



# UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR DE 700 METROS  
DE LONGITUD PARA UN PROYECTO DE RIEGO

MOTOCHE ASANZA YENNER RENE  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2018



# UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR DE 700  
METROS DE LONGITUD PARA UN PROYECTO DE RIEGO

MOTOCHÉ ASANZA YENNER RENE  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2018



# UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

DISEÑO DE UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR DE 700 METROS DE  
LONGITUD PARA UN PROYECTO DE RIEGO

MOTOCHE ASANZA YENNER RENE  
INGENIERO CIVIL

COBO REGALADO GONZALO EDGAR EFRAIN

MACHALA, 12 DE JULIO DE 2018

MACHALA  
12 de julio de 2018

**Nota de aceptación:**

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado DISEÑO DE UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR DE 700 METROS DE LONGITUD PARA UN PROYECTO DE RIEGO, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.

---

COBO REGALADO GONZALO EDGAR EFRAIN  
1703979953  
TUTOR - ESPECIALISTA 1

---

ESPINOZA URGILES FREDDY LEONARDO  
0301365516  
ESPECIALISTA 2

---

ROMERO VALDIVIEZO ELSI AMERICA  
0702237280  
ESPECIALISTA 3

Fecha de impresión: jueves 12 de julio de 2018 - 12:04



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TRABAJO TITULACION.docx (D40340794)  
**Submitted:** 6/25/2018 4:31:00 AM  
**Submitted By:** gcobo@utmachala.edu.ec  
**Significance:** 9 %

### Sources included in the report:

ESPINOZA FRANCO FREDDY FAVIAN.pdf (D21111723)  
10 hojas.pdf (D40316794)  
[http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/8043/1/TCUAIC\\_2016\\_IC\\_CD0011.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/8043/1/TCUAIC_2016_IC_CD0011.pdf)

### Instances where selected sources appear:

19

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, MOTOCHÉ ASANZA YENNER RENE, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DISEÑO DE UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR DE 700 METROS DE LONGITUD PARA UN PROYECTO DE RIEGO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

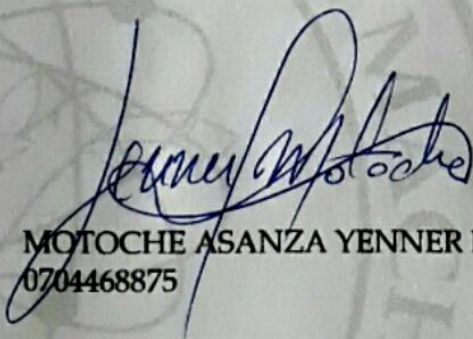
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 12 de julio de 2018



MOTOCHÉ ASANZA YENNER RENE  
0704468875



**UTMACH**

***UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL***

***CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL***

***DISEÑO DE UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR DE  
700 METROS DE LONGITUD PARA UN PROYECTO DE  
RIEGO.***

***YENNER RENE MOTOCHÉ ASANZA***

***MACHALA***

***2018***

# DISEÑO DE UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR DE 700 METROS DE LONGITUD PARA UN PROYECTO DE RIEGO.

## RESUMEN

A continuación vamos a demostrar el procedimiento adecuado para el diseño y construcción de una canal de riego, el cual nos permitirá dotar de agua al sector Agrícola y así promover el desarrollo del pequeño y grande productor contribuyendo al desarrollo del País.

Los parámetros iniciales necesarios otorgados por el docente nos permiten diseñar un modelo que cumpla con todas las especificaciones técnicas y consideraciones necesarias para que este canal sea eficiente, duradero y estéticamente agradable. Para nuestro análisis se considera tres pendientes distintas a lo largo del canal. Los valores obtenidos en el proceso fueron verificados mediante el software Hcanales el cual nos permite obtener valores reales del canal a considerar, pudiendo así cumplir con las necesidades de sus futuros usuarios.

En el proceso descrito en este documento se hallaran tirantes, resaltos hidráulicos, curvas de remanso y finalmente determinaremos el tipo de perfil que se produce en cada sección del canal mediante procedimientos estudiados a lo largo de la carrera universitaria y al apoyo de docentes que formaron profesionales muy capaces que aporten un buen producto a la sociedad.

**PALABRAS CLAVE:** Canal de riego, software, proceso



# DESIGN OF A RECTANGULAR SECTION CHANNEL 700 METRES IN LENGTH FOR AN IRRIGATION PROJECT.

## ABSTRACT

Then we are going to demonstrate the proper procedure for the design and construction of an irrigation canal, which will allow us to provide water to the agricultural sector and to promote the development of small and large producers contributing to the development of the country.

Initial parameters required by the teacher allow us to design a model that complies with all technical specifications and considerations necessary so that this channel is efficient, durable and aesthetically pleasing. For our analysis is considered three different slopes along the canal. The values obtained in the process were verified using the Hcanales software which allows us to obtain real values of the channel to be considered, and can thus meet the needs of their future users.

In the process described in this document is found straps, hydraulic bumps, curves of haven and finally determine the profile type that occurs in each section of the canal through procedures studied University career and to the support from teachers who were very capable professionals that provide a good product to society.

KEY words: Channel irrigation, software, process

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
ÍNDICE GENERAL.....	3
LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (n).....	11
2.2 ANCHO DE SOLERA.....	12
2.3 VELOCIDAD EN CANALES.....	12
2.4 TIPOS DE FLUJOS.....	13
2.4.1 FLUJO UNIFORME Y VARIADO.....	13
2.4.2 FLUJO PERMANENTE Y NO PERMANENTE.....	13
2.5 FLUJO CRÍTICO, SUBCRÍTICO Y SUPERCRÍTICO.....	13
2.6 FÓRMULAS GEOMÉTRICAS PARA CANALES.....	14
2.7 BORDO LIBRE (BL).....	15
2.8 RESALTO HIDRÁULICO.....	16
2.9 ENERGÍA TOTAL.....	16
2.10 CURVA DE REMANSO.....	17
3 METODOLOGÍA.....	17
4 RESULTADOS.....	17
5 CONCLUSIONES.....	19
6 RECOMENDACIONES.....	19
7 BIBLIOGRAFÍA.....	20
8 ANEXO 1.....	22

9 ANEXO 2.....	43
10 PLANOS GENERALES.....	71
11 SECCIONES TRANSVERSALES.....	72

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1.</b> Coeficiente n para la fórmula de Manning.....	11
<b>Tabla 2.</b> Ancho de solera en función del caudal.....	12
<b>Tabla 3.</b> Velocidades máximas recomendadas en función de características del suelo..	12
<b>Tabla 4.</b> Elementos geométricos de las secciones más frecuentes en canales.....	14
<b>Tabla 5.</b> Consideraciones para el cálculo del Bordo Libre.....	15
<b>Tabla 6.</b> Datos del proyecto.....	24
<b>Tabla 7.</b> Datos obtenidos.....	44
<b>Tabla 8 .</b> Datos obtenidos.....	44
<b>Tabla 9 .</b> Datos obtenidos.....	47
<b>Tabla 10.</b> Datos obtenidos.....	48
<b>Tabla 11.</b> Datos y cálculos primera sección.....	49
<b>Tabla 12.</b> Datos y cálculos segunda sección.....	50
<b>Tabla 13.</b> Datos y cálculos tercera sección.....	51
<b>Tabla 14.</b> Tabulación de datos sección I por método directo por tramos.....	53
<b>Tabla 15.</b> Tabulación de datos sección II por método directo por tramos.....	54
<b>Tabla 16.</b> Tabulación de datos sección III por método directo por tramos.....	55
<b>Tabla 17.</b> Coordenadas del terreno natural.....	60
<b>Tabla 18.</b> Coordenadas Fondo del canal.....	62
<b>Tabla 19.</b> Coordenadas Sección del canal.....	69



## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pag.
<b>Ilustración 1.</b> Elementos de un canal rectangular.....	15
<b>Ilustración 2.</b> Resalto hidráulico.....	16
<b>Ilustración 3.</b> Energía total en una sección de un canal.....	16
<b>Ilustración 4.</b> Perfil Longitudinal del terreno.....	24
<b>Ilustración 5.</b> Software para resolución de ecuaciones en Excel.....	28
<b>Ilustración 6.</b> Cálculo del tirante normal en tramo 1.....	29
<b>Ilustración 7.</b> Cálculo del tirante crítico ( $Y_c$ ) en el tramo 1.....	32
<b>Ilustración 8.</b> Cálculo de incógnitas usando SOLVER en Excel.....	33
<b>Ilustración 9.</b> Cálculo del tirante normal en segunda sección.....	35
<b>Ilustración 10.</b> Cálculo del tirante crítico ( $Y_c$ ) en el tramo 2.....	37
<b>Ilustración 11.</b> Cálculo de incógnitas usando SOLVER en Excel.....	38
<b>Ilustración 12.</b> Cálculo del tirante normal en tercer sección.....	40
<b>Ilustración 13.</b> Cálculo del tirante crítico ( $Y_c$ ) en tercera sección.....	42
<b>Ilustración 14.</b> Perfiles de remanso.....	43
<b>Ilustración 15.</b> Perfil de Resalto Hidráulico.....	45
<b>Ilustración 16 .</b> Resalto hidráulico.....	46
<b>Ilustración 17.</b> Cálculo de tirante conjugado $Y_1$ .....	47
<b>Ilustración 18.</b> Resultados del tramo II.....	48
<b>Ilustración 19.</b> Curva de remanso primera sección.....	49
<b>Ilustración 20.</b> Curva de remanso segunda sección.....	50
<b>Ilustración 21 .</b> Curva de remanso tercera sección.....	51
<b>Ilustración 22 .</b> Fondo del canal y terreno natural.....	70
<b>Ilustración 23 .</b> Fondo del canal.....	70

## INTRODUCCIÓN

La provincia de El Oro se caracteriza por sus extensas áreas verdes de producción agrícola entre las cuales podemos mencionar el Banano, Cacao, palma africana, entre otros; de tal manera que el correcto uso de los recursos hídricos son de gran importancia para el desarrollo de sus habitantes.

La importancia del uso del agua ha tomado fuerza debido a la variación de las condiciones en el clima y la reducción de precipitaciones en varios lugares alrededor de nuestro planeta, estos factores han sido causantes de una disminución de recursos hídricos causando incertidumbre en el sector agrícola. [1]

Por tal motivo el presente documento contiene información sobre el diseño y construcción de un canal de sección rectangular para riego, el cual está bajo parámetros y normativas que permiten garantizar un correcto funcionamiento a lo largo de su vida útil y cumpliendo con las exigencias para el cual fue diseñado, aprovechando eficientemente los recursos hídricos existentes en bien de la sociedad y la producción de alimentos ya que “El riego en suelos contempla un 16% de suelos productivos en el planeta produciendo un 40% de los alimentos de consumo humano”. [2]

De tal forma debemos considerar todos los aspectos relevantes del proyecto ya que su correcto funcionamiento garantiza a la población buenos resultados en sus cosechas por lo tanto: Un proyecto de riego bien diseñado permite un óptimo aprovechamiento del agua, garantizando el desarrollo de la producción agrícola. [3]

Por lo tanto la problemática existente para el desarrollo de este proyecto es “La carencia de un sistema eficiente de riego para cultivos debido al crecimiento del sector agrícola, limitando la producción de alimentos para el consumo humano” para lo cual vamos a realizar un diseño óptimo de un canal de riego que permita abastecer de agua a este sector.

De tal forma se plantea como objetivo principal el diseño un canal de riego de sección rectangular usando especificaciones técnicas y criterios de diseño adecuados para lograr un desempeño eficiente y seguro del mismo aprovechando los recursos hídricos de la zona.

Como objetivos específicos identificamos los siguientes:

- Revisión de la información bibliográfica.
- Utilizar el software Hcanales para el análisis de un canal de hormigón armado.
- Diseñar un canal de sección rectangular para un proyecto de riego.

## 1. DESARROLLO

Los sistemas de riego nos permiten una distribución y uso adecuado de agua, la cual debe ser aprovechada al máximo considerando las condiciones actuales a las que se ve sometido el planeta; por lo tanto “Un deficiente sistema de riego tendría impactos fuertes en los cultivos e ingresos que estos generan a los productores, mientras que un uso eficiente generaría un mejor aprovechamiento de agua y suelo y por ende beneficiaría a los productores” [4].

El documento detallado a continuación determina el diseño eficiente de un canal de hormigón armado de sección rectangular que cumpla con todas las características técnicas necesarias para un buen manejo eficiente de agua, acoplado a la geografía evitando pérdidas de suelo y agua sin causar daños con el medio ambiente.

El sistema básicamente transporta caudal a través de un canal rectangular con una longitud de 700 metros de hormigón armado para tener una mejor resistencia al transporte del agua evitando así erosión en sus paredes, funciona usando la gravedad del planeta y está destinado a dotar de este líquido a sectores dedicados a la agricultura ya que es “el sistema de producción que mayor demanda de agua tiene a nivel global, tan solo el 3% es agua dulce y de esta, la agricultura consume cerca del 70%” [5]

“Los canales están clasificados debido a su origen como naturales o artificial. Los naturales fueron diseñados para drenar el agua y los encontramos en ríos o arroyos. Por otro lado los artificiales son obras de ingeniería para producir electricidad, navegación, riego, etc., los cuales fueron creados para distribuir el agua en función de las necesidades de una población” [6]

Los datos obtenidos para el diseño de este proyecto de irrigación fueron proporcionados por el docente tutor de la universidad técnica de Machala por lo tanto el desarrollo parte con un módulo de riego necesario para poder iniciar el diseño.

