donde se observa que  $a = 2$

Calculando "f"

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

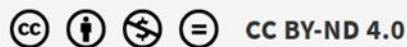
$$f = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

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

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

$$f = \sqrt{2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 69}$$

La relación matemática entre "T" y "y" es la siguiente:



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$T = \sqrt{2y} = \sqrt{2} * \sqrt{y} = 2^{\frac{1}{2}} * y^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 70}$$

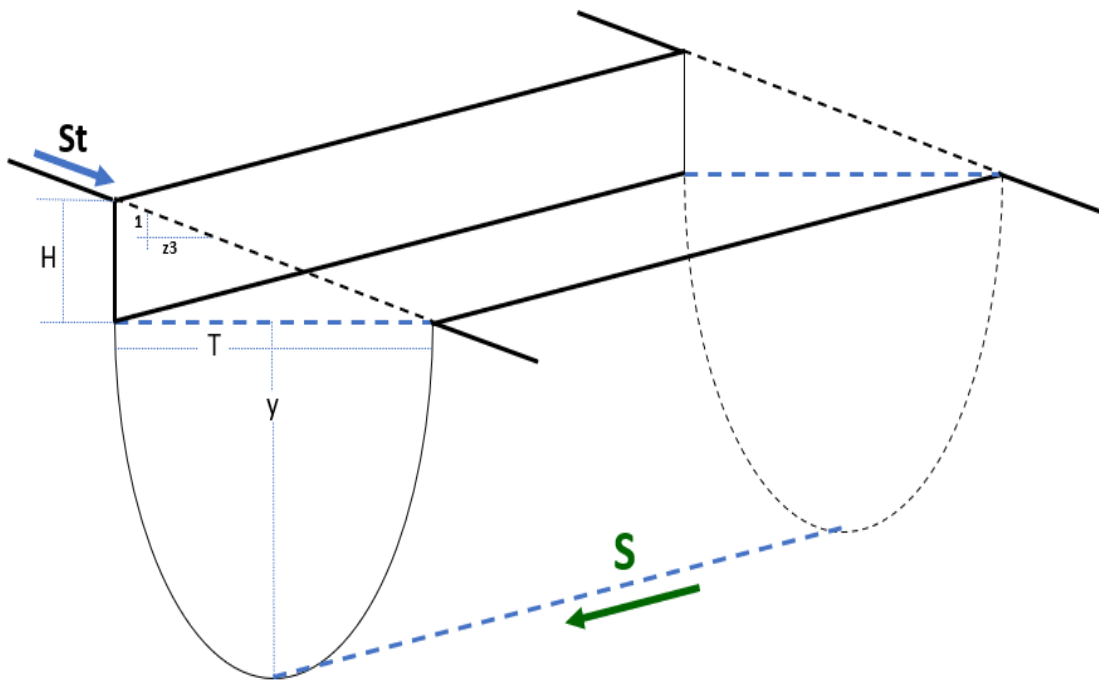


Figura 9: Acequia de ladera parabólica para el caso 1

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

$St$  = pendiente del terreno (%)

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

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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”:

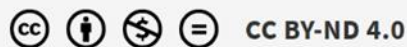
$$Ac1 = \frac{2T * y}{3}$$

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

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

$$Ac1 = \frac{2^{\frac{3}{2}}}{3} * y^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 71}$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

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

$$A_{c2} = \frac{y * S_t}{100} \dots \dots \dots \text{Ecuación 72}$$

Calculando el área de corte total

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

$$A_{ct} = \frac{2T*y}{3} + \frac{T^2*S_t}{200} \dots \dots \dots \text{Ecuación 73}$$

$$A_{ct} = T \left( \frac{2y}{3} + \frac{T*S_t}{200} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 74}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$A_{ct} = \frac{2^{\frac{3}{2}}}{3} * y^{\frac{3}{2}} + \frac{y * S_t}{100} \dots \dots \dots \text{Ecuación 75}$$

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

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

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

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = T \left( \frac{2y}{3} + \frac{T * S_t}{200} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 76}$$

$$V_{cT} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{2^{\frac{3}{2}}}{3} * y^{\frac{3}{2}} + \frac{y * S_t}{100} \dots \dots \dots \text{Ecuación 77}$$

Definición de “y” en términos de “T”:

