



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL

TEMA: “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 10 AL 13 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

AUTOR: JHOSELIN DANIELA BUÑAY VALVERDE

TUTOR: ING. MG. LENIN MALDONADO

AMBATO ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN

Yo Ing. Mg. Lenin Maldonado certifico que el presente trabajo experimental realizada por la Srta. Jhoselin Daniela Buñay Valverde de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se ha desarrollado bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito realizado bajo el tema: **“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 10 AL 13 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato. Noviembre del 2018

.....

Ing. Mg. Lenin Maldonado

DOCENTE TUTOR

AUTORÍA

Yo, Jhoselin Daniela Buñay Valverde, con C.I. 060379759-8 egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica perteneciente a la carrera de Ingeniería Civil, certifico por medio de la presente que el contenido y los comentarios del trabajo experimental con el tema: **“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 10 AL 13 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Noviembre del 2018

.....
Jhoselin Daniela Buñay Valverde

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jhoselin Daniela Buñay Valverde, con C.I. 060379759-8 egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica perteneciente a la carrera de Ingeniería Civil, por la presente autorizo a la Universidad Técnica de Ambato hacer el uso del contenido o parte de él, con fines académicos o investigación. Cedo los derechos en línea patrimonial de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de mi trabajo experimental dentro las regulaciones de la Universidad siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y respete mis derechos de autor.

Ambato, Noviembre del 2018

.....
Jhoselin Daniela Buñay Valverde

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación sobre el tema: **“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 10 AL 13 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, realizado por la Srta. Jhoselin Daniela Buñay Valverde, egresada de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Geovanny Paredes
DOCENTE CALIFICADOR

.....
Ing. Mg. Margarita Mayancela
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

La vida está compuesta de grandes momentos y Dios nos da la oportunidad de aprovechar cada uno de los mismos.

Al finalizar este trabajo arduo lleno de dificultades, pero de mucho aprendizaje, mi gratitud a ese ser invisible y omnipotente que me permite culminar esta meta, Gracias Padre del cielo.

Quiero dedicar desde lo más profundo de mi alma a mi familia que son la inspiración y colaboración no hubiese sido posible llevar a cabo esta dura tarea en especial a mi mami Ximena la dama guerrera, por el amor, la devoción que tiene para sus hijos, por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me ha dado, por tener la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como una mujer de bien y por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla. A mi hermano Alejandro por ser un niño con un corazón gigante, por ser mi ejemplo de valentía, inteligencia y generosidad.

Jhoselin Buñay

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios quien nos da el milagro cada día abrir los ojos y ver un hermoso amanecer, dándome la fuerza para cumplir cada uno de mis sueños y compartir con las personas que más quiero.

Agradezco a mi madre quien ha sido el pilar fundamental tanto en mi formación personal como académica, por ser la madre más valiente y decidida, invencible ante la vida y luchadora por sus hijos, por ser ese ángel que guía nuestro camino, por hacerme crecer, por defenderme, por darme su apoyo y su amor infinito.

Agradezco a mi hermano quien con su madurez siendo niño ha llegado a mi alma, transmitiéndome su dulzura y cariño e impulsándome a no decaer y seguir adelante.

Agradezco a toda mi familia quienes una sonrisa, un abrazo, sus sabios consejos, palabras certeras me ha ayudado a ver que cada día los seres humanos tenemos un propósito en esta vida para ser entes positivos en la sociedad siendo partícipes de la misma.

Agradezco a mi tutor Ing. Mg. Lenin Maldonado quien con su sabiduría y paciencia me ha impartido sus conocimientos, dirigiendo y colaborando con el presente trabajo, para que llegue a culminar exitosamente.

Jhoselin Buñay

ÍNDICE GENERAL

PORTADA -----	I
CERTIFICACIÓN -----	II
AUTORÍA -----	III
DERECHOS DE AUTOR -----	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO -----	V
DEDICATORIA -----	VI
AGRADECIMIENTO -----	VII
ÍNDICE DE FIGURAS -----	XI
ÍNDICE DE TABLAS -----	XIII
RESUMEN EJECUTIVO -----	XIV
ABSTRACT -----	XV
CAPÍTULO 1. -----	1
1.1. Tema de Investigación-----	1
1.2. Antecedentes -----	1
1.2.1. Análisis Crítico -----	2
1.3. Justificación -----	3
1.4. Objetivos-----	6
1.4.1. Objetivo General -----	6
1.4.2. Objetivos Específicos-----	6
CAPÍTULO 2. -----	7
2.1. Fundamentación Teórica -----	7
2.1.1. Hidráulica-----	7
2.1.2. Distribución de las velocidades -----	7
2.1.3. Régimen de Flujo-----	10
2.1.4. Dimensionalidad de Modelos Numéricos -----	15

2.1.5. Ecuación de Conservación de Energía -----	17
2.1.6. Ecuación de Cantidad de Movimiento -----	20
2.1.7. Ecuación de conservación de la masa -----	21
2.1.8. Ecuación de continuidad:-----	22
2.1.9. Ecuación de momentum: -----	22
2.1.10. Ecuación de Saint Venant -----	23
2.1.11. Coeficiente de Manning-----	24
2.1.12. Método de aforo para canales -----	28
2.2. Variables Independiente y Dependiente.-----	31
2.2.1. Variable Independiente -----	31
2.2.2. Variable Dependiente -----	31
2.3. Hipótesis -----	31
2.3.1. Hipótesis Nula -----	31
2.3.2. Hipótesis Alterna -----	31
CAPÍTULO 3. -----	32
3.1. Tipos de Investigación-----	32
3.2. Población y Muestra -----	33
3.2.1. Población -----	33
3.2.2. Muestra -----	33
3.3. Plan de Muestreo -----	34
3.4. Operacionalización de Variables-----	35
3.4.1. Variable Independiente -----	35
3.4.2. Variable Dependiente -----	36
3.5. Plan de Recolección de Información -----	37
3.6. Plan de Procesamiento y Análisis -----	38
3.6.1. Plan de Procesamiento-----	38
3.6.2. Plan de Análisis-----	39
CAPÍTULO 4. -----	40
4.1. Hidráulica-----	40
4.2. Medidas In Situ -----	40
4.2.1. Topografía-----	40
4.2.2. Ubicación -----	41
4.2.3. Sección Transversal-----	45
4.2.4. Perfil Longitudinal -----	48