Los sistemas de irrigación permiten un desarrollo adecuado en el sector agrícola ya que soluciona una problemática principal para el sustento de sus habitantes cumpliendo sus necesidades al proveer agua a sus cultivos beneficiando directamente al crecimiento de los mismos, existen estudios sobre la Importancia del riego y el tamaño de las plantas



cuyos resultados indican que “el riego incrementó la supervivencia independiente de la edad en las especies que necesitan más agua, y principalmente en las plantas más jóvenes en especies clasificadas como intermedias en un gradiente de requerimiento de agua” [7]

Los canales de riego son obras de ingeniería diseñadas para el transporte de agua hacia zonas donde exista un déficit de este líquido, cuentan con estructuras de control lo cual “en una red de canales de riego es una acción necesaria para mantener los caudales y los tirantes cercanos a valores de referencia previamente definidos; estos valores son variables y corresponden a los caudales programados para satisfacer la demanda de riego y a los tirantes necesarios en cada tramo del canal para alimentar las extracciones laterales” [8]

El material puede variar dependiendo de las condiciones y presupuestos existiendo así varios tipos de canales entre algunos mencionaremos los de hormigón, mampostería, canales de tierra, de piedra entre otros; para este estudio nos centraremos en los canales de hormigón armado por su mayor eficiencia y durabilidad.

Para un adecuado funcionamiento de un canal se debe considerar las velocidades críticas presentes en el mismo que podrían generar el depósito de sedimentos en los fondos. [9]

Es importante mencionar que durante el trayecto del fluido a través del canal se presentarán diferentes situaciones las cuales fueron analizadas y resueltas mediante métodos ya establecidos manejando los flujos transportados con eficiencia, seguridad, y garantizando un correcto desempeño durante la vida útil del canal contribuyendo el desarrollo sustentable de la producción agrícola.

“El valor de la productividad del agua para un mismo cultivo es muy variable, así, con una misma cantidad de agua aplicada a un cultivo cualquiera y no limitante para obtener una producción máxima, la mayor producción obtenida será una función del factor que limite este rendimiento (ley del mínimo), y que puede variar en función de la adaptación del cultivo al medio donde se desarrolla, de la productividad del suelo, de los niveles de aplicación de fertilizantes, y también con la técnica de riego que se emplee”[10]

## 2. MARCO TEÓRICO

El movimiento de tierras es un factor a considerar con mucho cuidado ya que es parte fundamental en el presupuesto de nuestro proyecto; la menor cantidad en metros cúbicos removidos durante la construcción de nuestro canal garantiza reducciones significativas en costos de construcción. Así mismo una correcta pendiente permite el funcionamiento óptimo del canal evitando sedimentos y proporciona una velocidad adecuada en el transporte del fluido para preservar las paredes del canal contra la erosión.

### 2.1 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (n)

La rugosidad de las paredes de los canales y tuberías es función del material con que están construidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso. A medida que la superficie es más áspera la velocidad tiende a decrecer y si la superficie es más lisa la velocidad tiende a crecer.

Clase	Naturaleza de las paredes	n
1	Canal revestido con losas de hormigón, teniendo juntas de cemento lisas y limpias, y una superficie lisa fratasada a mano y con lechada de cemento sobre la base de hormigón.	0.012
2	Canal de hormigón colocado detrás de un encofrado y alisado.	0.014
3	Zanja pequeña revestida de hormigón, recta y uniforme, con fondo ligeramente cóncavo, los lados y el fondo recubiertos con un depósito áspero.	0.016
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimiento con concreto arrojado sin tratamiento de alisado.</li> <li>• Superficie cubierta con algas finas y el fondo con dunas de arena arrastrada.</li> </ul>	0.018
5	Canal de tierra excavado en arcilla limosa, con depósitos de arena limpia en el centro y barro arenoso limoso cerca de los lados.	0.018
6	Revestimiento de hormigón hecho sobre roca y lava cortada, en excavación limpia, muy áspera y pozos profundos.	0.020
7	Canal de riego, recto en arena lisa y apretada fuertemente.	0.020
8	Revoque o repello en cemento, aplicado directamente a la superficie preparada del canal de tierra. Con pasto en los lugares rotos y arena suelta en el fondo.	0.022
9	Canal excavado en arcilla limo arenosa. Lecho parejo y duro.	0.024
10	Zanja revestida en ambos lados y en el fondo piedra partida acomodada en seco.	0.024
11	Canal excavado en colina, con la ladera superior cubierta de raíces de sauces y la ladera inferior con muros de hormigón bien ejecutado. Fondo cubierto con grava gruesa.	0.026
12	Canal con fondo de gujarros, donde hay insuficiente sedimento en el agua, o velocidad muy alta que impide la formación de un lecho liso y nivelado.	0.028
13	Canal de tierra excavado en suelo arcillo-arenoso aluvial, con depósitos de arena en el fondo y crecimiento de pastos.	0.029
14	Canal en lecho de gujarros grandes.	0.030
15	Canal natural algo irregular en sus pendientes laterales; con fondo algo uniforme, limpio y regular; en arcilla arenosa gris claro a limo gredoso de color marrón claro; con poca variación en la sección transversal.	0.035

**Tabla 1 .** Coeficiente n para la fórmula de Manning

**Fuente:** Ven te Chow, Hidráulica de los canales abiertos.

## 2.2 ANCHO DE SOLERA

El ancho de solera representa la dimensión entre las paredes de un canal de sección rectangular, el cual puede variar en función del caudal a transportar.

Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de solera b (m)
Menor de 0,100	0,30
Entre 0,100 y 0,200	0,50
Entre 0,200 y 0,400	0,75
Mayor de 0,400	1,00

**Tabla 2.** Ancho de solera en función del caudal

**Fuente:** Maximo Villon Bejar

## 2.3 VELOCIDAD EN CANALES

Considerar una velocidad adecuada en un canal permite un diseño eficiente del mismo evitando así que se presenten situaciones como exceso de sedimentos en los fondos debido a velocidades lentas o erosión en las paredes del canal por velocidades rápidas; por lo tanto para nuestro diseño vamos a considerar valores promedio establecidos a continuación:

Características de los suelos	Velocidades máximas (m/s)
Canales en tierra franca	0,60
Canales en tierra arcillosa	0,90
Canales revestidos con piedra y mezcla simple	1,00
Canales con mampostería de piedra y concreto	2,00
Canales revestidos con concreto	3,00
Canales en roca:	
pizarra	1,25
areniscas consolidadas	1,50
roca dura, granito, etc.	3 a 5

**Tabla 3.** Velocidades máximas recomendadas en función de las características del suelo.

**Fuente:** Hidráulica de Canales de Máximo Villón Béjar, (pp-135).

“La velocidad crítica de depósito, es uno de los parámetros importantes en el diseño de canales que transportan mezclas sin que formen depósito de sólidos en el fondo del canal” [9]

## 2.4 TIPOS DE FLUJOS

En una sección rectangular se presentan dos tipos de flujos; los cuales vamos a describir a continuación:

### 2.4.1 FLUJO PERMANENTE Y NO PERMANENTE

En el flujo permanente los parámetros como velocidad, tirante, entre otros, no varían con respecto al tiempo; si estos parámetros varían entonces se trataría de un flujo no permanente.

### 2.4.2 FLUJO UNIFORME Y VARIADO.

En el flujo uniforme los parámetros como velocidad, tirante, entre otros, no varían con respecto al espacio; si estos parámetros varían entonces se trataría de un flujo variado.

## 2.5 FLUJO CRÍTICO, SUBCRÍTICO, Y SUPERCRÍTICO.

Los flujos en canales abiertos está dado en función de la viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia en el flujo. La relación que existe entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad está definida por el número de Froude.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

Donde:

F = Número de froude

V = velocidad en m/s

g = gravedad m2/s

L = Longitud de la sección en metros

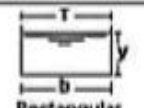




**RÉGIMEN SUBCRÍTICO:** Se produce cuando el número de Froude es menor a uno ;  $F < 1$ , generando un flujo lento

**RÉGIMEN CRÍTICO:** Se produce cuando el número de Froude es igual a uno ;  $F = 1$

**RÉGIMEN SUPERCRÍTICO:** Se produce cuando el número de Froude es mayor a uno ;  $F > 1$ , generando un flujo torrencioso.

## 2.6 FÓRMULAS GEOMÉTRICAS PARA CANALES

Para nuestro diseño vamos a considerar fórmulas establecidas que nos permiten calcular incógnitas en canales abiertos, entre los más usados tenemos canales rectangulares, trapezoidales, triangulares, circulares y parabólicos.

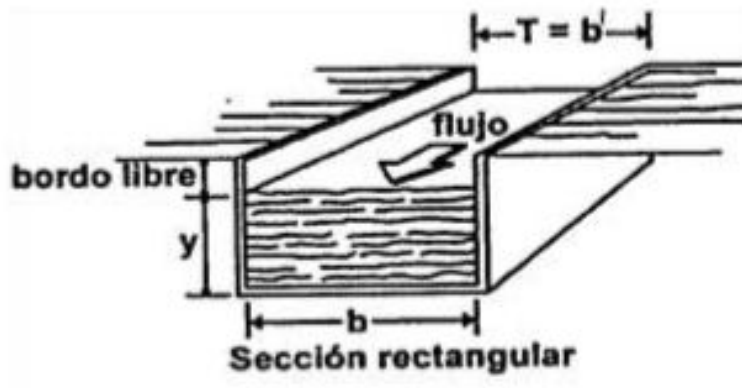
Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

**Tabla 4.** Elementos geométricos de las secciones más frecuentes de canales.

**Fuente:** Máximo Villón Béjar.

## 2.7 BORDO LIBRE (BL)

Se conoce como bordo libre al tirante presente en un canal el cual nos garantiza que el fluido se mantendrá dentro del canal en caso de una crecida repentina.



**Ilustración 1:** Elementos de un canal rectangular.

**Fuente:** Máximo Villón Béjar.

En relación con el caudal se tiene:

Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Bordo libre (m)
Menores que 0,5	0,30
Mayores que 0,5	0,40

En relación con el ancho de solera se tiene:

Ancho de solera (m)	Bordo libre (m)
Hasta 0,80	0,40
de 0,80 a 1,50	0,50
de 1,50 a 3,00	0,60
de 3,00 a 20,00	1,00

**Tabla 5.** Consideraciones para el cálculo del Bordo Libre.

**Fuente:** Máximo Villón Béjar

## 2.8 RESALTO HIDRÁULICO

El resalto hidráulico es un fenómeno que ocurre en longitudes sumamente cortas en donde el flujo cambia su estado de un régimen supercrítico a un régimen subcrítico.

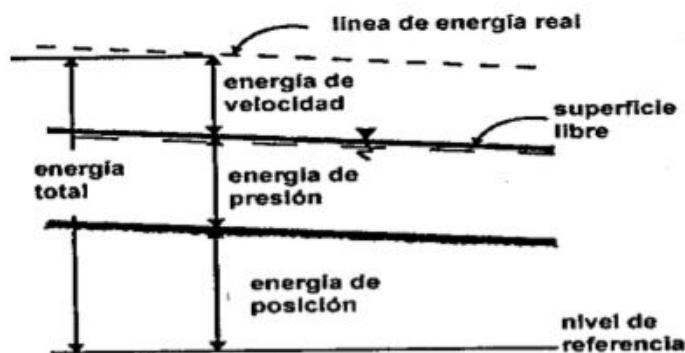


**Ilustración 2:** Resalto hidráulico.

**Fuente:** Máximo Villón Béjar.

## 2.9 ENERGÍA TOTAL

La energía total sobre un canal abierto no es otra cosa que la sumatoria de la energía de la posición en donde se encuentra el nivel de referencia del canal, sumado a la energía de presión y la energía de velocidad.



**Ilustración 3:** Energía total en una sección de un canal.

**Fuente:** Máximo Villón Bejar, pp 51

## **2.10 CURVA DE REMANSO**

Son los perfiles longitudinales que adquiere la superficie libre del líquido sobre un determinado canal, es decir, al momento que se provoca un escurrimiento bajo las condiciones de un régimen gradualmente variado.

Las curvas de remanso o lo que se considera como perfiles de flujo es el perfil que mejor se adapta a la forma que toma el líquido al ser conducido por un canal.

## **3. METODOLOGÍA**

1. De acuerdo con los datos proporcionados por el docente para este proyecto procedemos a calcular el caudal mediante el área de riego.
2. Según la geografía del lugar para un óptimo desempeño y considerando factores como erosión y sedimentación en fondos procedemos a seccionar nuestro canal en tres tramos, obteniendo la pendiente en cada uno de ellos.
3. Luego usando Manning reemplazamos nuestro caudal de diseño y valores dados del proyecto para obtener tirantes y dimensiones de la solera necesaria.
4. Procedemos a reemplazar nuestro tirante en las ecuaciones de hidráulica a fin de obtener datos que nos permitan determinar el tipo de flujo que se genera en cada tramo de nuestro canal.
5. Debido a las variaciones de pendientes en cada tramo se generan curvas de remanso las cuales analizaremos y determinaremos el tipo de perfil que se genera en cada tramo.