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$y = \frac{1}{2} * T^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 78}$$

$$y = 0,5 * T^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 79}$$

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


**0 < G ≤ 1:**

Combinación de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{2y} = \sqrt{2} * \sqrt{y} \\ Pm &= \frac{3T^2 + 8y^2}{3T} \end{aligned}$$

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

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

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$P = \frac{6 * y + 8y^2}{3 * \sqrt{2} * \sqrt{y}}$$

$$P = \frac{6y + 8y^2}{3 * \sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}}$$

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

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

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

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

$$P = \frac{\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} * (3 + 4y)}{3} \dots \dots \dots \text{Ecuación 80}$$

$$P = \frac{\frac{1}{2} * y^{\frac{1}{2}} * (3 + 4y)}{3} \dots \dots \dots \text{Ecuación 81}$$

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

$$R = \frac{2*y}{(3+4y)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 82}$$

Para el tirante:

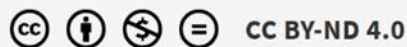
$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

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

Donde:

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

A: área (m<sup>2</sup>)



Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente del canal (m/m)

n: coeficiente de rugosidad

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

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

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

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

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

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

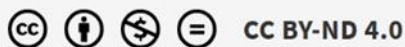
$$\frac{3 * Q * n}{2^{\frac{13}{6}} * S^{\frac{1}{2}}} = \frac{y^{\frac{13}{6}}}{(3 + 4y)^{\frac{2}{3}}}$$

Se define “m” como una constante

$$m = \frac{3 * Q * n}{2^{\frac{13}{6}} * S^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 83}$$

entonces

$$\frac{y^{\frac{13}{6}}}{(3 + 4y)^{\frac{2}{3}}} = m \dots \dots \dots \text{Ecuación 84}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$y^{\frac{13}{6}} = m * (3 + 4y)^{\frac{2}{3}}$$

$$\left(y^{\frac{13}{6}}\right)^{\frac{3}{2}} = m^{\frac{3}{2}} * \left((3 + 4y)^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{3}{2}}$$

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

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

$$y^{\frac{13}{4}} - 4 * m^{\frac{3}{2}} * y - 3 * m^{\frac{3}{2}} = 0 \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 85}$$

Combinando las siguientes ecuaciones:

$\frac{3 * Q * n}{2^{\frac{13}{6}} * S^{\frac{1}{2}}} = m$
$y^{\frac{13}{4}} - 4 * m^{\frac{3}{2}} * y - 3 * m^{\frac{3}{2}} = 0$

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

Ecuación 86



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

$$n = 0,033$$

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

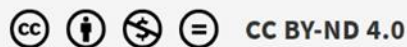
$$y^{\frac{13}{4}} - 4 * \left( \frac{3 * 0,1 * 0,033}{\frac{13}{2,6} * 0,003^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * y - 3 * \left( \frac{3 * 0,1 * 0,033}{\frac{13}{2,6} * 0,003^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - 4 * 0,0080773 * y - 3 * 0,0080773 = 0$$

$$y^{\frac{13}{4}} - 0,032309 * y - 0,0242318 = 0$$

$$y = 0,35906 \text{ m}$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$T = \sqrt{2y} = \sqrt{2} * \sqrt{y}$$

$$T = \sqrt{2 * 0,35906}$$

$$T = 0,84742 \text{ m}$$

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

$$Ac1 = \frac{2 * 2^{\frac{1}{2}}}{3} * 0,35906^{\frac{3}{2}}$$

$$Ac1 = 0,20285 \text{ m}^2$$

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

$$P = \frac{2^{\frac{1}{2}} * 0,35906^{\frac{1}{2}} * (3 + 4 * 0,35906)}{3}$$

$$Pm = 1,25312 \text{ m}$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = \frac{0,20285}{1,25312}$$

$$R = 0,161876$$

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

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

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

$$R^{\frac{2}{3}} = (0,161876)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,29702 \text{ m}$$

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Q = \frac{0,20285 * 0,29702 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$

$$Q = 0,100002 \frac{m^3}{s}$$

Se observa que el caudal calculado da el valor al caudal de diseño.

