



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

**TEMA:**

---

“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 13 – 17 DEL  
CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHI-PELILEO, CANTÓN CEVALLOS,  
PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

---

**AUTOR:**

YANZA ESPINOZA ROSA ELENA

**TUTOR:**

ING. Mg. DILON MOYA

**Ambato – Ecuador**

**2019**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Dilon Moya, certifico que el presente trabajo experimental bajo el tema: “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 13 – 17 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHI-PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” es de autoría de la Srta. Yanza Espinoza Rosa Elena, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, 10 enero del 2019

-----  
Ing. Mg. Dilon Moya

## **AUTORÍA**

Yo, Yanza Espinoza Rosa Elena con C.I: 060484812-7, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 13 – 17 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHI-PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” es de mi completa autoría.

Ambato, 10 de enero del 2019

-----  
Yanza Espinoza Rosa Elena

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 10 de enero del 2019

---

Yanza Espinoza Rosa Elena

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 13 – 17 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHI-PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, de la egresada Yanza Espinoza Rosa Elena, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, 10 de enero del 2019

Para constancia firman.

-----  
Ing. Rodrigo Acosta

-----  
Ing. Lenin Maldonado

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme fortaleza para perseguir mis sueños, por la constancia, la vida y la salud que me permitieron seguir adelante

A mi padre Telmo Yanza quien desde el cielo me ha cuidado y acompañado en toda esta etapa de mi vida, por empezar conmigo este sueño y por terminarlo ahora; aunque no sea físicamente, él siempre estará presente en mis actos, en mis logros y cada paso de mi vida.

A mi mamá Ligia Edith Espinoza quién con amor y sacrificio me impulsó a culminar mis estudios, sin su ayuda nada de esto fuera posible.

A mis hermanos, Luis Yanza y Byron Yanza, porque siempre creyeron en mí y me ayudaron a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por permitirme perseguir mis metas.

A mis padres gracias por ayudarme y no dejarme sola cuando los necesite, papá fuiste mi ejemplo de amor y superación, mamá es mi ejemplo de sacrificio y dedicación. A ustedes les debo y les agradezco mis logros, son el tesoro más grande que tengo.

A mi novio, Damián Sarango quien me ha apoyado en cada momento de debilidad y me impulsó a no rendirme nunca.

A mi tutor, por el tiempo dedicado a la elaboración de la tesis, por compartir sus conocimientos y ayudarme a aclarar todas las dudas presentadas.

A mis hermanos, tíos y demás familiares por permanecer a mi lado apoyándome y creer en mí.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### A.- PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos .....	4
<i>CAPITULO II</i> .....	5
FUNDAMENTACIÓN .....	5
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.1. HIDRÁULICA .....	5
2.1.1.1. CONCEPTOS HIDRÁULICOS DE CANALES ABIERTOS.....	5
2.1.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CANALES.....	6
2.1.1.3. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LOS CANALES .....	8
2.1.1.4. DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES .....	8
2.1.1.5. ESTADOS Y RÉGIMENES DE FLUJO .....	10
2.1.1.6. ECUACIÓN DE ENERGÍA: .....	11
2.1.1.7. RÉGIMEN DE FLUJO .....	13
2.1.1.8. CLASIFICACIÓN DEL FLUJO.....	15



<b>2.1.2.</b>	<b>MODELACIÓN NUMÉRICA EN HIDRÁULICA</b> .....	18
2.1.2.1.	<b>MODELO UNIDIMENSIONAL</b> .....	18
2.1.2.2.	<b>MODELO BIDIMENSIONAL</b> .....	19
2.1.2.3.	<b>MODELO TRIDIMENSIONAL</b> .....	19
2.1.2.4.	<b>CONTRACCIONES Y AMPLIACIONES</b> .....	20
2.1.2.4.1.	<b>CONTRACCIONES</b> .....	21
2.1.2.4.2.	<b>EXPANSIONES</b> .....	23
2.1.2.5.	<b>ECUACIÓN DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO</b> .....	24
2.1.2.6.	<b>ECUACIONES DE SAINT VENANT</b> .....	25
<b>2.2.</b>	<b>HIPÓTESIS</b> .....	25
2.2.1.	<b>HIPOTESIS NULA</b> .....	25
2.2.2.	<b>HIPOTESIS ALTERNA</b> .....	26
<b>2.3.</b>	<b>SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPOTESIS</b> .....	26
2.3.1.	<b>Variable Dependiente</b> .....	26
2.3.2.	<b>Variable Independiente</b> .....	26
	<b>CAPÍTULO III</b> .....	27
	<b>METODOLOGÍA</b> .....	27
3.1.	<b>NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	27
3.2.	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....	27
3.3.	<b>PLAN DE MUESTREO</b> .....	28
3.4.	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b> .....	30
	Variable Independiente .....	30
	Variable Dependiente .....	31
3.5.	<b>PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</b> .....	32
3.6.	<b>PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS</b> .....	33
3.6.1.	<b>PLAN DE PROCESAMIENTO</b> .....	33
3.6.2.	<b>PLAN DE ANÁLISIS</b> .....	34
	<b>CAPÍTULO IV</b> .....	36
	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	36
4.1.	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	36
4.1.1.	<b>Hidráulica</b> .....	36
4.1.2.	<b>Mediciones In situ</b> .....	36
4.1.2.1.	<b>Topografía</b> .....	36
4.1.2.2.	<b>Sección Transversal</b> .....	37
4.1.2.3.	<b>Perfil Longitudinal</b> .....	39

4.1.3.	Distribución de Velocidades y Caudales Media .....	40
4.1.4.	Cálculo del caudal .....	41
4.2.	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	43
4.2.1.	Sección 1.....	43
4.2.1.1.	Velocidades In situ .....	43
4.2.1.2.	Caudal .....	45
4.2.1.3.	Velocidad Media.....	46
4.2.2.	Sección 2.....	46
4.2.2.1.	Velocidades In situ .....	46
4.2.2.2.	Caudal .....	48
4.2.2.3.	Velocidad Media.....	49
4.2.3.	Sección 3.....	49
4.2.3.1.	Velocidades In situ .....	49
4.2.3.2.	Caudal .....	50
4.2.3.3.	Velocidad Media.....	51
4.2.4.	Sección 4.....	51
4.2.4.1.	Velocidades In situ .....	51
4.2.4.2.	Caudal .....	53
4.2.4.3.	Velocidad Media.....	54
4.2.5.	Sección 5.....	54
4.2.5.1.	Velocidades In situ .....	54
4.2.5.2.	Caudal .....	55
4.2.5.3.	Velocidad Media.....	56
4.2.6.	Sección 6.....	56
4.2.6.1.	Velocidades In situ .....	56
4.2.6.2.	Caudal .....	58
4.2.6.3.	Velocidad Media.....	59
4.2.7.	Modelación HEC-RAS.....	59
4.2.7.1.	Sección 1.....	59
4.2.7.2.	Sección 2.....	60
4.2.7.3.	Sección 3.....	62
4.2.7.4.	Sección 4.....	63
4.2.7.5.	Sección 5.....	64
4.2.7.6.	Sección 6.....	65
4.2.7.7.	Curva de descarga.....	66

4.2.7.7.1.	Modelación General.....	68
4.2.7.7.2.	Perfil Longitudinal de la Modelación general del canal .....	68
4.2.7.7.3.	Velocidad y Número de Froude .....	69
4.2.7.8.	Tabla de Resultados .....	71
4.2.7.9.	Esquema 3D .....	73
4.3.	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	74
	CAPÍTULO V.....	75
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1.	CONCLUSIONES.....	75
5.2.	RECOMENDACIONES.....	76
1.	BIBLIOGRAFÍA.....	77
2.	ANEXOS.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Matriz de recolección de datos – Formato de la tabla de recolección de datos In-Situ .....	29
<b>Tabla 2.-</b> Operacionalización de la variable independiente .....	30
<b>Tabla 3.-</b> Operacionalización de la variable dependiente .....	31
<b>Tabla 4.-</b> Plan de recolección de información.....	32
<b>Tabla 5.-</b> Localización de las secciones transversales.....	38
<b>Tabla 6.-</b> Secciones Transversales .....	38
<b>Tabla 7.-</b> Variaciones de pendiente del canal.....	39
<b>Tabla 8.-</b> Valores de las velocidades aforadas sección 1 .....	44
<b>Tabla 9.-</b> Cálculo del caudal por el primer método de la sección 1 .....	45
<b>Tabla 10.-</b> Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 1.....	46
<b>Tabla 11.-</b> Cálculo de la velocidad media de la sección 1 .....	46
<b>Tabla 12.-</b> Valores de las velocidades aforadas sección 2 .....	47
<b>Tabla 13.-</b> Cálculo del caudal por el primer método de la sección 2 .....	48
<b>Tabla 14.-</b> Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 2.....	48
<b>Tabla 15.-</b> Cálculo de la velocidad media de la sección 2 .....	49
<b>Tabla 16.-</b> Valores de las velocidades aforadas sección 3 .....	49
<b>Tabla 17.-</b> Cálculo del caudal por el primer método de la sección 3 .....	50
<b>Tabla 18.-</b> Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 3.....	51
<b>Tabla 19.-</b> Cálculo de la velocidad media de la sección 3 .....	51
<b>Tabla 20.-</b> Valores de las velocidades aforadas sección 4 .....	52
<b>Tabla 21.-</b> Cálculo del caudal por el primer método de la sección 4 .....	53
<b>Tabla 22.-</b> Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 4.....	53
<b>Tabla 23.-</b> Cálculo de la velocidad media de la sección 4 .....	54
<b>Tabla 24.-</b> Valores de las velocidades aforadas sección 5 .....	54
<b>Tabla 25.-</b> Cálculo del caudal por el primer método de la sección 5 .....	55
<b>Tabla 26.-</b> Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 5.....	56
<b>Tabla 27.-</b> Cálculo de la velocidad media de la sección 5 .....	56
<b>Tabla 28.-</b> Valores de las velocidades aforadas sección 6 .....	56
<b>Tabla 29.-</b> Cálculo del caudal por el primer método de la sección 6 .....	58
<b>Tabla 30.-</b> Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 6.....	58
<b>Tabla 31.-</b> Cálculo de la velocidad media de la sección 6 .....	59
<b>Tabla 32.-</b> Calibración del número de Manning Sección 1 .....	60
<b>Tabla 33.-</b> Calibración del número de Manning Sección 2.....	61
<b>Tabla 34.-</b> Calibración del número de Manning Sección 3.....	62
<b>Tabla 35.-</b> Calibración del número de Manning Sección 4.....	63
<b>Tabla 36.-</b> Calibración del número de Manning Sección 5.....	64
<b>Tabla 37.-</b> Calibración del número de Manning Sección 6.....	65
<b>Tabla 38.-</b> Descripción del número de Manning para cada sección.....	66
<b>Tabla 39.-</b> Tabla de resultados .....	71
<b>Tabla 40.-</b> Tabla de resultados (Continuación) .....	72
<b>Tabla 41.-</b> Tabla de resultados (Continuación) .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Flujo en conductos .....	5
<b>Figura 2.-</b> Sección transversal irregular .....	6
<b>Figura 3.-</b> Secciones artificiales transversales tipo .....	7
<b>Figura 4.-</b> Elementos geométricos más importantes. ....	8
<b>Figura 5.-</b> Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones del canal .....	9
<b>Figura 6.-</b> Efecto de la rugosidad sobre la distribución de velocidades en un canal abierto... 9	9
<b>Figura 7.-</b> Velocidades a diferentes alturas del calado.....	10
<b>Figura 8.-</b> Energía total de un líquido que fluye en un canal abierto .....	12
<b>Figura 9.-</b> Sección longitudinal, mostrando la línea de energía.....	13
<b>Figura 10.-</b> Curva de energía específica .....	15
<b>Figura 11.-</b> Flujo uniforme permanente .....	16
<b>Figura 12.-</b> Flujo uniforme no permanente .....	17
<b>Figura 13.-</b> Flujo rápidamente variado.....	17
<b>Figura 14.-</b> Flujo gradualmente variado.....	18
<b>Figura 15.-</b> Modelo unidimensional.....	18
<b>Figura 16.-</b> Modelo bidimensional.....	19
<b>Figura 17.-</b> Modelo tridimensional .....	19
<b>Figura 18.-</b> Reducción o contracción brusca.....	20
<b>Figura 19.-</b> Reducción o contracción gradual .....	20
<b>Figura 20.-</b> Ampliación o expansión brusca .....	20
<b>Figura 21.-</b> Ampliación o expansión gradual.....	20
<b>Figura 22.-</b> Representación gráfica de un canal con diferentes tirantes.....	21
<b>Figura 23.-</b> Curva de energía específica en un tramo de canal rectangular sujeto a una reducción.....	22
<b>Figura 24.-</b> Análisis del comportamiento de la energía específica en una contracción horizontal .....	23
<b>Figura 25.-</b> Perfil de la energía específica en una ampliación gradual .....	23
<b>Figura 26.-</b> Esquema de definición para la ecuación de cantidad de movimiento .....	24
<b>Figura 27.-</b> Estación Trimble M3.....	36
<b>Figura 28.-</b> Localización de las secciones del canal .....	37
<b>Figura 29.-</b> Perfil longitudinal del inicio del canal .....	39
<b>Figura 30.-</b> Perfil longitudinal del final del canal .....	40
<b>Figura 31.-</b> Molinete DMM-4000/PFT .....	40
<b>Figura 32.-</b> Toma de datos de velocidad en campo.....	41
<b>Figura 33.-</b> Representación gráfica del cálculo de caudales Primer Método .....	42
<b>Figura 34.-</b> Representación gráfica del cálculo de caudales Segundo Método.....	42
<b>Figura 35.-</b> Distribución de velocidades en la sección 1 del canal .....	44
<b>Figura 36.-</b> Distribución de velocidades en la sección 2 del canal .....	47
<b>Figura 37.-</b> Distribución de velocidades en la sección 3 del canal .....	50
<b>Figura 38.-</b> Distribución de velocidades en la sección 4 del canal .....	52
<b>Figura 39.-</b> Distribución de velocidades en la sección 5 del canal .....	55
<b>Figura 40.-</b> Distribución de velocidades en la sección 6 del canal .....	57
<b>Figura 41.-</b> Características Hidráulicas de la Sección Transversal 1 .....	60
<b>Figura 42.-</b> Características Hidráulicas de la Sección Transversal 2 .....	61

<b>Figura 43.-</b> Características Hidráulicas de la Sección Transversal 3 .....	62
<b>Figura 44.-</b> Características Hidráulicas de la Sección Transversal 4 .....	63
<b>Figura 45.-</b> Características Hidráulicas de la Sección Transversal 5 .....	64
<b>Figura 46.-</b> Características Hidráulicas de la Sección Transversal 6 .....	65
<b>Figura 47.-</b> Curva de descarga de la sección 1 .....	66
<b>Figura 48.-</b> Curva de descarga de la sección 2 .....	67
<b>Figura 49.-</b> Curva de descarga de la sección 3 .....	67
<b>Figura 50.-</b> Curva de descarga de la sección 4 .....	67
<b>Figura 51.-</b> Curva de descarga de la sección 5 .....	68
<b>Figura 52.-</b> Curva de descarga de la sección 6 .....	68
<b>Figura 53.-</b> Perfil Longitudinal .....	69
<b>Figura 54.-</b> Representación gráfica del número de Froude y Velocidad del tramo analizado .....	70
<b>Figura 55.-</b> Representación gráfica del número Manning .....	70
<b>Figura 56.-</b> Representación gráfica en 3D de la sección modelada en el software .....	73
<b>Figura 57.-</b> Representación gráfica en 3D de la sección modelada en el software .....	74

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**TEMA:** “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 13 – 17 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHI-PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

**AUTOR:** Yanza Espinoza Rosa Elena

**TUTOR:** Ing. Mg. Dilon Moya

**RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente trabajo de investigación se realizó la caracterización hidráulica del canal Ambato-Huachi-Pelileo del ovalo 13 al 17, para lo cual se efectuó el levantamiento topográfico mediante equipos de precisión tales como estación total Trimble M3 y molinete del área de estudio, se determinó la pendiente y sección transversal del canal, se obtuvo el caudal promedio mediante el aforo de la velocidad media en diferentes puntos del canal, así como los elementos geométricos del mismo.

Después de procesar los datos obtenidos en campo se realizó la modelación en el software Hec-Ras, obteniendo una simulación cercana a la realidad del tramo analizado mediante la calibración del modelo mediante la variación del número de Manning. Estimando las curvas de descarga, número de froude, perfil de flujo, nivel de energía y carga de velocidad.

## **ABSTRACT**

In the present research work, the hydraulic characterization of the Ambato-Huachi-Pelileo canal from oval 13 to 17 was carried out, for which the topographic survey was carried out by means of precision equipment such as the Trimble M3 total station and the windmill of the study area. determined the slope and cross section of the channel, the average flow was obtained by gauging the average velocity in different points of the channel, as well as the geometrical elements thereof.

After processing the data obtained in the field, modeling was carried out in the Hec-Ras software, obtaining a simulation close to the reality of the section analyzed by calibrating the model by varying the Manning number. Estimating discharge curves, froude number, flow profile, energy level and speed load.



# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1.TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 13 – 17 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHI-PELILEO, CATÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

### **1.2.ANTECEDENTES**

La generación de energía con fuentes renovables es cada vez más importante por lo que se intenta implementar una fuente de energía más limpia utilizando el agua de riego, un tema que ha tomado fuerza debido a la concientización ambiental que se intenta manejar, donde se ha demostrado que se puede generar energía eléctrica con una caída neta de apenas 4.5m, una altura mínima comparada con la que se maneja en grandes hidroeléctricas [1].

Países más desarrollados, en especial europeos, han conseguido promover la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovable incrementando la potencia instalada referente a pequeñas centrales hidroeléctricas, incrementando la implementación sin embargo los países latinos también han empezado a implementar este tipo de energía, aprovechando las superficies montañosas que muchos poseen [2].

Chile ha realizado modificaciones en sus leyes para poder impulsar el desarrollo de energías renovables no convencionales, a las cuales están asociadas las centrales hidroeléctricas relacionadas a obras de riego, lo que nos indica que el desarrollo e importancia de estas fuentes de energía resulta importante.

La Universidad Nacional de Cuyo ha desarrollado un programa de mini generación eléctrica en canales de riego donde uno de sus objetivos es definir los esquemas favorables de explotación energética de los tramos de canales de riego relacionados con las alternativas económicas para su aprovechamiento, donde dan un enfoque a la parte económica, ya que ningún proyecto se puede desarrollar si este no resulta rentable para los intereses económicos de la zona [3].

### **1.3.JUSTIFICACIÓN**

Los países más desarrollados a nivel mundial han llegado a ese grado de desarrollo a partir de los recursos naturales no renovables, los cuales emiten productos altamente contaminantes al liberar energía, siendo el impacto ambiental producido peligroso para los ecosistemas y los seres vivos [4].

La evolución del consumo total de energías fósiles a escala mundial en los últimos treinta años, continúa su tendencia al alza, mientras que a pesar de sus respectivos crecimientos relativos, la biomasa, la energía nuclear así como la energía hidráulica y el grupo de energías también llamadas “difusas” se mantienen en la parte baja del consumo mundial y sin posible comparación con las de carácter fósil [5].

La construcción de plantas hidroeléctricas son consideradas una fuente de energía renovable, más no se toma en cuenta los serios impactos ambientales y sociales debido a la gran superficie que ocupa el embalse y a la necesidad de reubicar a la población, por tal motivo se consideran las microcentrales hidráulicas y minicentrales hidráulicas como una alternativa a los problemas planteados para la generación de energía eléctrica [6].

Las plantas hidroeléctricas utilizan el agua pluvial como recurso renovable las cuales tienen una cortina de agua de más de 15 m de altura, por lo que los países y lugares

más ventajosos para estas son aquellos en los cuales exista regiones montañosas, además de que cuenten con grandes recursos hídricos, para poder generar la energía que se espera obtener de estas [7].

Las centrales mini hidráulicas son instalaciones que utilizan la energía mecánica de un curso de agua para la producción de energía eléctrica. En España, como en otros países que cuentan con recursos hídricos y una topografía favorable, han optado por esta opción, pero no existe un estudio amplio sobre la generación de energía con caudales bajos, porque tampoco se ha analizado las características de los canales de conducción a cielo abierto, ni la aportación de las velocidades de estas [8].

Los problemas en América Latina se deben a la falta de cooperación entre los actores públicos y privados, además de la carencia de fondos destinados a las actividades que promueven la eficiencia energética [9]. El Ecuador tiene como recurso energético primario los combustibles fósiles: petróleo y gas natural (86%) y sólo el 14% proviene de energías renovables; sin embargo en los últimos años en Ecuador existen varios proyectos que utilizan energía renovable para la generación de energía eléctrica y también para captura de gases contaminantes, como son el primer parque eólico en el Ecuador en operación ubicado en el Archipiélago de Galápagos, producción de biogás con usos energéticos y captación del biogás aún sin utilización energética [10], además el Ecuador cuenta con 29 sistemas hídricos compuestos por 79 cuencas. La vertiente del pacífico está conformada por 22 sistemas hídricos que cubren el 48,07%, un estudio de pequeñas centrales hidroeléctricas realizado por el INECEL (Instituto Ecuatoriano de Electrificación) contabiliza 50 proyectos y 200 MW de potencia. Por otra parte la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) ha determinado además que el potencial hídrico del Ecuador es de aproximadamente 22.520 MW. Del total de recurso hídrico disponible apenas se ha utilizado el 8%. [2]

La provincia de Tungurahua cuenta con 11 juntas de Agua de Riego, las cuales se encargan de la administración y el suministro de agua, siendo estas un factor clave en

el desarrollo de la producción agrícola de la provincia. El canal Ambato- Huachi-Pelileo, está ubicada en el kilómetro 8 1/2 vía Baños, cuenta con 18 ramales, que abastecen a 18 usuarios, donde se encuentran cultivos variados por los diferentes sectores. [11]. Los canales secundarios provenientes de los óvalos son aproximadamente un 60% de hormigón y el 40% de tierra [12].

Por tal motivo, es permitente el presente proyecto que servirá para saber las características hidráulicas del canal de riego para la futura generación de energía eléctrica limpia y renovable. Este proyecto es un alcance para el Proyecto de Investigación “Obtención de electricidad a través de canales de riego como fuentes energéticas.”, aprobado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato, coordinado por el Ing. Andrés Hidalgo.

## **1.4.OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Caracterizar el comportamiento hidráulico del Óvalo 13-17 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el levantamiento topográfico y geométrico del tramo del canal comprendido dentro del área de estudio.
- Determinar las características hidráulicas in situ del tramo del canal de riego establecido.
- Realizar la modelación numérica del comportamiento hidráulico del tramo del canal de riego bajos diferentes escenarios de funcionamiento.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.1.1. HIDRÁULICA

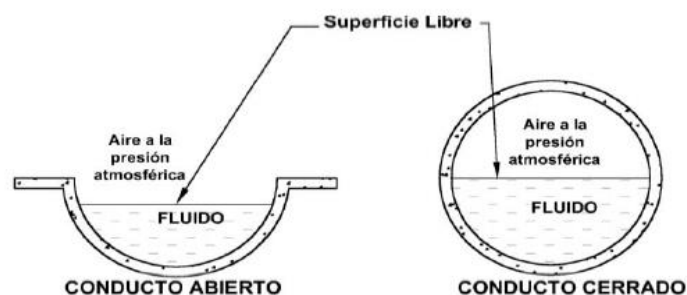
La Hidráulica es parte de la mecánica que estudia la presión y flujo de líquido con aplicación a problemas de naturaleza práctica tales como conducciones, abastecimientos, riegos. [13]

##### 2.1.1.1. CONCEPTOS HIDRÁULICOS DE CANALES ABIERTOS

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, lo que significa que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso. Un canal a superficie libre presenta una superficie del líquido en contacto con la atmósfera, llamada superficie libre, donde esta coincide con la línea piezométrica. [14].

Las características del flujo de un canal pueden variar con el tiempo, el flujo puede ser permanente o no permanente, sin embargo desde el punto de vista del espacio este puede ser uniforme o variado, la superficie libre del líquido es paralela al fondo o solera del canal. [14]

**Figura 1.-** Flujo en conductos



**Fuente:** P, RODRIGUEZ. Hidráulica II,2008

## 2.1.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CANALES

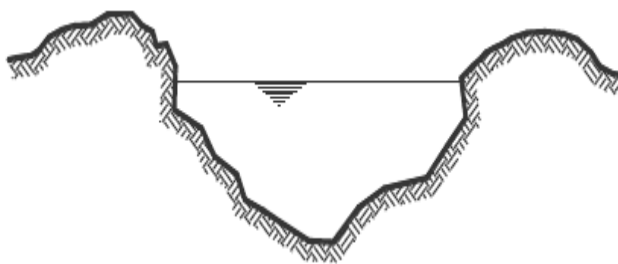
Los canales abiertos se clasifican según su origen en:

### 2.1.1.2.1. Canales naturales

Son los cauces del agua formados naturalmente sobre la tierra, siendo estos de diferentes tamaños los cuales tienen una sección transversal irregular y variable a lo largo de su recorrido.

Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

**Figura 2.-** Sección transversal irregular



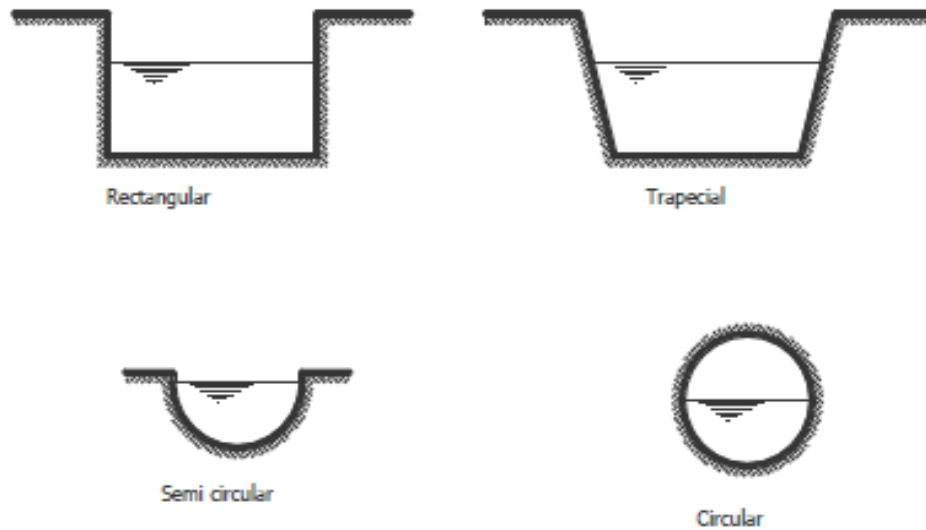
**Fuente:** P, RODRIGUEZ. Hidráulica II, 2008

### 2.1.1.2.2. Canales artificiales

Son aquellos donde interviene la mano del hombre, tales como: canales de riego, canales de centrales hidroeléctricas, alcantarillado pluvial, sanitario, canales de desborde, cunetas a lo largo de carreteras, cunetas de drenaje agrícola. [15]

Los canales artificiales suelen tener diseños geoméricamente regulares, es decir que tienen una sección no variable y pendiente constante. Las secciones transversales más comunes son las siguientes:

**Figura 3.-** Secciones artificiales transversales tipo



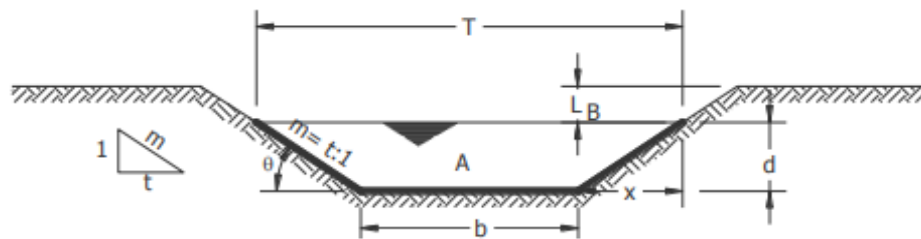
**Fuente:** P, RODRIGUEZ. Hidráulica II, 2008

- **Sección trapezoidal:** Debido a la estabilidad que estos canales poseen son los más comunes construidos sobre tierra.
- **Sección rectangular:** Sus lados poco estables se construyen con materiales que puedan brindar esa estabilidad que necesita tales como la madera, o roca.
- **Sección triangular:** Se construye en cunetas a los lados de carretera o canales pequeños.
- **Sección Circular:** Utilizada comúnmente para alcantarillado y alcantarillas pequeñas o medianas.
- **Sección Parabólica:** Utilizadas para estructuras hidráulicas de gran tamaños.

### 2.1.1.3. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LOS CANALES

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad del flujo.

**Figura 4.-** Elementos geométricos más importantes.



**Fuente:** P, RODRIGUEZ. Hidráulica II, 2008

- **Tirante de agua o profundidad de flujo (d):** La distancia comprendida entre la base del canal y el espejo de agua.
- **Ancho superficial o espejo de agua (T):** Es el ancho de la superficie libre del agua.
- **Área mojada (A):** Es el área de la sección transversal del canal.
- **Perímetro mojado (P):** Es el contorno que comprende el área mojada.
- **Radio hidráulico (R):** es la relación del área hidráulica a su perímetro mojado.
- **Profundidad Hidráulica (D):** es la relación del área mojada y el ancho superior.

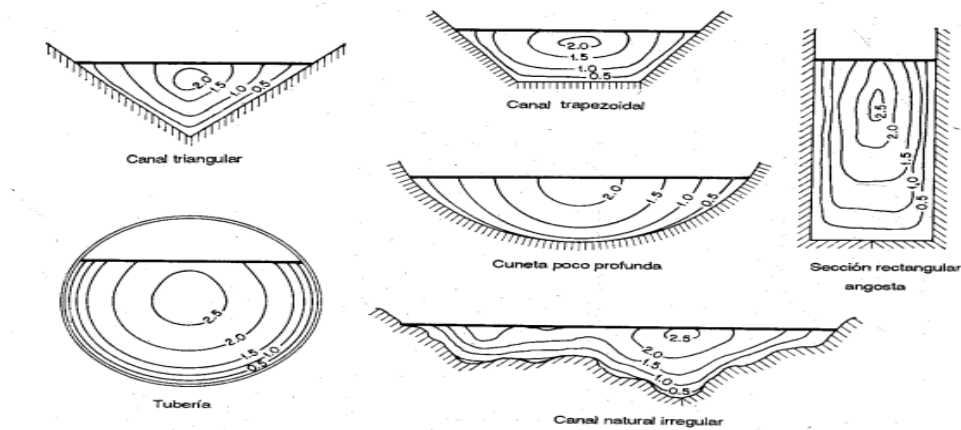
### 2.1.1.4. DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES

Debido a la presencia de una superficie libre y a la fricción a los lados de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en la sección. La velocidad máxima medida en canales comunes, normalmente parece ocurrir debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad [15] y a medida que va descendiendo, la velocidad registrada va aumentando hasta



llegar a un valor máximo volviendo a disminuir hasta llegar al fondo en donde es mínima. [16]

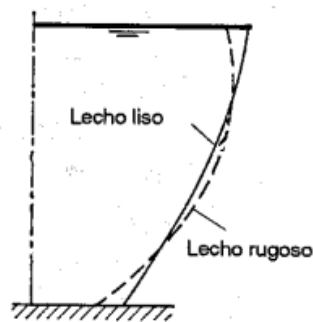
**Figura 5.-** Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones del canal



**Fuente:** V, CHOW. Hidráulica de canales abiertos, 1983

La rugosidad del canal causará el incremento de la curvatura de la curva que relaciona la profundidad con la distribución de la velocidad. En un codo, la velocidad aumenta grandemente en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo [15].

**Figura 6.-** Efecto de la rugosidad sobre la distribución de velocidades en un canal abierto



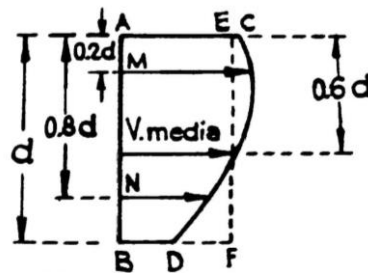
**Fuente:** V, CHOW. Hidráulica de canales abiertos, 1983

Existen varios equipos de medición electrónicos con los que se puede determinar la velocidad en los canales tales como molinetes que funcionan mediante el empuje

dinámico del agua hacia las aspas conectadas a un sensor, donde los resultados registrados son interpolados y se unen puntos iguales para obtener las curvas de distribución de velocidades.

De acuerdo al procedimiento utilizado por la U.S. Geological Survey, para medir las corrientes, la sección transversal del canal se divide en fajas verticales, y las velocidades medias en las verticales se calculan midiendo la velocidad a los 0.6 de profundidad, en cada vertical, o, cuando se requieren resultados más exactos, tomando el promedio de las velocidades a los 0.2 y 0.8 de la profundidad. [15] El promedio de las velocidades medias en cualquiera de dos verticales adyacentes multiplicado por el área entre las verticales, da el caudal o descarga a través de esa fajas vertical de la sección transversal. La velocidad media de la sección completa es, así, igual al caudal total dividido por el área total [16].