## **4. RESULTADOS:**

1. El docente nos facilita los datos iniciales del módulo de riego necesario y las dimensiones del sector beneficiario del proyecto para obtener nuestro caudal de diseño el cual mediante cálculos nos da  $Q = 280 \text{ lt/s}$ . [anexo 1].



2. Los valores de las cotas donde vamos a realizar el proyecto nos permiten conocer las pendientes adecuadas para un desempeño eficiente en nuestro canal [anexo 1].

SECCION	PENDIENTE
I	0,0081
II	0,0028
III	0,0041

3. Hemos obtenido mediante la fórmula de manning los valores de tirantes y solera en las diferentes secciones consideradas [anexo 1].

SECCION	TIRANTE NORMAL (m)	TIRANTE CRITICO (m)	SOLERA (m)
I	0,23	0,26	0,65
II	0,26	0,21	0,65
III	0,18	0,16	0,65

4. Se logró obtener el tipo de flujo presente en las diferentes secciones mediante el número de froude [anexo 1].

SECCION	TIPO DE FLUJO
I	SUPERCRÍTICO
II	SUBCRÍTICO
III	SUBCRÍTICO

5. Hemos determinado el tipo de perfil que se genera en cada sección debido a los cambios de pendiente en cada tramo [Anexo 2].

SECCION	TIPO DE PERFIL
I	S2
II	S2
III	M3

## **5. CONCLUSIONES:**

- Se logró obtener la información de artículos científicos para un correcto diseño acorde a las necesidades.
- Se utilizó el software del programa Hcanales para obtener los datos del canal.
- Se diseñó un canal de hormigón armado de sección rectangular para el que se considera dimensiones generales por detalles constructivos con solera de 65 cm, Altura de 36 cm, espejo de agua de 65 cm, donde se producirá un tirante máximo de 26 cm, una curva de remanso con perfil S2 en la sección donde se produce un resalto hidráulico barrido.

## **6. RECOMENDACIONES:**

Es necesario realizar un correcto mejoramiento del suelo en las zonas donde existen flujos supercríticos para perseverar la estructura del canal evitando hundimientos y por ende fisuras en las paredes del mismo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA:

[1] Sepúlveda Rivera, Isabel et al. **AGUAS, RIEGO Y CULTIVOS: CAMBIOS Y PERMANENCIAS EN LOS AYLLUS DE SAN PEDRO DE ATACAMA.** *Estud. atacam.*, Dic 2015, no.51, p.185-206. ISSN 0718-1043

[2] Medina Valdovinos, Edna Karen et al. **Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco.** *Idesia*, Dic 2016, vol.34, no.6, p.51-59. ISSN 0718-3429

[3] Holzapfel, Eduardo A et al. **DESIGN AND MANAGEMENT OF IRRIGATION SYSTEMS.** *Chilean J. Agric. Res.*, Dec 2009, vol.69, suppl.1, p.17-25. ISSN 0718-5839

[4] de Oliveira, Aureo S et al. **IRRIGATION WATER MANAGEMENT IN LATIN AMERICA.** *Chilean J. Agric. Res.*, Dec 2009, vol.69, suppl.1, p.7-16. ISSN 0718-5839

[5] Ayala López, Julio Cesar; Albóniga Gil, Roberto. **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN DEL CAUDAL DE AGUA PARA CANALES ABIERTOS** Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 24, diciembre, 2015, pp. 91-99 Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba

[6] Castellanos, Hermes E et al. **Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable.** *Inf. tecnol.*, 2017, vol.28, no.6, p.103-114. ISSN 0718-0764

[7] BECERRA, Pablo I; CRUZ, Gustavo; RIOS, Santiago y CASTELLI, Giorgio. **IMPORTANCIA DEL RIEGO Y TAMAÑO DE LAS PLANTAS EN EL ÉXITO DE ESTABLECIMIENTO DE DIFERENTES ESPECIES NATIVAS EN UN ECOSISTEMA DEGRADADO DE CHILE CENTRAL.** *Bosque (Valdivia)* [online]. 2013, vol.34, n.1, pp.103-111. ISSN 0717-9200.

[8] de León Mojarro, Benjamín; Prado Hernández, J. Víctor; Verdier, Jean; Fuentes Ruiz, Carlos **Simulación numérica del movimiento de estructuras de control en canales de riego** *Agrociencia*, vol. 41, núm. 1, enero-febrero, 2007, pp. 75-86 Colegio de Postgraduados Texcoco, México

[9] Gómez Zambrano, Hernán J. **VELOCIDAD CRÍTICA DE DEPÓSITO EN EL TRASPORTE HIDRÁULICO DE MEZCLAS EN CANALES ABIERTOS AVANCES EN RECURSOS HIDRÁULICOS**, núm. 19, octubre-junio, 2009, pp. 7-19 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia

[10] González Robaina, Felicita; López Seijas, Teresa; Herrera Puebla, Julián **INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DEL AGUA POR CULTIVOS Y TÉCNICAS DE RIEGO EN CUBA** *REVISTA CIENCIAS TÉCNICAS AGROPECUARIAS*, vol. 24, núm. 4, octubre-diciembre, 2015, pp. 57-63 Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba

**M. V. BÉJAR, HIDRÁULICA DE CANALES, PRIMERA ed., vol. I, COSTA RICA: TECNOLÓGICA DE COSTA RICA, 1995.**

**M. V. BÉJAR, HIDRÁULICA DE CANALES, PRIMERA ed., vol. I, COSTA RICA: TECNOLÓGICA DE COSTA RICA, 1995.**

## 8. ANEXO 1

**TEMA:** Diseñar un canal de riego rectangular de longitud = 700 mts lineales, con paredes de hormigón y losa de fondo de Hormigón, el canal va a regar a el lado izquierdo un ancho de 2000 mts. y al lado derecho un ancho de 2000 mts. el módulo de riego es de 1 l/seg/Ha, considerar que en La Abscisa 0+260 deja un caudal de 80 lts/Seg, en la Abscisa 0+520 deja un caudal de 60 lts/seg, diseñar el canal, todas sus medidas, colocar datos hidráulicos, clasificar que tipo de flujo es, y dibujar las curvas de remanso del canal( Perfiles Hidráulicos), determinar el calado crítico de cada sección, indicar si hay resalto hidráulico, determinar que tipo es , indicar todo esto en el plano.

ABSCISA	COTA	CAUDAL LT/SEG
0+000	50,13	-
0+020	50,3	-
0+040	50,12	-
0+060	49,3	-
0+080	49,12	-
0+100	50,1	-
0+120	49,9	-
0+140	48,5	-
0+160	48,65	-
0+180	48,4	-
0+200	48,25	-
0+220	48,1	-
0+240	48,3	-

0+260	48	80
0+280	48,12	-
0+300	47,95	-
0+320	48,01	-
0+340	47,8	-
0+360	47,6	-
0+380	47,55	-
0+400	47,6	-
0+420	47,5	-
0+440	47,56	-
0+460	47,41	-
0+480	47,3	-
0+500	47,5	-
0+520	47,25	60
0+540	47,1	-
0+560	47	-
0+580	47,06	-
0+600	47,1	-
0+620	46,98	-
0+640	47,03	-
0+660	46,85	-

0+680	46,7	-
0+700	46,5	-

Para las secciones transversales considerar que a 5 mts del eje Izquierda sube 20cm con respecto a la cota de eje y a 5 mts del eje lado derecho baja 30 cm respecto a la cota de eje.



**Ilustración 4.** Perfil Longitudinal del terreno

**Fuente:** Yenner Motoche

DATOS DEL PROYECTO		
MODULO DE RIEGO PROPUESTO	1	Lts/Seg/Ha
ÁREA DE IRRIGACION		
LONGITUD DE RIEGO	700	metros
ANCHO DE RIEGO	2000	metros

**Tabla 6.** Datos del proyecto

**Fuente:** Ing. COBO REGALADO GONZALO EDGAR  
EFRAIN

$$A = \frac{700m(2000 + 2000)m}{10000m^2} * 1ha$$

$$A = 280 \text{ ha}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = (280\text{Ha}) * (1 \text{ lt/s/Ha})$$

$$Q = 280 \text{ lt/s}$$

## CÁLCULO DEL TIRANTE (Y) Y ANCHO DE SOLERA (b) PARA UN CANAL RECTANGULAR

Como dato en nuestro proyecto nos indica que el revestimiento del canal es de concreto pues vamos a considerar un valor de rugosidad  $n = 0,013$ .

Ahora para empezar a realizar nuestro cálculo vamos a utilizar la ecuación de Manning:

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

Donde :

$Q$  = Caudal de Diseño en  $m^3/s$

$n$  = Rugosidad de la superficie del canal

$A$  = Área de la sección del canal en  $m^2$ .

$R$  = Radio hidráulico en  $m$ .

$S$  = Pendiente longitudinal del canal

Despejando tenemos:

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

Conociendo que el Radio Hidráulico está dado por:

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

Reemplazando  $R$ :

$$\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} = A \cdot \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3}$$



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

Elevamos al cubo la ecuación obtenida para facilidad en la resolución de la misma:

$$\left(\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}}\right)^3 = \frac{A^5}{P^2}$$

Ahora vamos a encontrar el perímetro mojado y el área hidráulica para poder ingresarlos a nuestra ecuación obtenida anteriormente.

Como criterio para canales con máxima eficiencia hidráulica se recomienda que el tirante (Y) sea la mitad de la solera (b) por lo tanto:

$$\text{Tirante (Y)} = \text{solera (2Y)}$$

Para el perímetro mojado vamos a usar la ecuación  $P = b + 2Y$  donde :

$$P = 2Y + 2Y$$

$$P = 4Y$$

Para el Área Hidráulica usaremos la ecuación  $A = b \cdot Y$  donde:

$$A = 2Y \cdot Y$$

$$A = 2Y^2$$

Posteriormente de haber encontrado los valores de Perímetro mojado y Área hidráulica los ingresamos en nuestra ecuación ya obtenida:

$$\left(\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}}\right)^3 = \frac{A^5}{P^2}$$

$$\left(\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}}\right)^3 = \frac{(2Y^2)^5}{(4Y)^2}$$

$$\left(\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}}\right)^3 = \frac{32Y^{10}}{16Y^2}$$

**Primera Sección de 0+000 a 0+260**

Se comienza analizando la pendiente en este tramo.

**Cota Inicial** = 50,13

**Cota Final** = 48

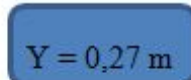
$$S = (50,13 - 48,00)/260$$

$$S = 0,008192 = 0,81\%$$

Considerando nuestro caudal de diseño ya obtenido procedemos a reemplazar en nuestra ecuación:

$$\left(\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}}\right)^3 = 2 Y^8$$

$$2Y^8 = \left(\frac{0,28 * 0,013}{0,0081^{1/2}}\right)^3$$



Y = 0,27 m

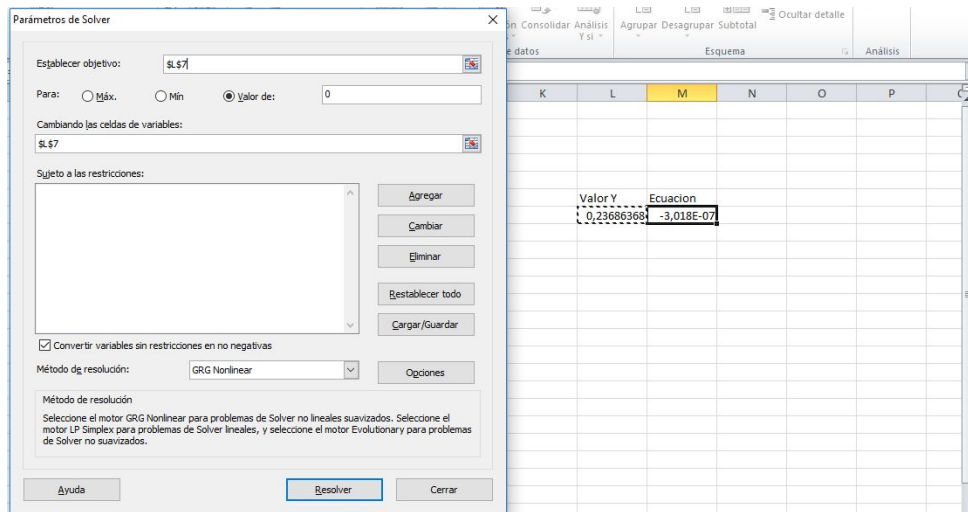
Reemplazando el valor de el tirante (Y) obtendremos la solera :  $b = 2Y$

$$b = 2(0,294)m$$

$$b = 0,55 m$$

En vista de que nuestro caudal de diseño  $Q = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$  y según criterios de diseño analizados en la **tabla 2**, podemos elegir un valor para  $b = 0,65 \text{ m}$ , de tal manera que debemos recalculer nuestro tirante (Y) mediante la ecuación:

$$\left(\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}}\right)^3 = \frac{(b * Y)^5}{(b + 2Y)^2}$$



**Ilustración 5.** Software para resolución de ecuaciones en Excel.

**Fuente:** Yenner Motoche

Donde el tirante sería:  $Y = 0,23 \text{ m}$

Reemplazando los valores obtenidos en nuestras ecuaciones tenemos:

Formula de:	Formula	Resolviendo	Valor
Perímetro mojado	$P = b + 2Y$	$P = 0.65\text{m} + 2 (0,23\text{m})$	1,11 m
Área Hidráulica	$A = b \cdot y$	$A = (0.65\text{m} \cdot 0,23\text{m})$	0,15 m <sup>2</sup>
Espejo de Agua	$T = b$	$T = 0.65\text{m}$	0,65 m
Radio Hidráulico	$R = \frac{b \cdot Y}{b + 2Y}$	$R = \frac{0,65 \cdot 0,23}{0,65 + 2(0,23)}$	0,134 m
Velocidad	$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{1/2}$	$V = \frac{1}{0,013} \cdot 0,1^{\frac{2}{3}} \cdot 0,0081^{\frac{1}{2}}$	1,81 m/s
Numero de Froude	$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Y}}$	$F = \frac{1,81}{(9,81(0.20)^{1/2}}$	1,29

$$F > 1$$

**SUPERCRÍTICO**

## CÁLCULO DE BORDO LIBRE

Para calcular el bordo libre podríamos usar los criterios analizados en la tabla 5, la cual nos da valores sugeridos según el caudal necesario en el canal pero debido a que esos valores serían excesivos procedemos a utilizar la siguiente fórmula que nos permite obtener un valor acorde a nuestro diseño:

$$BL = \frac{Y}{5}$$

$$BL = \frac{0,23 \text{ m}}{5} = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$$

Por detalles de construcción usaremos un BL = 10 cm

## CÁLCULO DE LA ALTURA

$$h = Y + BL$$

$$h = 0,23 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = 0,33 \text{ m}$$

Para comprobación de datos la siguiente imagen representa valores obtenidos con el programa Hcanales, los cuales nos permiten verificar nuestros resultados.