Probando la 2<sup>da</sup> opción

Estimación de **G**:

Combinando las siguientes ecuaciones:

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

$$Pm = T = \sqrt{2y}$$

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

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

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

 CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$G = 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 87}$$

**G > 1** donde:

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

$$G \leq 1$$

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

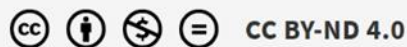
$$\frac{4y}{2y^{\frac{1}{2}}} \leq 1$$

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

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

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

$$y \leq 0,25 \text{ m}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

El “y” calculado debe de ser menor a 0,25 m para poder usar el caso  $0 < G \leq 1$  lo cual NO se cumple porque el calculado tiene un valor de  $y = 0,35906$  m pero el valor del caudal encontrado es correcto.

Probando la 2<sup>da</sup> opción.

**G > 1** donde:

Combinando las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{2}y^{\frac{1}{2}} \\ G &= 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} \\ P &= \frac{T}{2} \left[ (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{G} \text{Ln} \left( G + (1 + G^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \end{aligned}$$

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

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

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

$$P = 0,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,25 * \text{Ln} \left( 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}} \right) \dots\dots\dots$$

Ecuación 88

Cálculo del radio hidráulico

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

$$R = \frac{\frac{2 * \sqrt{2}}{3} * y^{\frac{3}{2}}}{0,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,25 * \text{Ln} \left( 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}} \right)}$$

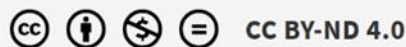
$$R = \frac{2\sqrt{2} * y^{\frac{3}{2}}}{1,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \text{Ln} \left( 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}} \right)} \dots\dots\dots$$

Ecuación 89

Cálculo de “y”:

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

Donde:



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

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

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

$$\frac{\left(\frac{2 * \sqrt{2}}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left[1,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \ln\left(2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{\left(\frac{2 * 2^{\frac{1}{2}}}{3} * y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left[1,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \ln\left(2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{\left(\frac{2 * 2^{\frac{1}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} \left(y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left[1,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \text{Ln}\left(2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{\left(\frac{2 * 2^{\frac{1}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} \left(y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left[1,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \text{Ln}\left(2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$

... .. Ecuación 89.1

Ejemplo tomando los mismos datos del ejemplo anterior

$$Q = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 0,003$$

$$n = 0,033$$

Cálculo de “y”:

$$\frac{\left(\frac{2 * 2^{\frac{1}{2}}}{3}\right)^{\frac{5}{3}} \left(y^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left[1,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \text{Ln}\left(2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} = 0$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$\frac{0,9065106 * y^{\frac{5}{2}}}{\left[2,12132 * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \ln\left(2,828427 * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}}\right)\right]^{\frac{2}{3}}} - 0,060249 = 0$$

$$y = 0,503783$$

*se cumple que  $y > 0,25m$*

Comprobando el caudal con el valor de “y” encontrado

Cálculo de T

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

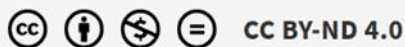
$$T = \sqrt{2 * 0,503783}$$

$$T = 1,460536 \text{ m}$$

Cálculo del área hidráulica que es la misma Ecuación 55 que el área de corte 1

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

$$Ac1 = \frac{2 * \sqrt{2}}{3} * 0,503783^{\frac{3}{2}}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$Ac1 = 0,337123 \text{ m}^2$$

Cálculo del perímetro mojado

$$Pm = 0,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1 + 8y)^{\frac{1}{2}} + 0,25 * Ln\left(2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1 + 8y)^{\frac{1}{2}}\right)$$

$$Pm = 0,5 * \sqrt{2} * 0,503783^{\frac{1}{2}}(1 + 8 * 0,503783)^{\frac{1}{2}} + 0,25 * Ln\left(2\sqrt{2} * 0,503783^{\frac{1}{2}} + (1 + 8 * 0,503783)^{\frac{1}{2}}\right)$$

$$P = 1,487399$$

Cálculo del radio hidráulico

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

$$R = \frac{0,337123}{1,487399}$$

$$R = 0,226653$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0,226653)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0,371741 \text{ m}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

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

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

$$Q = \frac{0,337123 * 0,371741 * \sqrt{0,003}}{0,033}$$

$$Q = 0,208 \frac{m^3}{s}$$

Donde se puede observar que el caudal calculado es más del doble del caudal de diseño que va a pasar por el canal o acequia de ladera que era de  $Q = 0,1 \frac{m^3}{s}$  por lo cual nos dice que este caso no se puede aplicar.