4.3. Distribución de Velocidades y Caudales Medio -----	49
4.3.1. Matrices para la recolección de datos de velocidad -----	52
4.3.2. Curvas de Distribución de Velocidad -----	76
4.4. Modelación HEC-RAS (Versión 5.0.5) -----	82
4.4.1 Simulación Individual de las Secciones -----	83
4.4.2. Simulación General -----	96
4.4.2.1. Perfil Longitudinal: -----	96
4.4.2.2. General Plot: -----	98
4.4.2.3. Captura ilustrativa de una perspectiva 3D. -----	102
4.5. Verificación de la Hipótesis -----	103
CAPÍTULO 5 -----	104
5.1. Conclusiones -----	104
5.2. Recomendaciones -----	105
MATERIAL DE REFERENCIA -----	106
1. Referencias -----	106
2. Anexo Fotográfico -----	110
2.1. Topografía -----	110
2.2. Recolección de Medidas de Velocidad -----	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad y energía hidroeléctrica en América.....	4
Figura 2. Sección Transversal.....	7
Figura 3. Sección Longitudinal, variación de velocidades en las verticales 1,2,3	8
Figura 4. Variación de la Velocidad con la profundidad	8
Figura 5. Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones del canal.....	9
Figura 6. Distribución de Velocidades en un canal rectangular	9
Figura 7. Secciones básicas en canales.....	10
Figura 8. Elementos geométricos de un canal	11
Figura 9. Régimen de flujo de un canal - Flujo Permanente	11
Figura 10. Régimen de flujo de un canal - Flujo no Permanente	12
Figura 11. Régimen de flujo de un canal - Flujo Uniforme.....	13
Figura 12. Régimen de flujo de un canal - Flujo Variado	14
Figura 13. Modelo Unidimensional de un río.....	16
Figura 14. Modelo bidimensional de un lago	16
Figura 15. Modelo Tridimensional	17
Figura 16. Interpretación de la ecuación de energía	18
Figura 17. Contracción en un canal con ángulo de convergencia	19
Figura 18. Expansiones bruscas en un canal	20
Figura 19. Superficie de Control	21
Figura 20. Esquemmatización para la profundidad media de la franja	30
Figura 21. Topografía in situ del Canal	40
Figura 22. Mapa del Ecuador.....	41
Figura 23. Provincia de Tungurahua	42
Figura 24. Ubicación Micro - Canal Huachi - Pelileo	43
Figura 25. Vista en planta del subproyecto	44
Figure 26. Esquemmatización de las Secciones Transversales.....	47
Figura 27. Perfil Longitudinal del subproyecto.....	48
Figura 28. Medición de velocidades con el molinete	49

Figura 29. Vista en Planta de la distribución de las secciones	50
Figura 30. Perfil Longitudinal de las secciones.....	51
Figura 31. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 1	76
Figura 32. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 2.....	77
Figura 33. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 3.....	78
Figura 34. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 4.....	79
Figura 35. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 5.....	80
Figura 36. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 6.....	81
Figura 37. Perfil Longitudinal de la Simulación General.....	96
Figura 38. Diagrama respecto al Número de Froude y Velocidad Total.....	98
Figura 39. Subproyecto en una perspectiva 3D	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de Manning (n).....	24
Tabla 2. Separación de las mediciones según el ancho del la corriente	28
Tabla 3. Matriz de recolección de datos	34
Tabla 4. Operacionalización de la Variable Independiente	35
Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente.....	36
Tabla 6. Plan de recolección de información.....	37
Tabla 7. Ubicación de las secciones transversales.....	51
Tabla 8. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 1	52
Tabla 9. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 2	56
Tabla 10. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 3	60
Tabla 11. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 4	64
Tabla 12. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 5	68
Tabla 13. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 6	72
Tabla 14. Modelación de la Sección Transversal 1	83
Tabla 15. Modelación de la Sección Transversal 2	85
Tabla 16. Modelación de la Sección Transversal 3	87
Tabla 17. Modelación de la Sección Transversal 4	89
Tabla 18. Modelación de la Sección Transversal 5	91
Tabla 19. Modelación de la Sección Transversal 6	93
Tabla 20. Coeficientes de Manning con sus respectivas fuentes bibliográficas	95
Tabla 21. Coeficientes de Manning distribuidos en las secciones.....	97
Tabla 22. Coeficientes de Manning con su respectiva característica.....	99
Table 23. Resumen de las características hidráulicas de la Simulación General.....	100
Tabla 24. Radios mínimos en canales.....	105

RESUMEN EJECUTIVO

Tema de Investigación

“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 10 AL 13 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

Autor: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Tutor: Ing. Mg. Lenin Maldonado

Fecha: Mayo 2018

La ejecución del trabajo experimental se efectuó en dos partes, la primera todo lo relacionado a las características físicas del canal Huachi Pelileo, donde se ha realizado la topografía in situ con la estación total, seguido de la recolección de datos de velocidades puntuales con el molinete de las secciones transversales aproximadamente a cada 500m en tramos rectos mismos que integran el subproyecto designado que va desde la abscisa 5+400 hasta la abscisa 8+100.