Lugar: <b>MACHALA</b>	Proyecto: <b>DISEÑO CANAL</b>
Tramo: <b>1</b>	Revestimiento: <b>CONCRETO</b>
<b>Datos:</b>	
Caudal (Q): <b>0.28</b> m <sup>3</sup> /s	
Ancho de solera (b): <b>0.65</b> m	
Talud (Z): <b>0</b>	
Rugosidad (n): <b>0.013</b>	
Pendiente (S): <b>0.0081</b> m/m	
<b>Resultados:</b>	
Tirante normal (y): <b>0,2349</b> m	Perímetro (p): <b>1,1198</b> m
Área hidráulica (A): <b>0,1527</b> m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R): <b>0,1363</b> m
Espejo de agua (T): <b>0,6500</b> m	Velocidad (v): <b>1,8340</b> m/s
Número de Froude (F): <b>1,2082</b>	Energía específica (E): <b>0,4063</b> m-Kg/Kg
Tipo de flujo: <b>Supercrítico</b>	

**Ilustración 6.** Cálculo del tirante normal en tramo 1

**Fuente:** Hcanales v3.0

## CÁLCULO DEL TIRANTE CRÍTICO ( $Y_c$ ) EN PRIMER SECCIÓN

Caudal Unitario:

$$q = \frac{Q}{b}$$

Donde :

$q$  = Caudal unitario en  $m^2/s$

$Q$  = Caudal de diseño  $m^3/s$

$b$  = Ancho de la solera en metros

$$q = \frac{0,28 \text{ m}^3/s}{0,65 \text{ m}}$$

$$q = 0,43 \text{ m}^2/s$$

TIRANTE CRÍTICO PARA SECCIONES RECTANGULARES EN PRIMER SECCIÓN:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{0,43^2}{9,8}}$$

$$Y_c = 0,26 \text{ m}$$

## VELOCIDAD CRÍTICA PARA SECCIONES RECTANGULARES: TRAMO 1

$$V_c = \sqrt{g \cdot Y_c}$$

$$V_c = \sqrt{9,8 * 0,26m} = 1,61 \text{ m/s}$$

## RELACIÓN ENTRE ENERGÍA ESPECÍFICA MÍNIMA ( $E_{min}$ ) Y TIRANTE CRÍTICO ( $Y_c$ )

$$E_{min} = \frac{3}{2} Y_c$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} * 0,26m = 0,39 \text{ m kg/kg}$$

Para verificar nuestro resultados calculamos Froude el cual debe darnos un valor de uno:

$$F = \frac{V_c}{\sqrt{g * Y_c}} = 1$$

$$F = \frac{1,59}{\sqrt{9,8 * 0,26}} = 1 \text{ SI CUMPLE}$$

Para verificar nuestro resultado procedemos a calcular el tirante crítico mediante Hcanales:

Lugar:	<input type="text" value="MACHALA"/>	Proyecto:	<input type="text" value="DISEÑO CANAL"/>
Tramo:	<input type="text" value="I"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="CONCRETO"/>

<b>Datos:</b>			
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.20"/>	m <sup>3</sup> /s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.65"/>	m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>		

<b>Resultados:</b>			
Tirante crítico (y):	<input type="text" value="0.2671"/>	m	
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1736"/>	m <sup>2</sup>	
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6500"/>	m	
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.0000"/>		
Perímetro (p):	<input type="text" value="1.1843"/>	m	
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1466"/>	m	
Velocidad (v):	<input type="text" value="1.6126"/>	m/s	
Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3997"/>	m·Kg/Kg	

**Ilustración 7.** Cálculo del tirante crítico (Yc) en el tramo 1

**Fuente:** Hcanales V3.0

**Segunda Sección de 0+260 a 0+520**

Se comienza analizando la pendiente en este tramo.

**Cota Inicial** = 48

**Cota Final** = 47,25

$$S = (48 - 47,25)/260$$

$$S = 0,002884$$

$$S = 0,28\%$$

Considerando nuestro caudal de diseño ya obtenido procedemos a reemplazar en nuestra ecuación:

$$2Y^3 = \left( \frac{0,20 * 0,013}{0,0028^{1/2}} \right)^3$$

**Y = 0,29 m**

Reemplazando el valor del tirante (Y) obtendremos la solera:  $b = 2Y$

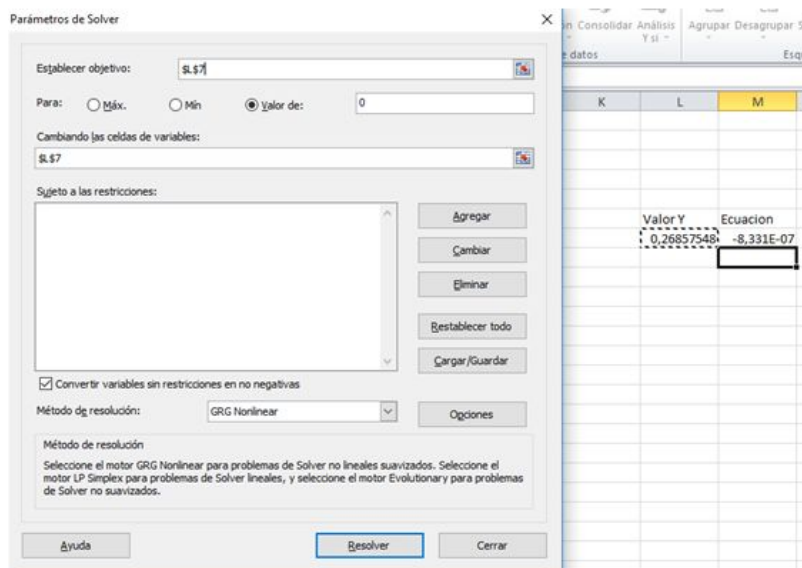
$$b = 2(0,29)m$$

**b = 0,58 m**

En vista de que nuestro caudal de diseño  $Q = 0,20 \text{ m}^3/\text{s}$  y según criterios de diseño analizados en la **tabla 2**, podemos elegir un valor para  $b = 0,65 \text{ m}$ , de tal manera que debemos recalcular nuestro tirante (Y) mediante la ecuación:

$$\left( \frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} \right)^3 = \frac{(b * Y)^5}{(b + 2Y)^2}$$

Despejando Y mediante uso de Excel tenemos:



**Ilustración 8.** Cálculo de incógnitas usando SOLVER en Excel.

**Fuente:** Yenner Motoche



Donde el tirante sería:  $Y = 0,27 \text{ m}$

Reemplazando los valores obtenidos en nuestras ecuaciones tenemos:

Formula de:	Formula	Resolviendo	Valor
Perímetro mojado	$P = b + 2Y$	$P = 0.65 + 2 (0,26)$	1,17 m
Área Hidráulica	$A = b \cdot y$	$A = (0.65 \cdot 0,26)$	0,15 m <sup>2</sup>
Espejo de Agua	$T = b$	$T = 0.65$	0,65 m
Radio Hidráulico	$R = \frac{b \cdot Y}{b + 2Y}$	$R = \frac{0,65 \cdot 0,26}{0,65 + 2(0,26)}$	0,14 m
Velocidad	$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{1/2}$	$V = \frac{1}{0,013} \cdot 0,14^{\frac{2}{3}} \cdot 0,0028^{1/2}$	1,13 m/s
Número de Froude:	$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Y}}$	$F = \frac{1,13}{(9.81(0.26)^{1/2})}$	0,69

$$F < 1$$

SUBCRÍTICO

### CÁLCULO DE BORDO LIBRE

Para calcular el bordo libre podríamos usar los criterios analizados en la **tabla 5**, la cual nos da valores sugeridos según el caudal necesario en el canal pero debido a que esos valores serían excesivos procedemos a utilizar la siguiente fórmula que nos permite obtener un valor acorde a nuestro diseño:

$$BL = \frac{Y}{5}$$

$$BL = \frac{0,26 \text{ m}}{5} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

Por detalles de construcción usaremos un  $BL = 10 \text{ cm}$

## CÁLCULO DE LA ALTURA

$$h = Y + Bl$$

$$h = 0,26 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = 0,36 \text{ m}$$

Para comprobación de datos la siguiente imagen representa valores obtenidos con el programa Hcanales, los cuales nos permiten verificar nuestros resultados.

Lugar:	MACHALA	Proyecto:	DISEÑO CANAL
Tramo:	II	Revestimiento:	CONCRETO

<b>Datos:</b>	
Caudal (Q):	0.20 m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b):	0.65 m
Talud (Z):	0
Rugosidad (n):	0.013
Pendiente (S):	0.0028 m/m

<b>Resultados:</b>			
Tirante normal (y):	0.2706 m	Perímetro (p):	1.1912 m
Área hidráulica (A):	0.1759 m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	0.1477 m
Espejo de agua (T):	0.6500 m	Velocidad (v):	1.1371 m/s
Número de Froude (F):	0.6979	Energía específica (E):	0.3365 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

**Ilustración 9.** Cálculo del tirante normal en segunda sección

**Fuente:** Hcanales v3.0

## CÁLCULO DEL TIRANTE CRÍTICO ( $Y_c$ ) EN SEGUNDA SECCIÓN

Caudal Unitario:

$$q = \frac{Q}{b}$$

Donde :

$q$  = Caudal unitario en  $m^2/s$

$Q$  = Caudal de diseño  $m^3/s$

$b$  = Ancho de la solera en metros

$$q = \frac{0,28 \text{ m}^3/s}{0,65 \text{ m}}$$

$$q = 0,43 \text{ m}^2/s$$

### **TIRANTE CRÍTICO PARA SECCIONES RECTANGULARES SEGUNDO TRAMO**

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{0,30^2}{9,8}} = 0,21 \text{ m}$$

### **VELOCIDAD CRÍTICA PARA SECCIONES RECTANGULARES EN SEGUNDO TRAMO**

$$V_c = \sqrt{g \cdot Y_c}$$

$$V_c = \sqrt{9,8 * 0,21 \text{ m}} = 1,44 \text{ m/s}$$

### **RELACIÓN ENTRE ENERGÍA ESPECÍFICA MÍNIMA ( $E_{min}$ ) Y TIRANTE CRÍTICO ( $Y_c$ )**

$$E_{min} = \frac{3}{2} Y_c$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} * 0,21 \text{ m} = 0,31 \text{ m kg/kg}$$

Para verificar nuestros resultados calculamos Froude el cual debe darnos un valor de uno:

$$F = \frac{V_c}{\sqrt{g * Y_c}} = 1$$

$$F = \frac{1,44}{\sqrt{9,8 * 0,21}}$$

$$F = 1 \quad \text{Si cumple}$$

Para verificar nuestro resultado procedemos a calcular el tirante crítico mediante Hcanales:

Lugar:	MACHALA	Proyecto:	DISEÑO CANAL
Tramo:	II	Revestimiento:	CONCRETO

<b>Datos:</b>		
Caudal (Q):	0,20 m3/s	
Ancho de solera (b):	0,65 m	
Talud (Z):	0	

<b>Resultados:</b>			
Tirante crítico (y):	0,2130 m	Perímetro (p):	1,0759 m
Área hidráulica (A):	0,1384 m2	Radio hidráulico (R):	0,1287 m
Espejo de agua (T):	0,6500 m	Velocidad (v):	1,4448 m/s
Número de Froude (F):	1,0000	Energía específica (E):	0,3194 m-Kg/Kg

**Ilustración 10.** Cálculo del tirante crítico (Yc) en el tramo 2

**Fuente:** Hcanales V3.0

**Tercera Sección de** 0+520 a 0+700

Se comienza analizando la pendiente en este tramo.