Calculando el área de corte 2 "Ac2" con los valores encontrados de la metodología del caso donde  $0 < G \leq 1$  porque es la correcta

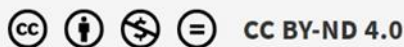
$$y = 2 * x^2 \quad \text{De donde se observa que } a = 2$$

$$y = 0,35906 \text{ m}$$

$$Ac1 = 0,20285 \text{ m}^2$$

$$T = 0,84742 \text{ mm}$$

$$Pm = 1,25312 \text{ m}$$



Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$R = 0,161876$$

$$St = 30$$

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

$$Ac2 = \frac{0,84742^2 * 30}{200}$$

$$A_{c2} = 0,10772 \text{ m}^2$$

Calculado el área de corte total utilizando la Ecuación1:

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

$$A_{ct} = 0,20285 + 0,10772$$

$$A_{ct} = 0,31057 \text{ m}^2$$

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

$$V_{cT} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \right) = 0,31057$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Cuadro 5: Continuación de las ecuaciones básicas hidráulicas para los diferentes valores de “a” para los canales parabólicos con “a=2”

**Resumen de las ecuaciones fundamentales para las variables hidráulicas de los Canal Parabólico para una función de la forma  $f(x) = y = a * x^2$  definida como**

$$f(x) = y = 2 * x^2$$

Valor de “a”		2,0
$f = \frac{2}{\sqrt{a}}$		$f = \sqrt{2}$
$T = f * \sqrt{y}$		$T = \sqrt{2y} = \sqrt{2} * \sqrt{y}$
Área hidráulica o área de corte 1	$Ac1 = \frac{2T*y}{3}$	$Ac1 = \frac{2^{\frac{3}{2}}}{3} * y^{\frac{3}{2}}$
Valor de <b>G</b>	$G = \frac{4y}{T}$	
Perímetro mojado para la condición <b>0 &lt; G ≤ 1</b>	$Pm = T + \frac{8y^2}{3T}$	$P = \frac{\sqrt{2}*y^{\frac{1}{2}}*(3+4y)}{3}$
Radio hidráulico para la condición <b>0 &lt; G ≤ 1</b>	$R = \frac{2*T^2*y}{3*T^2+8*y^2}$	$R = \frac{2 * y}{(3 + 4y)}$
Perímetro mojado para la condición <b>G &gt; 1</b>	$Pm = \frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$	$Pm = 0,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1+8y)^{\frac{1}{2}} + 0,25 * \ln \left( 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1+8y)^{\frac{1}{2}} \right)$
Radio hidráulico para la condición <b>G &gt; 1</b>	$R = \frac{\frac{2T*y}{3}}{\frac{T}{2} \left[ \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{T}{4y} \ln \left( \frac{4y}{T} + \left( 1 + \left( \frac{4y}{T} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]}$	$R = \frac{2\sqrt{2}*y^{\frac{3}{2}}}{1,5\sqrt{2}*y^{\frac{1}{2}}(1+8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \ln \left( 2\sqrt{2}*y^{\frac{1}{2}} + (1+8y)^{\frac{1}{2}} \right)}$
Tirante “y” hidráulico para la condición <b>0 &lt; G ≤ 1</b>	$y^{\frac{13}{4}} - 4 * \left( \frac{3*Q*n}{2*6*S^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}} * y - 3 * \left( \frac{3*Q*n}{2*6*S^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0$	
Tirante “y” hidráulico para la condición <b>G &gt; 1</b>	$\frac{\left( \frac{2 * 2^{\frac{1}{2}}}{3} \right)^{\frac{5}{3}} \left( y^{\frac{3}{2}} \right)^{\frac{5}{3}}}{\left[ 1,5\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}}(1+8y)^{\frac{1}{2}} + 0,75 * \ln \left( 2\sqrt{2} * y^{\frac{1}{2}} + (1+8y)^{\frac{1}{2}} \right) \right]^{\frac{2}{3}}} - \frac{Q * n}{S^{\frac{2}{3}}} = 0$	