Por último, al tener todas las características físicas y topográficas del canal se ha realizado la modelación numérica en el software HEC-RAS (Versión 5.0.5), simulando de forma independiente de cada una de las secciones para los cuales se basaron en el caudal medio y calado de cada uno, seguida de la calibración del coeficiente de Manning se va obteniendo la velocidad media, y una simulación general de tal forma que los coeficientes obtenidos se distribuye proporcionalmente entre las secciones.

Con el presente proyecto se quiere aportar un estudio más real de las características hidráulicas del canal Huachi - Pelileo y así como una referencia del comportamiento del flujo en el canal.

ABSTRACT

Theme:

" STUDY AND HYDRAULIC CHARACTERIZATION OF THE OVAL 10 TO 13 OF THE CHANNEL OF IRRIGATION AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTON AMBATO, TUNGURAHUA's PROVINCE ".

Author: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Tutor: Ing. Mg. Lenin Maldonado

Date: May 2018

The execution of the experimental work effected in two parts, the first one all related to the physical characteristics of the Huachi Pelileo channel, where the topography has been realized in situ by the total station, followed by the compilation information of punctual speeds with the small mill of the transverse sections approximately to every 500m in straight sections themselves that integrate the designated subproject that goes from the abscissa 5+400 up to the abscissa 8+100.

Finally, on having had all the physical and topographic characteristics of the channel the numerical modeling has realized in the software HEC-RAS (Version 5.0.5), simulating of form independent from each one of the sections for which based on the average and soaked flow of each one, followed by the calibration of Manning's coefficient the average speed is obtained, and a general simulation in such a way that the obtained coefficients it is distributed proportionally between the sections.

With the present project wants to contribute a more royal study of the hydraulic characteristics of the Huachi - Pelileo channel and as well as a reference of the behavior of the flow in the channel.

CAPÍTULO 1.

ANTECEDENTES

1.1.Tema de Investigación

“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 10 AL 13 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

1.2.Antecedentes

En la Evaluación del Canal Chaquin del Sistema de Riego del Valle de Viru se estudió las características hidráulicas del primer tramo, las cuales son consecuencia de cambio de sección, pendiente y trazo que actúan sobre el flujo del canal. Se ejecutó una simulación hidráulica utilizando el software HEC- RAS (River Analysis System 4.1.0) con el fin de conseguir varios parámetros que intervienen en el canal, obteniendo información geométrica y topográfica del canal e introduciendo al software para analizar y evaluar las características con mayor precisión, el cual se basa en fórmulas empíricas para un análisis bidimensional. Se plantea que los diseños de una obra deben ser analizados en conjunto ya que esto permite examinar como un sistema integrado, obteniendo resultados con una variación mínima al diseño original para el perfil pseudo tridimensional, como también un análisis unidimensional y bidimensional [1].

La Generación de Energía Hidroeléctrica en Canales de Regadío refiere a la insuficiente accesibilidad de agua a nivel nacional como mundial el mismo que fue el motivo para valorar un proyecto de una micro central de generación de energía hidroeléctrica en el Fundo Santa Isidora de Coibungo, Comuna Villa Alegre, Séptima región de Maule con el fin de optimizar el uso del agua aprovechando este recurso como fuente de energía renovable no convencional y ayudar al sector agrícola. Los caudales para la central de pasada corresponden a caudales de los canales Quinilahue o La Finca, Bustamante, Cunaco, Coibungo, Rosas Fabry que son canales de riego y el estero Lun Tornicura. Realizaron aforos para estimar el caudal para relacionar las aguas inscritas en los canales con los caudales reales. El programa presidencial

plantea el uso de fuentes de energía renovable no convencional con el objetivo de proveer el 20% de la generación de energía del país al año 2020.

Además, en Chile se ha elaborado evaluaciones del potencial hidroeléctrico relacionado con obras de riego los mismos que muestran que el potencial de generación es de más de 860 MW a través de 290 centrales de generación, esto ocurre entre las regiones de Atacama y Araucanía en donde cubren el 97% de las superficies de riego [2].

La Aplicación de software libre para el Diseño y Modelación de las Obras Hidráulicas a flujo libre de una pequeña Central Hidroeléctrica en el Río Zarapullo ubicado en la provincia de Sto. Domingo de los Tsachilas establece una investigación del diseño de prefactibilidad de los componentes a flujo libre como las estructuras hidráulicas que se encuentran a presión atmosférica como Captación, Conducción y Desarenador. A través del software HEC – RAS (4.1.0) plasma el diseño y modelación con sus características hidráulicas, permitiendo un análisis unidimensional de corriente a flujo libre ejecutando simulaciones con flujo permanente y no permanente para analizar el comportamiento hidráulico del agua dentro de la estructura dando a conocer información detallada de cada sección construida [3].

1.2.1. Análisis Crítico

Los recursos naturales de origen renovable con los que cuenta el Ecuador son numerosos y diversos por lo que si supiéramos como aprovecharlos se podría crear fuentes energéticas que ayuden a largo plazo a mejorar el manejo de la energía de nuestro territorio. Esta energía no requiere combustible, sino que usa una forma renovable, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita, es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua.

Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable, con la instalación de una turbina hidráulica que es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento por lo general reducidos.