**Figura 7.-** Velocidades a diferentes alturas del calado



**Fuente:** S, TRUEBA. Hidráulica, 1972

#### 2.1.1.5. ESTADOS Y RÉGIMENES DE FLUJO

El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales de flujo, [15] donde el efecto de viscosidad se puede representar mediante el número de Reynolds, definido por:

$$Re = \frac{V \cdot R_h}{\nu}$$

**Donde:**

**V**= Velocidad del flujo m/s

**Rh**= Radio hidráulico m

**v**= Viscosidad cinemática m<sup>2</sup>/s

**Re**= Número de Reynolds

**Flujo Laminar:** En el flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente, donde el movimiento de las partículas del fluido se produce siguiendo trayectorias bastante regulares. [14]

Laminar:  $Re \leq 5000$

**Donde:**

**Re**=Número de Reynolds

**Flujo Transitorio:** En el flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero que en conjunto todavía representa el movimiento hacia adelante de la corriente entera. [14]

Turbulento:  $Re > 7500$

**Donde:**

**Re**=Número de Reynolds

Entre los estados de flujo laminar y turbulento existe un estado mixto o transitorio.

Transitorio  $5000 \leq Re \leq 7500$

**Donde:**

**Re**=Número de Reynolds

#### 2.1.1.6. ECUACIÓN DE ENERGÍA:

La energía mecánica total de un canal abierto se expresa en términos de carga como:

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g}$$

**Donde:**

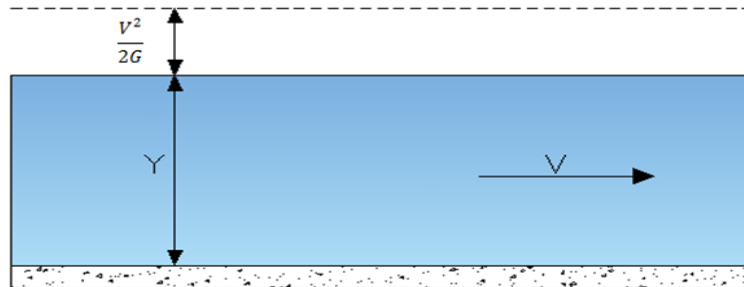
**y**= Profundidad del flujo

**z**= Elevación del fondo de un canal

**V**= Velocidad promedio del flujo

$g$ = aceleración de la gravedad

**Figura 8.-** Energía total de un líquido que fluye en un canal abierto



**Fuente:** I, SHAME. Mecánica de fluidos, 1995

La ecuación de energía aplicada al flujo unidimensional en un canal abierto se determina de la siguiente forma:

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Donde la pérdida de carga  $h_f$  ocasionada debido al efecto de fricción se representa:

$$h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{R_h} \frac{V^2}{8g}$$

**Donde:**

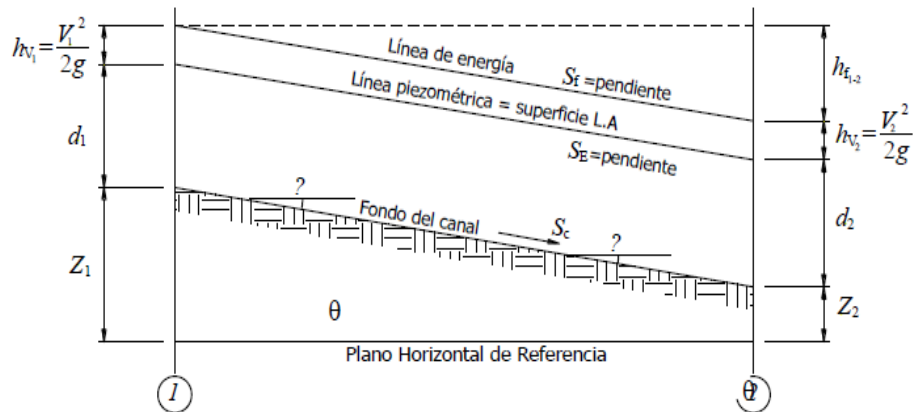
**f**= Factor de fricción promedio

**L**= Longitud del canal entre la sección 1 y 2

**D<sub>h</sub>**= 4R<sub>h</sub>

**R<sub>h</sub>**= Radio hidráulico

**Figura 9.-** Sección longitudinal, mostrando la línea de energía



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

La ecuación de la energía en base a las pendientes se define como:

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + (s_f - s_c)L$$

Donde la pendiente de fricción  $S_f$  se determina como:

$$S_f = \frac{h_L}{L}$$

La pendiente del fondo del canal  $S_c$ :

$$S_c = \tan \theta = \frac{z_1 - z_2}{L}$$

### 2.1.1.7. RÉGIMEN DE FLUJO

En un canal abierto el efecto combinado de la viscosidad y de la gravedad puede producir cuatro regímenes de flujo, determinados por el número de Froude, definido como:

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

**Donde:**

**V**= Velocidad de flujo (m/s)

**g**= Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**L**= Longitud (m)

El estado crítico de flujo ha sido definido como la condición para la cual el número de Froude es igual a la unidad. [14]

$$F = 1$$

La pendiente del canal donde exista una profundidad uniforme y crítica se denomina pendiente crítica  $S_c$ . Si tenemos una pendiente menor a la crítica provocará un flujo más lento de naturaleza subcrítico, mientras que si tenemos una pendiente mayor a la pendiente crítica provocará un flujo más rápido de naturaleza supercrítica.

Un flujo supercrítico presenta condiciones hidráulicas menores que los críticos, velocidades mayores que las críticas y el número de Froude mayor a 1.

El subcrítico es controlado desde aguas abajo, por lo que puede propagarse en dos direcciones, siendo el número de Froude menor a 1

Para el caso del caudal constante es posible determinar y graficar la relación Energía y calado (E vs Y), de esta forma tenemos la curva energía específica, en la cual se tiene dos tirantes alternos, correspondientes a regímenes de flujo diferentes.

$$Y_1 > Y_{cr} \quad \text{Régimen subcrítico (Fr < 1)}$$

$$Y_2 < Y_{cr} \quad \text{Régimen supercrítico (Fr > 1)}$$

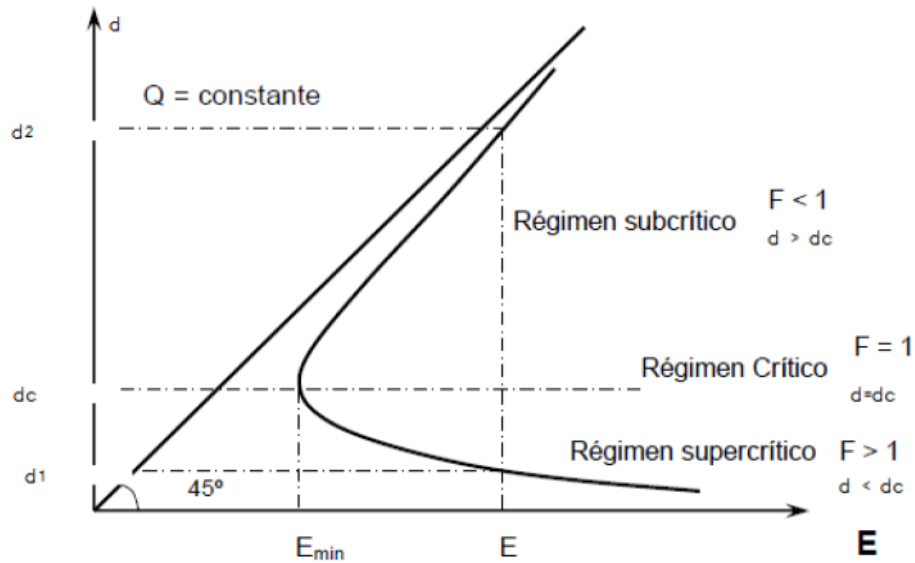
**Donde:**

**Y**= Calado

$Y_{cr}$ = Calado crítico

Fr= Número de froude

**Figura 10.-** Curva de energía específica



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

### 2.1.1.8. CLASIFICACIÓN DEL FLUJO

- **Flujo Permanente:** Las características hidráulicas no cambian en función del tiempo.

$$\frac{dA}{dt} = 0; \frac{dV}{dt} = 0; \frac{dY}{dt} = 0$$

**Donde:**

**dA=** Variación del área

**dt=** Variación del tiempo

**dV=** Variación de velocidad

**dY=** Variación del calado

- **Flujo No Permanente:** Los parámetros hidráulicos cambian en función del tiempo.

$$\frac{dA}{dt} \neq 0; \frac{dV}{dt} \neq 0; \frac{dY}{dt} \neq 0$$

**Donde:**

**dA**= Variación del área

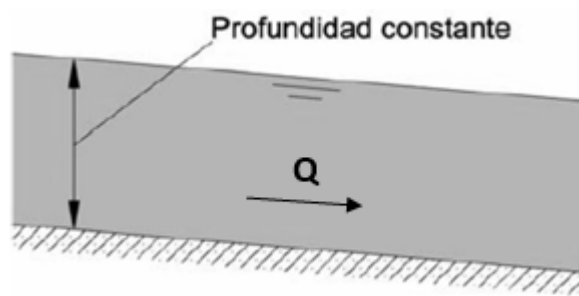
**dt**= Variación del tiempo

**dV**= Variación de velocidad

**dY**= Variación del calado

- **Flujo uniforme:** Se toma como variable el espacio, dónde si las características hidráulicas no cambian se considera como flujo uniforme [14].
- **Flujo uniforme permanente:** La profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración, es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos [14].

- **Figura 11.-** Flujo uniforme permanente

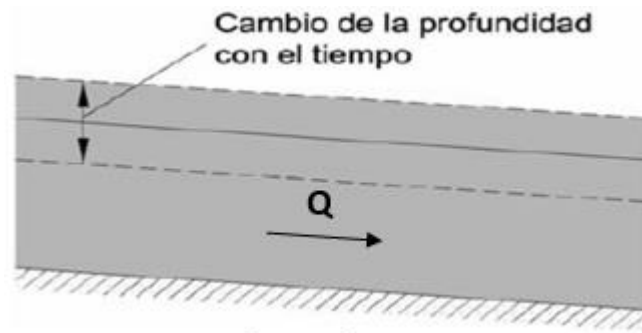


**Fuente:** P, RODRÍGUEZ.Hidráulica II, 2008

- **Flujo uniforme no permanente:** El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuara de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal, como esta es una condición prácticamente imposible, Flujo uniforme no permanente es poco frecuente (raro) [14].



**Figura 12.-** Flujo uniforme no permanente



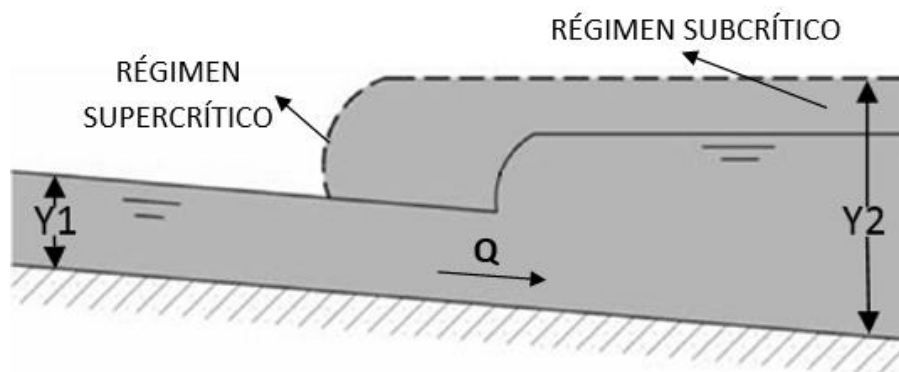
**Fuente:** P, RODRÍGUEZ.Hidráulica II, 2008

- **Flujo variado (no uniforme):** Las características hidráulicas cambian con respecto al espacio.

El flujo variado puede clasificarse como rápidamente variado o gradualmente variado.

- **Flujo rápidamente variado:** El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas, como es el caso del resalto hidráulico. [14]

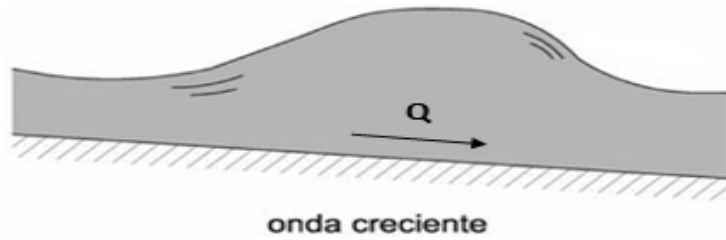
**Figura 13.-** Flujo rápidamente variado



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ.Hidráulica II, 2008

- **Flujo gradualmente variado:** El flujo gradualmente variado es aquel en el cual el tirante del flujo cambian en forma gradual a lo largo del canal, como es el caso de una curva de remanso. [14]

**Figura 14.-** Flujo gradualmente variado



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ.Hidráulica II, 2008

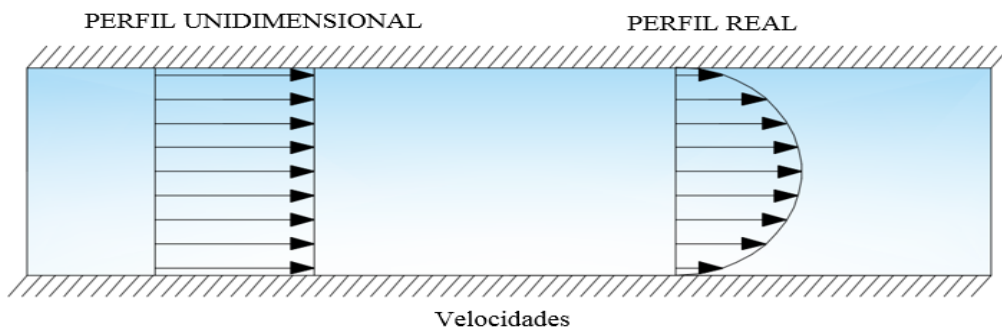
### 2.1.2. MODELACIÓN NUMÉRICA EN HIDRÁULICA

El uso de modelos matemáticos permite conocer la variación espacial y temporal de las variables hidráulicas. Para ello, actualmente es posible utilizar modelos numéricos comerciales o libres con aproximación unidimensional (1D), bidimensional (2D) y tridimensionales (3D), y distintos esquemas numéricos, el resultado de dichos modelos son profundidades y velocidades del flujo en cada celda en que se discretiza el dominio de cálculo para cada instante de tiempo. Los resultados permiten generar distintos tipos de mapas encaminados a una mejor prevención y planeación del territorio. [17]

#### 2.1.2.1. MODELO UNIDIMENSIONAL

Las características hidráulicas están en función del tiempo y de una coordenada, sin embargo un flujo real no se encuentra completamente unidimensional.

**Figura 15.-** Modelo unidimensional

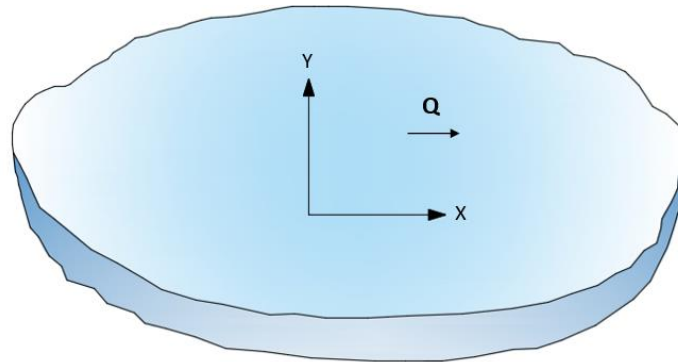


**Fuente:** I, SHAMES. Mecánica de fluidos, 1995

### 2.1.2.2. MODELO BIDIMENSIONAL

Cuando sus características hidráulicas son idénticas sobre una familia de planos paralelos. [18]

**Figura 16.-** Modelo bidimensional

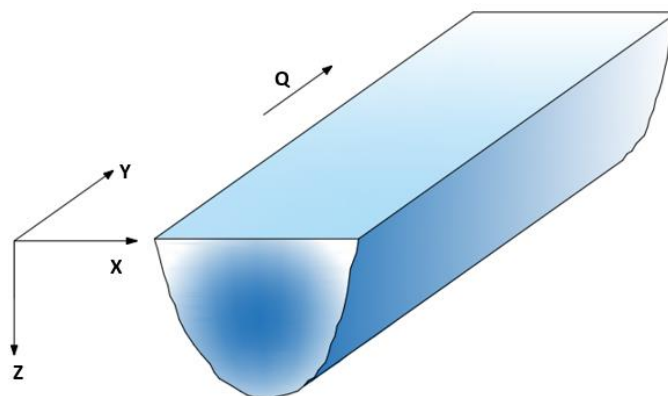


**Fuente:** Yanza Elena

### 2.1.2.3. MODELO TRIDIMENSIONAL

Si sus características hidráulicas varían en el espacio, es decir que "las gradientes del flujo existen en las tres direcciones" [18]

**Figura 17.-** Modelo tridimensional

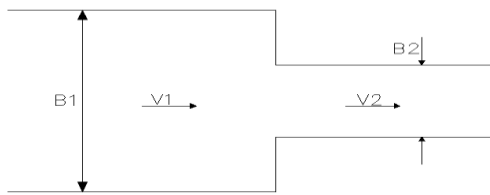


**Fuente:** Yanza Elena

### 2.1.2.4. CONTRACCIONES Y AMPLIACIONES

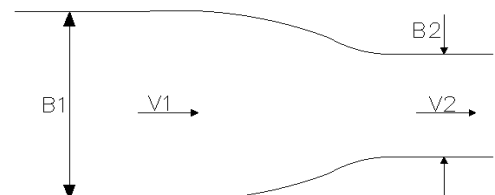
En los canales abiertos podemos contemplar diferentes tipos de reducciones, las cuales pueden ser graduales y bruscas como se representa en las Figuras 18 y 19.

**Figura 18.-** Reducción o contracción brusca



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

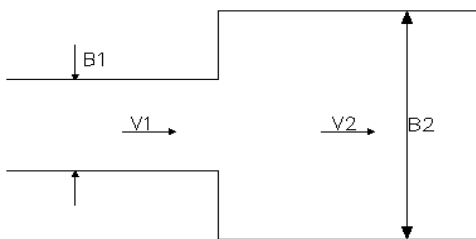
**Figura 19.-** Reducción o contracción gradual



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

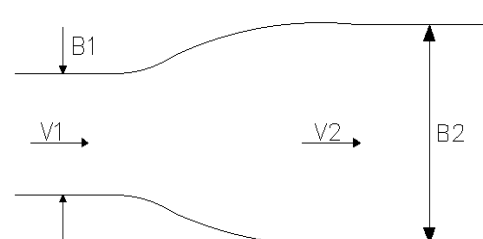
Las ampliaciones también pueden determinarse como graduales (Figura 21) o bruscas (Figura 20).

**Figura 20.-** Ampliación o expansión brusca



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

**Figura 21.-** Ampliación o expansión gradual

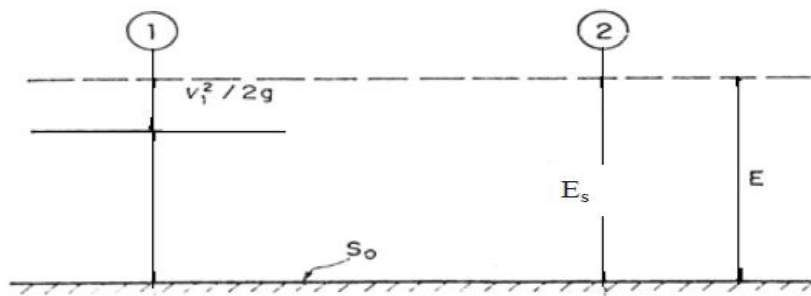


**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

### 2.1.2.4.1. CONTRACCIONES

Si se conoce el gasto y la geometría de ambas secciones se puede plantear dos opciones de cálculo conociendo uno de los tirantes y desconociendo el otro, y de forma inversa. Para poder conocer el valor del tirante de la sección desconocida usamos la siguiente fórmula [14]:

**Figura 22.-** Representación gráfica de un canal con diferentes tirantes



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II,2008

$$d_2^3 - d_2^2 E_1 + \frac{q^2}{2g} = 0$$

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

**Donde:**

$q$ = es el gasto por unidad de ancho

$E_1$ = Energía en la sección 1

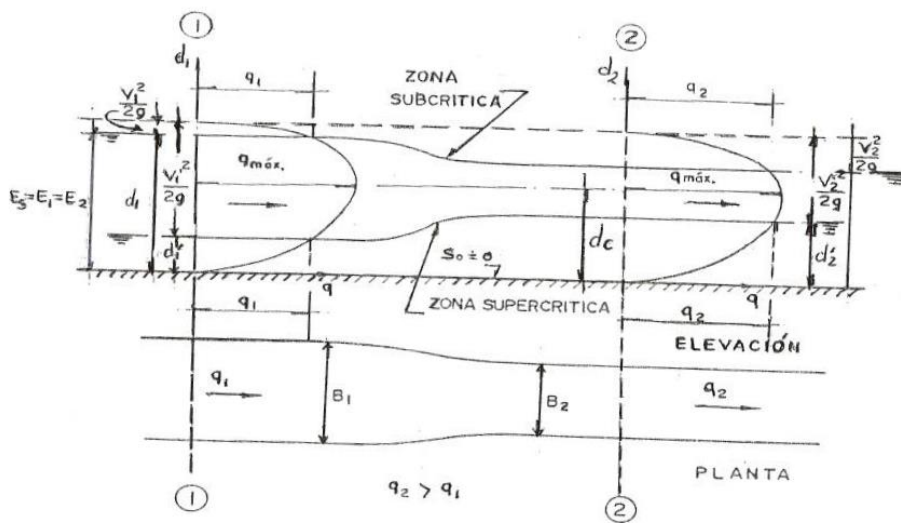
$d$ = Tirante

Tomando como ejemplo el comportamiento de un canal rectangular donde se puede observar una contracción gradual y considerando que las pérdidas por fricción son despreciables, se puede enunciar que las energías de ambas secciones son iguales  $E_2=E_1=E$ , tal como se muestra en la figura, por lo que la parábola  $d$ - $q$ (tirante-gasto) también lo será [14].

Debido a que  $B_1 > B_2$  el gasto en la sección 1 es menor que en la sección 2, sin embargo el comportamiento de la superficie del agua depende del tipo de régimen que presente la sección 1.

Si la sección 1 presenta un régimen subcrítico podemos notar que el  $d_1 > d_2$ , por lo tanto el  $d_2 < d_c$ , siendo esta otra de las raíces que debe eliminarse argumentando que: para que el tirante llegara al valor  $d_2$ , debido a que hay continuidad en el flujo, tendría que haber pasado por el gasto máximo ( $q$  máximo), antes y esto no es posible, ya que  $q_2 < q_{max}$  y  $q_2$  tiene un valor fijo. [14]

**Figura 23.-** Curva de energía específica en un tramo de canal rectangular sujeto a una reducción



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

Al tomar el  $q_2$  igual al  $q_{max}$  se puede obtener el mínimo valor del  $B_2$ , lo que llevaría a que el tirante en la sección 2 ( $d_2$ ) fuera el tirante crítico ( $d_c$ ). Con la expresión:

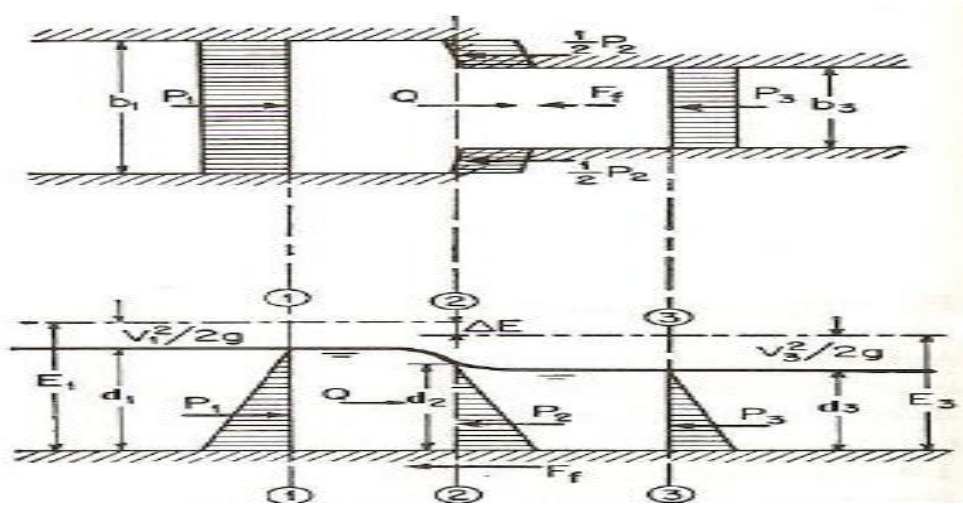
$$q_{max} = 1.705\sqrt{E^3}$$

Podemos reemplazar el consumo máximo y obtener así el  $B_{min}$ :

$$B_{min} = \frac{Q}{1.705\sqrt{E^3}}$$

Si queremos calcular cualquiera de los tirante ya sea aguas arriba o aguas abajo se debe primero determinar el tipo de flujo, y así se podrá continuar con los cálculos.

**Figura 24.-** Análisis del comportamiento de la energía específica en una contracción horizontal

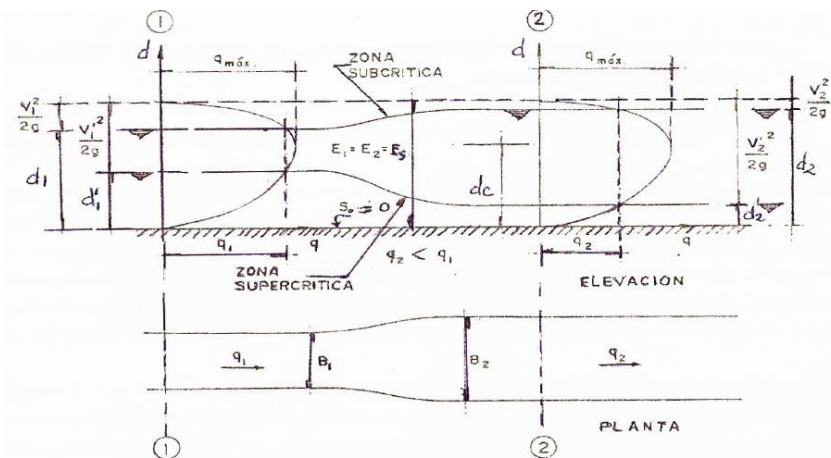


**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

#### 2.1.2.4.2. EXPANSIONES

En las expansiones podemos denotar que es lo contrario a lo que ocurre en las contracciones donde el  $q_1$  llega a ser mayor que  $q_2$ , por lo que al realizar el mismo análisis anterior se puede concluir que el tirante crítico se encuentra en la sección 1 y no se podrá presentar en la sección 2 [14].

**Figura 25.-** Perfil de la energía específica en una ampliación gradual



**Fuente:** P, RODRÍGUEZ. Hidráulica II, 2008

### 2.1.2.5. ECUACIÓN DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO

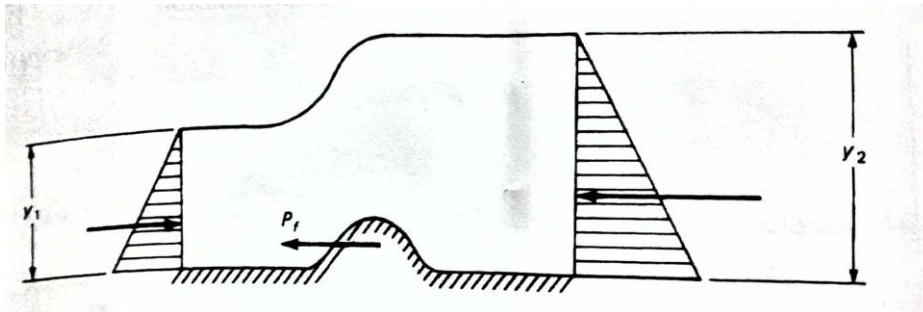
La cantidad de movimiento obedece a una ley de conservación, lo cual significa que la cantidad de movimiento total de todo sistema cerrado (o sea uno que no es afectado por fuerzas exteriores, y cuyas fuerzas internas no son disipadoras) no puede ser cambiada y permanece constante en el tiempo. [19]

$$\sum F = \Delta MV$$
$$\frac{P_f}{y_1} = \gamma \left[ \left( \frac{q^2}{y_2} + \frac{y_2^2}{2} \right) - \left( \frac{q^2}{y_1} + \frac{y_1^2}{2} \right) \right]$$

Donde la función de cantidad de movimiento es:

$$M = \frac{q^2}{y} + \frac{y^2}{2}$$

**Figura 26.-** Esquema de definición para la ecuación de cantidad de movimiento



**Fuente:** M, RERENCE, Abastecimiento de agua y alcantarillado, 2000

Se puede determinar el valor del tirante correspondiendo al  $M_{min}$ , en condiciones donde la pérdida de energía es desconocida, donde se obtiene:

$$y = \left( \frac{q^2}{y} \right)^{\frac{1}{3}}$$



### 2.1.2.6. ECUACIONES DE SAINT VENANT

Saint Venant propuso un sistema de ecuaciones para poder describir el comportamiento del agua en una dimensión, las ecuaciones muestran un modelo matemático basado en "el desarrollo de ecuaciones diferenciales encargadas de modelar la variación de caudal y nivel de un flujo en un espacio unidimensional y el tiempo de manera no permanente en canales abiertos". [20]

Las ecuaciones de Saint Venant que el programa Hec-Ras ocupa, son las ecuaciones mediante el método de las diferenciales finitas.

- **ECUACIÓN SAINT - VENANT 1D**

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = q$$

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\delta y}{\delta x} + \frac{Q}{A} q = gA[S_o + S_f]$$

- **ECUACIÓN SAINT - VENANT 2D**

$$\frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta qx}{\delta x} + \frac{\delta qy}{\delta y} = q$$

$$\frac{\delta qx}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left( \frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) = gh[S_{ox} + S_{fx}]$$

## 2.2. HIPÓTESIS

### 2.2.1. HIPOTESIS NULA

Las características físicas del canal de riego Ambato Huachi Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 13 y el óvalo 17 del cantón Cevallos, provincia de Tungurahua no influyen en el comportamiento hidráulico del canal evaluado mediante un modelo numérico

### **2.2.2. HIPOTESIS ALTERNA**

Las características físicas del canal de riego Ambato Huachi Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 13 y el óvalo 17 del cantón Cevallos, provincia de Tungurahua influyen en el comportamiento hidráulico del canal evaluado mediante un modelo numérico

### **2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPOTESIS**

#### **2.3.1. Variable Dependiente**

- Caracterización hidráulica del canal de riego

#### **2.3.2. Variable Independiente**

- Velocidad Media
- Sección Transversal, Geometría
- Pendiente Longitudinal
- Coeficiente de Manning

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Los tipos de investigación que se usarán en el presente proyecto serán: descriptiva,

- Bibliográfica: se corroboran las bases teóricas como las propiedades y características hidráulicas con el apoyo de material bibliográfico como libros o revistas técnicas.
- Correlacional: relación entre los datos obtenidos en campo, caudales y velocidades con el modelo matemático con HEC-RAS para un análisis hidráulico del canal deben tener relación o ser semejantes para validar los resultados.
- Explicativa: importancia saber las características del canal, físicas e hidráulicas, para dar a conocer la alternativa de generación de energía con el aprovechamiento de los caudales del canal, así como las velocidades del mismo.
- Experimental: a través de la modelación numérica en el software HEC-RAS, para conocer el comportamiento del canal y aportar información relevante para futuras investigaciones.

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **Población:**

El estudio y caracterización hidráulica se realizará en el canal Ambato-Huachi-Pelileo, con una longitud de 27km, perteneciente a los Cantones de: Ambato, Cevallos y Pelileo.

**Muestra:**

Por tratarse de un trabajo experimental se basará en el método de muestreo discrecional, donde la muestra se selecciona en base a los conocimientos y criterios del investigador.

Se ha enfocado entre los óvalos 13 al 17 correspondiente al 10% del total del canal, con una distancia de 2700m, en los cuales se realiza la medición de velocidades cada 450m; obteniendo 6 puntos de recolección de datos: velocidad, caudal y sección transversal.

**3.3. PLAN DE MUESTREO**

El muestreo se realizará con la ayuda de un molinete y un panel digital, capaz de medir las velocidades del flujo, en diferentes posiciones tanto en sentido horizontal como vertical en la sección transversal del canal cada 450 metros.

A continuación se presenta la matriz de recolección de datos a utilizarse para el levantamiento de la información en cada punto de estudio.