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

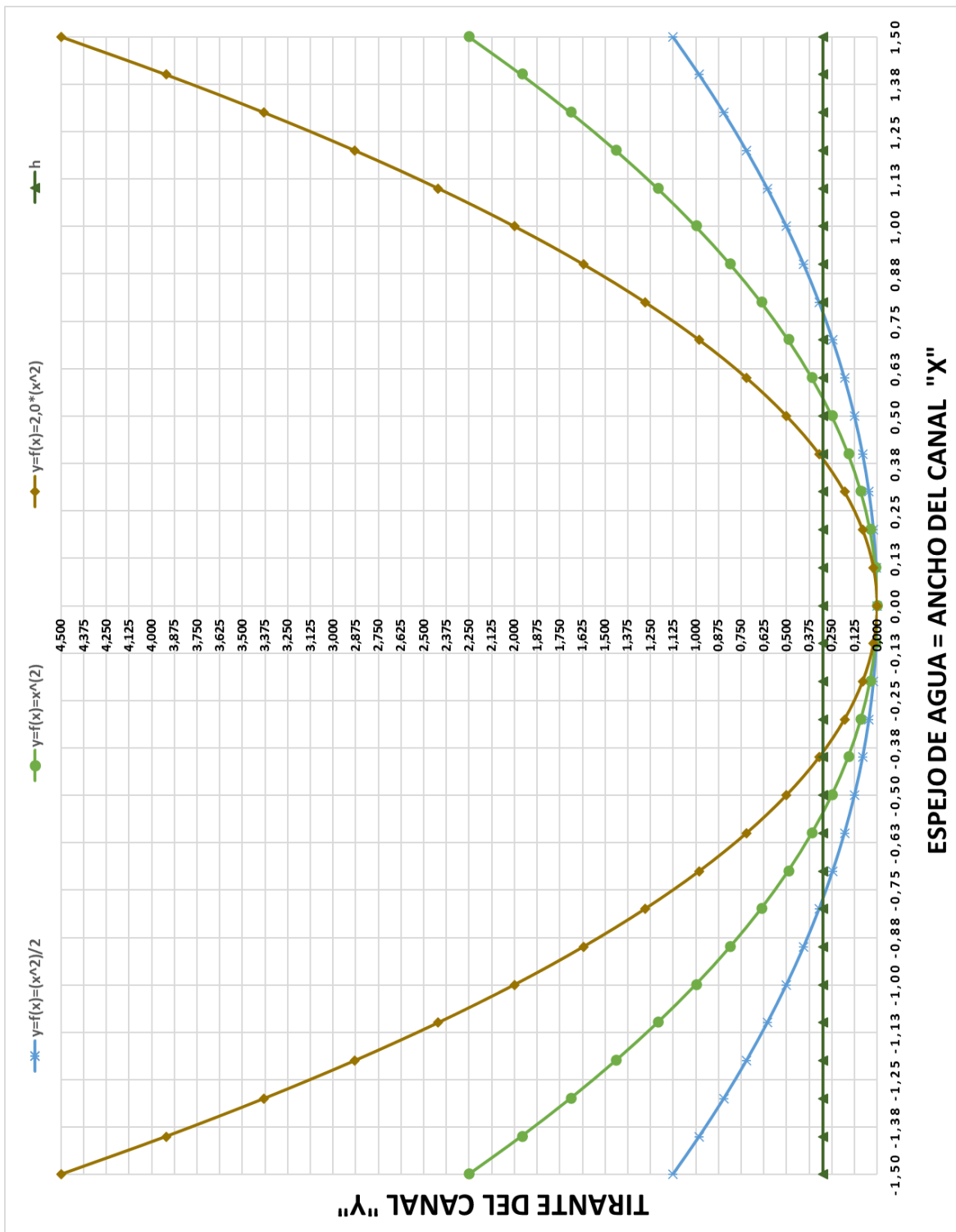
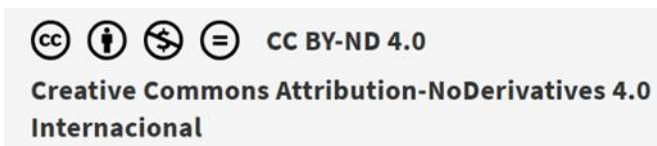


Figura 10: Acequia de los canales parabólicos de los tres ejemplos anteriores con los diferentes valores de "a"



**CC BY-NC-ND 4.0**

**Caso 2: Ecuaciones para calcular los volúmenes de corte del área de corte 2 “Ac2” en un canal conductor parabólico con talud en la pared del terreno donde se construye, donde el talud debido a la pendiente del terreno natural es diferente de cero ( $z_3 \neq 0$ ) (Figura 10)**

Tanto el área de corte 1 llamada área de corte de la sección hidráulica como los parámetros hidráulicos del canal conductor en la acequia de ladera del caso parabólico 1 es la misma que para este caso parabólico 2. No obstante, el área de corte 2 si varía y se debe de calcular. Por lo anterior, solamente se procederá a estimar el área de corte 2 (Ac2).