En Ecuador las demandas energéticas son muy grandes por lo que no se cuenta con los medios económicos debido a que los costos de capital por kilovatio instalado son con frecuencia muy altos.

La instalación determinada por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía. La construcción por lo común lleva un largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas. La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año.

1.3. Justificación

Los seres humanos y sus antecesores han ido transformando su medio ambiente y empeorando su hábitat. Debido a su supervivencia ha hecho un manejo inapropiado de los combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo que son los residuos petrificados y licuados de la acumulación durante millones de años de organismos vegetales en descomposición. Provocando en los últimos tiempos un mayor daño en el entorno natural, animal y vegetal. Cuando se quema el combustible fósil, su energía química se convierte en calórica y mediante máquinas como motores y turbinas se transforma en energía mecánica o eléctrica [4].

En la mayor parte de América tiene una gran cantidad de recursos naturales, no sólo de origen renovable. Las cuales se han basado en la producción de las centrales de energía hidroeléctrica, que ha alcanzado, en lo que respecta a las emisiones de gases de efecto invernadero una de las matrices eléctricas más limpias del mundo.

La Figura 1 muestra la capacidad instalada total y participación de la energía hidroeléctrica en el territorio [5].



Figura 1. Capacidad y energía hidroeléctrica en América

Fuente: C. Batlle, “Análisis del impacto del incremento de la generación de energía renovable no convencional en los sistemas eléctricos latinoamericanos” [5].

El crecimiento de las energías limpias es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas en 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (AIE): representan cerca de la mitad de la nueva capacidad de generación eléctrica instalada en 2014, toda vez que se han constituido en la segunda fuente global de electricidad, sólo superada por el carbón.

De acuerdo a la AIE, la demanda mundial de electricidad aumentará un 70% hasta 2040, elevando su participación en el uso de energía final del 18% al 24% en el mismo periodo principalmente por regiones emergentes (India, China, África, Oriente Medio y el sureste asiático) [6].

La producción nacional de energía primaria destaca al Ecuador como el cuarto país con mayor tasa de crecimiento destacándose el subsidio a derivados del petróleo que proporciona la factibilidad del uso de combustibles fósiles que es el motor del país con un 90% en la actualidad, mientras al uso de energía en Ecuador es el menos eficiente debido a que la intensidad energética es muy grande.

La hidroelectricidad es la fuente de energía líder a nivel mundial, representa el 16% de la potencia eléctrica, mientras que la contribución de la hidroelectricidad dentro de la matriz energética del Ecuador es mínima ya que aprovecha el 23% de su potencial hídrico. Por lo que el subsidio resalta una ineficiencia en el consumo energético y presiona al país ampliar

las fuentes de energía. A partir del 2016 se piensa que estas centrales de gran capacidad, participen con más de 90% en la generación de electricidad, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y eliminando además la demanda de interconexión con los países vecinos [7].

La obtención de energía hidroeléctrica se basa en la construcción de represas, de esta manera se aprovecha la energía que se genera con la caída del agua. Al caer el agua, pasa por turbinas a gran velocidad, generando energía mecánica que posteriormente es dirigida a transformadores que se encargan de convertirla en energía eléctrica. Actualmente la producción de energía hidroeléctrica es considerada como uno de los procesos más eficientes y menos contaminantes [8].

Los proyectos de energía hidroeléctrica pueden radicar en presas con embalses, proyectos a lo largo de un río o en mitad de la corriente. Esto permite que la energía hidroeléctrica responda a las necesidades urbanas centralizadas y en gran escala, pero también a las necesidades rurales descentralizadas. Los proyectos de energía hidroeléctrica explotan un recurso que varía a lo largo del tiempo. Sin embargo, la producción controlable generada en embalses por las centrales hidroeléctricas consiente en cubrir los picos de la demanda eléctrica, y ayuda a equilibrar otros sistemas de electricidad cuya producción de energía renovable es muy variable. El manejo de los embalses de energía hidroeléctrica presenta varios usos como de agua potable, riego, control de crecidas y sequías, navegación, o suministro de energía, entre otros [9].

Esta energía presenta varias ventajas debido que es un recurso renovable y tiene una vida útil muy larga, un bajo costo operativo y resulta predecible su capacidad de generación [10].

El Gobierno ecuatoriano ha avanzado con nueve proyectos para brindar un cambio en la matriz energética para compensar la necesidad de la demanda energética del país dentro de los cuales establece Coca Codo Sinclair, Delsitanisagua, Mandariacu, Mazar Dudas, Minas San Francisco, Quijos, Sopladora, Toachi Pilatón, Villonaco [11].

Las características generales de los sistemas de riego en la Provincia de Tungurahua no permiten en la actualidad elevar la eficiencia global de manera significativa, se debe a que los sistemas de canales abiertos, la mayoría se encuentra sin revestimiento, con mecanismos de control manual y métodos de riego por gravedad. Estos sistemas trabajan con eficiencias

muy bajas, entre el 15% y 30 %. En los sistemas pequeños, con líneas de conducción cortas, con entrega continua de agua que pueden llegar a tener eficiencias totales del orden del 25% al 30%, mientras que hay sistemas grandes, con canales revestidos, como el Ambato – Huachi - Pelileo en que la eficiencia total apenas llega al 15%. Esto indica que la eficiencia total del sistema no depende tanto de la eficiencia de la conducción, y del revestimiento, ya que hay otros factores que la afectan como el regadío en el terreno, el sistema de turnos o el caudal del módulo de riego y la organización social [12].