**Tabla 1.-** Matriz de recolección de datos – Formato de la tabla de recolección de datos In-Situ

MATRIZ DE TOMA DE DATOS EN EL CANAL										
Realizado por:										
Fecha:		Ubicación								
Punto N.-		Norte:								
Abscisa:		Este:								
Cota:										
Calado (m)		Velocidad (m/s)								
		d=	d=	d=	d=	d=	d=	d=	d=	d=
0,20 Y										
Promedio										
0,60 Y										
Promedio										
0,80 Y										
Promedio										

Fuente: Yanza Elena

### 3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### Variable Independiente

- Velocidad Media
- Sección Transversal, Geometría
- Pendiente Longitudinal
- Coeficiente de Manning

**Tabla 2.-** Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica e Instrumentos
Los componentes más representativos para los estudios de hidráulicos se pueden obtener con datos topográficos del canal y/o mediciones en sitio de las principales dimensiones del canal.	Topografía	Sección transversal del canal  Pendiente longitudinal  Coeficiente de Manning	¿Cuál es la variación de la sección transversal y la pendiente longitudinal del canal?	Estación total Computadora
	Medición in situ	Velocidad horizontal y vertical  Caudal  Distribución de velocidades	¿Cómo es el esquema de distribución de velocidades en la sección transversal y en sentido longitudinal?	Molinete Equipo de medición <i>In-Situ</i> Computadora

**Fuente:** Elena Yanza

### Variable Dependiente

Caracterización hidráulica del canal de riego

**Tabla 3.-** Operacionalización de la variable dependiente

<b>Concepto</b>	<b>Categoría Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítems</b>	<b>Técnica e Instrumentos</b>
El desarrollo del proyecto evalúa la caracterización hidráulica del canal, basándose en la sección transversal del mismo y en una modelación numérica con sus principales características.	Sección transversal	Propiedades geométricas del canal(forma)	¿Qué características geométricas debe tener el sitio para que se lo pueda considerar apto para el fin del estudio?	Verificación visual Uso de Auto CAD Civil 3D
	Modelación Numérica	Simulación completa con datos reales en HEC – RAS	¿Cuáles con las diferencias y las similitudes entre la modelación física y la matemática?	Computadora Software HEC-RAS

**Fuente:** Elena Yanza

### 3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

**Tabla 4.-** Plan de recolección de información

Preguntas	Explicación
1. ¿Qué datos se requieren tomar?	Las dimensiones de la sección transversal del canal así como las pendientes, longitudes, y datos hidráulicos de velocidad y calado normal.
2. ¿Para qué?	Caracterizar el comportamiento hidráulico del Óvalo 13 al 17 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.
3. ¿De qué objetos?	La población del proyecto será del Óvalo 13 al 17 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.
4. ¿Dónde?	Se ejecutará en el Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.
5. ¿En qué consiste la toma de datos?	Los datos se tomarán tanto en sentido horizontal como sentido vertical de la sección transversal del canal.
6. ¿Con qué técnica e instrumento se llevará acabo las mediciones?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estación total</li> <li>• Computadora</li> <li>• Estudios previos</li> <li>• Molinete- Equipo de medición <i>in situ</i></li> <li>• Verificación visual</li> <li>• Uso de AutoCAD Civil 3D</li> <li>• Computadora</li> <li>• Software HEC – RAS</li> <li>• Herramienta menor</li> </ul>

**Fuente:** Elena Yanza



## **3.6. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

### **3.6.1. PLAN DE PROCESAMIENTO**

El procesamiento de información de campo en el canal Ambato-Huachi-Pelileo se ejecutará en dos etapas principales:

1. Realización del levantamiento topográfico, con la ayuda del equipo topográfico de la facultad, entre estos tenemos: Estación total Trimble M3, prismas, Flexómetro, GPS.
  - 1.1. Tomar el punto de partida de la topografía con la ayuda del GPS
  - 1.2. Plantar la estación y proceder a dar lectura en los prismas ubicados en los costados del canal.
  - 1.3. Realizar las mediciones de la topografía del canal; donde el terreno no lo permita se procederá a realizar el cambio de estación.
  - 1.4. Realizar el levantamiento topográfico de todo el canal, teniendo en cuenta tomar la mayor cantidad de puntos para poder detallar mayormente al canal.
  - 1.5. Bajar los datos de la estación total, para poder procesar la información en el programa AUTOCAD CIVIL 3D.
2. Recolección de datos con el molinete Transmisor de caudal de líquidos con número de serie DMM-4000/PFT con capacidad de medición de velocidad entre 0.3m/s – 10m/s y máx. 15m/s,
  - 2.1. Localizar la abscisa en el cual se realizará la medición de velocidades.
  - 2.2. Medir las dimensiones del canal, así como la profundidad hidráulica del mismo.
  - 2.3. Dividir y marcar el espejo de agua en un rango de 30 a 40cm, en los cuales se harán las mediciones en sentido horizontal
  - 2.4. Dividir y marcar en el equipo el 20%, 60% y 80% de la profundidad hidráulica del canal, para las mediciones en sentido vertical.

- 2.5. Realizar las mediciones de velocidad en los respectivos puntos y profundidades correspondientes.
- 2.6. Generar una malla que permita observar las curvas de velocidad específicas de cada punto.

### **3.6.2. PLAN DE ANÁLISIS**

El plan de análisis resaltaré principalmente dos puntos importantes:

1. En base a los datos del levantamiento topográfico en donde se analizará con ayuda del software AUTOCAD CIVIL 3D.
  - 1.1. Después de tener los datos tomados con la estación total, subir los puntos a la plataforma AutoCAD Civil 3D, para modelar su perfil.
  - 1.2. Mediante poli líneas unir los puntos de los lados del canal, y puntos del centro eso permitirá dar la forma del mismo.
  - 1.3. Crear una superficie con los puntos del canal para generar las curvas del nivel, una vez realizado revisar la triangulación de la topografía para obtener curvas más definidas.
  - 1.4. Para obtener el perfil del canal, realizar una alineación en su base que cruce toda su longitud y de preferencia en la mitad del mismo
  - 1.5. La plataforma de AutoCAD permitirá exportar la topografía del canal al programa Hec-Ras, con el que se analizará el comportamiento del flujo.
2. Con la base de datos de EXCEL, AUTOCAD CIVIL 3D y HEC-RAS se realizará la caracterización del canal.
  - 2.1. El software Excel permite crear tablas que ayudan con el cálculo del caudal y velocidad del canal, debido a la facilidad de ingresar fórmulas.
  - 2.2. Las velocidades pueden ser representadas en el corte del canal como cotas de elevación con las cuales podemos generar las curvas de velocidades, con la ayuda de AutoCAD Civil 3D.
  - 2.3. En el programa Hec-Ras después de tener la topografía exportada de AutoCAD Civil 3D, constatar que los datos exportados estén correctos, ya que existe posibilidades que ciertas secciones no se exporten de forma adecuada, luego de

terminar con la revisión, ingresamos el número de Manning, partiendo de un valor de 0.013 mínimo.

2.4. Al correr el programa, corroborar que la velocidad y el calado del programa sean similares a la velocidad y calado calculado con el software Excel.

2.5. Si no son similares, cambiar el número de Manning hasta verificar el valor con cual cumpla.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

##### 4.1.1. Hidráulica

El canal de riego Ambato - Huachi - Pelileo capta sus aguas del río Ambato, el cual provee agua de regadío para el desarrollo de la zona agraria de Tungurahua y realiza su distribución por medio de ramales secundarios, excluyendo zonas urbanas y áreas no aptas para el riego.

##### 4.1.2. Mediciones In situ

##### 4.1.2.1. Topografía

Se realizó el levantamiento topográfico, con estación total Trimble M3, del canal ubicado en el cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua. El tramo inicia desde la parroquia rural Montalvo del cantón Ambato y termina en la cabecera del cantón Cevallos, siguiendo la calle innominada al lado derecho.

**Figura 27.-** Estación Trimble M3



**Fuente:** Elena Yanza

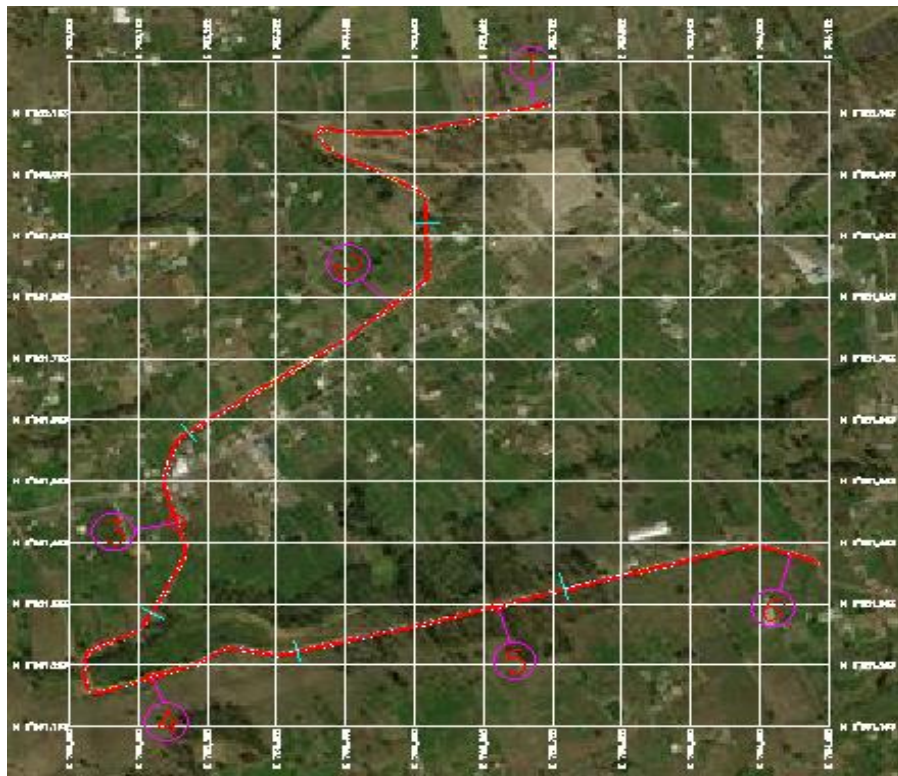
La topografía es correspondiente a una zona de la sierra central del Ecuador donde el tramo del canal analizado tiene una longitud de 2700.96 m, que consta de una

pendiente que varía de 0.13% a 0.14% y la sección transversal del canal cambia a lo largo de su longitud desde 2.20m hasta 2.32 m, la base del canal tiene una medida promedio de 1.12 m, y el calado promedio de 0.83 m.

#### 4.1.2.2. Sección Transversal

La sección transversal del canal fue definida en seis puntos analizados a lo largo de su longitud, como se representa en la figura 28.

**Figura 28.-** Localización de las secciones del canal



**Fuente:** Elena Yanza

La tabla 5, muestra un detalle de las secciones ubicadas en el tramo del canal analizado, donde se detallan las coordenadas y la abscisa donde se encuentra ubicado.

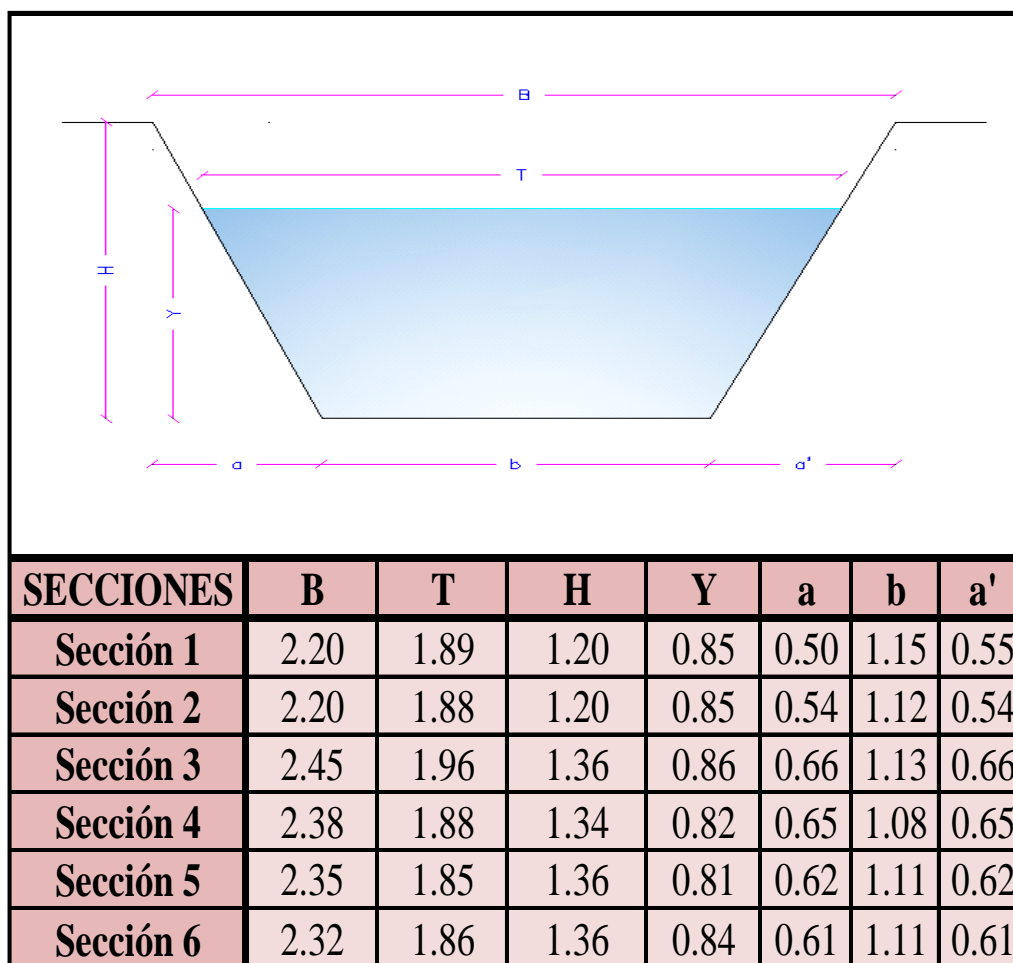
**Tabla 5.-** Localización de las secciones transversales

Secciones	Coordenadas	Abscisa (m)	Pendiente	Altura Canal (m)
SECCION 1	X=763756.604	2+640	0.13%	1.2
	Y=9852173.176			
SECCION 2	X=763548.706	1+960	0.13%	1.2
	Y=9851849.096			
SECCION 3	X=763236.730	1+440	0.13%	1.36
	Y=9851495.634			
SECCION 4	X=763203.485	1+000	0.13%	1.34
	Y=9851243.913			
SECCION 5	X=763702.611	0+480	0.13%	1.36
	Y=9851358.503			
SECCION 6	X=764128.140	0+040	0.13%	1.36
	Y=9851443.784			

**Fuente:** Elena Yanza

Los elementos geométricos de cada sección tales como el ancho del canal, calado, altura del canal, están representados en la tabla 6.

**Tabla 6.-** Secciones Transversales



**Fuente:** Elena Yanza

### 4.1.2.3. Perfil Longitudinal

El perfil longitudinal teniendo un valor promedio de 0.13%, que va desde la abscisa 0+000 hasta 2+701, como se representa en tabla No 7, donde se puede observar que dichas variantes resultan ser mínimas.

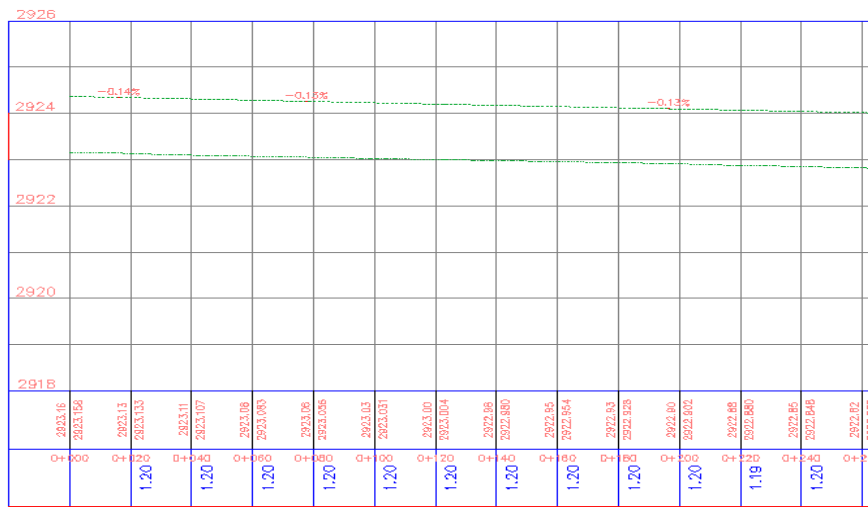
**Tabla 7.-** Variaciones de pendiente del canal

Abscisa (m)	Pendiente
0+000	0.13%
1+390	0.14%
1+500	0.13%
2+105	0.11%
2+220	0.13%
2+675	0.14%
2+701	0.14%

Fuente: Elena Yanza

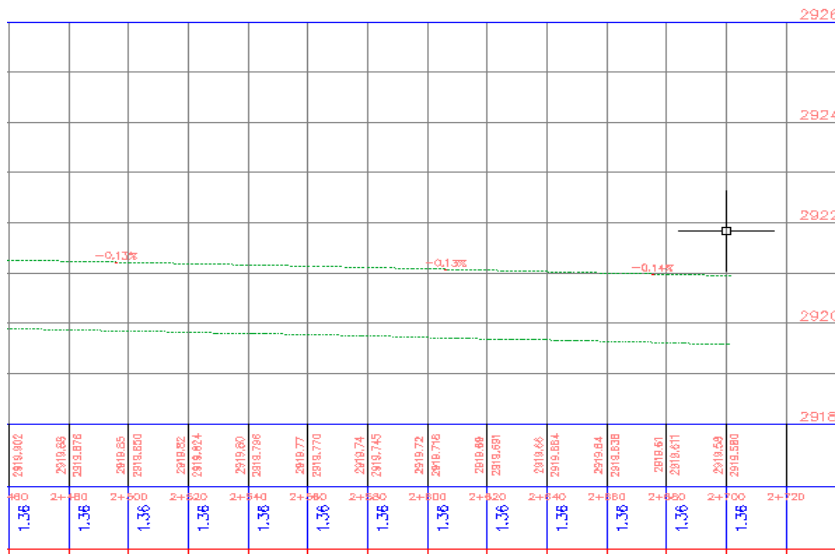
El tramo del canal tiene una cota inicial 2924.36 y termina con una cota de 2920.78, como se representa en la figura 29, lo que define una pendiente promedio de 0.12%.

**Figura 29.-** Perfil longitudinal del inicio del canal



Fuente: Elena Yanza

**Figura 30.-** Perfil longitudinal del final del canal



**Fuente:** Elena Yanza

### 4.1.3. Distribución de Velocidades y Caudales Media

Las velocidades tomadas en campo fueron obtenidas mediante aforos con el equipo de registro de velocidad el molinete, el cual se introduce en el agua (fig. 31), al dividir cada sección en franjas verticales y tomar los valores de velocidad media al 20%, 60% y 80% del calado.

**Figura 31.-** Molinete DMM-4000/PFT



**Fuente:** Elena Yanza

El cálculo de caudales es realizado por dos métodos, donde el primero toma los valores de velocidad tomados al 20% y 80% del calado y el segundo método tomará para el cálculo los valores de velocidad al 60% del calado.



**Figura 32.-** Toma de datos de velocidad en campo



**Fuente:** Elena Yanza

#### **4.1.4. Cálculo del caudal**

El gasto total se estima, sumando los caudales parciales obtenidos en cada franja, por medio de la siguiente expresión [21]:

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i \cdot V_i$$

**Donde:**

**Q**= Caudal total

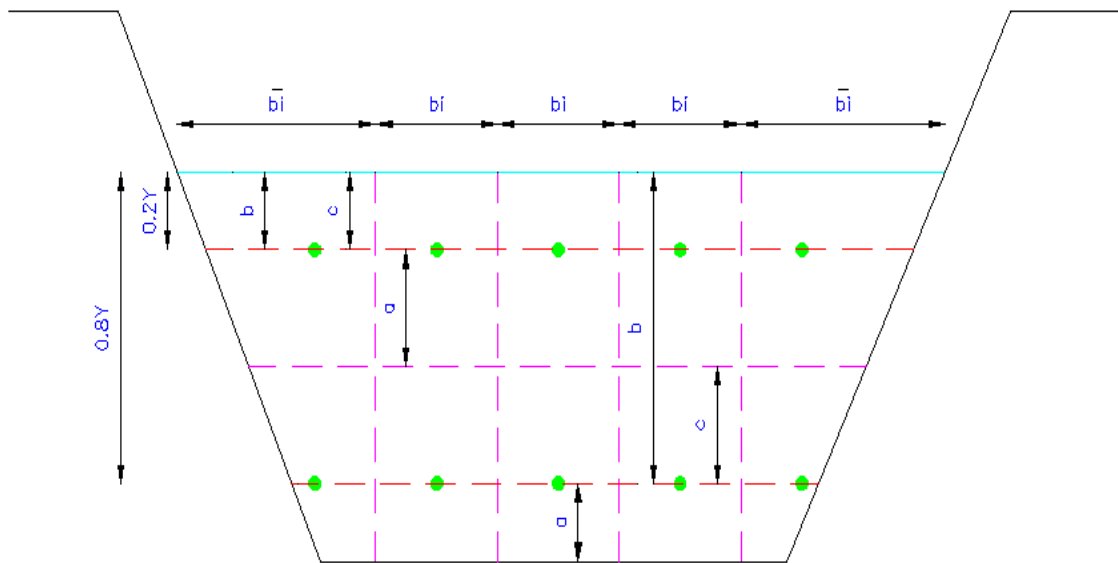
**a<sub>i</sub>**=Área de la franja i

**V<sub>i</sub>**=Velocidad media en la franja

**i**= Número de franjas

En la figura No 33 se presenta un esquema gráfico de las velocidades en cada franja del canal, usadas para el primer método, las cuales se encuentran a la altura del 20% y 80% del calado.

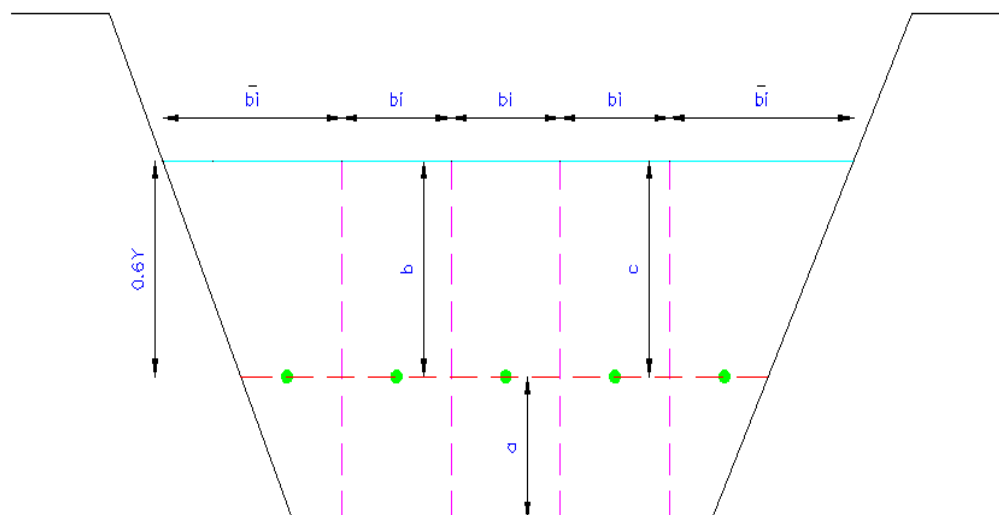
**Figura 33.-** Representación gráfica del cálculo de caudales Primer Método



**Fuente:** Elena Yanza

La figura 34 representa los valores de velocidad tomados al 60% del calado en cada franja subdividida de la sección de canal.

**Figura 34.-** Representación gráfica del cálculo de caudales Segundo Método



**Fuente:** Elena Yanza

Los caudales parciales se calculan multiplicando el área parcial  $A_i$ , por la velocidad parcial  $V_i$ , como se muestra en la siguiente expresión:

$$Q_i = A_i * V_i$$

La velocidad parcial se obtiene mediante el promedio de las velocidades tomadas en cada punto.

$$V_i = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

El área parcial es el resultado de la multiplicación entre la profundidad media de cada área  $P_{mi}$ , por el ancho de la franja  $b_i$ , esta fórmula se aplica a las franjas que tengan un ancho constante, en el caso en que la franja no sea constante, el ancho  $b_i$  es igual al promedio del ancho superior e inferior.

$$A_i = P_{mi} * b_i$$

La profundidad promedio es calculada mediante la siguiente expresión:

$$P_{mi} = \frac{a + 2b + c}{2}$$

La velocidad media de cada sección se obtiene dividiendo el caudal calculado sobre el área.

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

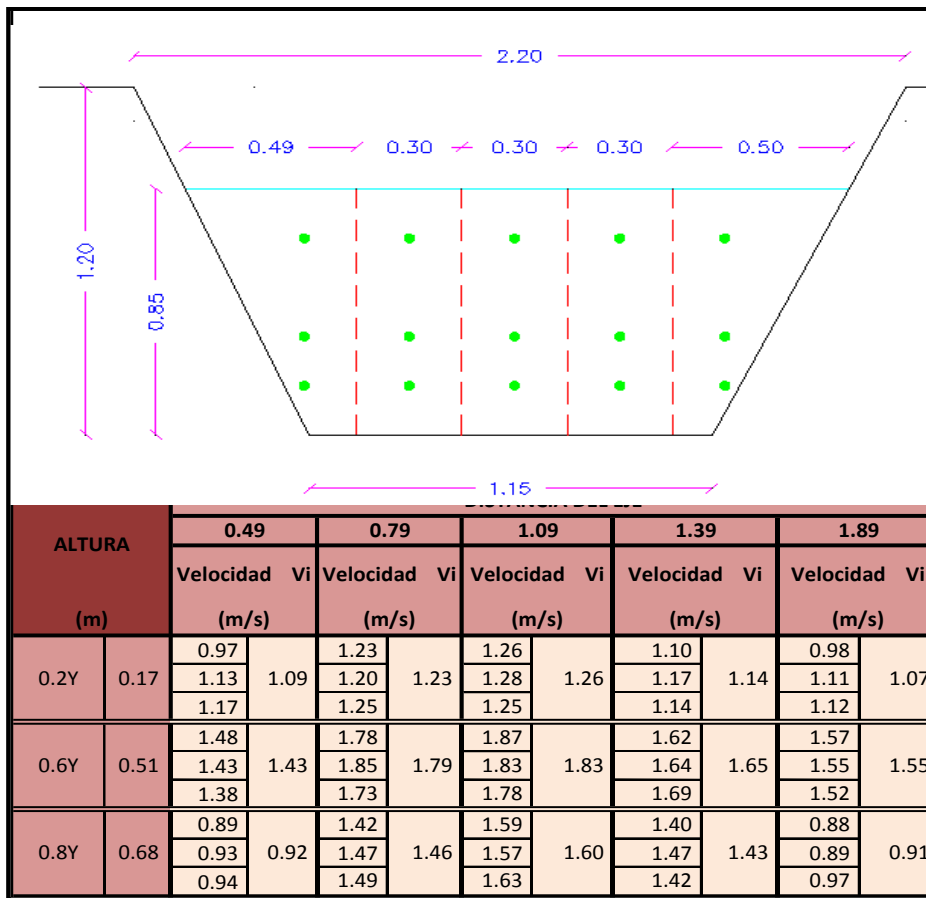
## **4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.2.1. Sección 1**

#### **4.2.1.1. Velocidades In situ**

En la tabla 8 se muestran los valores obtenidos en campo y procesados en la sección 1, la velocidad se representa en m/s.

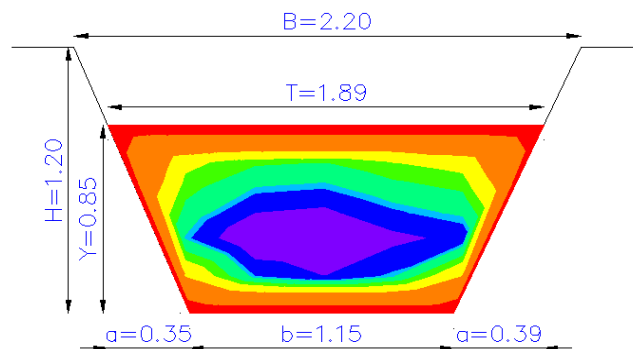
**Tabla 8.-** Valores de las velocidades aforadas sección 1



**Fuente:** Elena Yanza

Para cada punto se calcula una velocidad promedio entre los datos tomados en campo, de los cuales se puede observar que los datos más altos se localizan en el centro del canal y disminuye mientras se acerca a las paredes del canal, como se puede observar en la figura 35.

**Figura 35.-** Distribución de velocidades en la sección 1 del canal



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.1.2. Caudal

El cálculo del caudal que se presenta en la tabla 9, es calculado mediante el primer método, el cual toma los valores de velocidad al 20% Y 80% del calado.

**Tabla 9.-** Cálculo del caudal por el primer método de la sección 1

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m2)	Qi (m3/s)
		a	b	c				
0.2Y	1.09	0.255	0.17	0.17	0.49	0.313	0.077	0.084
		0.191			0.402			
	1.23	0.255	0.17	0.17	0.3		0.057	0.070
		0.191						
	1.26	0.255	0.17	0.17	0.3		0.057	0.072
0.191								
1.14	0.255	0.17	0.17	0.3		0.057	0.065	
	0.191							
1.07	0.255	0.17	0.17	0.50	0.309	0.078	0.083	
	0.191			0.407				
0.8Y	0.92	0.17	0.68	0.255	0.313	0.136	0.1	0.092
		0.446			0.225			
	1.46	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.196
		0.446						
	1.60	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.214
0.446								
1.43	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.192	
	0.446							
0.91	0.17	0.68	0.255	0.309	0.114	0.095	0.087	
	0.446			0.212				
<b>CAUDAL TOTAL</b>							<b>1.154</b>	

**Fuente:** Elena Yanza

La tabla 10 presenta el resultado del caudal calculado de la sección 1 por el segundo método, el cual toma los datos de velocidad tomados al 60% del calado

**Tabla 10.-** Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 1

FRANJA	Vi	Pmi (m)			bi	Ai	Qi
	(m/s)	a	b	c	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)
0.6Y	1.43	0.34	0.51	0.51	0.49	0.146	0.209
		0.468			0.14		
	1.79	0.34	0.51	0.51	0.3	0.14	0.250
		0.468					
	1.83	0.34	0.51	0.51	0.3	0.14	0.256
		0.468					
	1.65	0.34	0.51	0.51	0.3	0.14	0.231
		0.468					
	1.55	0.34	0.51	0.51	0.50	0.145	0.224
		0.468			0.11		

<b>CAUDAL TOTAL</b>	1.170
---------------------	-------

**Fuente:** Elena Yanza

Los caudales obtenidos por ambos métodos son similares entre sí, siendo ambos métodos confiables al momento de obtener el caudal promedio en el canal.

#### 4.2.1.3. Velocidad Media

La velocidad media es calculada con los resultados de caudales obtenidos anteriormente, como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.-** Cálculo de la velocidad media de la sección 1

	Q (m <sup>3</sup> /s)	At (m <sup>2</sup> )	V (m/s)
<b>Q1,V1</b>	1.15	1.294	0.89
<b>Q2,V2</b>	1.17		0.90

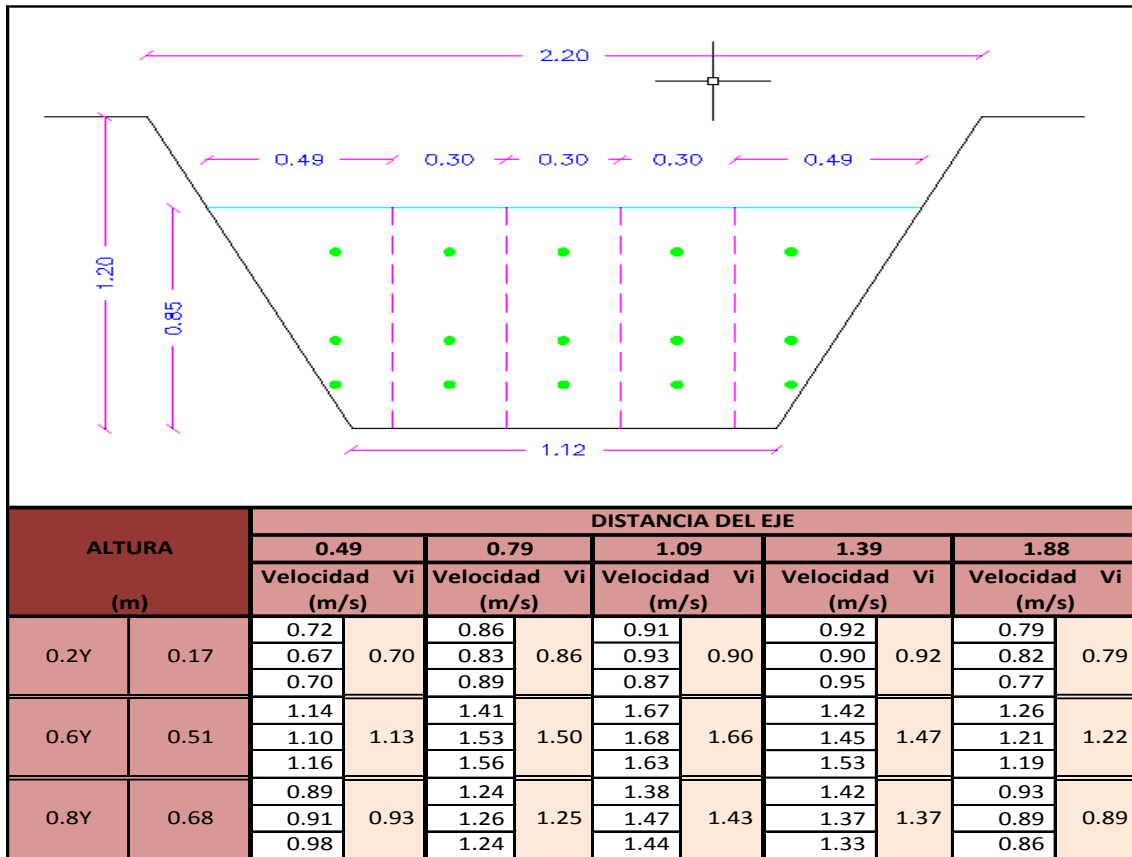
**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.2. Sección 2

##### 4.2.2.1. Velocidades In situ

En la tabla No.12 se muestran los valores obtenidos en campo y procesados en la sección 2, la velocidad se representa en m/s.