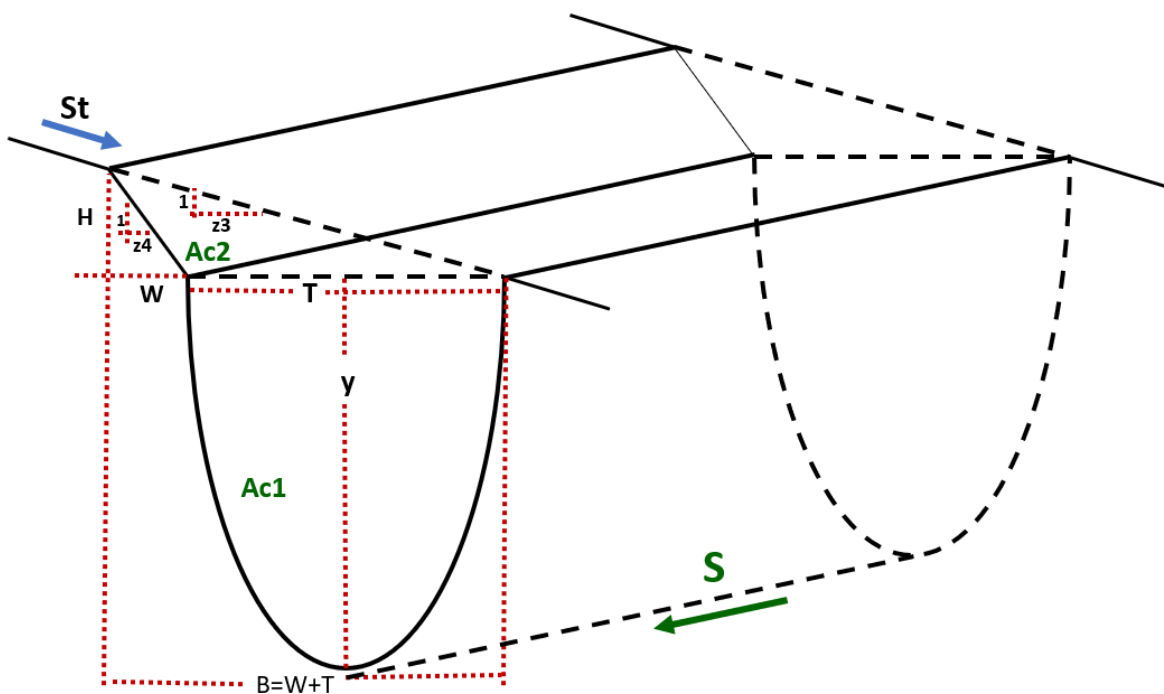


Figura 11: Acequia de ladera parabólica para el caso 2

Según se observa la imagen tenemos los siguientes parámetros:

$z_4$  = Talud en la pared de construcción (adimensional)

CC BY-ND 4.0

Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0

Internacional

**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

$z$  = 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)

$H$  = Valor a determinar (m)

$W$  = Valor a determinar (m)

$B$  = Ancho transversal total del corte (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)

Se cumplen las siguientes ecuaciones de la figura 11:

$$H = \frac{W}{z^4} \dots\dots\dots \text{Ecuación 90}$$

$$W = z^4 * H$$

$$B = \frac{100 * H}{St} \dots\dots\dots \text{Ecuación 91}$$

$$St = \frac{100 * H}{B}$$

$$H = \frac{St * B}{100}$$

De la figura 10:



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Agrícola

Dr. Adrián Enrique Chavarría Vidal    [adchavarría@itcr.ac.cr](mailto:adchavarría@itcr.ac.cr)    [chavarrivae@gmail.com](mailto:chavarrivae@gmail.com)

$$B = W + T \dots \dots \dots \text{Ecuación 92}$$

Combinando las siguientes ecuaciones

$$S_t = \frac{100 * H}{B}$$

$$B = W + T$$

$$S_t = \frac{H}{W+T} * 100$$

$$S_t(W + T) = H * 100$$

$$H = \frac{S_t(W+T)}{100} \dots \dots \dots \text{Ecuación 93}$$

Combinando las siguientes ecuaciones

$$W = z4 * H$$

$$H = \frac{S_t(W + T)}{100}$$

$$H = \frac{S_t(z4 * H + T)}{100}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$100H = z4 * H * S_t + T * S_t$$

$$100H - z4 * H * S_t = T * S_t$$

$$H(100 - z4 * S_t) = T * S_t$$

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{T * S_t}}{\mathbf{100 - z4 * S_t}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 94}$$