Este proyecto tiene como objetivo determinar las características hidráulicas de un tramo del Canal de Riego Ambato Huachi Pelileo y la determinación del potencial electro-energético, en función de los caudales relativamente constantes del sistema. Como parte de la investigación planteada los datos servirán para el estudio de generadores hidroeléctricos de baja potencia y caudal, que podrán ser instalados en varios puntos consecutivos a lo largo del canal de riego y generar energía eléctrica para poblaciones, familias e iluminación pública cercana. Con esta metodología, no se afecta ninguna forma de medio ambiente, pues el agua no se estanca, sino que se aprovecha el agua que fluye todo el tiempo por los canales de riego.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Caracterizar el comportamiento hidráulico del Óvalo 10 al 13 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Ambato, 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.

CAPÍTULO 2. Fundamentación

2.1. Fundamentación Teórica

2.1.1. Hidráulica

Es la rama de la Física que estudia las propiedades mecánicas, el comportamiento de los fluidos en reposo o en movimiento, cuando las leyes o principios de la hidromecánica se aplica al estudio del flujo de agua en estructuras que relaciona directamente al ingeniero civil surge la hidráulica.

Esta disciplina resuelve problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bombas y turbinas [13] [14] [15].

2.1.2. Distribución de las velocidades

En un canal debido que se encuentran con presencia de la superficie libre y fricción a lo largo de las paredes, las velocidades no están uniformemente distribuidas en su sección. La distribución de las velocidades considera dos secciones:

Sección transversal: La resistencia ofrecida por las paredes y por el fondo del canal, reduce la velocidad. En la superficie libre, la resistencia ofrecida por la atmósfera y por el viento tiene muy poco efecto. La velocidad máxima medida en canales se encontrará aproximadamente en la vertical 1 central, por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad como se muestra en la figura 2 [16] [17].

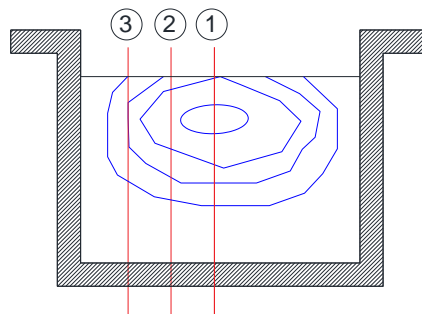


Figura 2. Sección Transversal

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Sección longitudinal: En la Figura 3 se muestra la variación de la velocidad en las verticales 1, 2 y 3. Considerando la velocidad media en determinada sección igual a 1.0, se puede trazar el diagrama de variación de la velocidad con la profundidad como muestra la figura 4 [17].

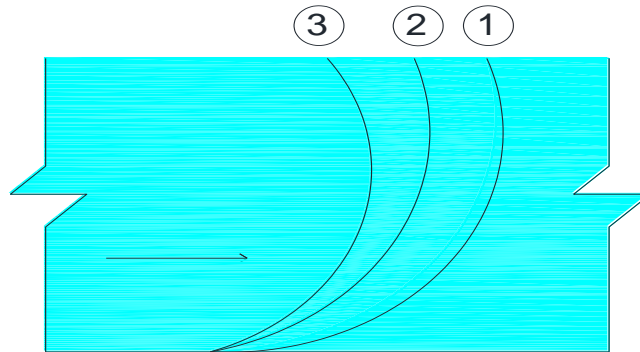


Figura 3. Sección Longitudinal, variación de velocidades en las verticales 1,2,3

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

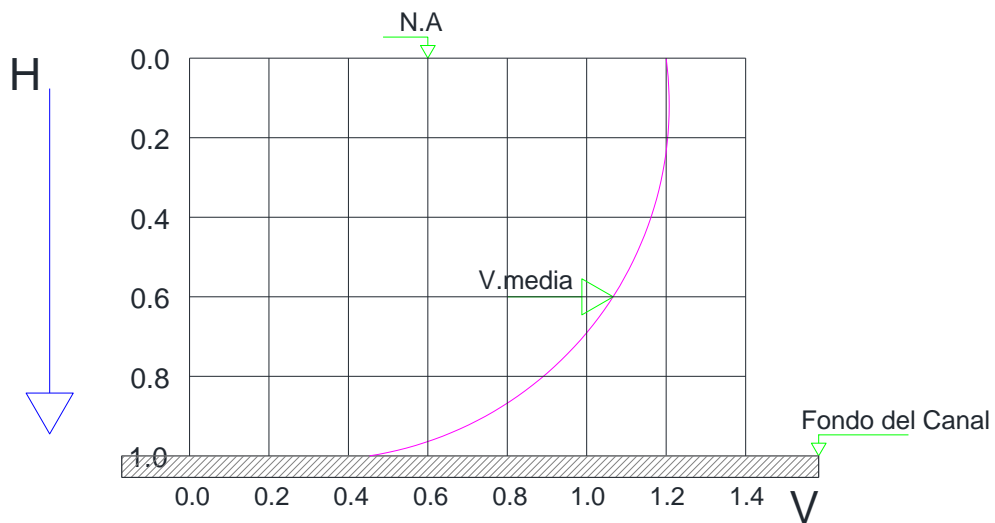


Figura 4. Variación de la Velocidad con la profundidad

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Los modelos generales para la distribución de velocidades en diferentes secciones de canal se muestran en la Figura 5.