**Cota Inicial** = 47,25

**Cota Final** = 46,5

$$S = (47,25 - 46,5)/180$$

$$S = 0,0041 = 0,41\%$$

Considerando nuestro caudal de diseño ya obtenido procedemos a reemplazar en nuestra ecuación:

$$2Y^8 = \left( \frac{0,14 * 0,013}{0,0041^{1/2}} \right)^3$$

$$Y = 0,24 \text{ m}$$

Reemplazando el valor del tirante (Y) obtendremos la solera:  $b = 2Y$

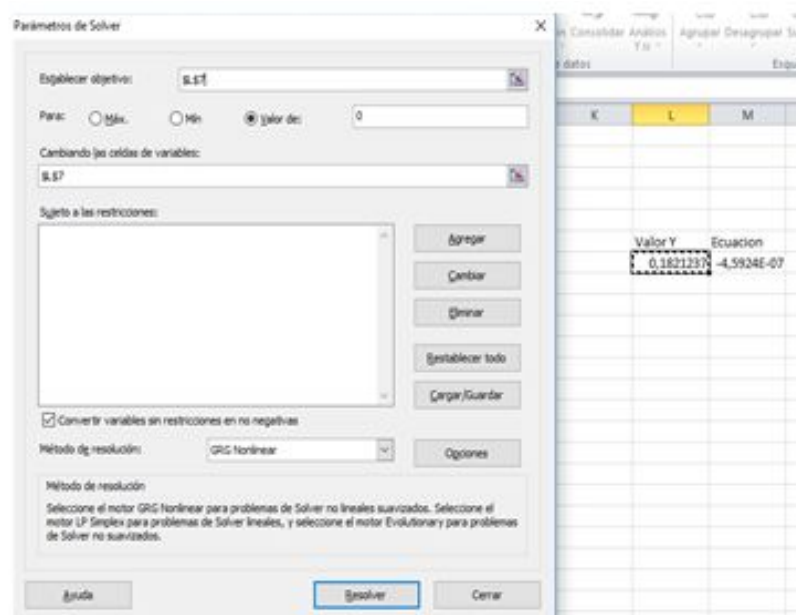
$$b = 2(0,24)\text{m}$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

En vista de que nuestro caudal de diseño se reduce a  $Q = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$  y según criterios de diseño analizados en la **tabla 2**, podemos elegir un valor para  $b = 0,65 \text{ m}$ , de tal manera que debemos recalcular nuestro tirante (Y) mediante la ecuación:

$$\left( \frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} \right)^3 = \frac{(b * Y)^5}{(b + 2Y)^2}$$

Despejando Y mediante uso de Solver en Excel tenemos:



**Ilustración 11.** Cálculo de incógnitas usando SOLVER en Excel.

**Fuente:** Yenner Motoche

Donde el tirante sería:  $Y = 0,18 \text{ m}$

Reemplazando los valores obtenidos en nuestras ecuaciones tenemos:

Formula de:	Formula	Resolviendo	Valor
Perímetro mojado	$P = b + 2Y$	$P = 0.65\text{m} + 2(0,18\text{m})$	1,01 m
Área Hidráulica	$A = b \cdot y$	$A = (0.65\text{m} \cdot 0,18\text{m})$	0,11 m <sup>2</sup>
Espejo de Agua	$T = b$	$T = 0.65\text{m}$	0,65 m
Radio Hidráulico	$R = \frac{b \cdot Y}{b + 2Y}$	$R = \frac{0,65 \cdot 0,18}{0,65 + 2(0,18)}$	0,115 m
Velocidad	$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{1/2}$	$V = \frac{1}{0,013} \cdot 0,1^{\frac{2}{3}} \cdot 0,004^{1/2}$	1,17 m/s
Número de Froude:	$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Y}}$	$F = \frac{1,17}{(9.81(0.18)^{1/2}}$	0,87

$$F < 1$$

SUBCRÍTICO

### CÁLCULO DE BORDO LIBRE

Para calcular el bordo libre podríamos usar los criterios analizados en la **tabla 5**, la cual nos da valores sugeridos según el caudal necesario en el canal pero debido a que esos valores serían excesivos procedemos a utilizar la siguiente fórmula que nos permite obtener un valor acorde a nuestro diseño:

$$BL = \frac{Y}{5}$$

$$BL = \frac{0,18 \text{ m}}{5} = 0,036 \text{ m} = 3.6 \text{ cm}$$

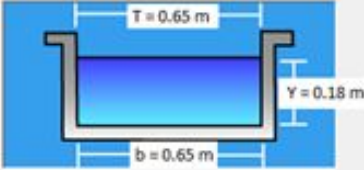
Por detalles de construcción usaremos un  $BL = 10 \text{ cm}$

## CÁLCULO DE LA ALTURA

$$h = Y + Bl$$

$$h = 0,18 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = 0,28 \text{ m}$$

Para comprobación de datos la siguiente imagen representa valores obtenidos con el programa Hcanales, los cuales nos permiten verificar nuestros resultados.

Lugar:	MACHALA	Proyecto:	DISEÑO CANAL
Tramo:	III	Revestimiento:	CONCRETO
<b>Datos:</b>			
Caudal (Q):	0.14 m <sup>3</sup> /s		
Ancho de solera (b):	0.65 m		
Talud (Z):	0		
Rugosidad (n):	0.013		
Pendiente (S):	0.0041 m/m		
<b>Resultados:</b>			
Tirante normal (y):	0.1828 m	Perímetro (p):	1.0156 m
Área hidráulica (A):	0.1188 m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	0.1170 m
Espejo de agua (T):	0.6500 m	Velocidad (v):	1.1782 m/s
Número de Froude (F):	0.8798	Energía específica (E):	0.2536 m·kg/kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

**Ilustración 12.** Cálculo del tirante normal en tercer sección

**Fuente:** Hcanales v3.0

## CÁLCULO DEL TIRANTE CRÍTICO ( $Y_c$ ) EN LA TERCER SECCIÓN

Caudal Unitario:

$$q = \frac{Q}{b}$$

Dónde :

$q$  = Caudal unitario en  $m^2/s$

$Q$  = Caudal de diseño  $m^3/s$

$b$  = Ancho de la solera en metros

$$q = \frac{0,14 \text{ m}^3/s}{0,65 \text{ m}}$$

$$q = 0,21 \text{ m}^2/s$$

TIRANTE CRÍTICO PARA SECCIONES RECTANGULARES TERCER TRAMO

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{0,21^2}{9,8}}$$

$$Y_c = 0,17m$$

VELOCIDAD CRÍTICA PARA SECCIONES RECTANGULARES TERCER TRAMO

$$V_c = \sqrt{g \cdot Y_c}$$

$$V_c = \sqrt{9,8 * 0,16m}$$

$$V_c = 1,27 \text{ m/s}$$

RELACIÓN ENTRE ENERGÍA ESPECÍFICA MÍNIMA ( $E_{min}$ ) Y TIRANTE CRÍTICO ( $Y_c$ )

$$E_{min} = \frac{3}{2} Y_c$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} * 0,16m$$

$$E_{min} = 0,25 \text{ m kg/kg}$$



Para verificar nuestros resultados calculamos Froude el cual debe darnos un valor de uno:

$$F = \frac{Vc}{\sqrt{g * Yc}} = 1$$

$$F = \frac{1,27}{\sqrt{9,8 * 0,16}}$$

$$F = 1 \quad \text{Si cumple}$$

Para verificar nuestro resultado procedemos a calcular el tirante crítico mediante Hcanales:

Lugar:	<input type="text" value="MACHALA"/>	Proyecto:	<input type="text" value="DISEÑO CANAL"/>
Tramo:	<input type="text" value="III"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="CONCRETO"/>

<b>Datos:</b>		
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.14"/> m3/s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.65"/> m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	

<b>Resultados:</b>			
Tirante crítico (y):	<input type="text" value="0.1686"/> m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.9872"/> m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1096"/> m2	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1110"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6500"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.2773"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.0000"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.2518"/> m-Kg/Kg

**Ilustración 13.** Cálculo del tirante crítico (Yc) en tercer sección

**Fuente:** Hcanales V3.0

## 9. ANEXO 2

### CURVA DE REMANSO GENERADAS POR CAMBIO DE PENDIENTES EN CANALES RECTANGULARES DE CONCRETO

Las curvas de remanso se producen en canales cuya pendiente varía en cada tramo a considerar, para lo cual analizaremos cada sección anteriormente descritas:

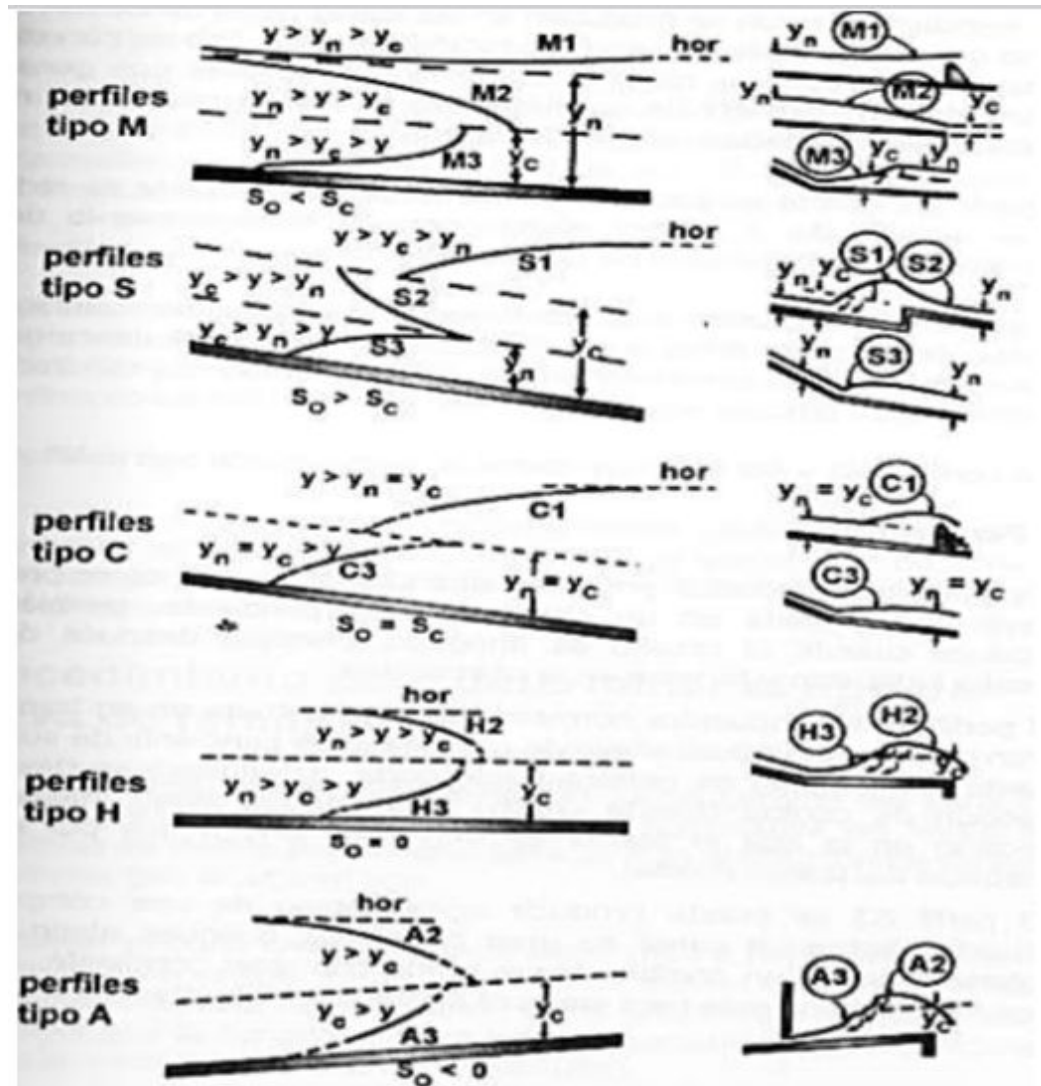


Ilustración 14. Perfiles de remanso

Fuente: Máximo Villón Béjar.

**PRIMERA SECCIÓN DE 0+000 A 0+260**

PRIMERA SECCIÓN	
<u>Y<sub>n</sub></u>	0,23
FROUDE	1,2
<u>Y<sub>c</sub></u>	0,26
PENDIENTE %	0,81
RUGOSIDAD	0,013

**Tabla 7.** Datos obtenidos

**Fuente:** Yenner Motoche

Régimen SUPERCRÍTICO

IDENTIFICACION DEL TIPO DE PERFIL

$$Y_c > Y > Y_n$$

Clasificación de curva de remanso según **Ilustración 14** : S2

**SEGUNDA SECCIÓN DE 0+260 A 0+520**

SEGUNDA SECCIÓN	
<u>Y<sub>n</sub></u>	0,26
FROUDE	0,69
<u>Y<sub>c</sub></u>	0,21
PENDIENTE %	0,28
RUGOSIDAD	0,013

**Tabla 8 .** Datos obtenidos

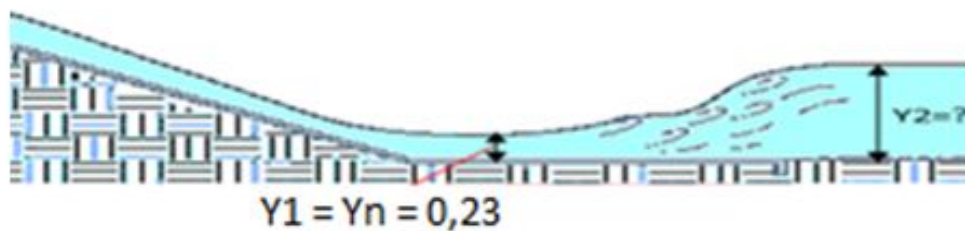
**Fuente:** Yenner Motoche

Régimen SUBCRÍTICO

## SECCIÓN DE CONTROL

Analizando nuestros resultados para la sección primera determinamos un régimen SUPERCRÍTICO y para la segunda sección se determinó un régimen SUBCRÍTICO, por lo que se presenta un RESALTO HIDRÁULICO en dicha sección.