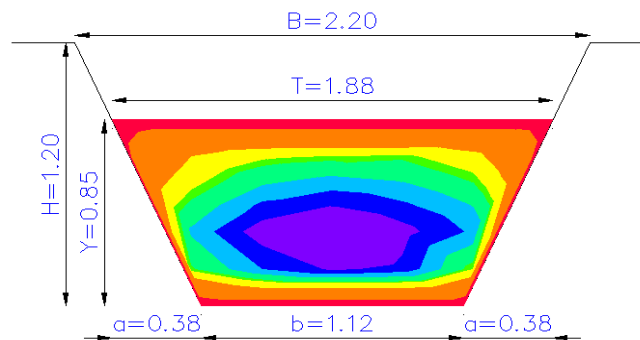
**Tabla 12.-** Valores de las velocidades aforadas sección 2



**Fuente:** Elena Yanza

Para cada punto se calcula una velocidad promedio entre los datos tomados en campo, de los cuales se puede observar que los datos más altos se localizan en el centro del canal y disminuye mientras se acerca a las paredes del canal, como se puede observar en la figura 36.

**Figura 36.-** Distribución de velocidades en la sección 2 del canal



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.2.2. Caudal

El cálculo del caudal que se presenta en la tabla 13, es calculado mediante el primer método, el cual toma los valores de velocidad al 20% Y 80% del calado.

**Tabla 13.-** Cálculo del caudal por el primer método de la sección 2

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m2)	Qi (m3/s)
		a	b	c				
0.2Y	0.70	0.255	0.17	0.17	0.49	0.299	0.075	0.052
		0.191			0.395			
	0.86	0.255	0.17	0.17	0.3		0.057	0.049
		0.191						
	0.90	0.255	0.17	0.17	0.3		0.057	0.051
		0.191						
0.92	0.255	0.17	0.17	0.3		0.057	0.053	
	0.191							
0.79	0.255	0.17	0.17	0.49	0.301	0.076	0.060	
	0.191			0.397				
0.8Y	0.93	0.17	0.68	0.255	0.299	0.107	0.091	0.084
		0.446			0.203			
	1.25	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.167
		0.446						
	1.43	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.192
		0.446						
	1.37	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.184
		0.446						
	0.89	0.17	0.68	0.255	0.301	0.11	0.092	0.082
		0.446			0.206			
<b>CAUDAL TOTAL</b>							0.975	

Fuente: Elena Yanza

La tabla 14 presenta el resultado del caudal calculado de la sección 2 por el segundo método, el cual toma los datos de velocidad tomados al 60% del calado.

**Tabla 14.-** Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 2

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m2)	Qi (m3/s)
		a	b	c				
0.6Y	1.10	0.34	0.51	0.51	0.49	0.14	0.146	0.161
		0.468			0.313			
	1.48	0.34	0.51	0.51	0.3		0.14	0.207
		0.468						
	1.72	0.34	0.51	0.51	0.3		0.14	0.241
		0.468						
	1.47	0.34	0.51	0.51	0.3		0.14	0.205
		0.468						
	1.16	0.34	0.51	0.51	0.50	0.11	0.145	0.168
		0.468			0.309			
<b>CAUDAL TOTAL</b>							0.982	

Fuente: Elena Yanza



### 4.2.2.3. Velocidad Media

La velocidad media es calculada con los resultados de caudales obtenidos anteriormente, como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15.-** Cálculo de la velocidad media de la sección 2

	Q (m <sup>3</sup> /s)	At (m <sup>2</sup> )	V (m/s)
Q1,V1	0.97	1.28	0.763
Q2,V2	0.98		0.769

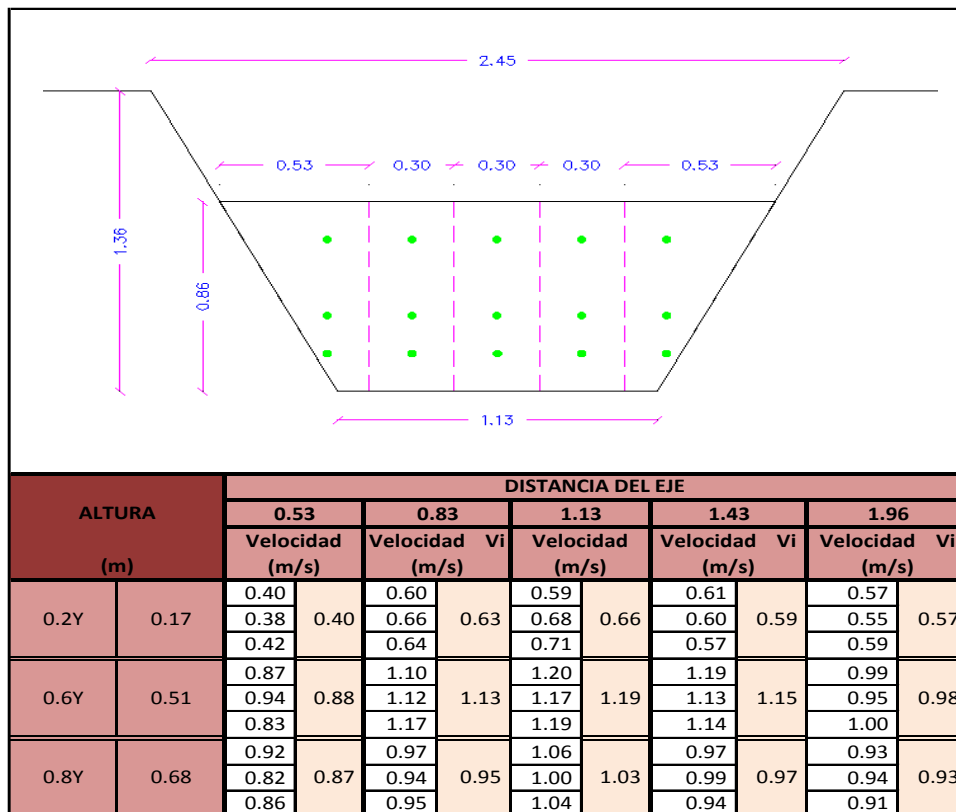
**Fuente:** Elena Yanza

### 4.2.3. Sección 3

#### 4.2.3.1. Velocidades In situ

En la tabla No 16 se muestran los valores obtenidos en campo y procesados en la sección 3, la velocidad se representa en m/s.

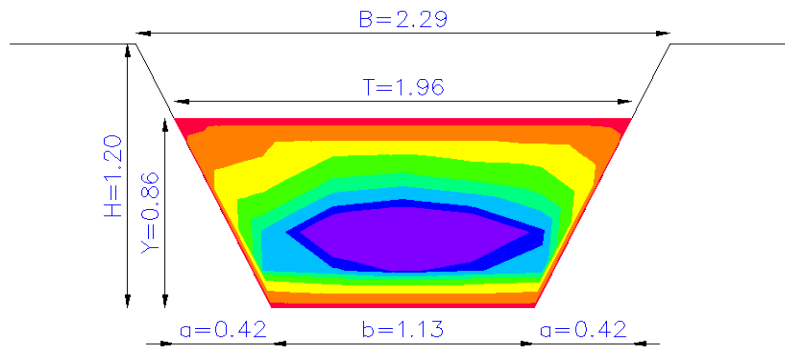
**Tabla 16.-** Valores de las velocidades aforadas sección 3



**Fuente:** Elena Yanza

Para cada punto se calcula una velocidad promedio entre los datos tomados en campo, de los cuales se puede observar que los datos más altos se localizan en el centro del canal y disminuye mientras se acerca a las paredes del canal, como se puede observar en la figura 37.

**Figura 37.-** Distribución de velocidades en la sección 3 del canal



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.3.2. Caudal

El cálculo del caudal que se presenta en la tabla 17, es calculado mediante el primer método, el cual toma los valores de velocidad al 20% Y 80% del calado.

**Tabla 17.-** Cálculo del caudal por el primer método de la sección 3

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m <sup>2</sup> )	Qi (m <sup>3</sup> /s)
		a	b	c				
0.2Y	0.40	0.258	0.172	0.172	0.53	0.321	0.083	0.03
					0.426			
	0.63	0.258	0.172	0.172	0.3		0.058	0.04
					0.194			
	0.66	0.258	0.172	0.172	0.3		0.058	0.04
			0.194					
0.59	0.258	0.172	0.172	0.3		0.058	0.03	
				0.194				
0.57	0.258	0.172	0.172	0.54	0.326	0.084	0.05	
				0.431				
0.8Y	0.87	0.17	0.68	0.255	0.321	0.113	0.097	0.08
					0.217			
	0.95	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.13
					0.446			
	1.03	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.14
			0.446					
0.97	0.17	0.68	0.255	0.3		0.134	0.13	
				0.446				
0.93	0.17	0.68	0.255	0.326	0.117	0.099	0.09	
				0.222				
<b>CAUDAL TOTAL</b>								<b>0.762</b>

**Fuente:** Elena Yanza

La tabla 18 presenta el resultado del caudal calculado de la sección 3 por el segundo método, el cual toma los datos de velocidad tomados al 60% del calado.

**Tabla 18.-** Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 3

FRANJA	Vi	Pmi (m)			bi		Ai	Qi
	(m/s)	a	b	c	(m)		(m2)	(m3/s)
0.6Y	0.88	0.344	0.516	0.516	0.53	0.113	0.152	0.13
					0.322			
	1.13	0.344	0.516	0.516	0.3		0.142	0.16
	1.19	0.344	0.516	0.516	0.3		0.142	0.17
	1.15	0.344	0.516	0.516	0.3		0.142	0.16
	0.98	0.344	0.516	0.516	0.54	0.117	0.154	0.15
					0.326			
<b>CAUDAL TOTAL</b>								<b>0.777</b>

**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.3.3. Velocidad Media

La velocidad media es calculada con los resultados de caudales obtenidos anteriormente, como se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19.-** Cálculo de la velocidad media de la sección 3

	Q (m3/s)	At (m2)	V (m/s)
Q1,V1	0.76	1.33	0.573
Q2,V2	0.78		0.584

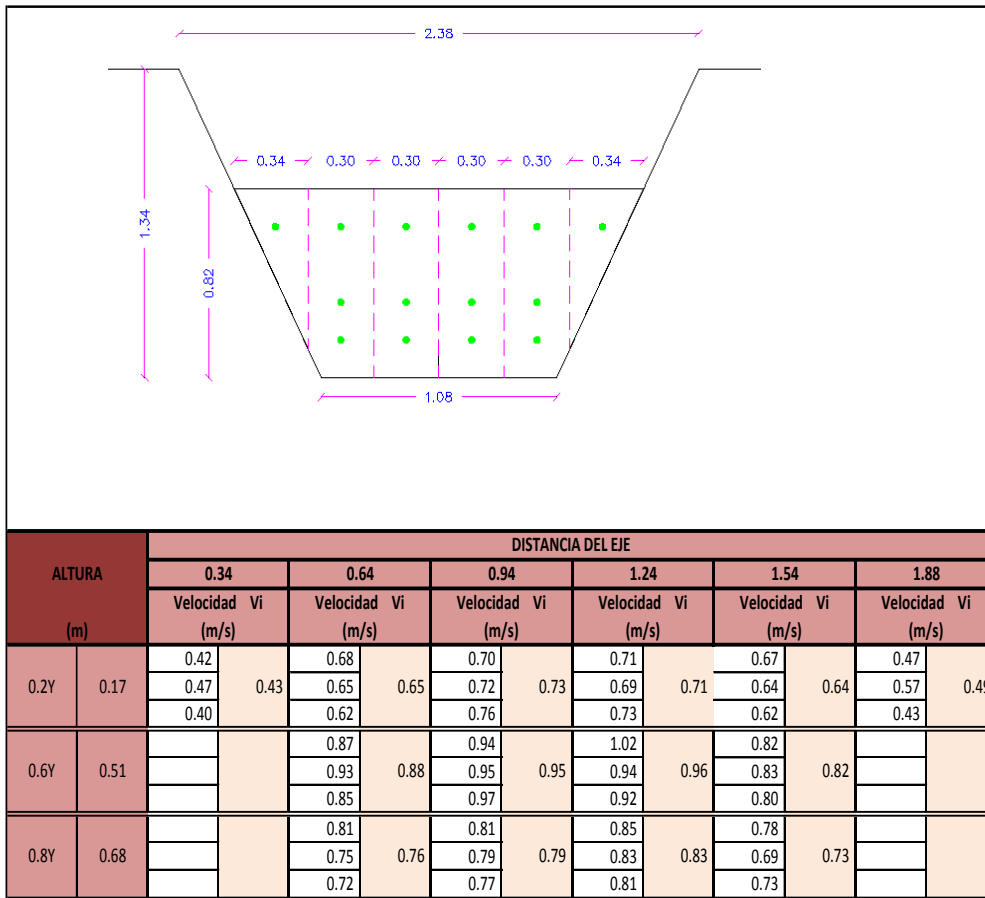
**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.4. Sección 4

##### 4.2.4.1. Velocidades In situ

En la tabla 20 se muestran los valores obtenidos en campo y procesados en la sección 4, la velocidad se representa en m/s.

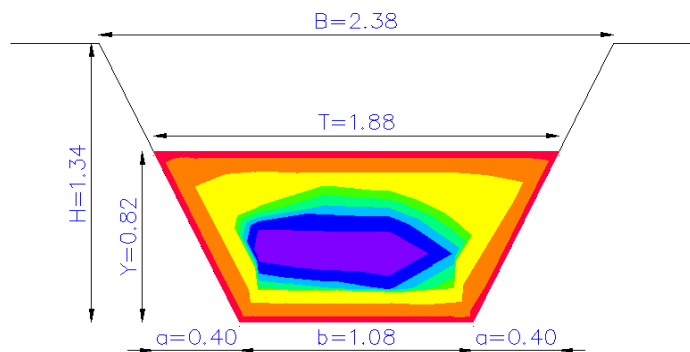
**Tabla 20.-**Valores de las velocidades aforadas sección 4



**Fuente:** Elena Yanza

Para cada punto se calcula una velocidad promedio entre los datos tomados en campo, de los cuales se puede observar que los datos más altos se localizan en el centro del canal y disminuye mientras se acerca a las paredes del canal, como se puede observar en la figura 38.

**Figura 38.-** Distribución de velocidades en la sección 4 del canal



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.4.2. Caudal

El cálculo del caudal que se presenta en la tabla 21, es calculado mediante el primer método, el cual toma los valores de velocidad al 20% Y 80% del calado.

**Tabla 21.-**Cálculo del caudal por el primer método de la sección 4

FRANJA	Vi	Pmi (m)			bi		Ai	Qi
	(m/s)	a	b	c	(m)		(m2)	(m3/s)
0.2Y	0.43	0.246	0.164	0.164	0.338	0.139	0.044	0.02
		0.185			0.239			
	0.65	0.246	0.164	0.164	0.3		0.056	0.04
		0.185						
	0.73	0.246	0.164	0.164	0.3		0.056	0.04
		0.185						
0.71	0.246	0.164	0.164	0.3		0.056	0.04	
	0.185							
0.64	0.246	0.164	0.164	0.30		0.0555	0.04	
	0.185							
0.49	0.246	0.164	0.164	0.34	0.139	0.044	0.02	
	0.185			0.239				
0.8Y	0.76	0.164	0.656	0.246	0.439	0.24	0.147	0.11
		0.431			0.34			
	0.79	0.164	0.656	0.246	0.3		0.129	0.10
		0.431						
0.83	0.164	0.656	0.246	0.3		0.129	0.11	
	0.431							
0.73	0.164	0.656	0.246	0.439	0.24	0.189	0.14	
	0.431			0.340				

**Fuente:** Elena Yanza

La tabla 22 presenta el resultado del caudal calculado de la sección 4 por el segundo método, el cual toma los datos de velocidad tomados al 60% del calado.

**Tabla 22.-**Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 4

FRANJA	Vi	Pmi (m)			bi		Ai	Qi
	(m/s)	a	b	c	(m)		(m2)	(m3/s)
0.6Y	0.88	0.328	0.492	0.492	0.638	0.24	0.198	0.17
		0.451			0.439			
	0.95	0.328	0.492	0.492	0.3		0.135	0.13
		0.451						
0.96	0.328	0.492	0.492	0.3		0.135	0.13	
	0.451							
0.82	0.328	0.492	0.492	0.638	0.24	0.198	0.16	
	0.451			0.439				
<b>CAUDAL TOTAL</b>								<b>0.595</b>

**Fuente:** Elena Yanza

### 4.2.4.3. Velocidad Media

La velocidad media es calculada con los resultados de caudales obtenidos anteriormente, como se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23.-**Cálculo de la velocidad media de la sección 4

	Q (m <sup>3</sup> /s)	At (m <sup>2</sup> )	V (m/s)
Q1,V1	0.65	1.21	0.538
Q2,V2	0.59		0.491

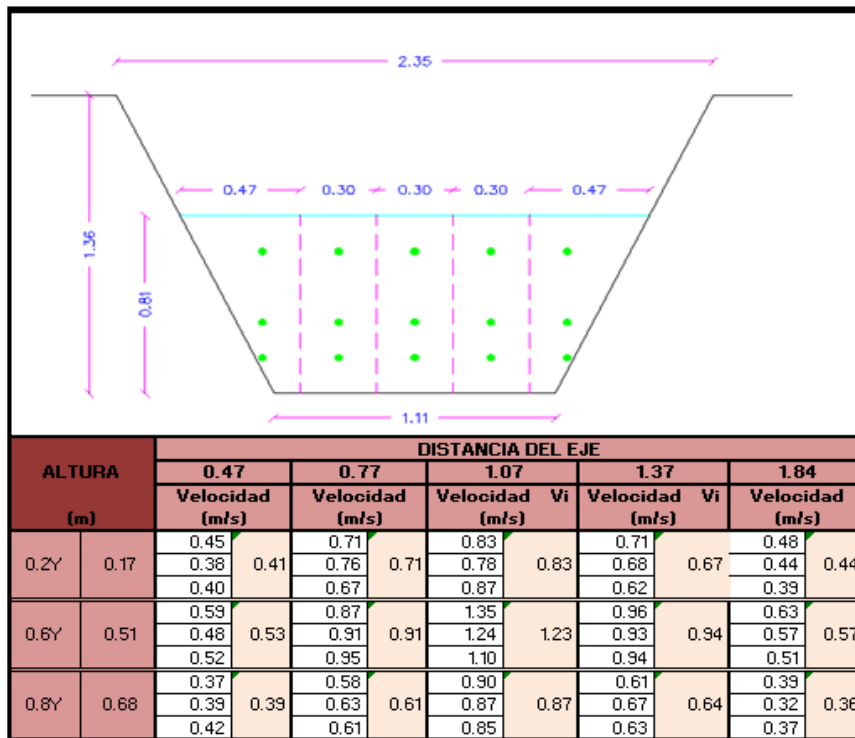
**Fuente:** Elena Yanza

### 4.2.5. Sección 5

#### 4.2.5.1. Velocidades In situ

En la tabla 24 se muestran los valores obtenidos en campo y procesados en la sección 5, la velocidad se representa en m/s.

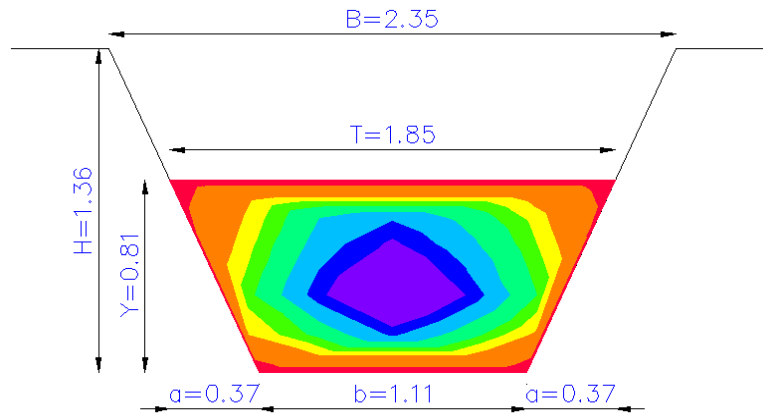
**Tabla 24.-**Valores de las velocidades aforadas sección 5



**Fuente:** Elena Yanza

Para cada punto se calcula una velocidad promedio entre los datos tomados en campo, de los cuales se puede observar que los datos más altos se localizan en el centro del canal y disminuye mientras se acerca a las paredes del canal, como se puede observar en la figura 39.

**Figura 39.-** Distribución de velocidades en la sección 5 del canal



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.5.2. Caudal

El cálculo del caudal que se presenta en la tabla 25, es calculado mediante el primer método, el cual toma los valores de velocidad al 20% Y 80% del calado.

**Tabla 25.-** Cálculo del caudal por el primer método de la sección 5

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m <sup>2</sup> )	Qi (m <sup>3</sup> /s)
		a	b	c				
0.2Y	0.41	0.198	0.162	0.162	0.474	0.31	0.067	0.027
					0.392			
	0.71	0.198	0.162	0.162	0.3		0.051	0.036
					0.3			
	0.83	0.198	0.162	0.162	0.3		0.051	0.042
					0.3			
0.67	0.198	0.162	0.162	0.3		0.051	0.034	
				0.3				
0.44	0.198	0.162	0.162	0.47	0.31	0.081	0.035	
				0.39				
0.8Y	0.39	0.162	0.648	0.288	0.31	0.105	0.091	0.036
					0.208			
	0.61	0.162	0.648	0.288	0.3		0.131	0.079
					0.3			
	0.87	0.162	0.648	0.288	0.3		0.131	0.114
					0.3			
0.64	0.162	0.648	0.288	0.30		0.131	0.083	
				0.30				
0.36	0.162	0.648	0.288	0.31	0.105	0.091	0.033	
				0.21				
<b>CAUDAL TOTAL</b>								<b>0.521</b>

**Fuente:** Elena Yanza

La tabla 26 presenta el resultado del caudal calculado de la sección 5 por el segundo método, el cual toma los datos de velocidad tomados al 60% del calado

**Tabla 26.-**Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 5

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m2)	Qi (m3/s)
		a	b	c				
0.6Y	0.53	0.324	0.486	0.486	0.474	0.105	0.129	0.068
		0.446			0.2895			
	0.91	0.324	0.486	0.486	0.3		0.134	0.122
		0.446						
	1.23	0.324	0.486	0.486	0.3		0.134	0.165
		0.446						
	0.94	0.324	0.486	0.486	0.3		0.134	0.126
		0.446						
	0.57	0.324	0.486	0.486	0.47	0.11	0.129	0.074
		0.446			0.29			
<b>CAUDAL TOTAL</b>								0.555

**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.5.3. Velocidad Media

La velocidad media es calculada con los resultados de caudales obtenidos anteriormente, como se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27.-**Cálculo de la velocidad media de la sección 5

	Q (m3/s)	At (m2)	V (m/s)
Q1,V1	0.52	1.25	0.418
Q2,V2	0.56		0.445

**Fuente:** Elena Yanza

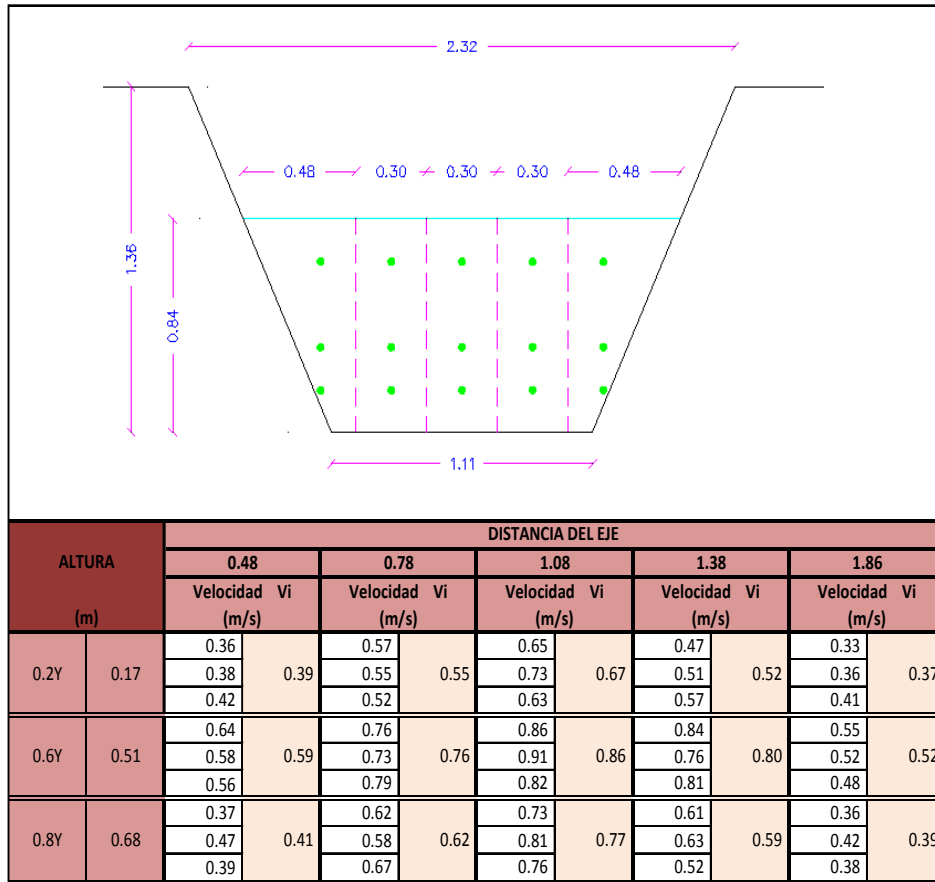
#### 4.2.6. Sección 6

##### 4.2.6.1. Velocidades In situ

En la tabla No. 28 se muestran los valores obtenidos en campo y procesados en la sección 6, la velocidad se representa en m/s.

**Tabla 28.-**Valores de las velocidades aforadas sección 6

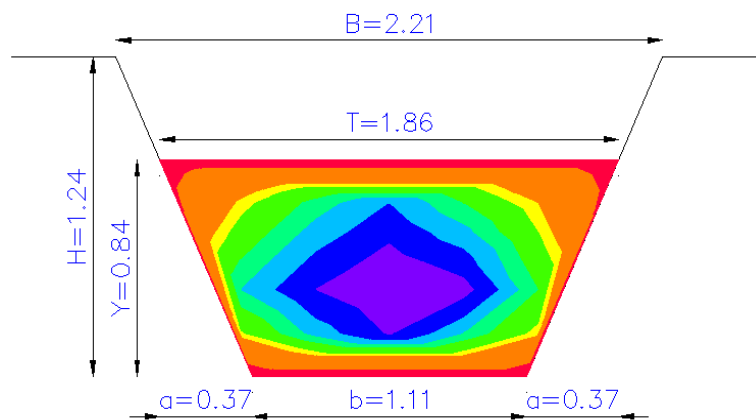




Fuente: Elena Yanza

Para cada punto se calcula una velocidad promedio entre los datos tomados en campo, de los cuales se puede observar que los datos más altos se localizan en el centro del canal y disminuye mientras se acerca a las paredes del canal, como se puede observar en la figura 340

Figura 40.- Distribución de velocidades en la sección 6 del canal



Fuente: Elena Yanza

#### 4.2.6.2. Caudal

El cálculo del caudal que se presenta en la tabla 29, es calculado mediante el primer método, el cual toma los valores de velocidad al 20% Y 80% del calado.

**Tabla 29.-**Cálculo del caudal por el primer método de la sección 6

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m2)	Qi (m3/s)
		a	b	c				
0.2Y	0.39	0.252	0.168	0.168	0.479	0.292	0.073	0.03
		0.189			0.386			
	0.55	0.252	0.168	0.168	0.3		0.057	0.03
		0.189						
	0.67	0.252	0.168	0.168	0.3		0.057	0.04
0.189								
0.52	0.252	0.168	0.168	0.3		0.057	0.03	
	0.189							
0.37	0.252	0.168	0.168	0.479	0.292	0.091	0.03	
	0.189			0.39				
0.8Y	0.41	0.167	0.673	0.253	0.292	0.105	0.088	0.04
		0.442			0.199			
	0.62	0.167	0.673	0.253	0.3		0.133	0.08
		0.442						
	0.77	0.167	0.673	0.253	0.3		0.133	0.10
0.442								
0.59	0.167	0.673	0.253	0.30		0.133	0.08	
	0.442							
0.39	0.167	0.673	0.253	0.29	0.105	0.088	0.03	
	0.442			0.20				
<b>CAUDAL TOTAL</b>							<b>0.493</b>	

**Fuente:** Elena Yanza

La tabla 30 presenta el resultado del caudal calculado de la sección 6 por el segundo método, el cual toma los datos de velocidad tomados al 60% del calado.

**Tabla 30.-**Cálculo del caudal por el segundo método de la sección 6

FRANJA	Vi (m/s)	Pmi (m)			bi (m)		Ai (m2)	Qi (m3/s)
		a	b	c				
0.6Y	0.59	0.36	0.54	0.54	0.479	0.105	0.145	0.09
		0.495			0.292			
	0.76	0.36	0.54	0.54	0.3		0.149	0.11
		0.495						
	0.86	0.36	0.54	0.54	0.3		0.149	0.13
0.495								
0.80	0.36	0.54	0.54	0.3		0.149	0.12	
	0.495							
0.52	0.36	0.54	0.54	0.48	0.11	0.145	0.07	
	0.495			0.29				
<b>CAUDAL TOTAL</b>							<b>0.523</b>	

**Fuente:** Elena Yanza

### 4.2.6.3. Velocidad Media

La velocidad media es calculada con los resultados de caudales obtenidos anteriormente, como se muestra en la Tabla 31.

**Tabla 31.-**Cálculo de la velocidad media de la sección 6

	Q (m <sup>3</sup> /s)	At (m <sup>2</sup> )	V (m/s)
Q1,V1	0.49	1.25	0.40
Q2,V2	0.52		0.42

**Fuente:** Elena Yanza

### 4.2.7. Modelación HEC-RAS

El programa Hec-Ras es un software de modelación hidráulica que facilita la entrada de datos y permite visualizar gráficamente los resultados e incluso exportarlos en forma de tablas para una mejor interpretación. (Beneyas, 2014)

El software AutoCAD Civil 3D nos permite exportar la topografía realizada del canal, lo que nos facilita la modelación en el programa Hec-Ras, una vez revisados los datos exportados, se procede a ingresar las características hidráulicas del canal, como lo es el caudal calculado con los datos obtenidos en campo, para buscar el coeficiente de Manning que nos dé un comportamiento real hidráulico del canal en las condiciones que se realizaron las mediciones.

Se ingresan los datos de caudal obtenidos para las diferentes secciones y si los valores de velocidad y calado que arroja el software Hec-Ras no son similares a los calculados previamente, se debe variar el coeficiente de Manning hasta obtener resultados similares.

#### 4.2.7.1. Sección 1

La tabla 32 muestra los coeficientes de Manning que se utilizaron para la calibración del modelo según la sección 1, en base a los resultados obtenidos del programa Hec-Ras de velocidad y calado, los cuales son similares a los medidos en campo.

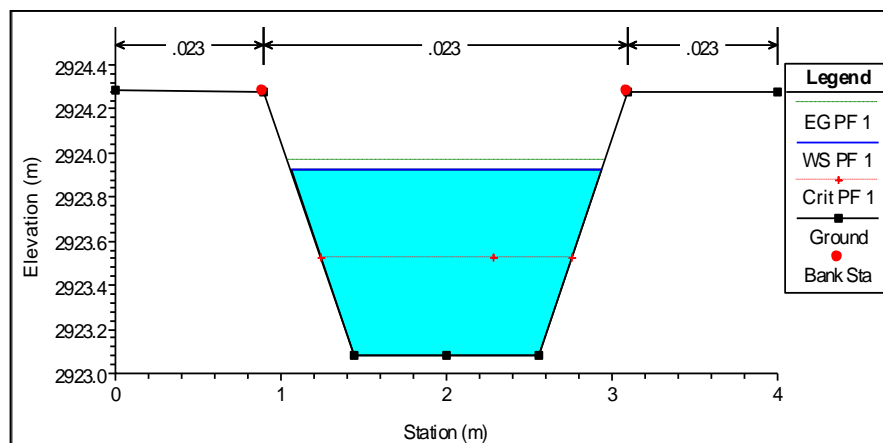
**Tabla 32.-**Calibración del número de Manning Sección 1

SECCIÓN 1		
Abscisa (Hec-ras)	2+680	
Abscisa (Civil 3D)	0+020	
DATOS CALCULADOS		
Q	1.15	
V	0.892	
Y	0.85	
DATOS HEC-RAS		
n(Número de Maning)		
Pared izquierda	Base del canal	Pared derecha
0.023	0.023	0.023
V	0.84	
Y	0.85	

**Fuente:** Elena Yanza

En la figura 41 podemos observar que la línea de energía se encuentra muy cerca del nivel de agua, lo que significa que el flujo es relativamente lento, mientras que el calado crítico se encuentra bajo el nivel de agua lo que denota que el flujo se encuentra en estado subcrítico.

**Figura 41.-** Características Hidráulicas de la Sección Transversal 1



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.7.2. Sección 2

La tabla 33 muestra los coeficientes de Manning que se utilizaron para la calibración del modelo según la sección 2, en base a los resultados obtenidos del programa Hec-Ras de velocidad y calado, los cuales son similares a los calculados previamente.