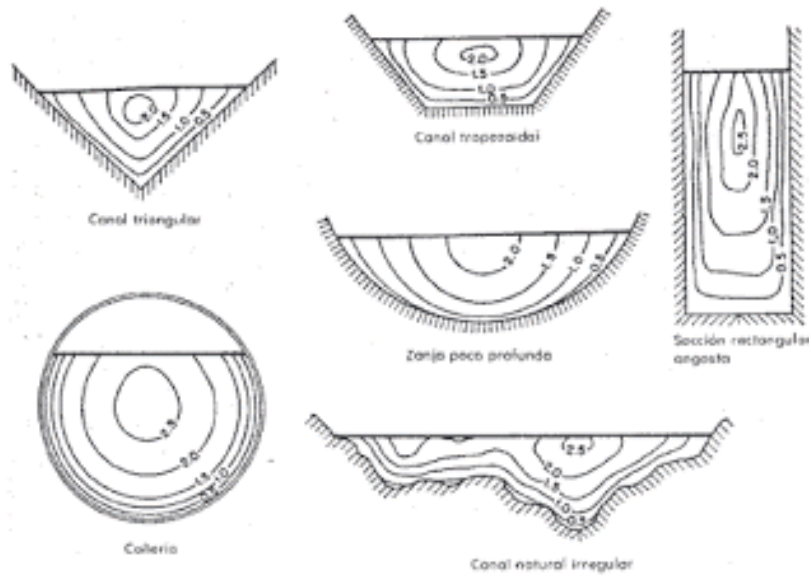


Figura 5. Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones del canal

Fuente: V. Chow, *Hidráulica de los Canales Abiertos* [16]

En la figura 6 se muestra la distribución de velocidades para varias secciones horizontales y verticales en un canal con sección rectangular y las curvas de igual velocidad de la sección transversal.

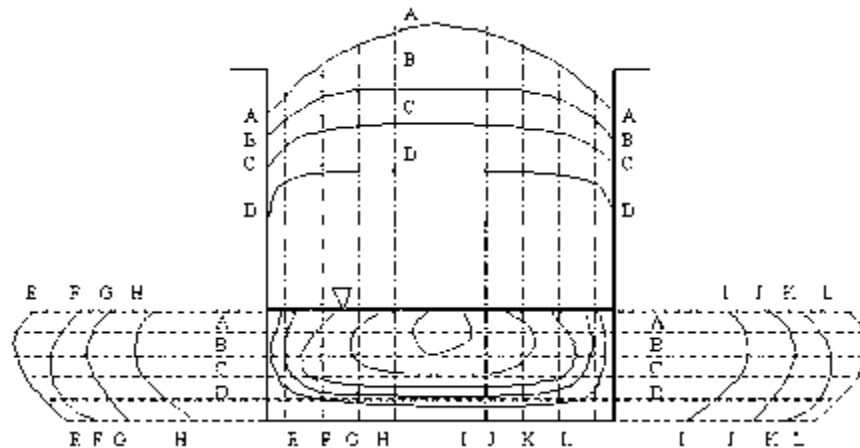


Figura 6. Distribución de Velocidades en un canal rectangular

Fuente: V. Chow, *Hidráulica de los Canales Abiertos* [16]

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, entre ellos la forma inusual de la sección, la rugosidad, la presencia de curvas a lo largo del canal, etc. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo [16].

Las secciones típicas en el diseño de canales artificiales son: rectangular, trapecial, triangular y circular, mostrándose en la figura 7.

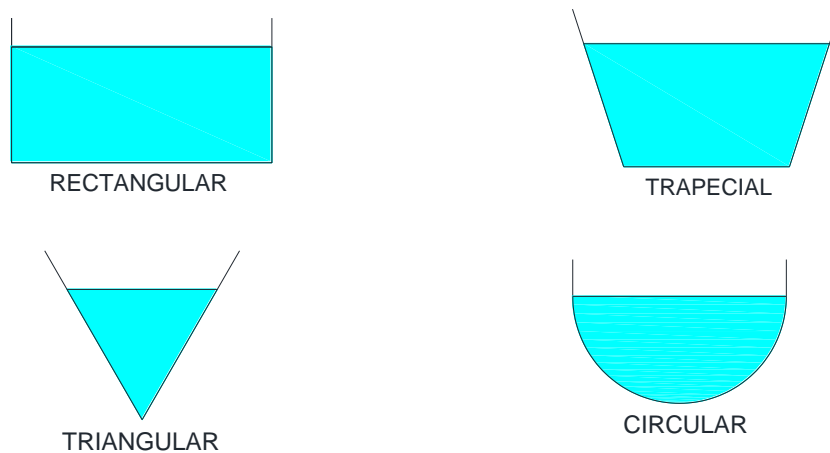


Figura 7. Secciones básicas en canales

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Los canales rectangulares generalmente son utilizados para pequeños caudales con una pendiente lateral igual a 90° , y los trapeciales son una forma más eficiente debido a que proporciona un área de flujo mayor en relación con el perímetro mojado, este tipo de canal es eficiente para caudales relativamente importantes. La sección semicircular ha sido muy utilizada generalmente usando piezas prefabricadas. Los canales triangulares suelen ser canales sencillos con un ancho de fondo cero, las zanjas comunes se realizan con esta forma [18].

2.1.3. Régimen de Flujo

Las conducciones abiertas pueden ser naturales (ríos) o artificiales (canales). A la superficie del fondo del canal se le denomina solera y a las paredes, laterales o cajeros. El calado es la

altura de agua en un canal. El resguardo es la distancia en los laterales desde la lámina libre del agua para evitar reboses, como se muestra en la figura 8 [19].