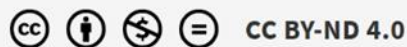
Combinando las siguientes ecuaciones

$W = z4 * H$ $H = \frac{T * S_t}{100 - z4 * S_t}$
---

$$W = z4 * \frac{T * S_t}{100 - z4 * S_t}$$

$$\mathbf{W} = \frac{\mathbf{T * z4 * S_t}}{\mathbf{100 - z4 * S_t}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 95}$$

Combinando las siguientes ecuaciones



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$B = W + T$$

$$W = \frac{T * z4 * S_t}{100 - z4 * S_t}$$

$$B = \frac{T * z4 * S_t}{100 - z4 * S_t} + T$$

$$B = T \left( \frac{z4 * S_t}{100 - z4 * S_t} + 1 \right)$$

$$B = T \left( \frac{z4 * S_t + (100 - z4 * S_t)}{100 - z4 * S_t} \right)$$

$$B = T \left( \frac{z4 * S_t + 100 - z4 * S_t}{100 - z4 * S_t} \right)$$

$$\mathbf{B = \frac{100 * T}{100 - z4 * S_t} \dots \dots \dots Ecuación 96}$$

Calculado del área de corte 2 y se puede observar en la figura 10:

$$A_{c2} = \frac{H(W + T)}{2} - \frac{H * W}{2}$$



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$A_{c2} = \frac{H * W + H * T}{2} - \frac{H * W}{2}$$

$$A_{c2} = \frac{H * W + H * T - H * W}{2}$$

$$A_{c2} = \frac{H * T}{2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 97}$$

$$A_{c2} = 0,5 * H * T \dots \dots \dots \text{Ecuación 98}$$

Sustituyendo la Ecuación 78 en la Ecuación 84

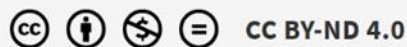
$H = \frac{T * S_t}{100 - z4 * S_t}$ $A_{c2} = 0,5 * H * T$
---

$$A_{c2} = 0,5 * T * \frac{T * S_t}{100 - z4 * S_t}$$

$$A_{c2} = \frac{0,5 * T^2 * S_t}{100 - z4 * S_t} \dots \dots \dots \text{Ecuación 99}$$

Cálculo del área total

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



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

$$A_{ct} = A_{c1} + \frac{0,5 * T^2 * S_t}{100 - z^4 * S_t} \dots \dots \dots \text{Ecuación 100}$$

Donde para encontrar el área total del corte, el área del corte 2 se calcula según la ecuación encontrada y se le suma el área de corte 1 “Ac1” y esta última, depende de la función escogida y del valor de “a” = 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

$$V_{c2} \left( \frac{m^3}{m} \right) = \frac{0,5 * T^2 * S_t}{100 - z^4 * S_t} \dots \dots \dots \text{Ecuación 101}$$

$$V_{ct} \left( \frac{m^3}{m} \right) = A_{c1} + \frac{0,5 * T^2 * S_t}{100 - z^4 * S_t} \dots \dots \dots \text{Ecuación 102}$$

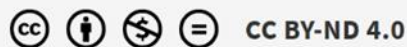


Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**

## Bibliografía

- French, R. (2017). Hidráulica de canales abiertos. 735. México. Recuperado el 2022, de [http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/richard\\_french\\_hidraulica\\_canales\\_abiertos\\_-\\_hidrocliv\\_compressed\\_compressed-comprimido.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/richard_french_hidraulica_canales_abiertos_-_hidrocliv_compressed_compressed-comprimido.pdf)
- Gallardo Armijos, P. (2018). Diseño de canales abiertos. 82. Recuperado el 2022, de <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/09/DISE%C3%91O-CANALES-ABIERTOS.pdf>
- Te Chow, V. (2004). Hidráulica de canales abiertos. 668. Recuperado el 2022, de <https://www.udocz.com/apuntes/10448/ven-te-chow---hidraulica-de-canales-abiertos>



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0  
Internacional

**CC BY-NC-ND 4.0**