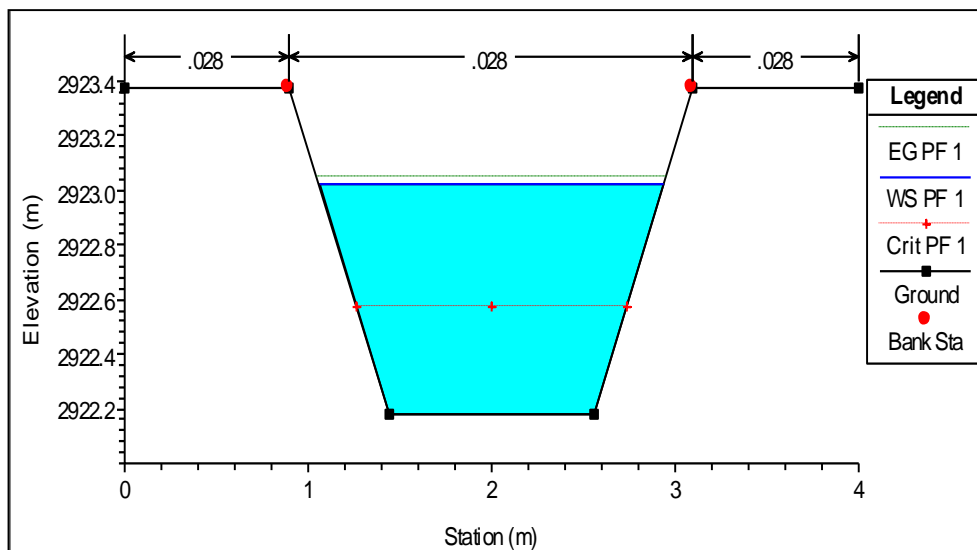
**Tabla 33.-**Calibración del número de Manning Sección 2

SECCIÓN 2		
Abscisa (Hec-ras)	1+960	
Abscisa (Civil 3D)	0+740	
DATOS CALCULADOS		
Q	0.97	
V	0.763	
Y	0.85	
DATOS HEC-RAS		
n(Número de Manning)		
Pared izquierda	Base del canal	Pared derecha
0.028	0.028	0.028
V	0.77	
Y	0.84	

**Fuente:** Elena Yanza

En la figura 42 podemos observar que la línea de energía se encuentra muy cerca del nivel de agua, lo que significa que el flujo es relativamente lento, mientras que el calado crítico se encuentra bajo el nivel de agua lo que denota que el flujo se encuentra en estado subcrítico.

**Figura 42.-** Características Hidráulicas de la Sección Transversal 2



**Fuente:** Elena Yanza

### 4.2.7.3. Sección 3

La tabla 34 muestra los coeficientes de Manning que se utilizaron para la calibración del modelo según la sección 3, en base a los resultados obtenidos del programa Hec-Ras de velocidad y calado, los cuales son similares a los calculados previamente.

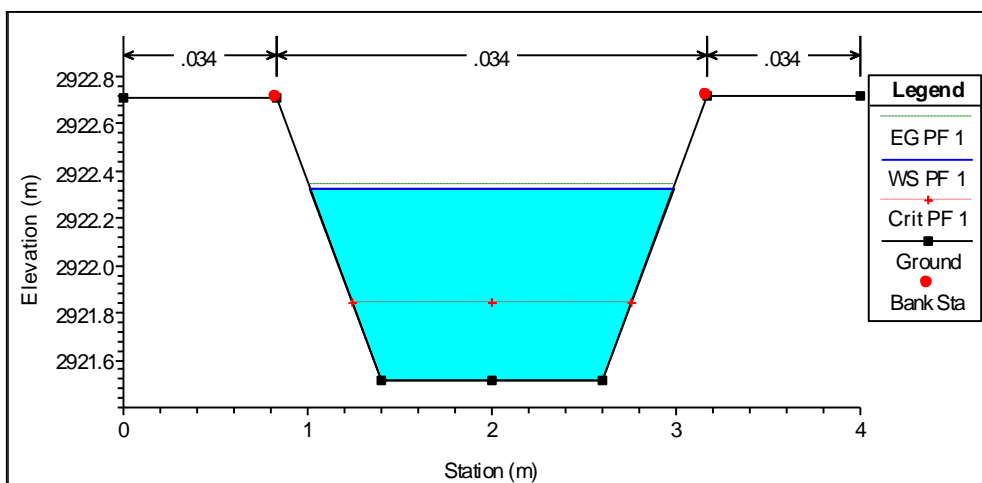
**Tabla 34.-**Calibración del número de Manning Sección 3

SECCIÓN 3		
Abscisa (Hec-ras)	1+440	
Abscisa (Civil 3D)	1+260	
DATOS CALCULADOS		
Q	0.78	
V	0.584	
Y	0.86	
DATOS HEC-RAS		
n(Número de Maning)		
Pared izquierda	Base del canal	Pared derecha
0.034	0.034	0.034
V	0.6	
Y	0.81	

**Fuente:** Elena Yanza

En la figura 43 podemos observar que la línea de energía se encuentra muy cerca del nivel de agua, lo que significa que el flujo es relativamente lento, mientras que el calado crítico se encuentra bajo el nivel de agua lo que denota que el flujo se encuentra en estado subcrítico.

**Figura 43.-** Características Hidráulicas de la Sección Transversal 3



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.7.4. Sección 4

La tabla 35 muestra los coeficientes de Manning que se utilizaron para la calibración del modelo según la sección 4, en base a los resultados obtenidos del programa Hec-Ras de velocidad y calado, los cuales son similares a los calculados previamente.

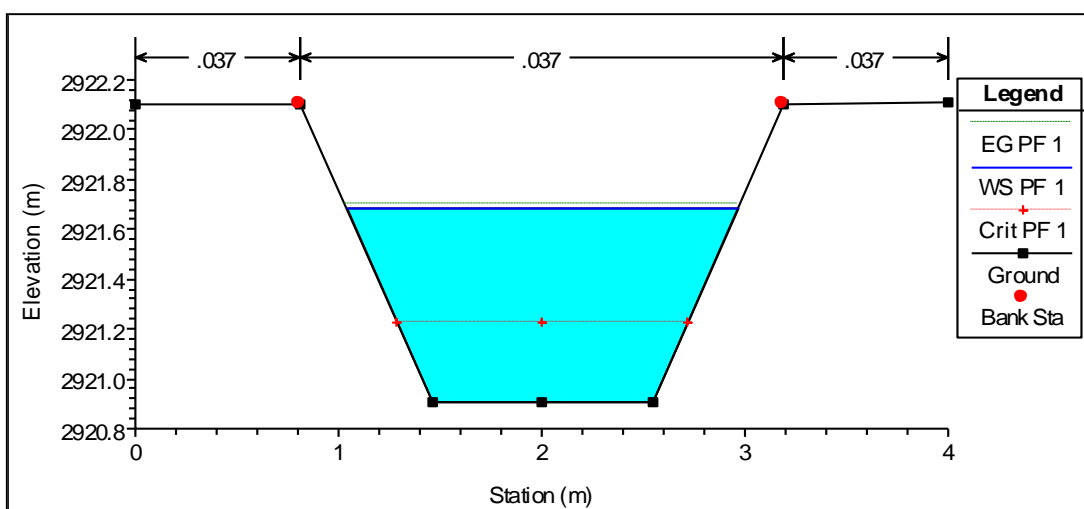
**Tabla 35.-**Calibración del número de Manning Sección 4

SECCIÓN 4		
Abscisa (Hec-ras)	1+000	
Abscisa (Civil 3D)	1+700	
DATOS CALCULADOS		
Q	0.65	
V	0.538	
Y	0.82	
DATOS HEC-RAS		
n(Número de Maning)		
Pared izquierda	Base del canal	Pared derecha
0.037	0.037	0.037
V	0.57	
Y	0.78	

**Fuente:** Elena Yanza

En la figura 44 podemos observar que la línea de energía se encuentra muy cerca del nivel de agua, lo que significa que el flujo es relativamente lento, mientras que el calado crítico se encuentra bajo el nivel de agua lo que denota que el flujo se encuentra en estado subcrítico.

**Figura 44.-** Características Hidráulicas de la Sección Transversal 4



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.7.5. Sección 5

La tabla 36 muestra los coeficientes de Manning que se utilizaron para la calibración del modelo según la sección 5, en base a los resultados obtenidos del programa Hec-Ras de velocidad y calado, los cuales son similares a los calculados previamente.

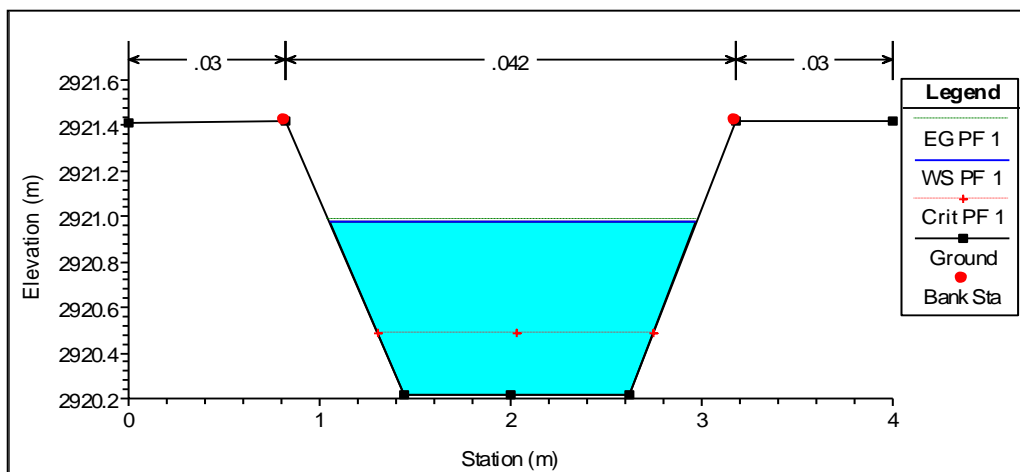
**Tabla 36.-**Calibración del número de Manning Sección 5

SECCIÓN 5		
Abscisa (Hec-ras)	0+480	
Abscisa (Civil 3D)	2+220	
DATOS CALCULADOS		
Q	0.56	
V	0.445	
Y	0.81	
DATOS HEC-RAS		
n(Número de Maning)		
Pared izquierda	Base del canal	Pared derecha
0.03	0.042	0.03
V	0.47	
Y	0.76	

**Fuente:** Elena Yanza

En la figura 45 podemos observar que la línea de energía se encuentra muy cerca del nivel de agua, lo que significa que el flujo es relativamente lento, mientras que el calado crítico se encuentra bajo el nivel de agua lo que denota que el flujo se encuentra en estado subcrítico.

**Figura 45.-** Características Hidráulicas de la Sección Transversal 5



**Fuente:** Elena Yanza



#### 4.2.7.6. Sección 6

La tabla 37 muestra los coeficientes de Manning que se utilizaron para la calibración del modelo según la sección 6, en base a los resultados obtenidos del programa Hec-Ras de velocidad y calado, los cuales son similares a los calculados previamente.

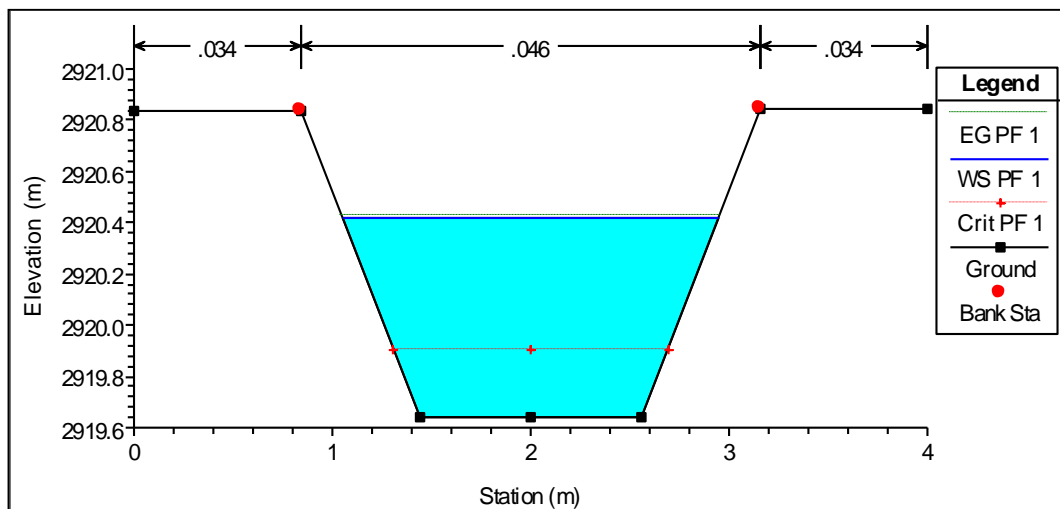
**Tabla 37.-**Calibración del número de Manning Sección 6

SECCIÓN 6		
Abscisa (Hec-ras)	0+040	
Abscisa (Civil 3D)	2+660	
DATOS CALCULADOS		
Q	0.523	
V	0.419	
Y	0.84	
DATOS HEC-RAS		
n(Número de Maning)		
Pared izquierda	Base del canal	Pared derecha
0.034	0.046	0.034
V	0.44	
Y	0.78	

**Fuente:** Elena Yanza

En la figura 46 podemos observar que la línea de energía se encuentra muy cerca del nivel de agua, lo que significa que el flujo es relativamente lento, mientras que el calado crítico se encuentra bajo el nivel de agua lo que denota que el flujo se encuentra en estado subcrítico.

**Figura 46.-** Características Hidráulicas de la Sección Transversal 6



**Fuente:** Elena Yanza

La siguiente tabla demuestra lo que el coeficiente Manning representa para cada sección analizada, por lo que podemos observar que la primera sección tiene un comportamiento como un concreto lanzado, pero también se observa que en la sección 5 y 6 tenemos valores altos de Manning que denotan un comportamiento con revestimiento vegetal o fondos del canal con cantos rodados.

**Tabla 38.-**Descripción del número de Manning para cada sección

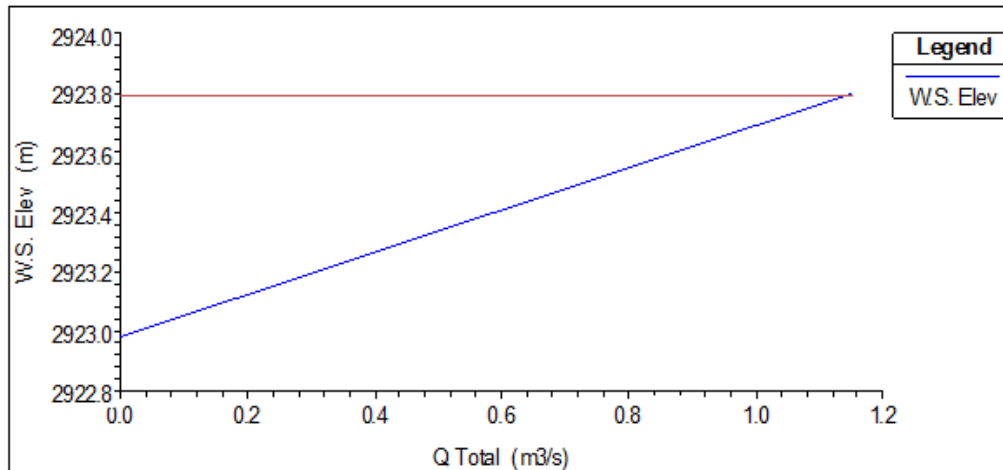
SECCION	n (Manning)			Rango coeficiente de Manning			Descripción
1	0.023	0.023	0.023	0.016	0.019	0.023	Concreto lanzado, buena sección
2	0.028	0.028	0.028	0.02	0.025	0.03	Fondo de concreto terminado con lechada con los costados de mampostería de piedra partida cementada
3	0.034	0.034	0.034	0.02	0.03	0.035	Fondo de concreto terminado con lechada con los costados de piedra partida suelta o riprar
4	0.037	0.037	0.037	0.03	0.04	0.05	Fondos de cantos rodados y costados limpios
5	0.03	0.042	0.03	0.03	0.04	0.05	Fondos de cantos rodados y costados limpios
6	0.034	0.046	0.034	0.03		0.5	Revestimiento vegetal

**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.7.7. Curva de descarga

La curva de descarga determina el caudal por medio del nivel de agua, en la sección 1 con el caudal de  $1.15 \text{ m}^3/\text{s}$ , tenemos un calado de  $0.82\text{m}$

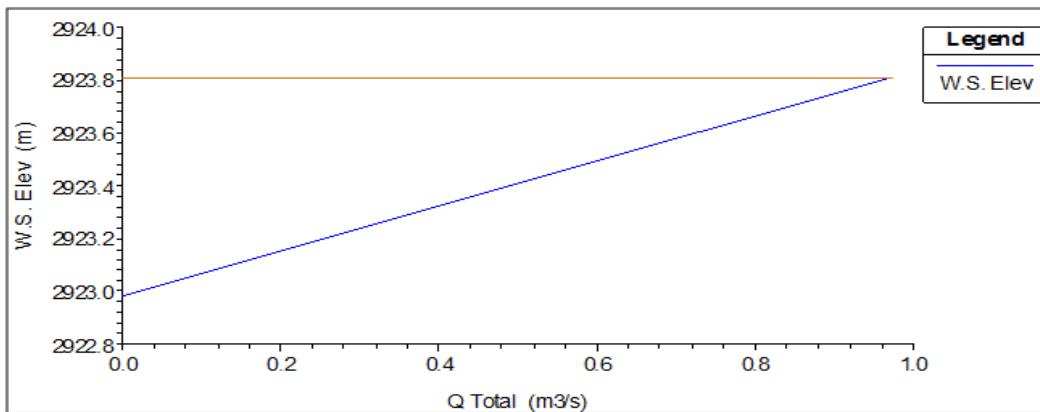
**Figura 47.-** Curva de descarga de la sección 1



**Fuente:** Elena Yanza

En la sección 2 con el caudal de  $0.97 \text{ m}^3/\text{s}$ , tenemos un calado de  $0.84\text{m}$

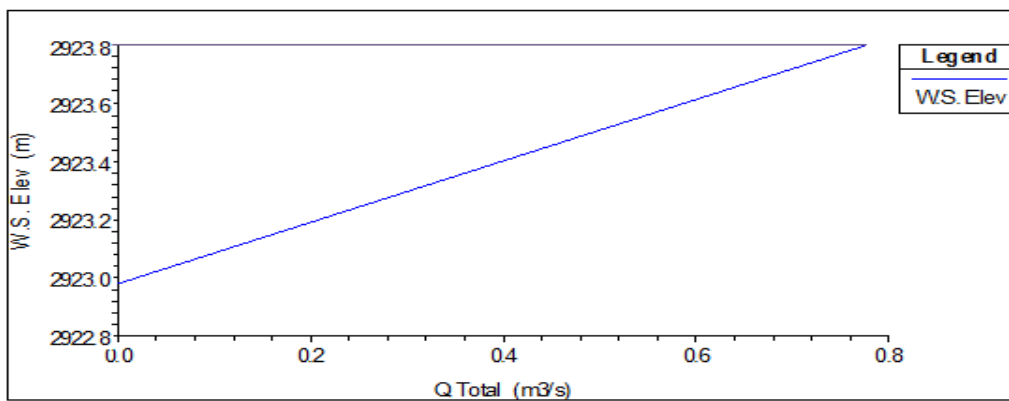
**Figura 48.-** Curva de descarga de la sección 2



**Fuente:** Elena Yanza

En la sección 3 con el caudal de 0.78 m<sup>3</sup>/s, tenemos un calado de 0.82m

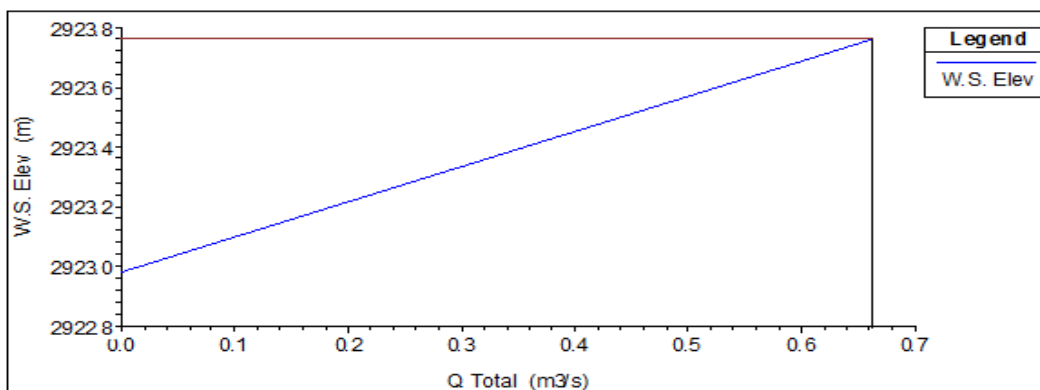
**Figura 49.-** Curva de descarga de la sección 3



**Fuente:** Elena Yanza

En la sección 4 con el caudal de 0.65 m<sup>3</sup>/s, tenemos un calado de 0.77m

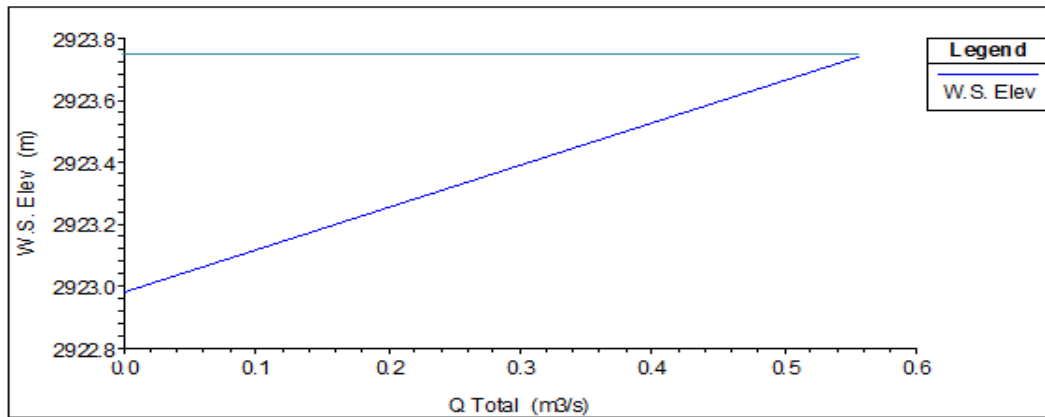
**Figura 50.-** Curva de descarga de la sección 4



**Fuente:** Elena Yanza

En la sección 5 con el caudal de  $0.56 \text{ m}^3/\text{s}$ , tenemos un calado de  $0.78\text{m}$

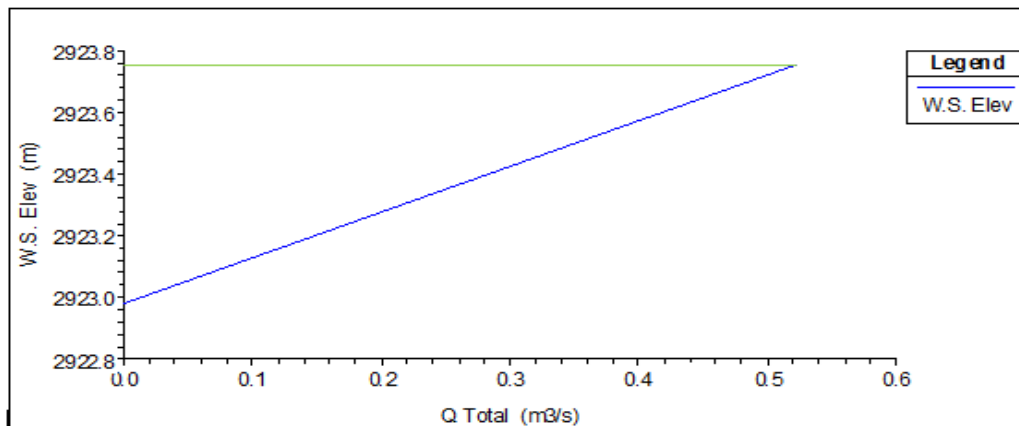
**Figura 51.-** Curva de descarga de la sección 5



**Fuente:** Elena Yanza

En la sección 6 con el caudal de  $0.97 \text{ m}^3/\text{s}$ , tenemos un calado de  $0.76\text{m}$

**Figura 52.-** Curva de descarga de la sección 6



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.7.7.1. Modelación General

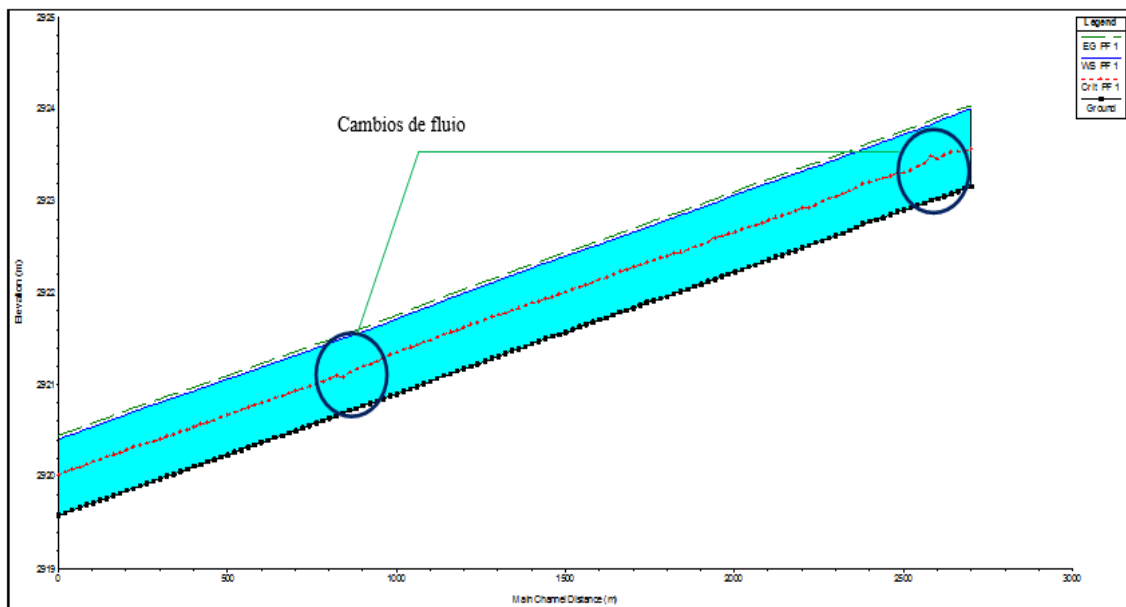
#### 4.2.7.7.2. Perfil Longitudinal de la Modelación general del canal

El perfil longitudinal es la representación gráfica de la modelación general del tramo del canal analizado, que produce el corte en el terreno en el plano vertical que contiene el eje de una obra lineal.

Los valores de Manning obtenidos para cada sección se los coloca en los tramos subdivididos del tramo analizado y se ingresa el caudal promedio del tramo total, así obtenemos un análisis más real del canal analizado.

Según la figura 53 se observa que el flujo es constante, a pesar de que en la abscisa 2+360 y 1+100 tenemos curvaturas pronunciadas no se produce un cambio del nivel de flujo significativo, sin embargo se observa ligeras variaciones, esto es debido a que a la salida de cada curvatura tiene una longitud suficientemente larga que se restablezca el flujo uniforme.

**Figura 53.- Perfil Longitudinal**

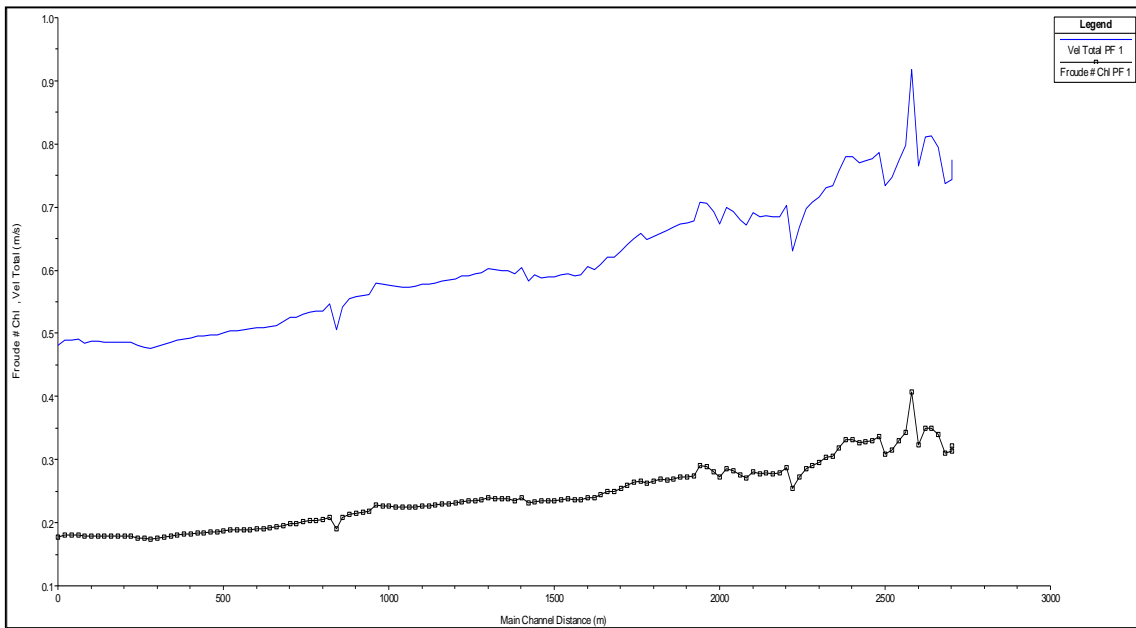


**Fuente:** Elena Yanza

#### **4.2.7.7.3. Velocidad y Número de Froude**

En la figura 54 se puede observar que la velocidad y el número de Froude son similares gráficamente, teniendo en común los mismos puntos altos y bajos.

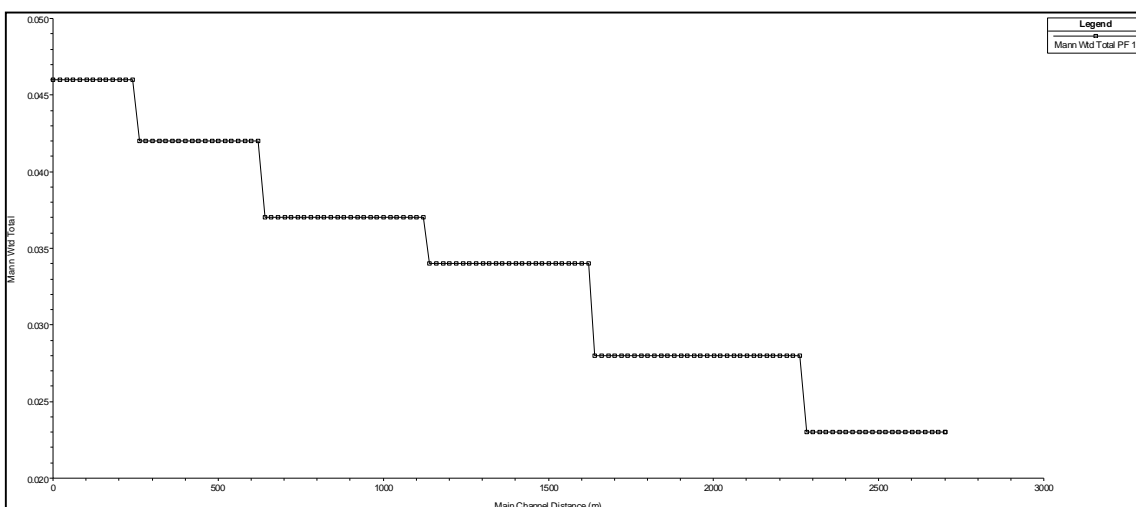
**Figura 54.-** Representación gráfica del número de Froude y Velocidad del tramo analizado



**Fuente:** Elena Yanza

En la figura 55 se observa el número Manning que se obtuvo para cada subdivisión del tramo analizado, donde el valor máximo obtenido es de 0.046 al final del mismo.

**Figura 55.-** Representación gráfica del número Manning



**Fuente:** Elena Yanza

#### 4.2.7.8. Tabla de Resultados

En la tabla 39 se pueden observar los resultados de velocidad y calado obtenidos en cada sección con un caudal promedio de 0.77 m<sup>3</sup>/s, y el coeficiente de Manning correspondiente para cada tramos subdividido del tramo total analizado.