Al final de la sección primera el  $Y_n$  es conocido, esto quiere decir que el tirante conjugado menor de la segunda sección donde se produce el resalto hidráulico corresponderá al  $Y_n$  del tramo anterior por lo tanto:



**Ilustración 15.** Perfil de Resalto Hidráulico

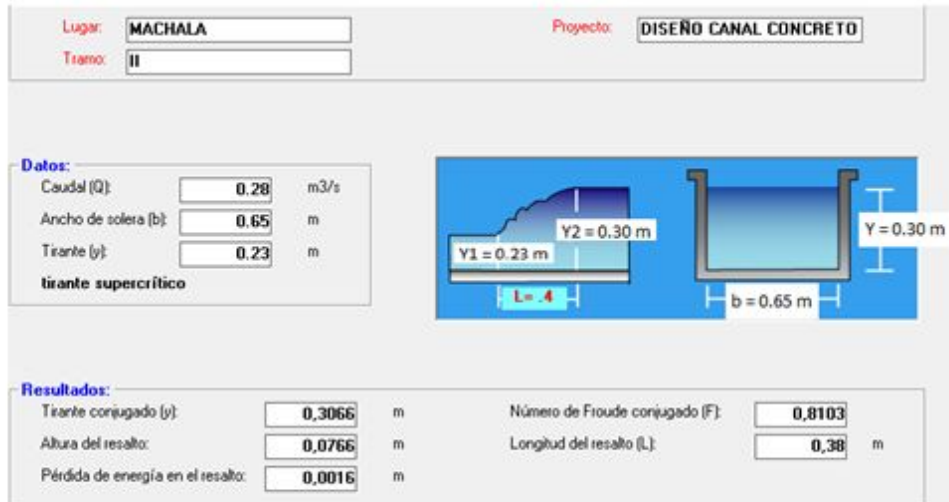
**Fuente:** Yenner Motoche

$$Y1 = Yn1 = 0,23 \text{ m}$$

El Tirante  $Y2$  se puede hallar fácilmente mediante el uso de fórmulas establecidas siempre y cuando se conozca el valor de FROUDE en el punto de referencia:

$$y2 = -\frac{y1}{2} + \sqrt{2 * F1^2 * y1^2 + \frac{y1^3}{4}}$$

Mediante el uso del software Hcanales podemos determinar el valor de  $y2$ :



**Ilustración 16.** Resalto hidráulico

**Fuente:** Hcanales v3.0

Donde  $Y_2 = 0,30 \text{ m}$

Una vez determinado el tirante conjugado  $Y_2$  del resalto es necesario determinar qué tipo de resalto se produce, si es un tipo de resalto barrido o ahogado; para ello procederemos a evaluar el tirante normal de la Segunda sección respecto al tirante conjugado obtenido  $Y_2$ :

$$Y_2 = 0,30 \text{ m} > Y_{n2} = 0,26 \text{ m}$$

Por lo tanto podemos deducir que en este punto se producirá un resalto barrido. Ahora lo ideal sería que el tirante conjugado del resalto  $Y_2$  sea lo más próximo al tirante normal de la sección II.

$$Y_2 = Y_{n2} = 0.26 \text{ m}$$

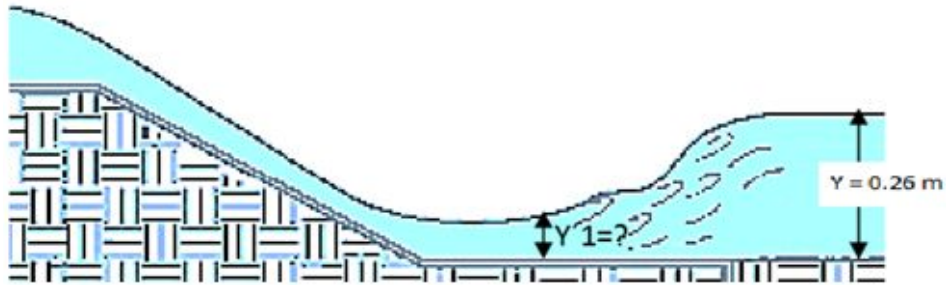
#### IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE PERFIL

$$Y_n > Y_c > Y$$

Clasificación de curva de remanso según Resalto **Ilustración 14 : S2**

Ahora determinaremos el tirante conjugado del resalto mediante la expresión:

$$Y_1 = \frac{Y_2}{2} \left( \sqrt{8F^2 + 1} \right) - 1$$



**Ilustración 17.** Cálculo de tirante conjugado Y1

**Fuente:** Yenner Motoche

DATOS:

Q =	0,2	m <sup>3</sup> /s
b =	0,65	m
Y2 =	0,26	m

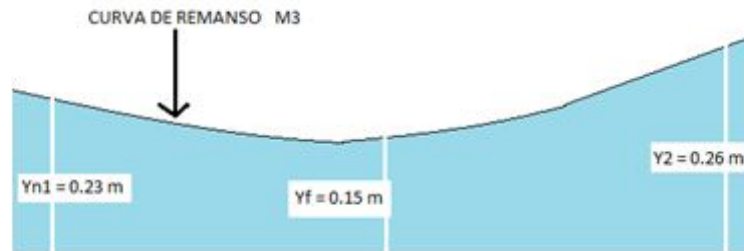
**Tabla 9 .** Datos obtenidos

**Fuente:** Yenner Motoche

$$Y_1 = \frac{0,26}{2} \left( \sqrt{8(0,69)^2 + 1} \right) - 1$$

$$Y_1 = 0,15 \text{ m}$$

Por lo tanto según los datos obtenidos del tramo II nuestra curva va desde  $Y_{n1} = 0,23 \text{ m}$  hasta  $Y_f = 0,15 \text{ m} = Y_1$



**Ilustración 18.** Resultados del tramo II

**Fuente:** Yenner Motoche

### TERCERA SECCIÓN DE 0+520 A 0+700

TERCERA SECCIÓN	
$Y_n$	0,18
FROUDE	0,87
$Y_c$	0,16
PENDIENTE %	0,41
RUGOSIDAD	0,013

**Tabla 10.** Datos obtenidos

**Fuente:** Yenner Motoche

Régimen SUBCRÍTICO

### IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE PERFIL

$$Y_n > Y > Y_c$$

Clasificación de curva de remanso según **Ilustración 14** : **M3**

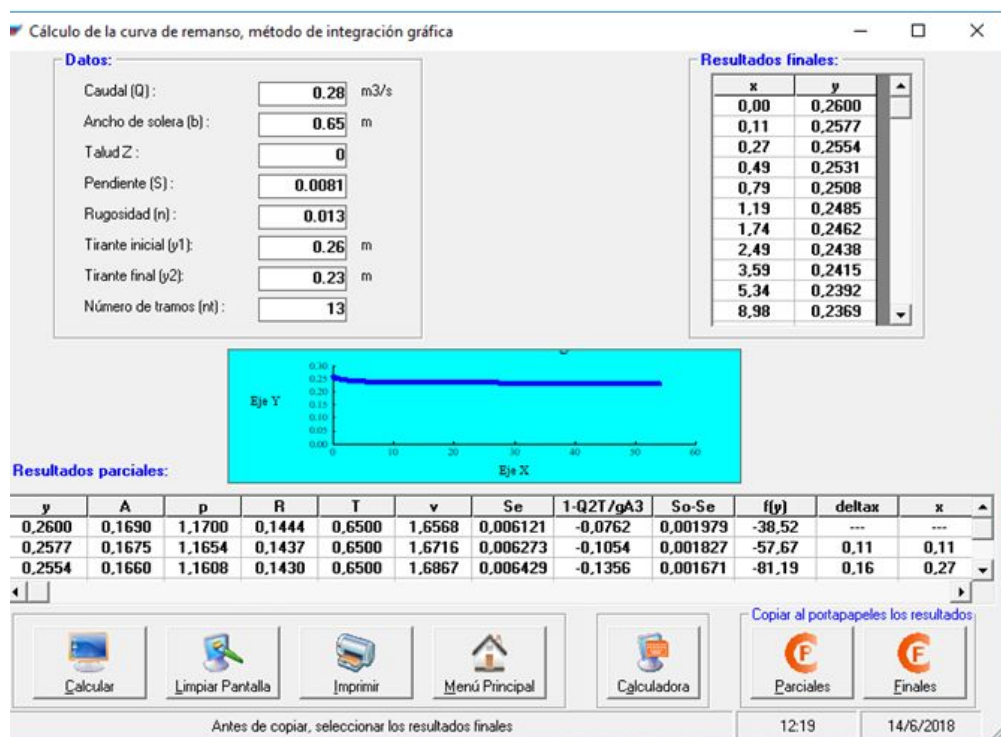
## CÁLCULO DE LOS PERFILES PARA CADA SECCIÓN

### PRIMERA SECCIÓN: PERFIL TIPO S2

Q =	0,28	m <sup>3</sup> /s
b =	0,65	m
n =	0,013	
Y1 =	0,26	m
Y2 =	0,23	m
S =	0,81	pendiente
N <sub>t</sub> =	13	# tramos

**Tabla 11.** Datos y cálculos primera sección

**Fuente :** Yenner Motoche



**Ilustración 19.** Curva de remanso primera sección

**Fuente:** Yenner Motoche

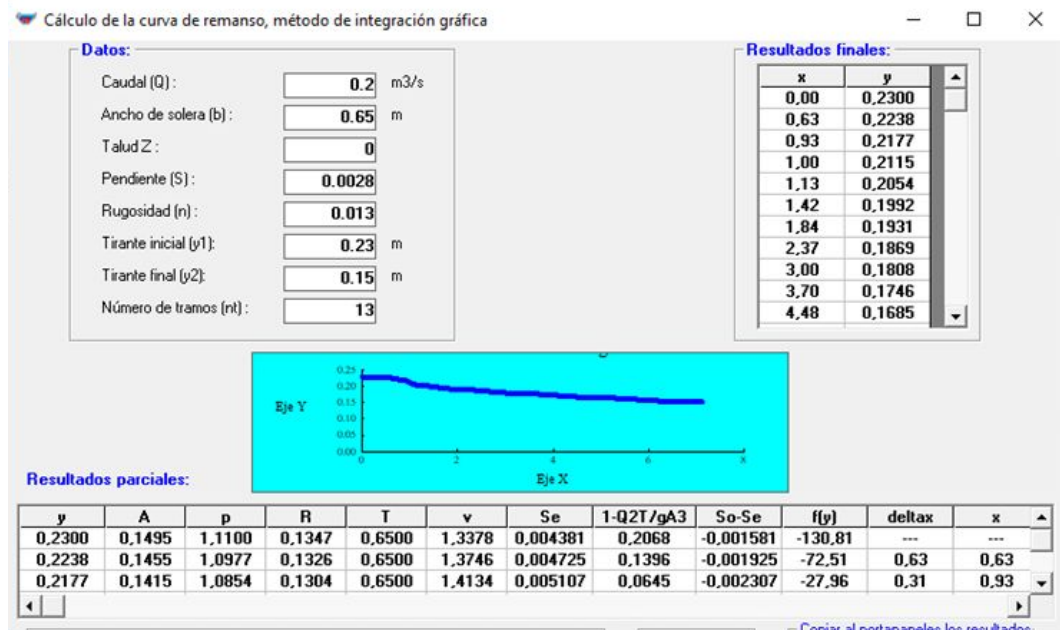


## SEGUNDA SECCIÓN : PERFIL TIPO S2

Q =	0,20	m <sup>3</sup> /s	
b =	0,65	m	
n =	0,013		
Y1 =	0,23	m	Y <sub>n</sub> tramo I
Y2 =	0,15	m	Y1 del Resalto
S2 =	0,28	pendiente	
Nt =	13	# tramos	

**Tabla 12.** Datos y cálculos segunda sección

**Fuente :** Yenner Motoche



**Ilustración 20.** Curva de remanso segunda sección

**Fuente:** Yenner Motoche

### TERCERA SECCIÓN : PERFIL TIPO M3

Q =	0,14	m <sup>3</sup> /s
b =	0,65	m
n =	0,013	
Y1 =	0,16	m
Y2 =	0,18	m
S2 =	0,41	pendiente
Nt =	9	# tramos