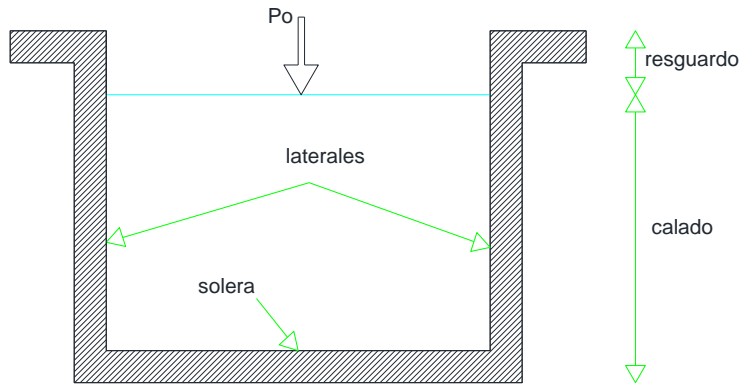


Figura 8. Elementos geométricos de un canal

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Las características del flujo en un canal pueden variar con el tiempo y con el espacio. Desde el punto de vista del tiempo, el flujo puede ser permanente (caudal y calado, constantes) o no permanente [16] [18].

Flujo permanente. - En una sección del canal permanecen constantes con respecto al tiempo las características hidráulicas del flujo (caudal, velocidad media, tirante, etc), como en la figura 9.

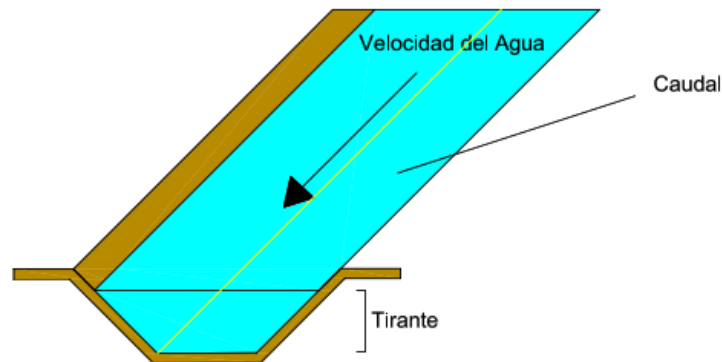


Figura 9. Régimen de flujo de un canal - Flujo Permanente

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Se simboliza

$$\frac{\partial y, \partial v, \partial Q}{\partial t} = 0 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

∂y = Variación de tirante

∂v = Variación de velocidad

∂Q = Variación de caudal

∂t = Variación de tiempo

Flujo no permanente. - En una sección del canal no permanecen constantes con respecto al tiempo las características hidráulicas del flujo (caudal, velocidad media, tirante, etc), como en la figura 10 [20].

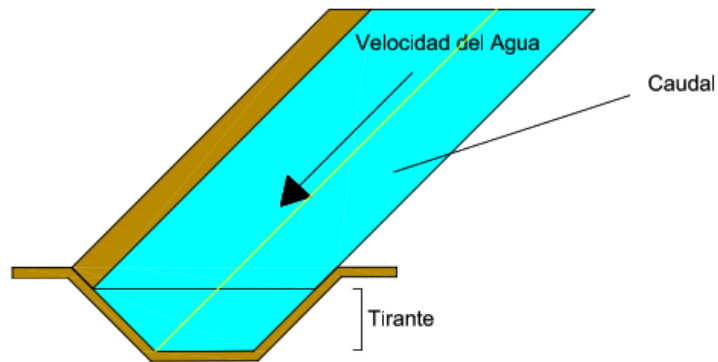


Figura 10. Régimen de flujo de un canal - Flujo no Permanente

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Se simboliza

$$\frac{\partial y, \partial v, \partial Q}{\partial t} \neq 0 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

∂y = Variación de tirante

∂v = Variación de velocidad

∂y = Variación de caudal

∂t = Variación de tiempo

Desde el punto de vista del espacio, el flujo puede ser uniforme o variado.

Flujo uniforme. - A lo largo del canal permanecen constantes las características hidráulicas del flujo (caudal, velocidad media, tirante, etc), como en la figura 11.

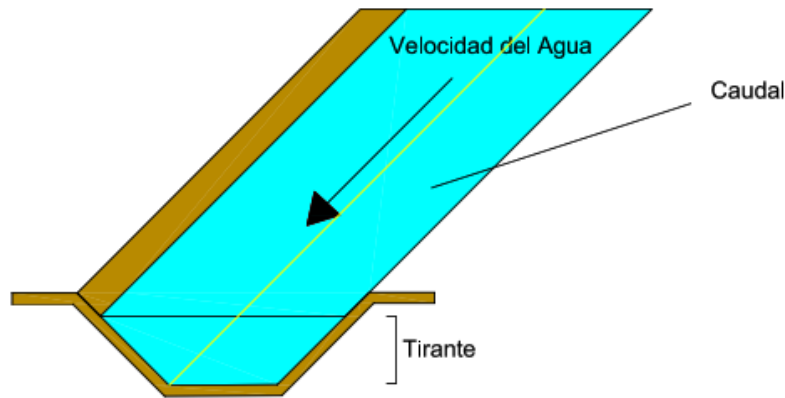


Figura 11. Régimen de flujo de un canal - Flujo Uniforme

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Se simboliza

$$\frac{\partial y, \partial v, \partial Q}{\partial s} = 0 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

∂y = Variación de tirante

∂v = Variación de velocidad

∂y = Variación de caudal

∂s = Variación de espacio

Flujo Variado. - A lo largo del canal no permanecen constantes las características hidráulicas del flujo (caudal, velocidad media, tirante, etc), como en la figura 12 [21].