**Tabla 39.-**Tabla de resultados

ABSCISA	CAUDAL TOTAL (m <sup>3</sup> /s)	COTA INFERIOR (m)	COTA (m)	COTA CALADO CRÍTICO (m)	COTA LÍNEA DE ENERGÍA (m)	PENDIENTE (m/m)	VELOCIDAD CANAL (m/s)	ÁREA MOJADA (m <sup>2</sup> )	TIRANTE (m)	# FROUDE
2+700.96	0.77	2923.16	2923.82	2923.48	2923.85	0.001197	0.78	0.99	1.69	0.32
2+700	0.77	2923.16	2923.82	2923.48	2923.85	0.001066	0.74	1.04	1.8	0.31
2+680	0.77	2923.13	2923.8	2923.45	2923.83	0.001041	0.74	1.04	1.8	0.31
2+660	0.77	2923.11	2923.78	2923.44	2923.81	0.001255	0.79	0.97	1.74	0.34
2+640	0.77	2923.08	2923.75	2923.43	2923.78	0.001331	0.81	0.95	1.72	0.35
2+620	0.77	2923.05	2923.72	2923.4	2923.76	0.001327	0.81	0.95	1.72	0.35
2+600	0.77	2923.03	2923.7	2923.36	2923.73	0.00114	0.76	1.01	1.77	0.32
2+580	0.77	2923	2923.66	2923.38	2923.7	0.001826	0.92	0.84	1.63	0.41
2+560	0.77	2922.98	2923.63	2923.31	2923.67	0.001279	0.8	0.96	1.74	0.34
2+540	0.77	2922.95	2923.61	2923.28	2923.64	0.001181	0.77	0.99	1.77	0.33
2+520	0.77	2922.93	2923.59	2923.25	2923.62	0.001081	0.75	1.03	1.8	0.32
2+500	0.77	2922.9	2923.57	2923.21	2923.6	0.001029	0.73	1.05	1.81	0.31
2+480	0.77	2922.88	2923.54	2923.21	2923.57	0.001227	0.79	0.98	1.75	0.34
2+460	0.77	2922.85	2923.52	2923.18	2923.55	0.001183	0.78	0.99	1.76	0.33
2+440	0.77	2922.82	2923.49	2923.16	2923.53	0.001169	0.77	1	1.76	0.33
2+420	0.77	2922.8	2923.47	2923.13	2923.5	0.001161	0.77	1	1.76	0.33
2+400	0.77	2922.78	2923.45	2923.11	2923.48	0.001198	0.78	0.99	1.75	0.33
2+380	0.77	2922.75	2923.42	2923.09	2923.45	0.001199	0.78	0.99	1.76	0.33
2+360	0.77	2922.72	2923.4	2923.05	2923.43	0.001103	0.76	1.02	1.77	0.32
2+340	0.77	2922.68	2923.38	2923.01	2923.41	0.001017	0.73	1.05	1.79	0.31
2+320	0.77	2922.65	2923.36	2922.99	2923.39	0.001002	0.73	1.05	1.79	0.3
2+300	0.77	2922.62	2923.34	2922.96	2923.37	0.000949	0.72	1.08	1.8	0.3
2+280	0.77	2922.6	2923.32	2922.93	2923.35	0.000921	0.71	1.09	1.8	0.29
2+260	0.77	2922.57	2923.3	2922.9	2923.33	0.001313	0.7	1.1	1.81	0.29
2+240	0.77	2922.54	2923.28	2922.86	2923.3	0.001177	0.67	1.15	1.87	0.27
2+220	0.77	2922.52	2923.26	2922.83	2923.28	0.001007	0.63	1.22	1.96	0.25
2+200	0.77	2922.49	2923.23	2922.83	2923.26	0.00134	0.7	1.09	1.79	0.29
2+180	0.77	2922.46	2923.21	2922.8	2923.23	0.001248	0.68	1.13	1.82	0.28
2+160	0.77	2922.44	2923.18	2922.77	2923.2	0.001247	0.68	1.13	1.82	0.28
2+140	0.77	2922.41	2923.15	2922.74	2923.18	0.001255	0.69	1.12	1.82	0.28
2+120	0.77	2922.38	2923.13	2922.72	2923.15	0.001246	0.68	1.13	1.82	0.28
2+100	0.77	2922.36	2923.1	2922.69	2923.13	0.001277	0.69	1.11	1.8	0.28
2+080	0.77	2922.33	2923.08	2922.66	2923.1	0.001184	0.67	1.15	1.84	0.27
2+060	0.77	2922.31	2923.06	2922.64	2923.08	0.001223	0.68	1.13	1.82	0.28
2+040	0.77	2922.28	2923.03	2922.62	2923.05	0.001286	0.69	1.11	1.81	0.28
2+020	0.77	2922.25	2923	2922.6	2923.03	0.001319	0.7	1.1	1.8	0.29
2+000	0.77	2922.23	2922.98	2922.56	2923	0.001191	0.67	1.14	1.84	0.27
1+980	0.77	2922.2	2922.95	2922.54	2922.98	0.00129	0.69	1.11	1.79	0.28
1+960	0.77	2922.18	2922.93	2922.52	2922.95	0.00135	0.71	1.09	1.79	0.29
1+940	0.77	2922.15	2922.9	2922.5	2922.92	0.001356	0.71	1.09	1.79	0.29
1+920	0.77	2922.12	2922.87	2922.46	2922.9	0.001216	0.68	1.14	1.83	0.27
1+900	0.77	2922.1	2922.85	2922.43	2922.87	0.001201	0.68	1.14	1.83	0.27
1+880	0.77	2922.07	2922.83	2922.41	2922.85	0.001194	0.67	1.14	1.83	0.27
1+860	0.77	2922.04	2922.8	2922.38	2922.82	0.001167	0.67	1.15	1.84	0.27
1+840	0.77	2922.02	2922.78	2922.35	2922.8	0.001145	0.66	1.16	1.85	0.27
1+820	0.77	2921.99	2922.76	2922.33	2922.78	0.001119	0.66	1.17	1.91	0.27
1+800	0.77	2921.96	2922.74	2922.3	2922.76	0.001094	0.65	1.18	1.92	0.27
1+780	0.77	2921.94	2922.71	2922.28	2922.74	0.001072	0.65	1.19	1.92	0.26
1+760	0.77	2921.91	2922.69	2922.25	2922.71	0.001115	0.66	1.17	1.88	0.27

Fuente: Elena Yanza

**Tabla 40.-Tabla de resultados (Continuación)**

ABSCISA	CAUDAL TOTAL (m3/s)	COTA INFERIOR (m)	COTA (m)	COTA CALADO CRÍTICO (m)	COTA LÍNEA DE ENERGÍA (m)	PENDIENTE (m/m)	VELOCIDAD CANAL (m/s)	ÁREA MOJADA (m2)	TIRANTE (m)	# FROUDE
1+720	0.77	2921.86	2922.65	2922.21	2922.67	0.001037	0.64	1.2	1.93	0.26
1+700	0.77	2921.84	2922.63	2922.18	2922.65	0.000996	0.63	1.22	1.96	0.26
1+680	0.77	2921.81	2922.61	2922.15	2922.63	0.000953	0.62	1.24	1.97	0.25
1+660	0.77	2921.79	2922.59	2922.13	2922.61	0.000953	0.62	1.24	1.98	0.25
1+640	0.77	2921.76	2922.57	2922.1	2922.59	0.000906	0.61	1.26	1.99	0.24
1+620	0.77	2921.73	2922.55	2922.07	2922.57	0.00129	0.6	1.28	2	0.24
1+600	0.77	2921.71	2922.53	2922.05	2922.54	0.001322	0.61	1.27	1.96	0.24
1+580	0.77	2921.68	2922.5	2922.02	2922.52	0.001244	0.59	1.3	2.02	0.24
1+560	0.77	2921.66	2922.48	2922	2922.49	0.001232	0.59	1.3	2.03	0.24
1+540	0.77	2921.63	2922.45	2921.97	2922.47	0.001254	0.59	1.29	2.03	0.24
1+520	0.77	2921.6	2922.43	2921.94	2922.44	0.00124	0.59	1.3	2.03	0.24
1+500	0.77	2921.58	2922.4	2921.91	2922.42	0.001224	0.59	1.31	2.04	0.23
1+480	0.77	2921.55	2922.38	2921.89	2922.39	0.001224	0.59	1.31	2.04	0.24
1+460	0.77	2921.53	2922.35	2921.87	2922.37	0.001216	0.59	1.31	2.04	0.23
1+440	0.77	2921.51	2922.33	2921.84	2922.35	0.001249	0.59	1.3	1.97	0.23
1+420	0.77	2921.47	2922.3	2921.81	2922.32	0.001189	0.58	1.32	2.04	0.23
1+400	0.77	2921.44	2922.28	2921.79	2922.3	0.001304	0.6	1.28	1.98	0.24
1+380	0.77	2921.41	2922.25	2921.76	2922.27	0.001249	0.59	1.3	1.99	0.24
1+360	0.77	2921.39	2922.23	2921.74	2922.24	0.001283	0.6	1.28	1.99	0.24
1+340	0.77	2921.37	2922.2	2921.71	2922.22	0.001275	0.6	1.29	1.99	0.24
1+320	0.77	2921.34	2922.18	2921.69	2922.19	0.001286	0.6	1.28	1.98	0.24
1+300	0.77	2921.31	2922.15	2921.66	2922.17	0.001295	0.6	1.28	1.97	0.24
1+280	0.77	2921.28	2922.12	2921.64	2922.14	0.001262	0.6	1.29	1.99	0.24
1+260	0.77	2921.26	2922.1	2921.6	2922.12	0.001252	0.59	1.29	1.99	0.24
1+240	0.77	2921.23	2922.07	2921.58	2922.09	0.001233	0.59	1.3	2	0.23
1+220	0.77	2921.2	2922.05	2921.55	2922.07	0.001229	0.59	1.3	2	0.23
1+200	0.77	2921.17	2922.02	2921.52	2922.04	0.001206	0.59	1.31	2	0.23
1+180	0.77	2921.15	2922	2921.5	2922.02	0.001193	0.58	1.32	2	0.23
1+160	0.77	2921.12	2921.98	2921.47	2921.99	0.001187	0.58	1.32	2	0.23
1+140	0.77	2921.09	2921.95	2921.44	2921.97	0.00117	0.58	1.33	2.01	0.23
1+120	0.77	2921.07	2921.93	2921.42	2921.95	0.001368	0.58	1.33	2.01	0.23
1+100	0.77	2921.04	2921.9	2921.39	2921.92	0.001372	0.58	1.33	2.01	0.23
1+080	0.77	2921.01	2921.87	2921.36	2921.89	0.001354	0.57	1.34	2.02	0.23
1+060	0.77	2920.98	2921.85	2921.33	2921.86	0.001338	0.57	1.35	2.03	0.22
1+040	0.77	2920.96	2921.82	2921.31	2921.84	0.001345	0.57	1.34	2.02	0.22
1+020	0.77	2920.93	2921.79	2921.28	2921.81	0.001356	0.58	1.34	2.02	0.23
1+000	0.77	2920.9	2921.77	2921.25	2921.78	0.001367	0.58	1.33	2.01	0.23
0+980	0.77	2920.88	2921.74	2921.23	2921.76	0.001371	0.58	1.33	2.01	0.23
0+960	0.77	2920.85	2921.71	2921.2	2921.73	0.001384	0.58	1.33	2.01	0.23
0+940	0.77	2920.83	2921.69	2921.16	2921.7	0.001276	0.56	1.37	2.01	0.22
0+920	0.77	2920.8	2921.66	2921.13	2921.68	0.001267	0.56	1.37	2.02	0.22
0+900	0.77	2920.77	2921.63	2921.11	2921.65	0.001256	0.56	1.38	2.02	0.22
0+880	0.77	2920.74	2921.61	2921.08	2921.63	0.001236	0.56	1.39	2.02	0.21
0+860	0.77	2920.72	2921.59	2921.05	2921.6	0.00116	0.54	1.42	2.05	0.21
0+840	0.77	2920.69	2921.57	2921	2921.58	0.000969	0.51	1.52	2.11	0.19
8+20	0.77	2920.66	2921.54	2921	2921.56	0.001183	0.55	1.41	2.03	0.21
0+800	0.77	2920.63	2921.52	2920.97	2921.53	0.001123	0.54	1.44	2.07	0.21
0+780	0.77	2920.61	2921.5	2920.94	2921.51	0.001118	0.53	1.44	2.06	0.2
0+	0.77	2920.58	2921.48	2920.92	2921.49	0.001115	0.53	1.44	2.05	0.2
0+740	0.77	2920.56	2921.45	2920.89	2921.47	0.001098	0.53	1.45	2.05	0.2
01+720	0.77	2920.53	2921.43	2920.86	2921.45	0.00107	0.53	1.46	2.06	0.2
0+700	0.77	2920.51	2921.41	2920.84	2921.43	0.001067	0.53	1.47	2.06	0.2
0+680	0.77	2920.48	2921.39	2920.82	2921.4	0.001028	0.52	1.49	2.08	0.2
0+660	0.77	2920.45	2921.37	2920.79	2921.38	0.000995	0.51	1.5	2.1	0.19
0+640	0.77	2920.43	2921.35	2920.76	2921.36	0.000989	0.51	1.51	2.08	0.19
0+620	0.77	2920.4	2921.33	2920.74	2921.34	0.00126	0.51	1.51	2.08	0.19
0+600	0.77	2920.37	2921.3	2920.71	2921.32	0.00126	0.51	1.51	2.08	0.19
0+580	0.77	2920.35	2921.28	2920.69	2921.29	0.001247	0.51	1.52	2.09	0.19
0+560	0.77	2920.32	2921.25	2920.65	2921.27	0.001242	0.51	1.52	2.09	0.19
0+540	0.77	2920.29	2921.23	2920.63	2921.24	0.001227	0.5	1.53	2.09	0.19
0+520	0.77	2920.27	2921.21	2920.6	2921.22	0.001225	0.5	1.53	2.09	0.19
0+500	0.77	2920.24	2921.18	2920.58	2921.19	0.001209	0.5	1.54	2.1	0.19
0+480	0.77	2920.22	2921.16	2920.55	2921.17	0.001193	0.5	1.55	2.1	0.19

Fuente: Elena Yanza



**Tabla 41.-**Tabla de resultados (Continuación)

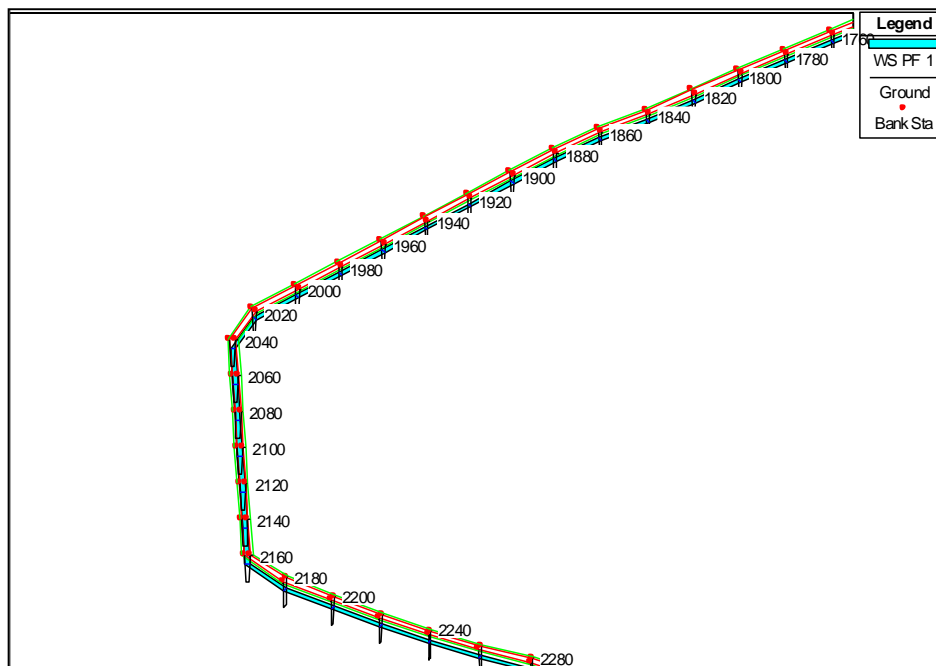
ABSCISA	CAUDAL TOTAL (m3/s)	COTA INFERIOR (m)	COTA (m)	COTA CALADO CRÍTICO (m)	COTA LÍNEA DE ENERGÍA (m)	PENDIENTE (m/m)	VELOCIDAD CANAL (m/s)	ÁREA MOJADA (m2)	TIRANTE (m)	# FROUDE
0+460	0.77	2920.19	2921.13	2920.53	2921.15	0.00119	0.5	1.55	2.1	0.19
0+440	0.77	2920.16	2921.11	2920.5	2921.12	0.001182	0.5	1.55	2.1	0.18
0+420	0.77	2920.14	2921.09	2920.47	2921.1	0.001175	0.5	1.55	2.1	0.18
0+400	0.77	2920.11	2921.06	2920.45	2921.08	0.001161	0.49	1.56	2.1	0.18
0+380	0.77	2920.09	2921.04	2920.42	2921.05	0.001146	0.49	1.57	2.11	0.18
0+360	0.77	2920.06	2921.02	2920.39	2921.03	0.001133	0.49	1.58	2.11	0.18
0+340	0.77	2920.03	2921	2920.37	2921.01	0.001116	0.49	1.58	2.11	0.18
0+320	0.77	2920.01	2920.97	2920.34	2920.99	0.0011	0.48	1.59	2.12	0.18
0+300	0.77	2919.98	2920.95	2920.32	2920.96	0.001079	0.48	1.61	2.12	0.18
0+280	0.77	2919.95	2920.93	2920.29	2920.94	0.001057	0.48	1.62	2.13	0.17
0+260	0.77	2919.93	2920.91	2920.27	2920.92	0.001064	0.48	1.61	2.13	0.17
0+240	0.77	2919.9	2920.89	2920.24	2920.9	0.0013	0.48	1.6	2.11	0.18
0+220	0.77	2919.88	2920.86	2920.22	2920.87	0.001336	0.49	1.59	2.1	0.18
0+200	0.77	2919.85	2920.83	2920.19	2920.84	0.001342	0.49	1.58	2.1	0.18
0+180	0.77	2919.82	2920.81	2920.17	2920.82	0.001345	0.49	1.58	2.1	0.18
0+160	0.77	2919.8	2920.78	2920.14	2920.79	0.001338	0.49	1.58	2.1	0.18
0+140	0.77	2919.77	2920.75	2920.11	2920.76	0.001344	0.49	1.58	2.1	0.18
0+120	0.77	2919.74	2920.72	2920.09	2920.74	0.00135	0.49	1.58	2.1	0.18
0+100	0.77	2919.72	2920.7	2920.06	2920.71	0.001348	0.49	1.58	2.1	0.18
0+080	0.77	2919.69	2920.67	2920.03	2920.68	0.001331	0.48	1.59	2.12	0.18
0+060	0.77	2919.66	2920.64	2920.01	2920.66	0.001376	0.49	1.57	2.08	0.18
0+040	0.77	2919.64	2920.62	2919.98	2920.63	0.001369	0.49	1.57	2.09	0.18
0+020	0.77	2919.61	2920.59	2919.95	2920.6	0.001365	0.49	1.57	2.1	0.18
0+000	0.77	2919.58	2920.56	2919.92	2920.57	0.001301	0.48	1.6	2.13	0.18

Fuente: Elena Yanza

#### 4.2.7.9. Esquema 3D

Al modelar las secciones del canal en el software Hec-Ras este muestra un modelo en 3D de cada una de ellas, como podemos observar en las siguientes imágenes que muestran las secciones y la abscisa de cada una de ellas.

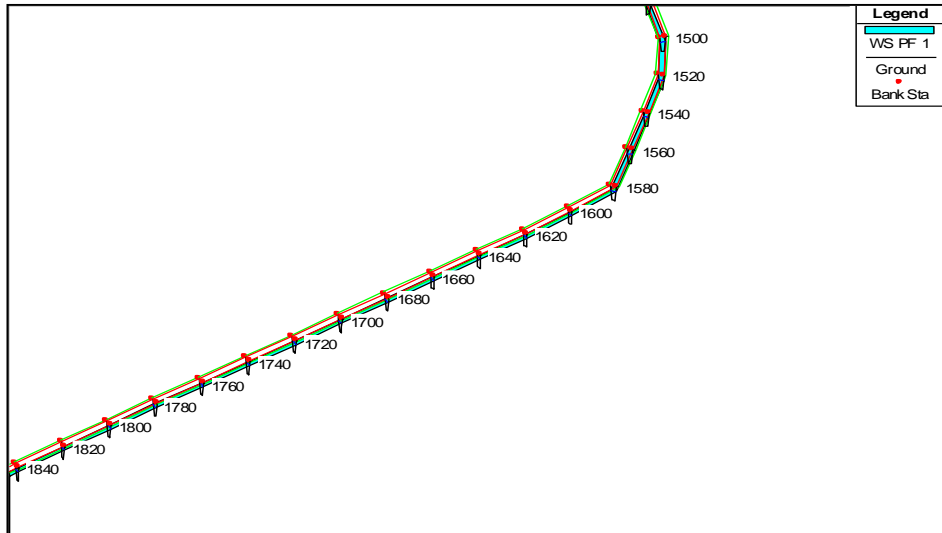
**Figura 56.-** Representación gráfica en 3D de la sección modelada en el software



Fuente: Elena Yanza

En cada gráfica se observa una franja celeste que atraviesa cada sección, lo que representa el espejo de agua del canal.

**Figura 57.-** Representación gráfica en 3D de la sección modelada en el software



**Fuente:** Elena Yanza

### 4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo a lo establecido a la hipótesis planteada se tienen los siguientes planteamientos:

- El canal Ambato-Huachi-Pelileo, comprendido entre el óvalo 13 y el óvalo 17, tiene una longitud de 2700.96 m con una pendiente media de 0.0013 (0.013%) y una sección transversal trapezoidal en todo el canal.
- En el momento que se realizaron las mediciones in situ de velocidad se tuvo un valor promedio de 0.60 m/s y en base al cálculo se obtuvo un caudal promedio de 0.77 m<sup>3</sup>/s, lo que nos da un valor de número de Froude de 0.24 que corresponde a un estado subcrítico de flujo.
- El calado normal y número de Froude mostrado en todas las secciones transversales indican que el estado del flujo es subcrítico, criterio básico para el diseño de sistemas de conducción a cielo abierto.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.CONCLUSIONES

- El tramo del canal analizado comprendido entre el óvalo 13-17, tiene una longitud de 2700 m y una pendiente promedio de 0.013 %, datos obtenidos mediante el levantamiento topográfico
- El flujo del tramo del canal analizado es subcrítico debido a que el número de froude es menor a uno, teniendo como resultado un valor máximo de 0.35.
- La velocidad y el número de Froude en cada sección analizada presenta un comportamiento similar, tal como se mostró gráficamente estos mantienen los mismos picos es decir puntos altos, en un valor numérico igual a  $1/\sqrt{gY}$  proveniente de la ecuación del número de Froude
- El coeficiente de Manning obtenido mediante la calibración del mismo en el software Hec-Ras varía desde un valor mínimo de 0.028 y un valor máximo de 0.046 que según la biografía revisada corresponde a canales revestidos con hormigón lanzado y demuestra que al final del tramo analizado en el canal existe un comportamiento hidráulico similar a que si se tuviera una superficie con sedimentos y cantos rodados.
- La variación del coeficiente de Manning debido a diversos factores no ha cambiado el estado del flujo a lo largo del tramo analizado, manteniéndose en un flujo subcrítico.

## **5.2.RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un revestimiento del canal desde la abscisa 2+080 hasta la abscisa 2+700 para poder recuperar la rugosidad original del mismo.
- Identificar las zonas de derrumbe que puedan contribuir al aumento de sedimentos en el fondo del canal y proteger dichas zonas.
- Para asegurar el funcionamiento óptimo del canal se recomienda un mantenimiento cada cuatro meses utilizando técnicas adecuadas para obtener un buen funcionamiento del mismo.
- Socializar los datos obtenidos en la investigación con los beneficiarios del canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo para concientizar sobre el cuidado y mantenimiento del canal.
- El molinete emite datos dispersos en sus mediciones, por lo que se debe tratar de tomar datos cercanos para cada punto analizado y al momento de realizar lo descrito se debe revisar que en el sensor del molinete no se hayan acumulado algas o cualquier tipo de desperdicio que pudiera afectar los datos.

## C. MATERIAL DE REFERENCIA

### 1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Castro, *Minicentrales Hidroeléctricas*, Madrid : IDAE, 2006.
- [2] P. Roldán, «Centrales Hidroeléctricas asociadas a obras de riego,» 2008. [En línea]. Available: <http://energia.org.ec/cie/energia-hidroelectrica/>.
- [3] N. Indiveri, M. Hidalgo, M. Hidalgo, H. Retamales y D. Bragoni, «Programa de minigeneración eléctrica en canales de riego,» [En línea]. Available: <http://imd.uncuyo.edu.ar/programa-de-minigeneracion-electrica-en-canales-de-riego>. [Último acceso: Noviembre 2018].
- [4] C. Mora y J. Hurtado, *Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas hidros (Tesis de pregrado)*, Bogota: Pontificia Univerisdad Javerina, 2004.
- [5] M. Arroyo, «Nuevas fuentes de energía para un futuro sostenible ¿Petróleo caro o protección del medio?,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/geocrit/-xcol/143.htm>.
- [6] F. Hernández y J. Flores, *Generación Eléctrica aprovechando los flujos de aguas residuales (Tesis pregrado)*, México: Instituto Politécnico Nacional, 2013.
- [7] F. Mazini y P. Macías, «Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para Mexico,» 2004. [En línea]. Available: [http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/1699/Nuevas\\_Energias\\_Renovables.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/1699/Nuevas_Energias_Renovables.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [8] C. Espejo, R. García y A. Aparicio, «El resurgimiento de la energía minihidráulica en España y su situación actual,» *Revista de Geografía Norte Grande*, pp. 115-143, 2017.
- [9] F. Wolfgang, *Reformas del sector energético, desafíos regulatorios y desarrollo sustentable en Europa y América Latina*, Santiago de Chile: CEPAL, 2001.
- [10] E. Rosero y B. Chilingua, *Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe*, Viena , 2013.
- [11] L. Llerena y R. Zamora, «La administración de las Juntas de agua de Riego: factor clave para la sostenibilidad del sector agrícola de la provincia de Tungurahua,» *Revista digital de medio ambiente "Ojeda la agenda"*, 2017.
- [12] G. Paredes, *Proyecto de vinculación-análisis y estudio de la infraestructura de los canales de tiego principales de las juntas de agua de riego de la provincia de Tungurahua*, Ambato, 2017.
- [13] *Manual del estudiante, Fundamentos de Hidráulica*, Canada.
- [14] P. Rodríguez, «Hidráulica II,» Agosto 2008. [En línea]. Available: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46333613/Hidraulica\\_de\\_Canales\\_-\\_Pedro\\_Rodriguez\\_Ruiz.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1537127890&Signature=31oTzWJhQv4egywjRMPCebNF4BI%3D&response-content-](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46333613/Hidraulica_de_Canales_-_Pedro_Rodriguez_Ruiz.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1537127890&Signature=31oTzWJhQv4egywjRMPCebNF4BI%3D&response-content-)

disposition=inline%3B%20filename%3DH.

- [15] V. T. Chow, Hidraulica de los Canales Abiertos, Mexico: Editorial Diana, 1983.
- [16] S. Trueba, Hidráulica, Mexico: Compañía editorial continental S.A, 1972.
- [17] J. L. Argón, F. De Luna, L. Vélez, O. Fuentes y H. Rubio, «La modelación Numérica en Hidráulica. Una herramienta en la Planeación del Territorio,» *L'esprit Ingéniux*, pp. 94-107, 2016.
- [18] G. Sotelo, Hidraulica General, Mexico: Editorial Limusa, 1997.
- [19] M. Terence, Abastecimiento de agua y alcantarillado, Colombia: Editorial Nomos S.A., 2000.
- [20] G. Amarís, T. Guerrero y E. Sánchez, «Comportamiento de las ecuaciones de Saint-Venant en 1D y aproximaciones para diferentes condiciones en régimen permanente y variable,» 2015. [En línea].
- [21] A. Kennedy, F. Fragoza, E. Peña y E. Moreno, Instituto Mexicano de tecnología del agua Centro de consulta de agua, Mexico: IMTA, 1992.
- [22] R. Linsley y J. Franzini, Ingeniería de los Recursos Hidráulicos, México: Editorial Continental S.A, 1978.

**2. ANEXOS**  
**ANEXO A**



**Fotografía 1.- Estación total**



**Fotografía 2.- Molinete**



**Fotografía 3.-** Toma de muestras con el molinete



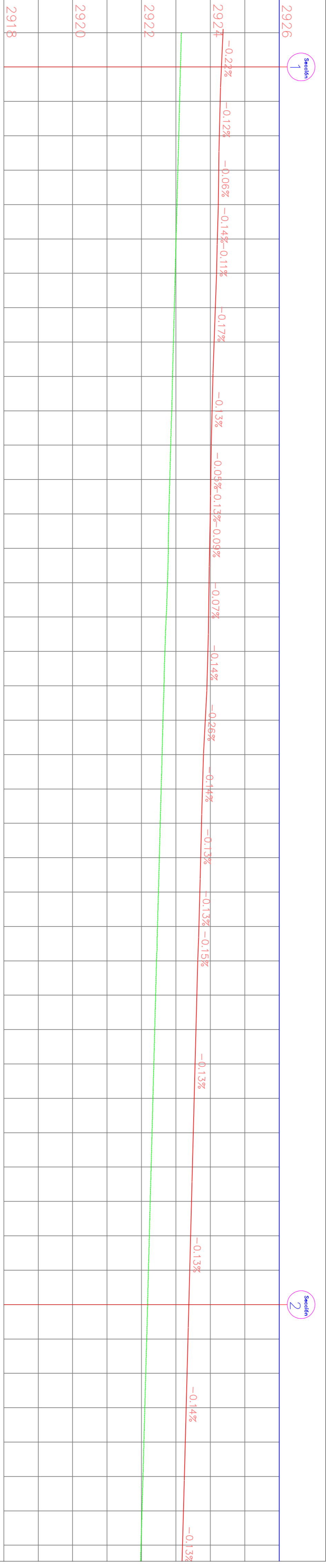
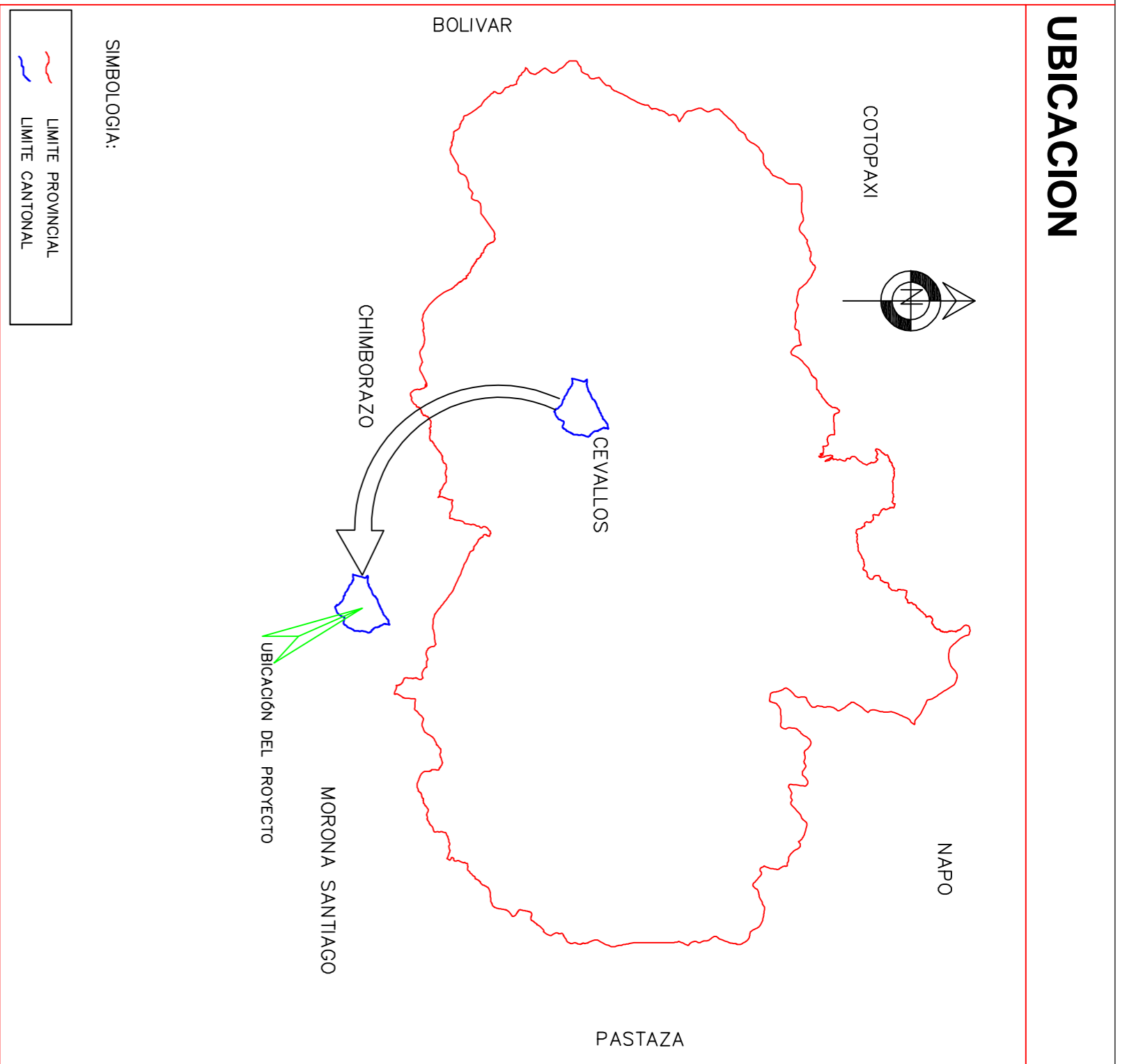
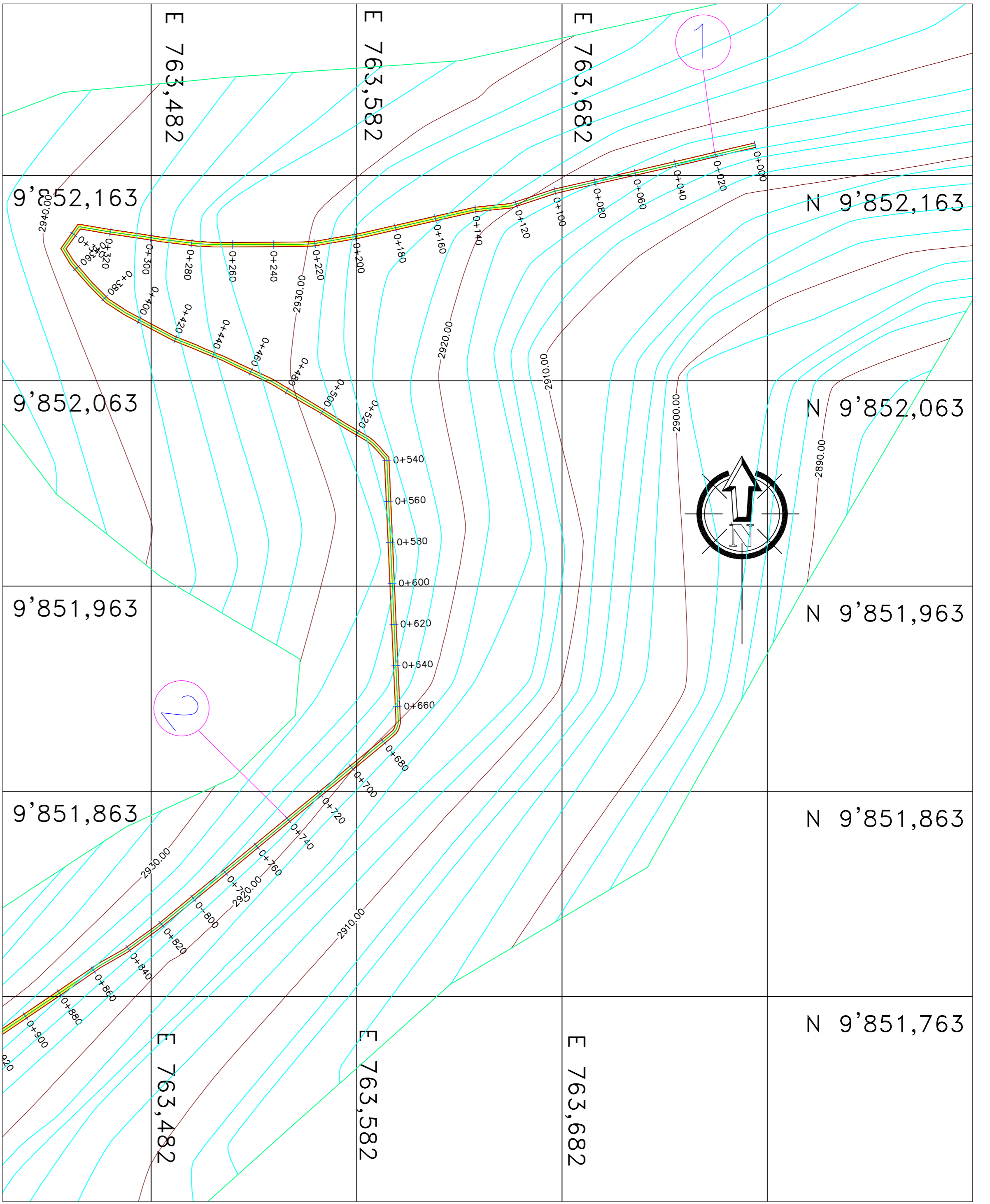
**Fotografía 4.-** Medición de los elementos geométricos de canal