Tabla 13 . Datos y cálculos tercera sección

Fuente : Yenner Motoche

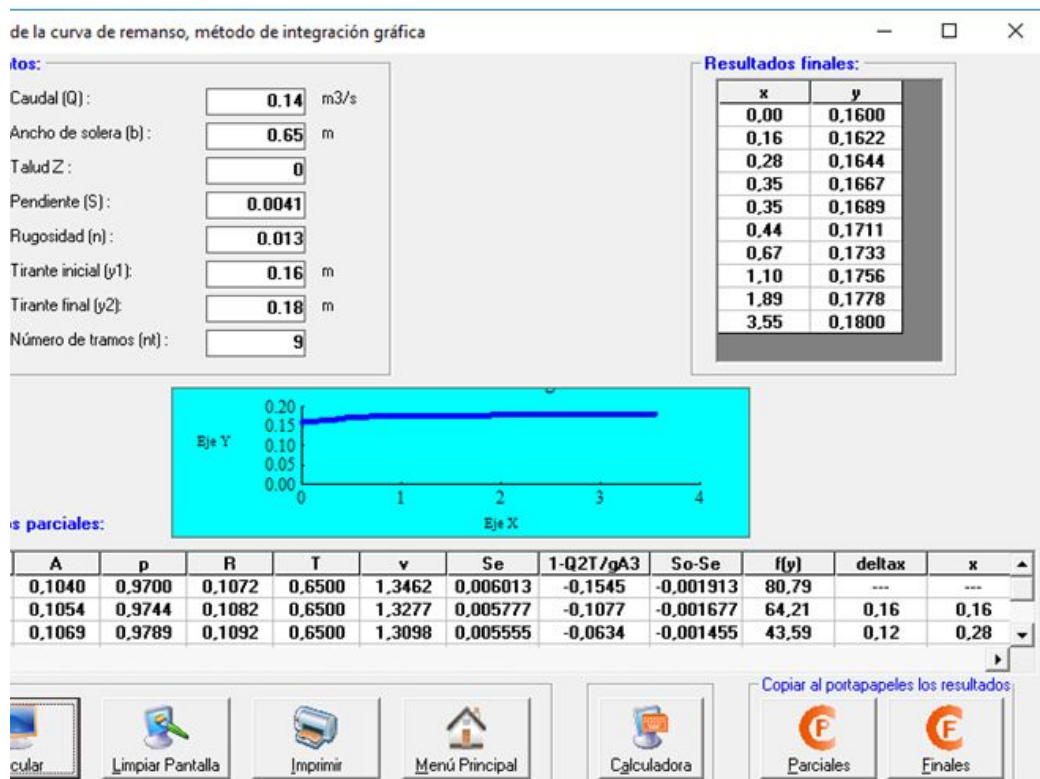


Ilustración 21 . Curva de remanso tercera sección

Fuente: Yenner Motoche

## LONGITUD DE RESALTO HIDRÁULICO

Para el cálculo de la longitud de resalto hidráulico vamos a hacer referencia la siguiente fórmula:

Dónde:

LR = Longitud de resalto

Y2 = Tirante conjugado del resalto en metros

Y1 = Tirante conjugado contraído del resalto en metros

Debemos considerar la longitud de curva de la sección III, por lo tanto procedemos a nuestro software Hcanales para obtener la longitud de curva de dicha sección:

Longitud de curva M3 = 7.13 metros

Longitud total del tramo II = 7.13 m + 0.76 m = 7.89 metros

## CÁLCULO SECCIÓN I

A	P	R	T	V	Se	1 - Q2T/gA3	So - Se	f(y)	ΔX	X
0,169	1,170	0,144	0,65	1,66	0,0061	-0,0762	0,0020	-38,52	---	---
0,168	1,165	0,144	0,65	1,67	0,0063	-0,1054	0,0018	-57,67	0,11	0,11
0,166	1,161	0,143	0,65	1,69	0,0064	-0,1356	0,0017	-81,19	0,16	0,27
0,165	1,156	0,142	0,65	1,70	0,0066	-0,167	0,0015	-110,71	0,22	0,49
0,163	1,152	0,142	0,65	1,72	0,0068	-0,1995	0,0013	-148,88	0,3	0,79
0,162	1,147	0,141	0,65	1,73	0,0069	-0,2332	0,0012	-200,09	0,4	1,19
0,160	1,142	0,140	0,65	1,75	0,0071	-0,2682	0,0010	-272,35	0,55	1,74
0,159	1,138	0,139	0,65	1,77	0,0073	-0,3046	0,0008	-381,93	0,75	2,49
0,157	1,133	0,139	0,65	1,78	0,0075	-0,3423	0,0006	-567,65	1,1	3,59
0,156	1,129	0,138	0,65	1,80	0,0077	-0,3816	0,0004	-950,79	1,75	5,34
0,154	1,124	0,137	0,65	1,82	0,0079	-0,4223	0,0002	-2201,59	3,64	8,98
0,153	1,119	0,136	0,65	1,84	0,0081	-0,4647	0,0000	18055,38	-18,29	27,27
0,151	1,115	0,136	0,65	1,85	0,0084	-0,5088	-0,0003	2020,69	-23,16	50,44
0,150	1,110	0,135	0,65	1,87	0,0086	-0,5547	-0,0005	1139,5	-3,65	54,08

**Tabla 14.** Tabulación de datos sección I por método directo por tramos.

**Fuente:** Yenner Motoche

## CÁLCULO SECCIÓN II

A	P	R	T	V	Se	1 - Q2T/gA3	So - Se	f(y)	ΔX	X
0,150	1,110	0,135	0,65	1,34	0,0044	0,2068	-0,0016	-130,81	---	---
0,146	1,098	0,133	0,65	1,37	0,0047	0,1396	-0,0019	-72,51	0,63	0,63
0,142	1,085	0,130	0,65	1,41	0,0051	0,0645	-0,0023	-27,96	0,31	0,93
0,138	1,073	0,128	0,65	1,45	0,0055	-0,0195	-0,0027	7,14	0,06	1
0,134	1,061	0,126	0,65	1,50	0,0060	-0,1139	-0,0032	35,45	-0,13	1,13
0,130	1,049	0,124	0,65	1,54	0,0066	-0,2204	-0,0038	58,72	-0,29	1,42
0,126	1,036	0,121	0,65	1,59	0,0072	-0,3408	-0,0044	78,14	-0,42	1,84
0,122	1,024	0,119	0,65	1,65	0,0079	-0,4777	-0,0051	94,54	-0,53	2,37
0,118	1,012	0,116	0,65	1,70	0,0086	-0,6338	-0,0058	108,54	-0,62	3
0,114	0,999	0,114	0,65	1,76	0,0095	-0,8127	-0,0067	120,59	-0,71	3,7
0,110	0,987	0,111	0,65	1,83	0,0106	-1,0187	-0,0078	131,02	-0,77	4,48
0,106	0,975	0,108	0,65	1,90	0,0118	-1,2571	-0,0090	140,1	-0,83	5,31
0,102	0,962	0,106	0,65	1,97	0,0132	-1,5346	-0,0104	148,03	-0,89	6,2
0,098	0,950	0,103	0,65	2,05	0,0148	-1,8595	-0,0120	154,97	-0,93	7,13

**Tabla 15.** Tabulación de datos sección II por método directo por tramos.

**Fuente:** Yenner Motoche

### CALCULO SECCION III

A	P	R	T	V	Se	$1 - Q2T/gA^3$	So - Se	f(y)	$\Delta X$	X
0,104	0,970	0,107	0,65	1,35	0,0060	-0,1545	-0,0019	80,79	---	---
0,105	0,974	0,108	0,65	1,33	0,0058	-0,1077	-0,0017	64,21	0,16	0,16
0,107	0,979	0,109	0,65	1,31	0,0056	-0,0634	-0,0015	43,59	0,12	0,28
0,108	0,983	0,110	0,65	1,29	0,0053	-0,0214	-0,0012	17,24	0,07	0,35
0,110	0,988	0,111	0,65	1,28	0,0051	0,0183	-0,0010	-17,57	0	0,35
0,111	0,992	0,112	0,65	1,26	0,0050	0,0561	-0,0009	-65,67	-0,09	0,44
0,113	0,997	0,113	0,65	1,24	0,0048	0,0919	-0,0007	-136,39	-0,22	0,67
0,114	1,001	0,114	0,65	1,23	0,0046	0,126	-0,0005	-250,56	-0,43	1,1
0,116	1,006	0,115	0,65	1,21	0,0044	0,1584	-0,0003	-465,78	-0,8	1,89
0,117	1,010	0,116	0,65	1,20	0,0043	0,1891	-0,0002	-1022,36	-1,65	3,55

**Tabla 16.** Tabulación de datos sección III por método directo por tramos.

**Fuente:** Yenner Motoche

<b>TERRENO NATURAL</b>		
<b>ABSCISAS</b>	<b>ORDENADAS</b>	<b>COTAS</b>
0+000	5	50,33
0+000	0	50,13
0+000	-5	49,83
0+020	5	50,5
0+020	0	50,3
0+020	-5	50
0+040	5	50,32
0+040	0	50,12
0+040	-5	49,82
0+060	5	49,5
0+060	0	49,3
0+060	-5	49
0+080	5	49,32
0+080	0	49,12
0+080	-5	48,82
0+100	5	50,3
0+100	0	50,1
0+100	-5	49,8
0+120	5	50,1
0+120	0	49,9
0+120	-5	49,6

0+140	5	48,7
0+140	0	48,5
0+140	-5	48,2
0+160	5	48,85
0+160	0	48,65
0+160	-5	48,35
0+180	5	48,6
0+180	0	48,4
0+180	-5	48,1
0+200	5	48,45
0+200	0	48,25
0+200	-5	47,95
0+220	5	48,3
0+220	0	48,1
0+220	-5	47,8
0+240	5	48,5
0+240	0	48,3
0+240	-5	48
0+260	5	48,2
0+260	0	48
0+260	-5	47,7
0+280	5	48,32
0+280	0	48,12
0+280	-5	47,82
0+300	5	48,15



0+300	0	47,95
0+300	-5	47,65
0+320	5	48,21
0+320	0	48,01
0+320	-5	47,71
0+340	5	48
0+340	0	47,8
0+340	-5	47,5
0+360	5	47,8
0+360	0	47,6
0+360	-5	47,3
0+380	5	47,75
0+380	0	47,55
0+380	-5	47,25
0+400	5	47,8
0+400	0	47,6
0+400	-5	47,3
0+420	5	47,7
0+420	0	47,5
0+420	-5	47,2
0+440	5	47,76
0+440	0	47,56
0+440	-5	47,26
0+460	5	47,61
0+460	0	47,41

0+460	-5	47,11
0+480	5	47,5
0+480	0	47,3
0+480	-5	47
0+500	5	47,7
0+500	0	47,5
0+500	-5	47,2
0+520	5	47,45
0+520	0	47,25
0+520	-5	46,95
0+540	5	47,3
0+540	0	47,1
0+540	-5	46,8
0+560	5	47,2
0+560	0	47
0+560	-5	46,7
0+580	5	47,26
0+580	0	47,06
0+580	-5	46,76
0+600	5	47,3
0+600	0	47,1
0+600	-5	46,8
0+620	5	47,18
0+620	0	46,98
0+620	-5	46,68

0+640	5	47,23
0+640	0	47,03
0+640	-5	46,73
0+660	5	47,05
0+660	0	46,85
0+660	-5	46,55
0+680	5	46,9
0+680	0	46,7
0+680	-5	46,4
0+700	5	46,7
0+700	0	46,5
0+700	-5	46,2

**Tabla 17. Coordenadas del terreno natural**

**Fuente : Yenner Motoche**

<b>COORDENADAS FONDO CANAL</b>		
<b>ABSCISA</b>	<b>ORDENADA</b>	<b>COTA</b>
<b>0+000</b>	<b>0</b>	<b>50,13</b>
<b>0+020</b>	<b>0</b>	<b>49.96</b>
<b>0+040</b>	<b>0</b>	<b>49.80</b>
<b>0+060</b>	<b>0</b>	<b>49,63</b>
<b>0+080</b>	<b>0</b>	<b>49,47</b>
<b>0+100</b>	<b>0</b>	<b>49.31</b>
<b>0+120</b>	<b>0</b>	<b>49,14</b>
<b>0+140</b>	<b>0</b>	<b>48,98</b>

<b>0+160</b>	<b>0</b>	<b>48,81</b>
<b>0+180</b>	<b>0</b>	<b>48,65</b>
<b>0+200</b>	<b>0</b>	<b>48,49</b>
<b>0+220</b>	<b>0</b>	<b>48,32</b>
<b>0+240</b>	<b>0</b>	<b>48,16</b>
<b>0+260</b>	<b>0</b>	<b>47,94</b>
<b>0+280</b>	<b>0</b>	<b>48,12</b>
<b>0+300</b>	<b>0</b>	<b>47,88</b>
<b>0+320</b>	<b>0</b>	<b>47,82</b>
<b>0+340</b>	<b>0</b>	<b>47,76</b>
<b>0+360</b>	<b>0</b>	<b>47,7</b>
<b>0+380</b>	<b>0</b>	<b>47,64</b>
<b>0+400</b>	<b>0</b>	<b>47,59</b>
<b>0+420</b>	<b>0</b>	<b>47,53</b>
<b>0+440</b>	<b>0</b>	<b>47,47</b>
<b>0+460</b>	<b>0</b>	<b>47,41</b>
<b>0+480</b>	<b>0</b>	<b>47,35</b>
<b>0+500</b>	<b>0</b>	<b>47,29</b>
<b>0+520</b>	<b>0</b>	<b>47,25</b>
<b>0+540</b>	<b>0</b>	<b>47,11</b>
<b>0+560</b>	<b>0</b>	<b>47,07</b>
<b>0+580</b>	<b>0</b>	<b>46,99</b>
<b>0+600</b>	<b>0</b>	<b>46,91</b>
<b>0+620</b>	<b>0</b>	<b>46,82</b>
<b>0+640</b>	<b>0</b>	<b>46,74</b>