## ANEXO B

### B-1.-Tabala de coeficiente de rugosidad (Número de manning)

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<b>A. Natural Streams</b>			
<b>1. Main Channels</b>			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
<b>2. Flood Plains</b>			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
2. Same as above, but heavy sprouts	0.050	0.060	0.080
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
<b>3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged</b>			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070



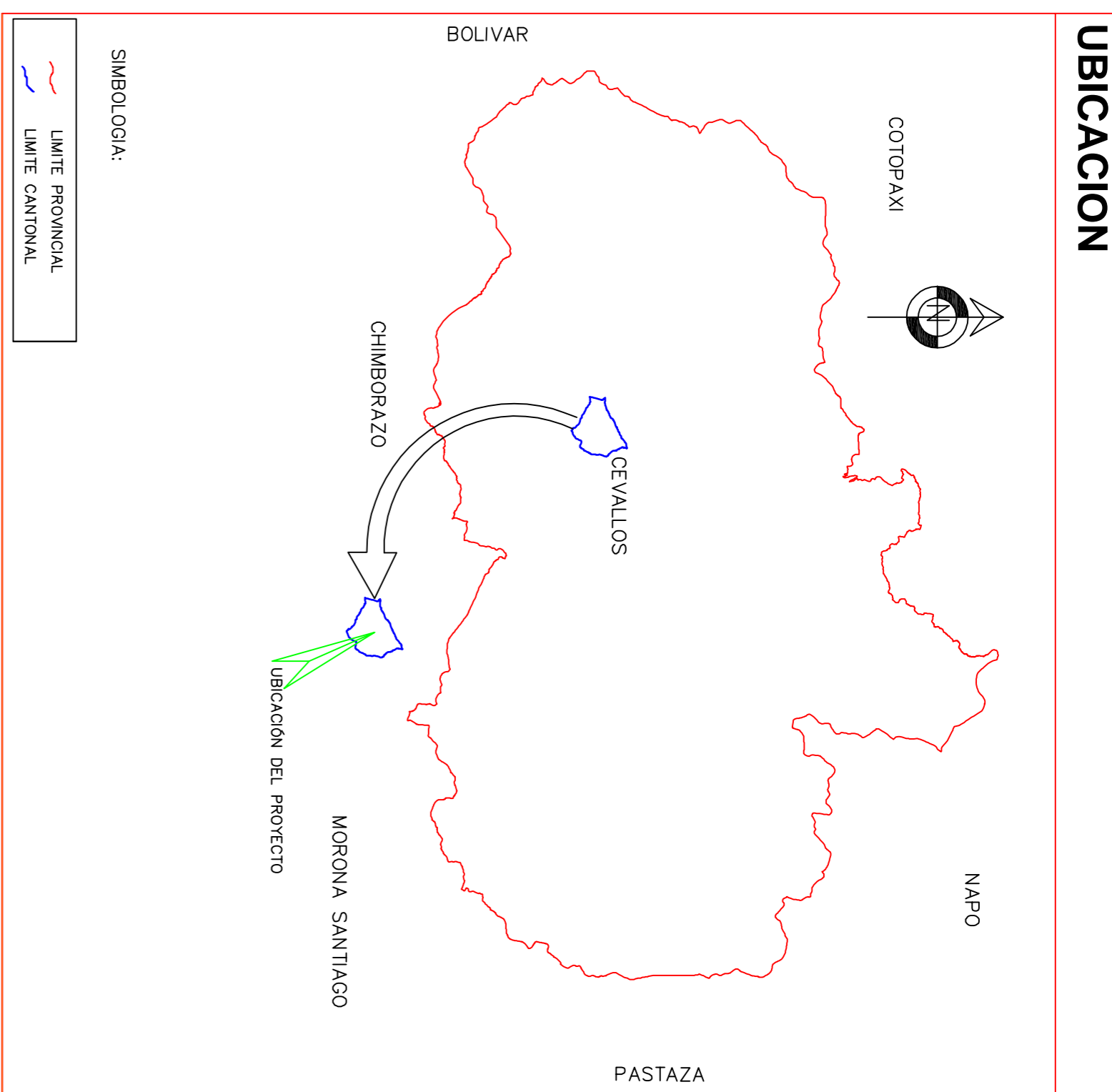
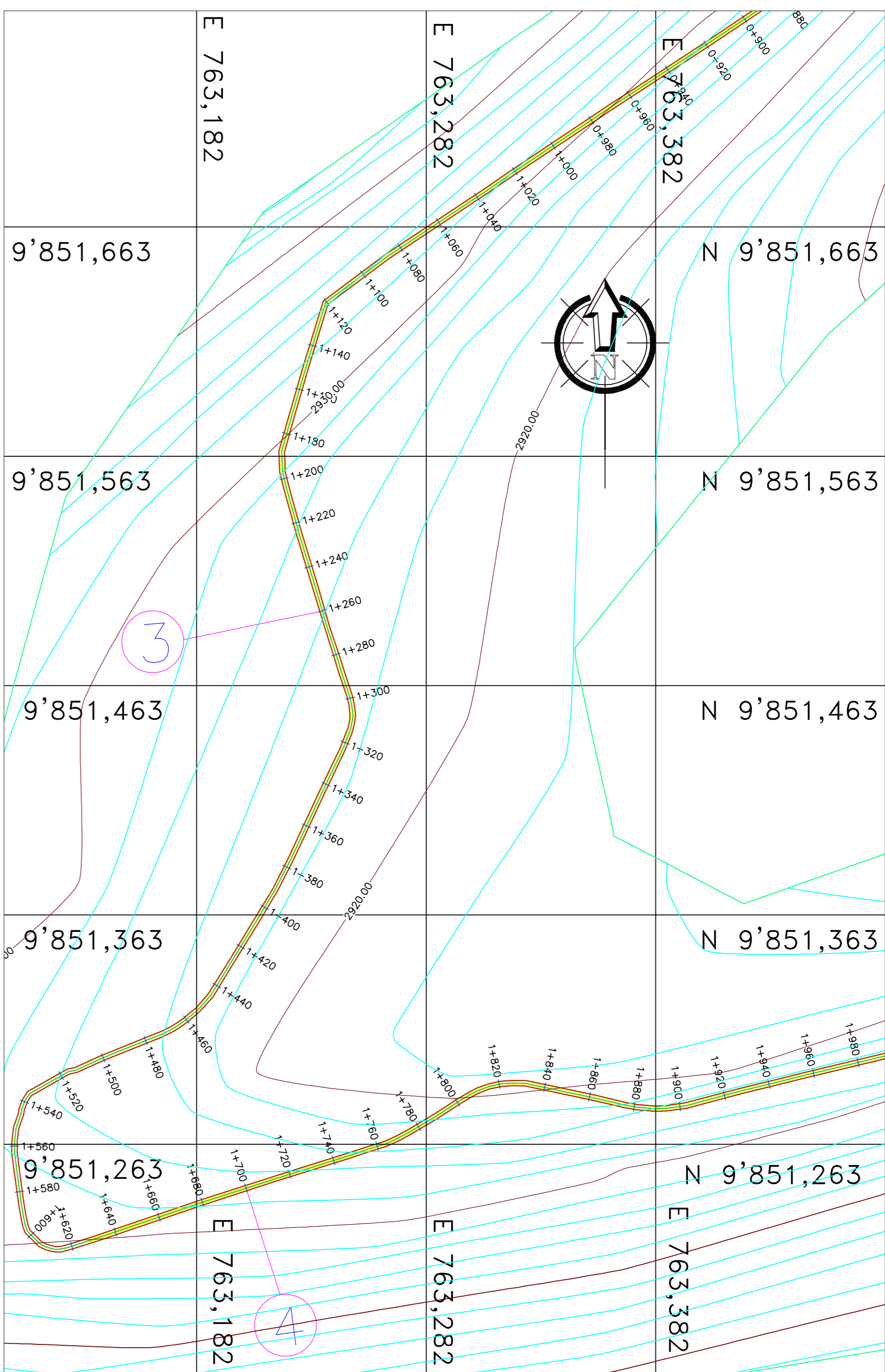
ABSCISAS	0+020	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+240	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	0+420	0+440	0+460	0+480	0+500	0+520	0+540	0+560	0+580	0+600	0+620	0+640	0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880			
COTA PROYECTO	2923.16	2923.13	2923.11	2923.08	2923.06	2923.03	2923.00	2922.98	2922.95	2922.93	2922.90	2922.88	2922.85	2922.82	2922.80	2922.78	2922.76	2922.72	2922.68	2922.65	2922.62	2922.60	2922.57	2922.54	2922.52	2922.49	2922.47	2922.44	2922.41	2922.38	2922.36	2922.33	2922.31	2922.28	2922.25	2922.23	2922.20	2922.18	2922.15	2922.12	2922.10	2922.07	2922.04	2922.01	2921.99	2923.19
COTA TERRENO	2924.37	2924.32	2924.29	2924.26	2924.24	2924.23	2924.20	2924.18	2924.15	2924.11	2924.08	2924.05	2924.02	2924.01	2924.00	2923.98	2923.96	2923.95	2923.93	2923.90	2923.85	2923.80	2923.77	2923.74	2923.72	2923.69	2923.67	2923.64	2923.61	2923.58	2923.56	2923.53	2923.51	2923.48	2923.46	2923.43	2923.40	2923.38	2923.35	2923.33	2923.30	2923.27	2923.24	2923.22	2923.19	
CORTE	1.21	1.19	1.18	1.18	1.19	1.20	1.20	1.20	1.19	1.18	1.18	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.23	1.25	1.25	1.23	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20		

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO: Estudio y caracterización Hidráulica del Ovalo 13-17 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pellileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.  
FECHA: 21/11/2018  
ESCALA: 1:1500  
HOJA N.º: 1/5

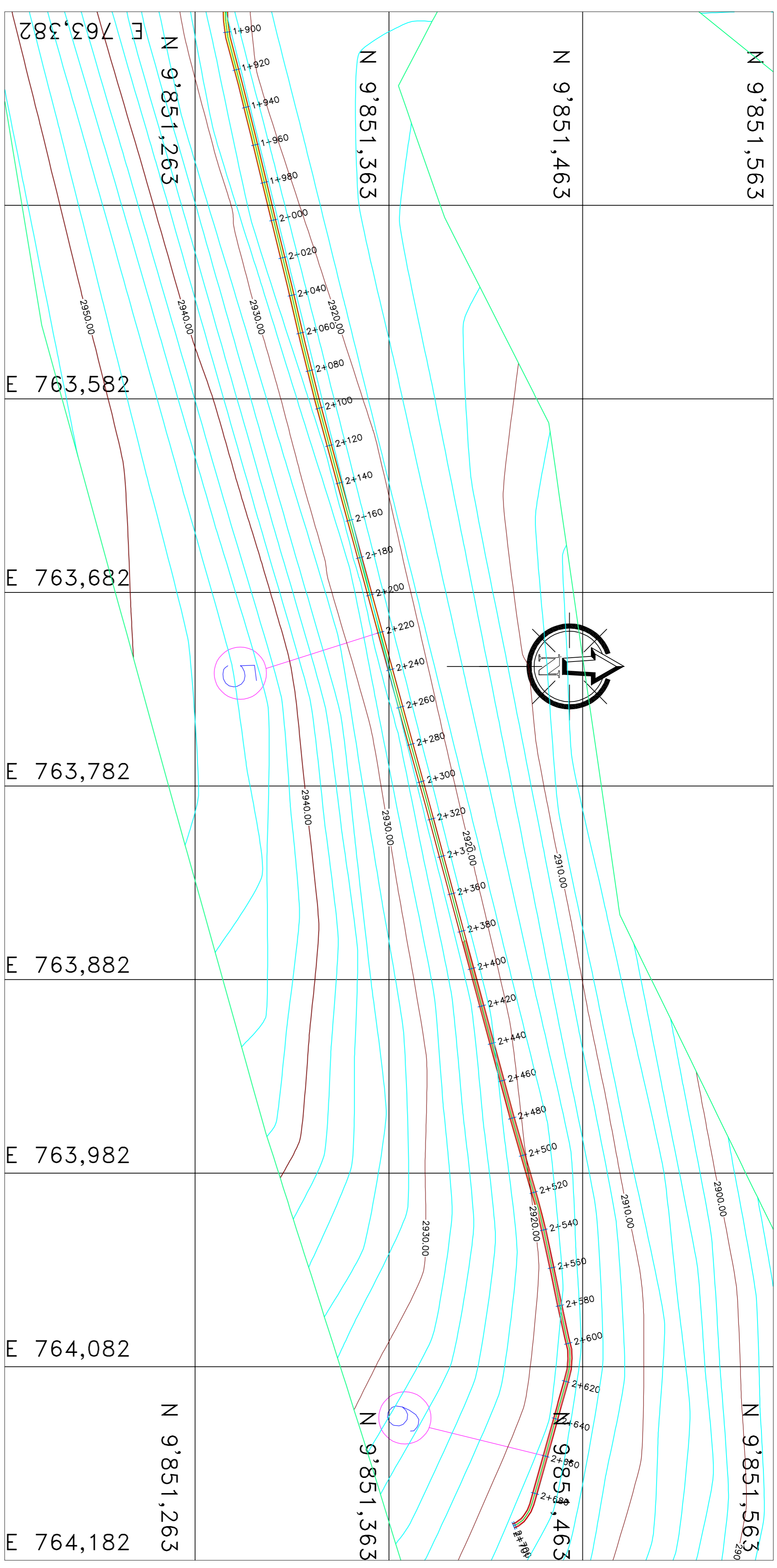
CONTIENE: PERFIL DEL PROYECTO  
CURVAS DE NIVEL  
TRAMO ABSCSISA 0+00 -0+880

REVISADO POR: TING DILON MOYA  
COMPROBADO POR: ELENA YANZAE  
PLP1

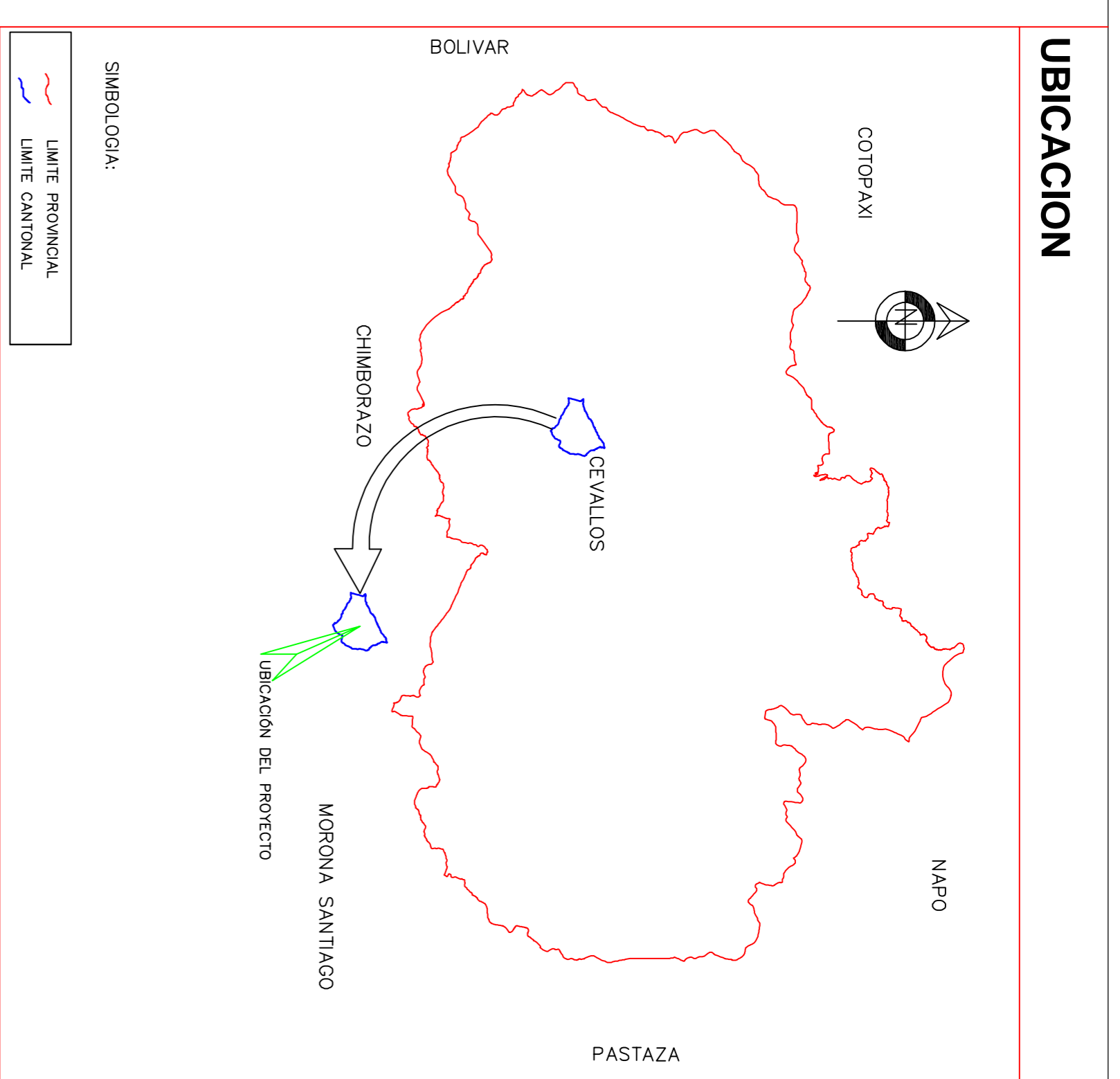


1.20	2923.16	2921.96	0+900	
1.20	2923.14	2921.94	0+920	
1.20	2923.11	2921.91	0+940	
1.20	2923.09	2921.89	0+960	
1.20	2923.07	2921.87	0+980	
1.20	2923.04	2921.84	1+000	
1.21	2923.02	2921.81	1+020	
1.21	2923.01	2921.79	1+040	
1.27	2923.03	2921.76	1+060	
1.32	2923.06	2921.73	1+080	
1.34	2923.05	2921.71	1+100	
1.34	2923.02	2921.68	1+120	
1.34	2923.00	2921.66	1+140	
1.34	2922.97	2921.63	1+160	
1.34	2922.94	2921.60	1+180	
1.34	2922.92	2921.58	1+200	
1.34	2922.89	2921.55	1+220	
1.34	2922.87	2921.52	1+240	
1.33	2922.84	2921.51	1+260	
1.34	2922.81	2921.47	1+280	
1.34	2922.78	2921.44	1+300	
1.34	2922.76	2921.42	1+320	
1.34	2922.73	2921.39	1+340	
1.34	2922.70	2921.37	1+360	
1.34	2922.68	2921.34	1+380	
1.34	2922.65	2921.31	1+400	
1.34	2922.63	2921.28	1+420	
1.34	2922.60	2921.26	1+440	
1.34	2922.57	2921.23	1+460	
1.34	2922.55	2921.20	1+480	
1.36	2922.53	2921.17	1+500	
1.36	2922.51	2921.15	1+520	
1.36	2922.48	2921.12	1+540	
1.35	2922.44	2921.09	1+560	
1.34	2922.41	2921.07	1+580	
1.34	2922.38	2921.04	1+600	
1.34	2922.35	2921.01	1+620	
1.34	2922.32	2920.98	1+640	
1.34	2922.30	2920.96	1+660	
1.34	2922.27	2920.93	1+680	
1.34	2922.24	2920.90	1+700	
1.34	2922.22	2920.88	1+720	
1.34	2922.19	2920.85	1+740	
1.34	2922.17	2920.83	1+760	
1.34	2922.14	2920.80	1+780	
1.34	2922.11	2920.77	1+800	
1.34	2922.09	2920.74	1+820	

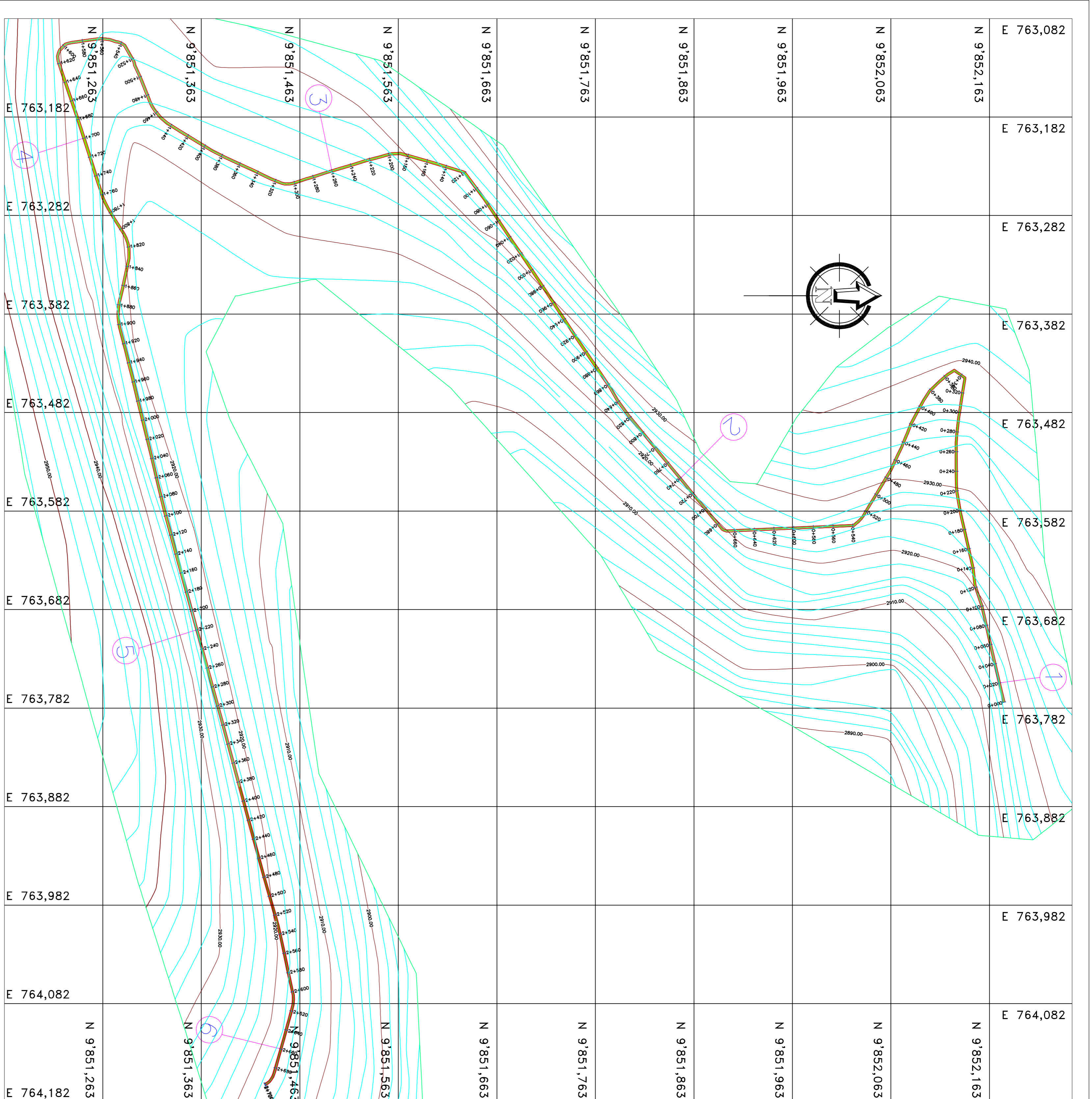
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Proyecto: <b>Estudio y caracterización Hidráulica del Ovario 13-17 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pellileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.</b>			
FECHA:	21/1/2018	ESCALA:	1:1500
HOJA No.:		HOJA No.:	2/5
CONTENIDO:			
PERFIL DEL PROYECTO		CURVAS DE NIVEL	
TRAMO ABSCSISA 0+880-0+900			
ELABORADO POR:	ELENA YANEA E.	REVISADO POR:	TING DILON MOYA
		COMBO:	
		PLP2	



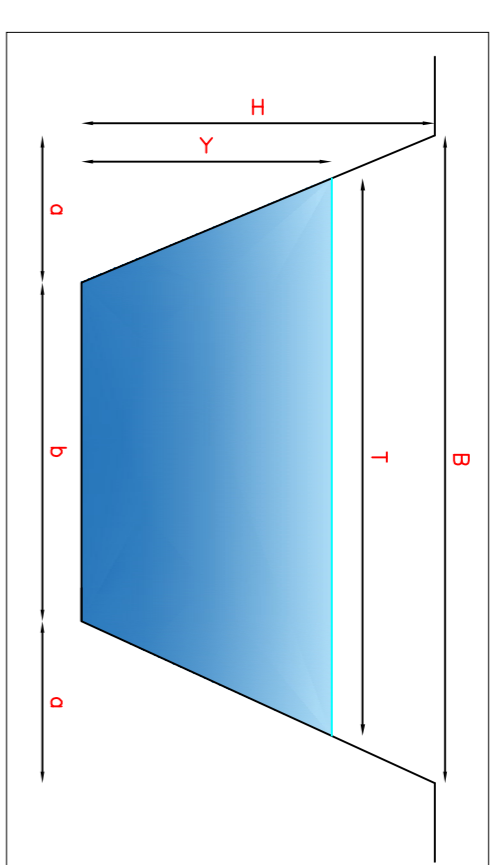
1.34	2922.06	1+840
1.35	2922.04	1+860
1.36	2922.02	1+880
1.36	2922.00	1+900
1.36	2921.97	1+920
1.36	2921.94	1+940
1.36	2921.92	1+960
1.36	2921.89	1+980
1.36	2921.87	2+000
1.36	2921.84	2+020
1.36	2921.81	2+040
1.36	2921.79	2+060
1.36	2921.76	2+080
1.36	2921.73	2+100
1.36	2921.71	2+120
1.36	2921.68	2+140
1.36	2921.66	2+160
1.36	2921.63	2+180
1.36	2921.60	2+200
1.36	2921.58	2+220
1.36	2921.55	2+240
1.36	2921.52	2+260
1.36	2921.50	2+280
1.36	2921.47	2+300
1.36	2921.45	2+320
1.36	2921.42	2+340
1.36	2921.39	2+360
1.36	2921.37	2+380
1.36	2921.34	2+400
1.36	2921.32	2+420
1.36	2921.29	2+440
1.36	2921.26	2+460
1.36	2921.24	2+480
1.36	2921.21	2+500
1.36	2921.18	2+520
1.36	2921.16	2+540
1.36	2921.13	2+560
1.36	2921.10	2+580
1.36	2921.08	2+600
1.36	2921.05	2+620
1.36	2921.03	2+640
1.36	2921.00	2+660
1.36	2920.97	2+680
1.36	2920.94	2+700
		2+720
		2+740



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
PROYECTO: Estudio y caracterización Hidráulica del Ovale 13-17 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pellileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.			
FECHA:	21/11/2018	ESCALA:	1:1500
CONTIENE:		HOJA N°:	
PERFIL DEL PROYECTO		3/5	
TRAMO ABSGISA 0+900 - 2+700			
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	COMO:	
ELENA YANZAE	ING. DILON MOYA	PLP3	

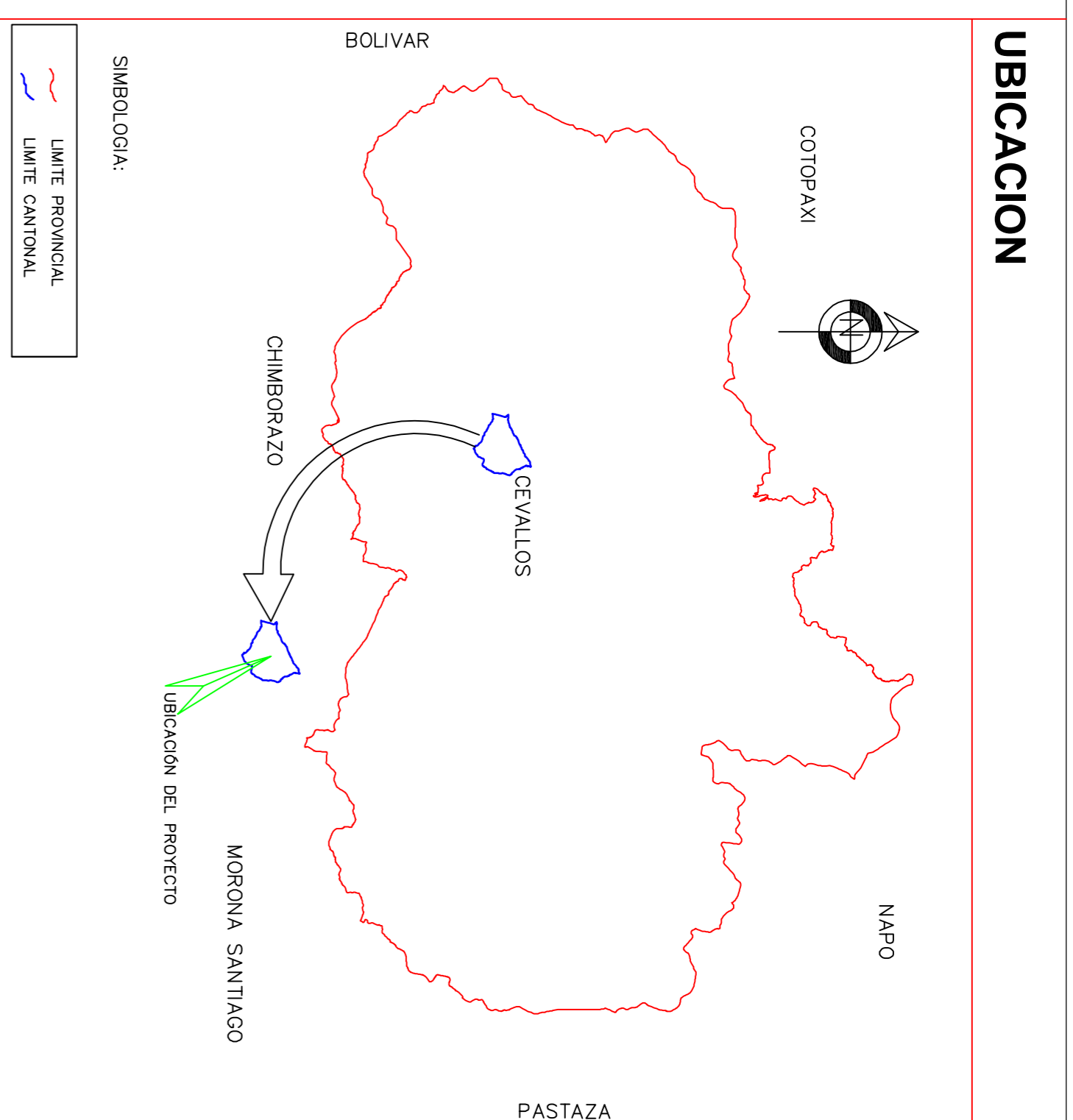


Secciones	Coordenadas	Abscisa (m)	Pendiente
Sección 1	X=763756.604 Y=9852173.176	2+640	0.13%
Sección 2	X=763548.706 Y=9851849.096	1+960	0.13%
Sección 3	X=763236.730 Y=9851495.634	1+440	0.13%
Sección 4	X=763203.485 Y=9851243.913	1+000	0.13%
Sección 5	X=763702.611 Y=9851358.503	0+480	0.13%
Sección 6	X=764128.140 Y=9851443.784	0+040	0.13%

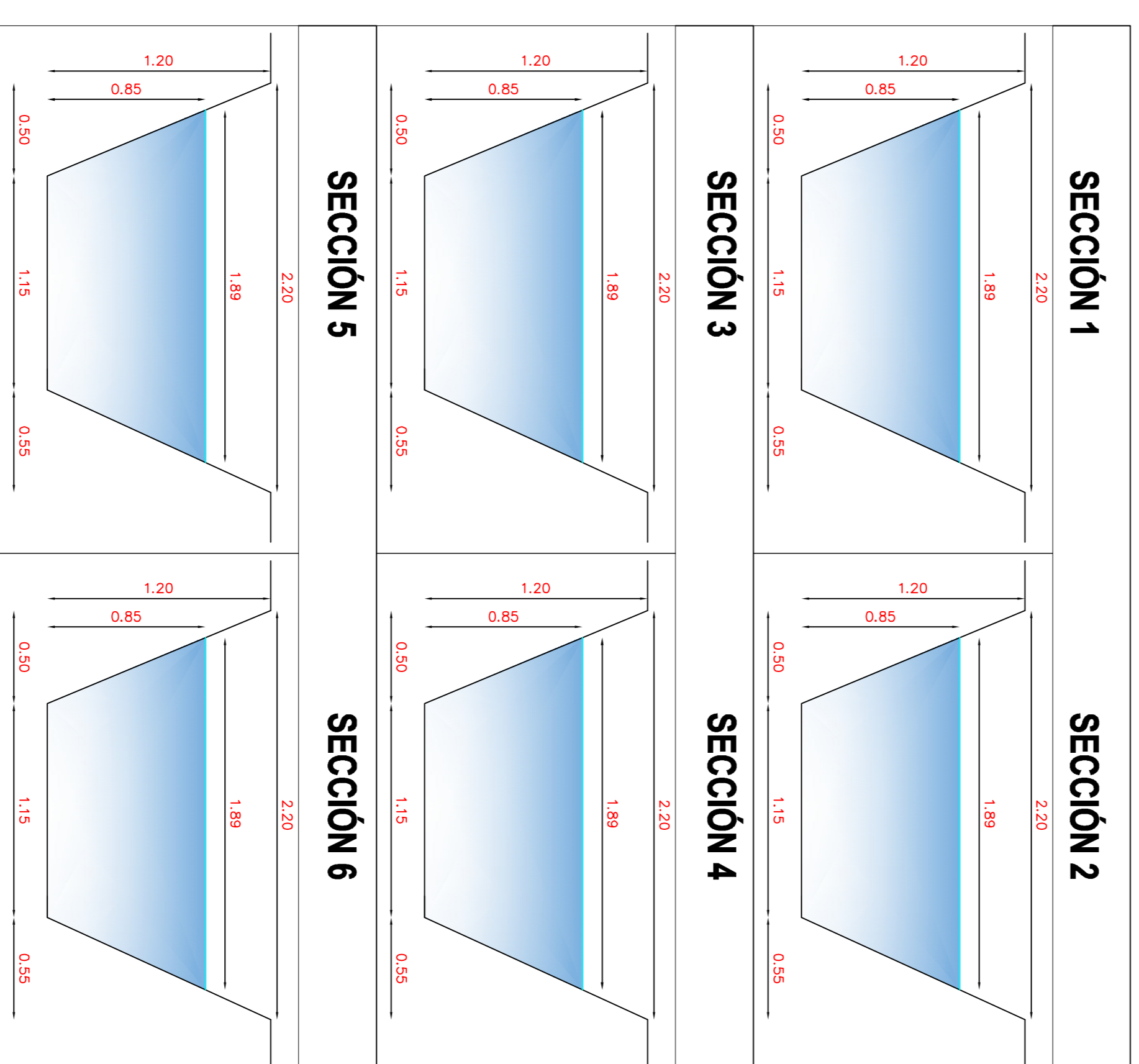


SECCIÓN TIPO

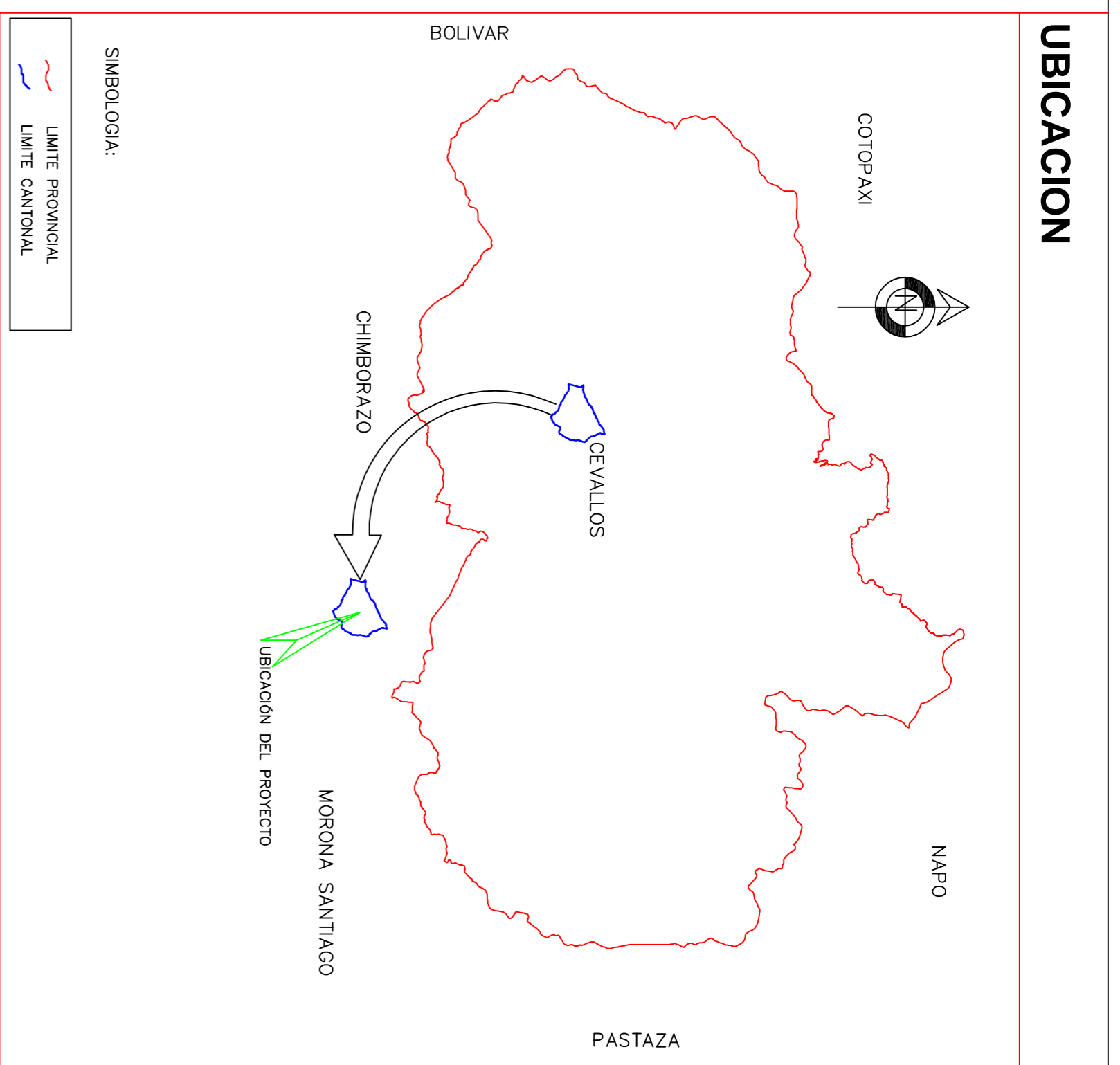
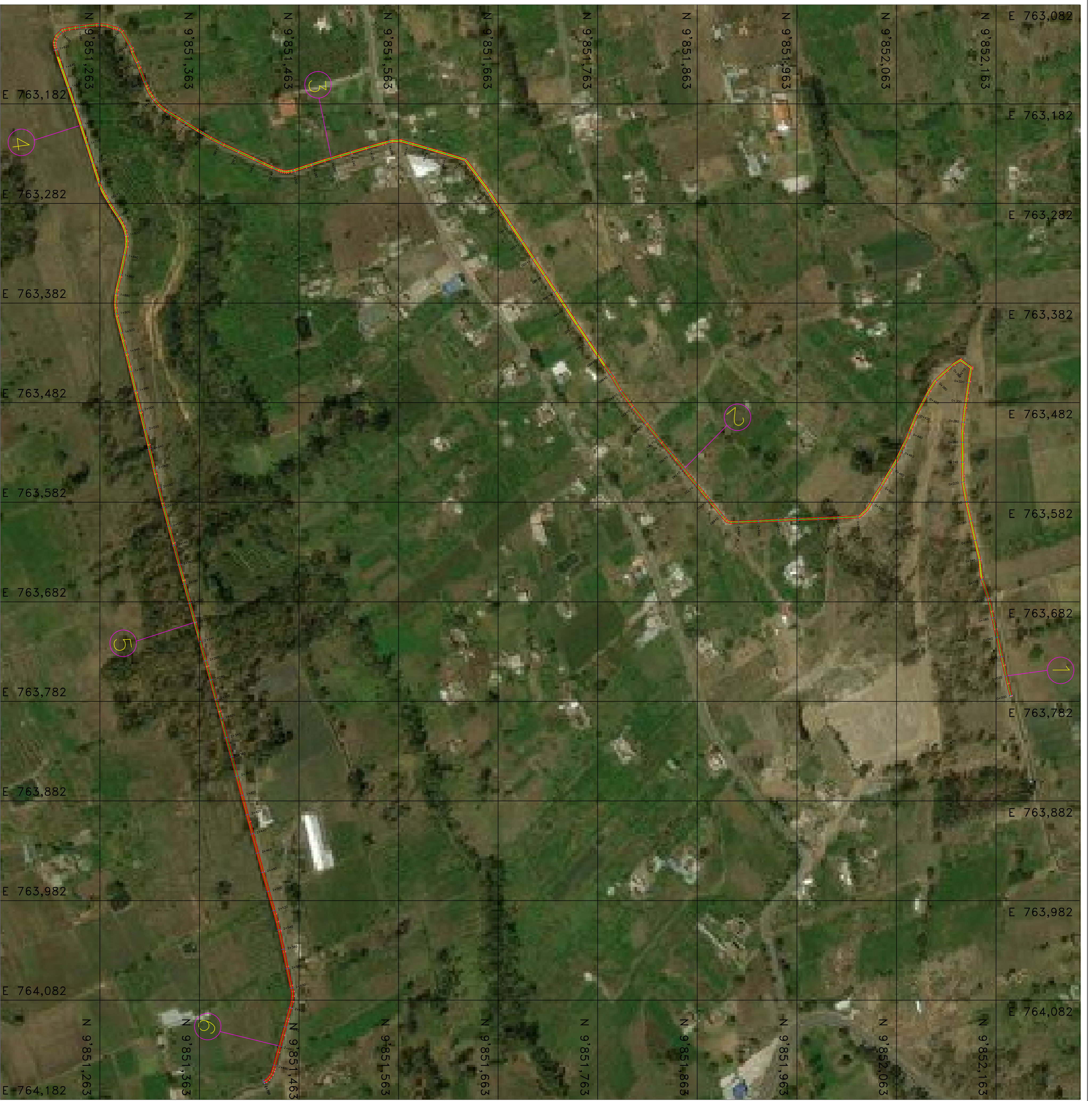
SIMBOLOGÍA	
B	Ancho superior del canal
T	Espigo de agua
H	Altura total del canal
Y	Calado del agua
a	Ancho derecho del canal
b	Base del canal
d'	Ancho izquierdo del canal



UBICACION



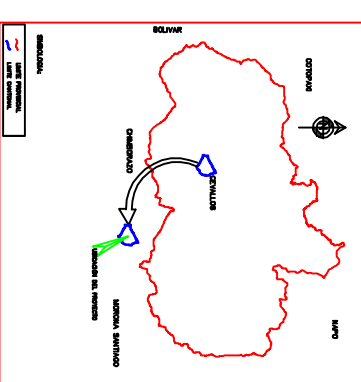
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	
PROYECTO: Estudio y caracterización Hidráulica del Ovario 13-17 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.			
FECHA:	21/11/2018	ESCALA:	1:1500
HOJA No.:	4/5		
CONTENIDO: IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO SECCIONES DEL CANAL CURVAS DE NIVEL			
REVISADO POR:	ELIENA YANZANE	REVISADO POR:	TING DILCÓN MOYA
		CÓDIGO: PLPS1	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		COLEGIO <b>PUGI</b>	
<b>PROYECTO:</b> Estudio y caracterización Hidráulica del Ovario 13-17 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pellileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.			
<b>FECHA:</b> 09/01/2019	<b>ESCALA:</b> 1:1500	<b>HOJA No.:</b> 5/5	
<b>CONTENIDO:</b> IMPLANTACION GENERAL DEL PROYECTO			
<b>REVISADO POR:</b> ELENA YANZATE	<b>REVISADO POR:</b> TING DILON MOYA	<b>COMISIO:</b> PUGI	

# CURVAS DE DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDAD DEL CANAL AMBATO-HUACHI-PELLEO

UBICACION



## SECCIÓN 1

2.20

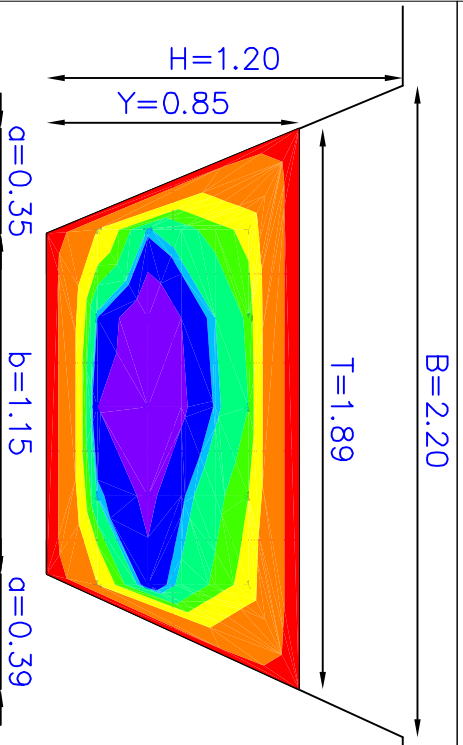
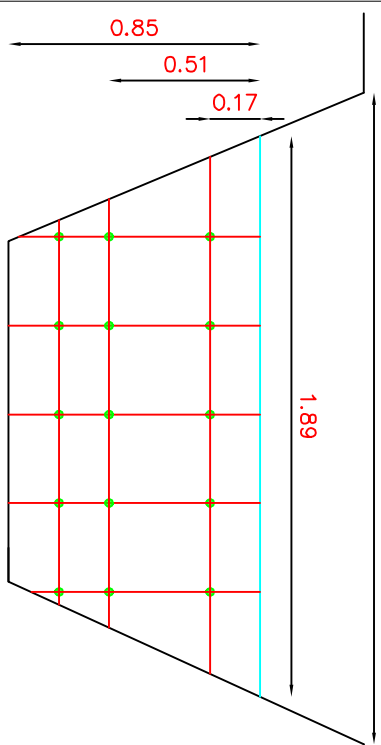


TABLA DE VELOCIDADES

Número	Velocidad Mínima	Velocidad Máxima	Area	Color
1	0.00	0.36	0.18	Red
2	0.36	0.91	0.30	Orange
3	0.91	1.14	0.14	Yellow
4	1.14	1.26	0.12	Light Green
5	1.26	1.42	0.18	Green
6	1.42	1.46	0.05	Cyan
7	1.46	1.60	0.18	Blue
8	1.60	1.83	0.15	Purple

## SECCIÓN 2

2.20

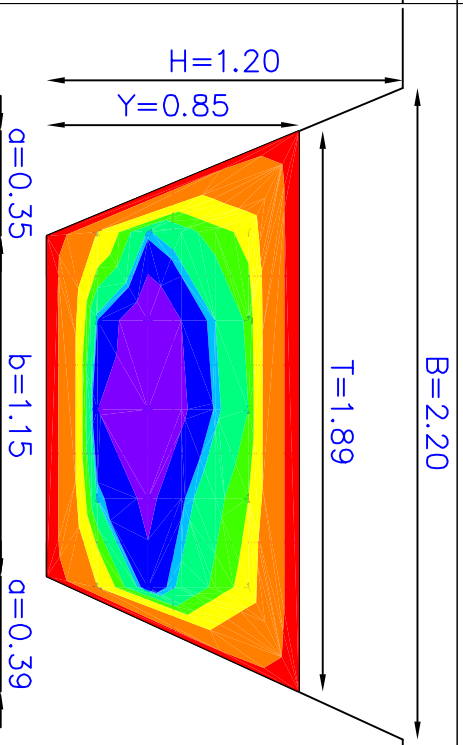
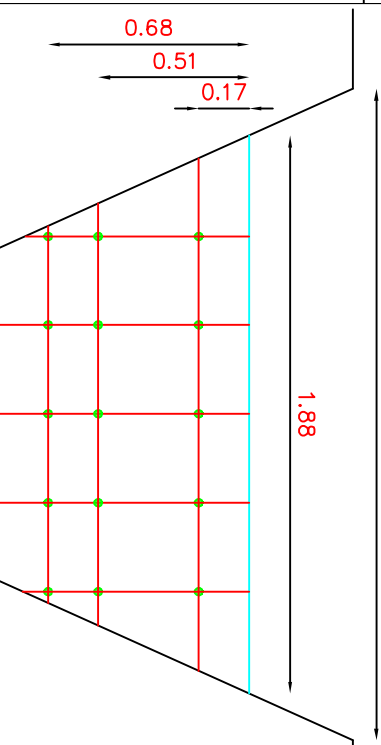


TABLA DE VELOCIDADES

Número	Velocidad Mínima	Velocidad Máxima	Area	Color
1	0.00	0.23	0.14	Red
2	0.23	0.70	0.31	Orange
3	0.70	0.89	0.15	Yellow
4	0.89	0.95	0.06	Light Green
5	0.95	1.10	0.17	Green
6	1.10	1.25	0.16	Cyan
7	1.25	1.41	0.14	Blue
8	1.41	1.66	0.14	Purple

## SECCIÓN 3

2.45

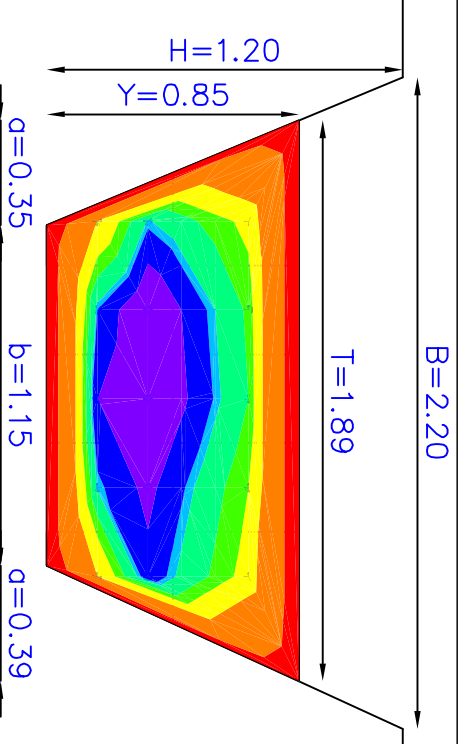
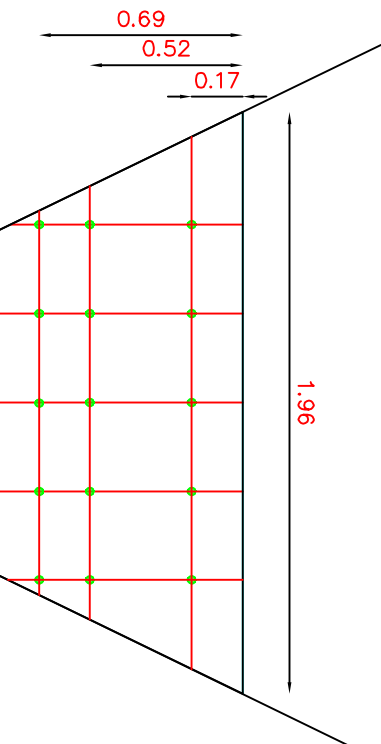
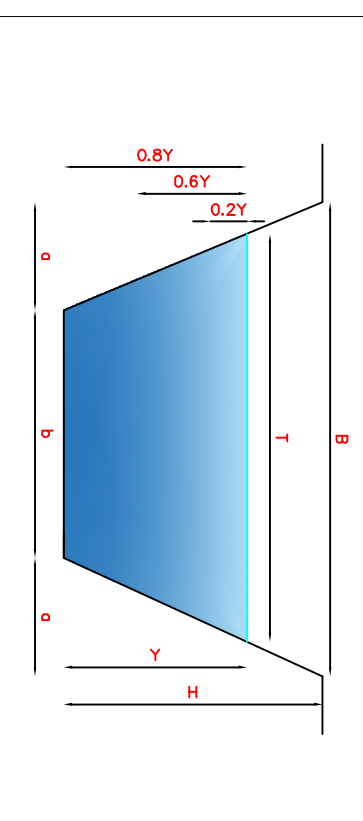


TABLA DE VELOCIDADES

Número	Velocidad Mínima	Velocidad Máxima	Area	Color
1	0.00	0.13	0.11	Red
2	0.13	0.40	0.25	Orange
3	0.40	0.63	0.24	Yellow
4	0.63	0.78	0.19	Light Green
5	0.78	0.87	0.12	Green
6	0.87	0.96	0.15	Cyan
7	0.96	1.01	0.08	Blue
8	1.01	1.19	0.19	Purple



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:  
Estudio y caracterización Hidráulica del Ovale 13-17 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelleo, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua.

FECHA: 21/11/2018

ESCALA: 1:25

PROJ. No.: 1/2

CONTIENE:  
SECCIONES DEL CANAL  
CURVAS DE VELOCIDAD

REALIZADO POR: ELENA YANZAE

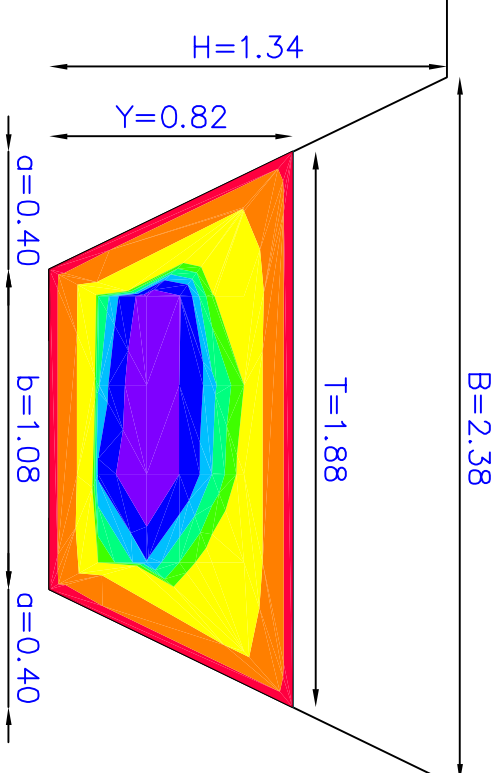
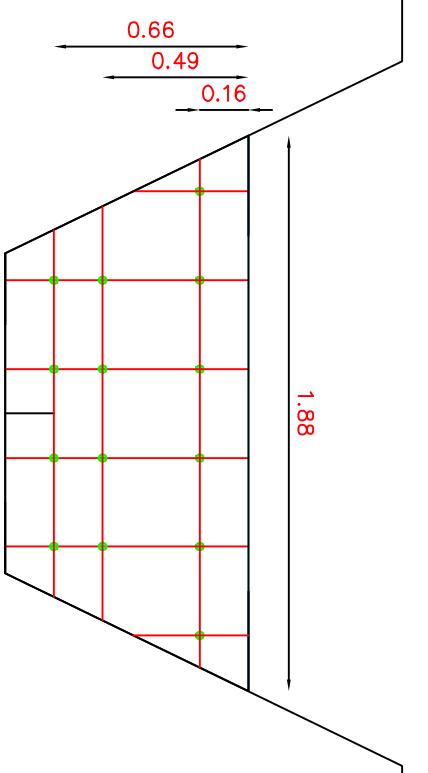
REVISADO POR: ING. DILON MOYA

ORDEN: PLVI

# CURVAS DE DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDAD DEL CANAL AMBATO-HUACHI-PELLEO

## SECCIÓN 4

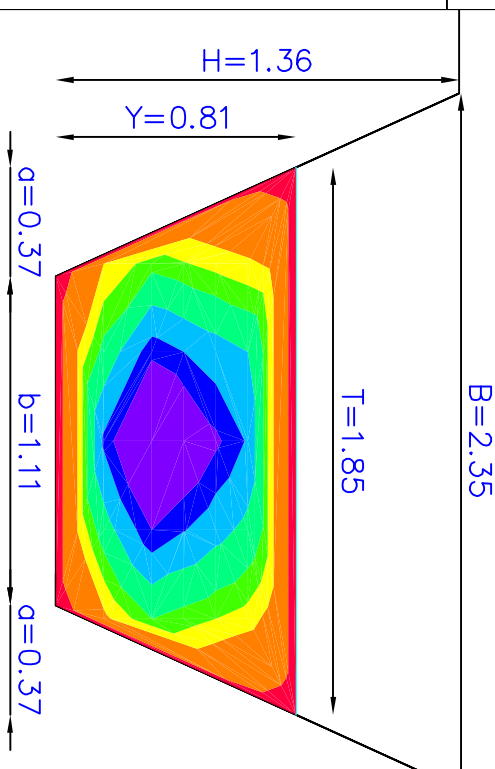
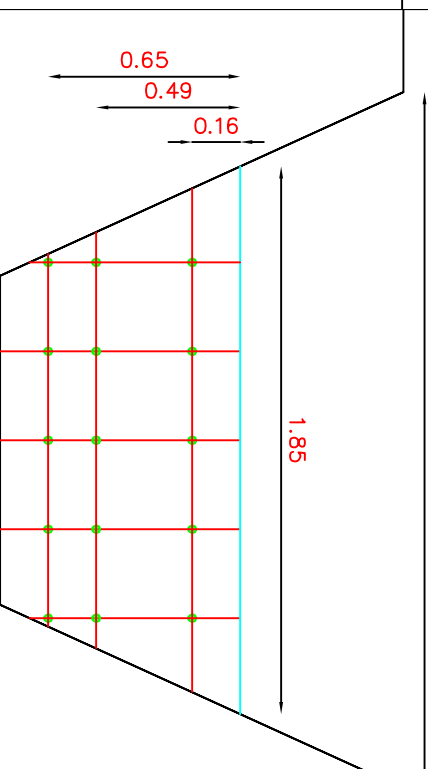
2.38



Número	Velocidad Mínima	Velocidad Máxima	Area	Color
1	0.00	0.13	0.14	Red
2	0.13	0.44	0.31	Orange
3	0.44	0.73	0.33	Yellow
4	0.73	0.76	0.06	Light Green
5	0.76	0.79	0.07	Green
6	0.79	0.82	0.07	Cyan
7	0.82	0.88	0.12	Blue
8	0.88	0.96	0.13	Purple

## SECCIÓN 5

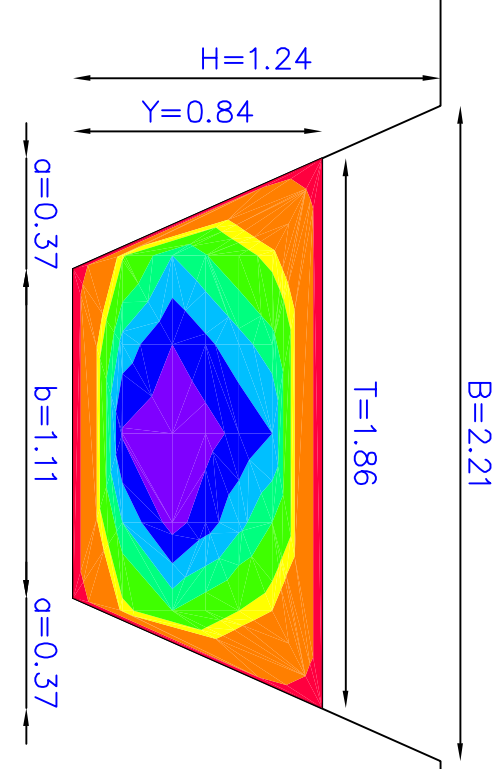
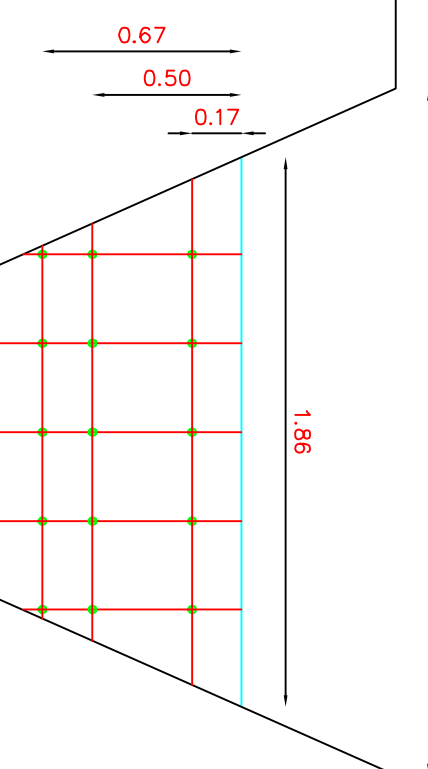
2.35



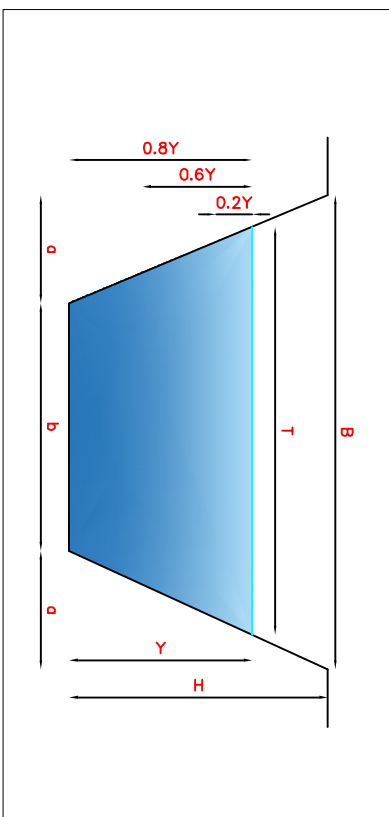
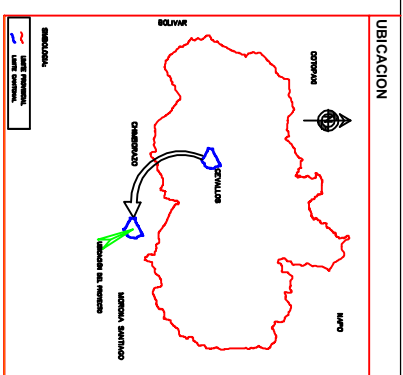
Número	Velocidad Mínima	Velocidad Máxima	Area	Color
1	0.00	0.13	0.11	Red
2	0.13	0.39	0.28	Orange
3	0.39	0.48	0.13	Yellow
4	0.48	0.57	0.13	Light Green
5	0.57	0.71	0.18	Green
6	0.71	0.84	0.17	Cyan
7	0.84	0.94	0.10	Blue
8	0.94	1.23	0.12	Purple

## SECCIÓN 6

2.32



Número	Velocidad Mínima	Velocidad Máxima	Area	Color
1	0.00	0.12	0.11	Red
2	0.12	0.37	0.30	Orange
3	0.37	0.42	0.08	Yellow
4	0.42	0.42	0.18	Light Green
5	0.52	0.59	0.14	Green
6	0.59	0.67	0.16	Cyan
7	0.67	0.76	0.17	Blue
8	0.76	0.86	0.11	Purple



Sección	Coordenadas	Alcance (m)	Pendiente
Sección 1	X=768716.604 Y=833173.176	2+640	0.13%
Sección 2	X=768548.706 Y=833349.095	1+960	0.13%
Sección 3	X=768226.730 Y=833495.634	1+440	0.13%
Sección 4	X=768203.483 Y=833243.913	1+000	0.13%
Sección 5	X=768102.611 Y=833338.503	0+480	0.13%
Sección 6	X=768128.140 Y=833443.784	0+040	0.13%

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		<b>PROYECTO:</b> Estudio y caracterización Hidráulica del Ovaló 13-17 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelleo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.	
FECHA:	21/11/2018	ESCALA:	1:25
FECHA:		FOLIO No.:	22
CONTIENE:			
SECCIONES DEL CANAL			
CURVAS DE VELOCIDAD			
REALIZADO POR:	ELENA YANZANE	REVISADO POR:	ING. DILON MOYA
		GRABADO:	PLVZ