<b>0+660</b>	<b>0</b>	<b>46,66</b>
<b>0+680</b>	<b>0</b>	<b>46,58</b>
<b>0+700</b>	<b>0</b>	<b>46,5</b>

**Tabla 18. Coordenadas Fondo del canal**

**Fuente: Yenner Motoche**

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>ALTURA DEL CANAL CONSIDERADO (H) =</b>	<b>0,4</b>	<b>m</b>
<b>ANCHO DE SOLERA CONSIDERADO (b) =</b>	<b>0,65</b>	<b>m</b>
<b>SECCION DEL CANAL</b>		
<b>ABSCISA</b>	<b>ORDENADA</b>	<b>COTA</b>
<b>0+000</b>	<b>-0,325</b>	<b>50,53</b>
<b>0+000</b>	<b>-0,325</b>	<b>50,13</b>
<b>0+000</b>	<b>0,325</b>	<b>50,13</b>
<b>0+000</b>	<b>0,325</b>	<b>50,53</b>
<b>0+020</b>	<b>-0,325</b>	<b>50,36</b>
<b>0+020</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,96</b>
<b>0+020</b>	<b>0,325</b>	<b>49,96</b>
<b>0+020</b>	<b>0,325</b>	<b>50,36</b>
<b>0+040</b>	<b>-0,325</b>	<b>50,2</b>
<b>0+040</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,8</b>

<b>0+040</b>	<b>0,325</b>	<b>49,8</b>
<b>0+040</b>	<b>0,325</b>	<b>50,2</b>
<b>0+060</b>	<b>-0,325</b>	<b>50,03</b>
<b>0+060</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,63</b>
<b>0+060</b>	<b>0,325</b>	<b>49,63</b>
<b>0+060</b>	<b>0,325</b>	<b>50,03</b>
<b>0+080</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,87</b>
<b>0+080</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,47</b>
<b>0+080</b>	<b>0,325</b>	<b>49,47</b>
<b>0+080</b>	<b>0,325</b>	<b>49,87</b>
<b>0+100</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,71</b>
<b>0+100</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,31</b>
<b>0+100</b>	<b>0,325</b>	<b>49,31</b>
<b>0+100</b>	<b>0,325</b>	<b>49,71</b>
<b>0+120</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,54</b>
<b>0+120</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,14</b>
<b>0+120</b>	<b>0,325</b>	<b>49,14</b>
<b>0+120</b>	<b>0,325</b>	<b>49,54</b>
<b>0+140</b>	<b>-0,325</b>	<b>50,38</b>
<b>0+140</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,98</b>
<b>0+140</b>	<b>0,325</b>	<b>49,98</b>

<b>0+140</b>	<b>0,325</b>	<b>50,38</b>
<b>0+160</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,21</b>
<b>0+160</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,81</b>
<b>0+160</b>	<b>0,325</b>	<b>48,81</b>
<b>0+160</b>	<b>0,325</b>	<b>49,21</b>
<b>0+180</b>	<b>-0,325</b>	<b>49,05</b>
<b>0+180</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,65</b>
<b>0+180</b>	<b>0,325</b>	<b>48,65</b>
<b>0+180</b>	<b>0,325</b>	<b>49,05</b>
<b>0+200</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,89</b>
<b>0+200</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,49</b>
<b>0+200</b>	<b>0,325</b>	<b>48,49</b>
<b>0+200</b>	<b>0,325</b>	<b>48,89</b>
<b>0+220</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,72</b>
<b>0+220</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,32</b>
<b>0+220</b>	<b>0,325</b>	<b>48,32</b>
<b>0+220</b>	<b>0,325</b>	<b>48,72</b>
<b>0+240</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,56</b>
<b>0+240</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,16</b>
<b>0+240</b>	<b>0,325</b>	<b>48,16</b>
<b>0+240</b>	<b>0,325</b>	<b>48,56</b>

<b>0+260</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,34</b>
<b>0+260</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,94</b>
<b>0+260</b>	<b>0,325</b>	<b>47,94</b>
<b>0+260</b>	<b>0,325</b>	<b>48,34</b>
<b>0+280</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,52</b>
<b>0+280</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,12</b>
<b>0+280</b>	<b>0,325</b>	<b>48,12</b>
<b>0+280</b>	<b>0,325</b>	<b>48,52</b>
<b>0+300</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,28</b>
<b>0+300</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,88</b>
<b>0+300</b>	<b>0,325</b>	<b>47,88</b>
<b>0+300</b>	<b>0,325</b>	<b>48,28</b>
<b>0+320</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,22</b>
<b>0+320</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,82</b>
<b>0+320</b>	<b>0,325</b>	<b>47,82</b>
<b>0+320</b>	<b>0,325</b>	<b>48,22</b>
<b>0+340</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,16</b>
<b>0+340</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,76</b>
<b>0+340</b>	<b>0,325</b>	<b>47,76</b>
<b>0+340</b>	<b>0,325</b>	<b>48,16</b>
<b>0+360</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,1</b>



<b>0+360</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,7</b>
<b>0+360</b>	<b>0,325</b>	<b>47,7</b>
<b>0+360</b>	<b>0,325</b>	<b>48,1</b>
<b>0+380</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,04</b>
<b>0+380</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,64</b>
<b>0+380</b>	<b>0,325</b>	<b>47,64</b>
<b>0+380</b>	<b>0,325</b>	<b>48,04</b>
<b>0+400</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,99</b>
<b>0+400</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,59</b>
<b>0+400</b>	<b>0,325</b>	<b>47,59</b>
<b>0+400</b>	<b>0,325</b>	<b>47,99</b>
<b>0+420</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,93</b>
<b>0+420</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,53</b>
<b>0+420</b>	<b>0,325</b>	<b>47,53</b>
<b>0+420</b>	<b>0,325</b>	<b>47,93</b>
<b>0+440</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,87</b>
<b>0+440</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,47</b>
<b>0+440</b>	<b>0,325</b>	<b>47,47</b>
<b>0+440</b>	<b>0,325</b>	<b>47,87</b>
<b>0+460</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,81</b>
<b>0+460</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,41</b>

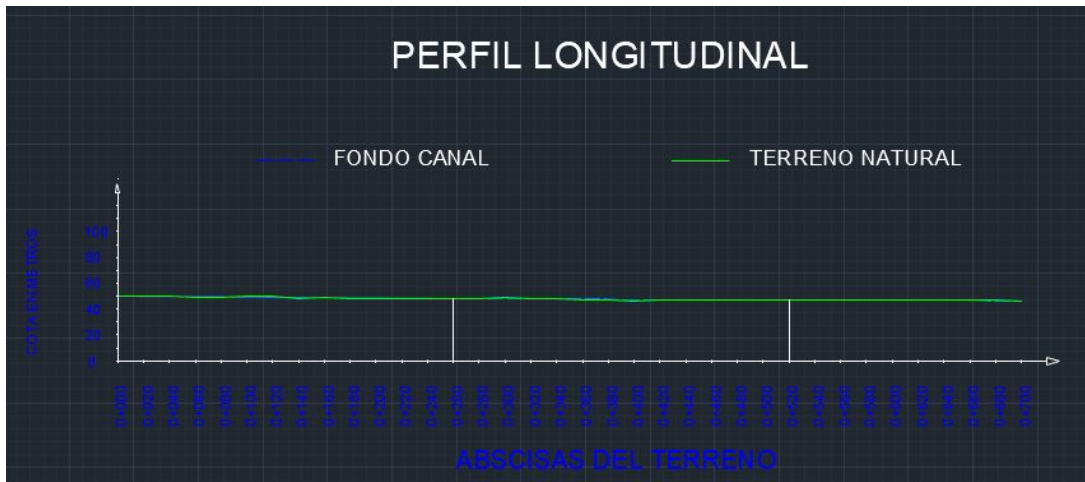
<b>0+460</b>	<b>0,325</b>	<b>47,41</b>
<b>0+460</b>	<b>0,325</b>	<b>47,81</b>
<b>0+480</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,75</b>
<b>0+480</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,35</b>
<b>0+480</b>	<b>0,325</b>	<b>47,35</b>
<b>0+480</b>	<b>0,325</b>	<b>47,75</b>
<b>0+500</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,69</b>
<b>0+500</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,29</b>
<b>0+500</b>	<b>0,325</b>	<b>47,29</b>
<b>0+500</b>	<b>0,325</b>	<b>47,69</b>
<b>0+520</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,65</b>
<b>0+520</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,25</b>
<b>0+520</b>	<b>0,325</b>	<b>47,25</b>
<b>0+520</b>	<b>0,325</b>	<b>47,65</b>
<b>0+540</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,51</b>
<b>0+540</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,11</b>
<b>0+540</b>	<b>0,325</b>	<b>47,11</b>
<b>0+540</b>	<b>0,325</b>	<b>47,51</b>
<b>0+560</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,47</b>
<b>0+560</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,07</b>
<b>0+560</b>	<b>0,325</b>	<b>47,07</b>

<b>0+560</b>	<b>0,325</b>	<b>47,47</b>
<b>0+580</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,39</b>
<b>0+580</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,99</b>
<b>0+580</b>	<b>0,325</b>	<b>46,99</b>
<b>0+580</b>	<b>0,325</b>	<b>47,39</b>
<b>0+600</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,31</b>
<b>0+600</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,91</b>
<b>0+600</b>	<b>0,325</b>	<b>46,91</b>
<b>0+600</b>	<b>0,325</b>	<b>47,31</b>
<b>0+620</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,22</b>
<b>0+620</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,82</b>
<b>0+620</b>	<b>0,325</b>	<b>46,82</b>
<b>0+620</b>	<b>0,325</b>	<b>47,22</b>
<b>0+640</b>	<b>-0,325</b>	<b>48,14</b>
<b>0+640</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,74</b>
<b>0+640</b>	<b>0,325</b>	<b>47,74</b>
<b>0+640</b>	<b>0,325</b>	<b>48,14</b>
<b>0+660</b>	<b>-0,325</b>	<b>47,06</b>
<b>0+660</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,66</b>
<b>0+660</b>	<b>0,325</b>	<b>46,66</b>
<b>0+660</b>	<b>0,325</b>	<b>47,06</b>

<b>0+680</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,98</b>
<b>0+680</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,58</b>
<b>0+680</b>	<b>0,325</b>	<b>46,58</b>
<b>0+680</b>	<b>0,325</b>	<b>46,98</b>
<b>0+700</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,9</b>
<b>0+700</b>	<b>-0,325</b>	<b>46,5</b>
<b>0+700</b>	<b>0,325</b>	<b>46,5</b>

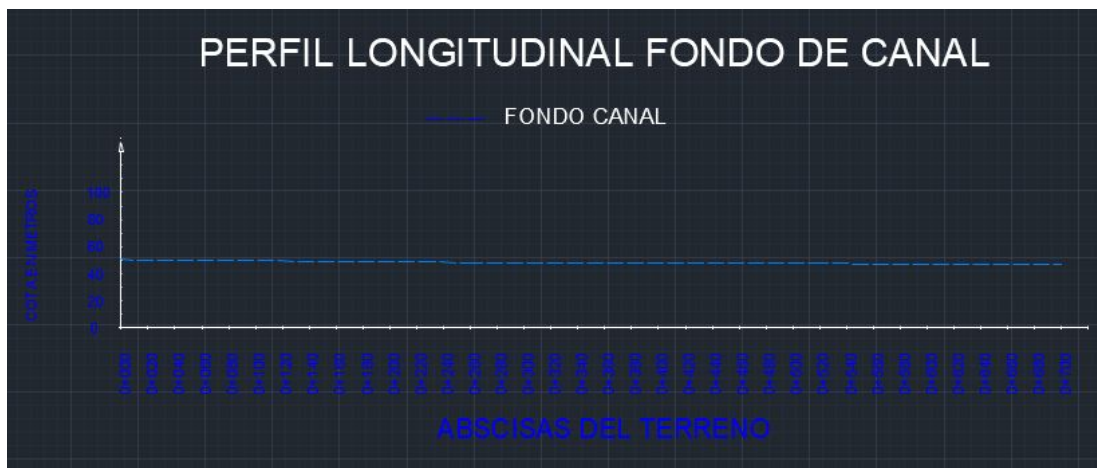
**Tabla 19. Coordenadas Sección del canal**

**Fuente : Yenner Motoche**



**Ilustración 22 . Fondo del canal y terreno natural**

**Fuente:** Yenner Motoche



**Ilustración 23 . Fondo del canal**

**Fuente:** Yenner Motoche

## 10. PLANOS GENERALES



## 11. SECCIONES TRANSVERSALES