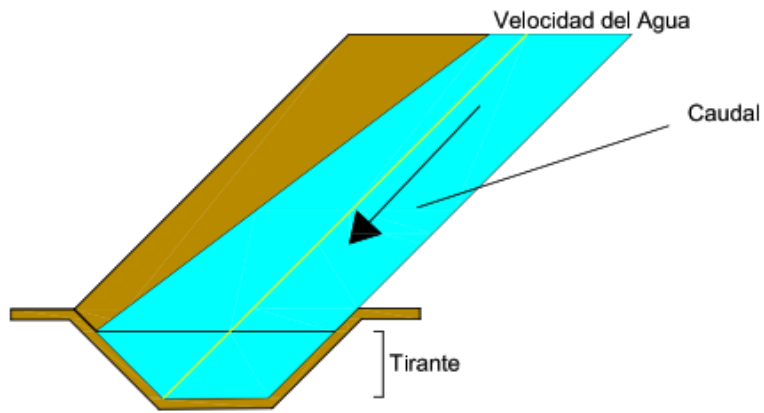


Figura 12. Régimen de flujo de un canal - Flujo Variado

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Se simboliza

$$\frac{\partial y, \partial v, \partial Q}{\partial s} \neq 0 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

∂y = Variación de tirante

∂v = Variación de velocidad

∂Q = Variación de caudal

∂s = Variación de espacio

La modelación física y numérica son una herramienta para la optimización de diseños hidráulicos. En donde la modelación física es una representación a escala permitiendo determinar diferentes características físicas y mecánicas haciendo referencia al prototipo real, mientras que el modelo numérico es una representación que utiliza un conjunto de comandos en base a fórmulas matemáticas para poder simular intangiblemente el comportamiento de una materia [22] [23].

2.1.4. Dimensionalidad de Modelos Numéricos

Los modelos números se desarrollaron para solucionar problemas de flujo de agua. Hoy en día estos modelos tienen la capacidad de solventar fenómenos con un sin número de condiciones de flujo similar, agregando patrones para resolver transporte de sedimentos, dispersión de contaminantes, calidad de agua e inclusive modelación de hábitat de animales acuáticos.

2.1.4.1. Modelos Unidimensionales (1D)

Los modelos unidimensionales establecen que una de las dimensiones, la longitud a lo largo del eje del río o canal predomina sobre las otras dos. Mediante secciones transversales se ingresa la información topográfica e hidráulica, para que se calcule el tirante y la velocidad promedio en toda la sección transversal, sin considerar las variaciones en la distribución tanto horizontal como vertical asumiendo por defecto que el flujo es perpendicular a la sección transversal.

Estos modelos son aplicables en tramos de ríos y canales muy largos como se muestra en la figura 13, siendo su principal objetivo determinar el máximo nivel de agua.

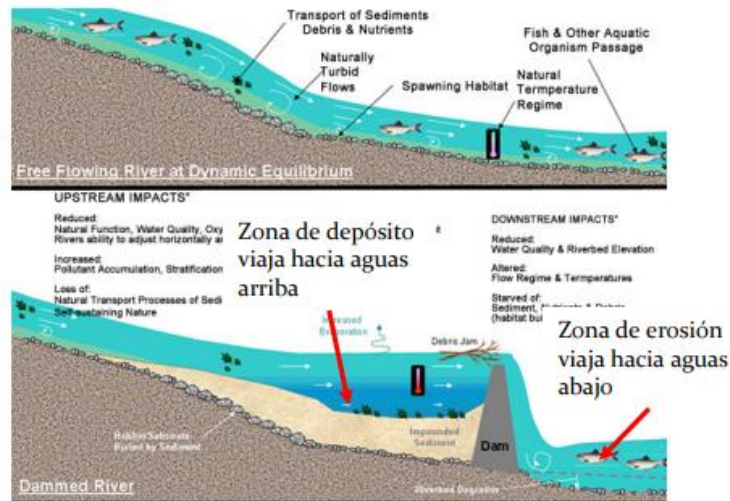


Figura 13. Modelo Unidimensional de un río

Fuente: A. Mendoza, “Modelación física y numérica del flujo en ríos” [25].

2.1.4.1. Modelos Bidimensionales (2D)

Los modelos bidimensionales toman en cuenta dos dimensiones del plano horizontal. Considerando las variaciones de la velocidad u otra magnitud en la columna vertical de agua los cuales se promedian y se asumen como un único valor.

Los modelos bidimensionales son útiles en flujos muy extendidos como estuarios o lagos como se muestra en la figura 14, donde la variación vertical de velocidad es pequeña.

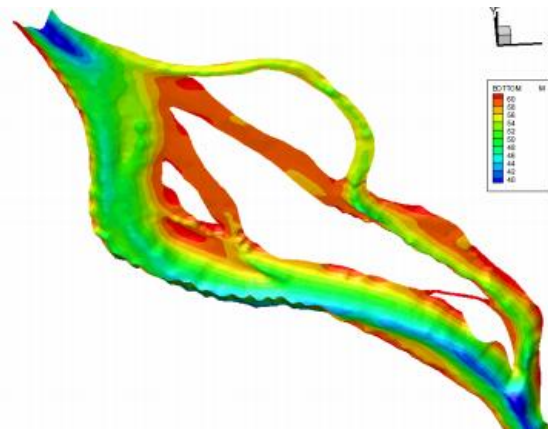


Figura 14. Modelo bidimensional de un lago

Fuente: A. Mendoza, “Modelación física y numérica del flujo en ríos” [25].

2.1.4.1. Modelos Tridimensionales (3D)

Los modelos tridimensionales constituyen el estado más avanzado de la modelación permitiendo calcular las tres componentes espaciales de la velocidad como se muestra en la figura 14, y por tanto aplicables a cualquier caso práctico [24].

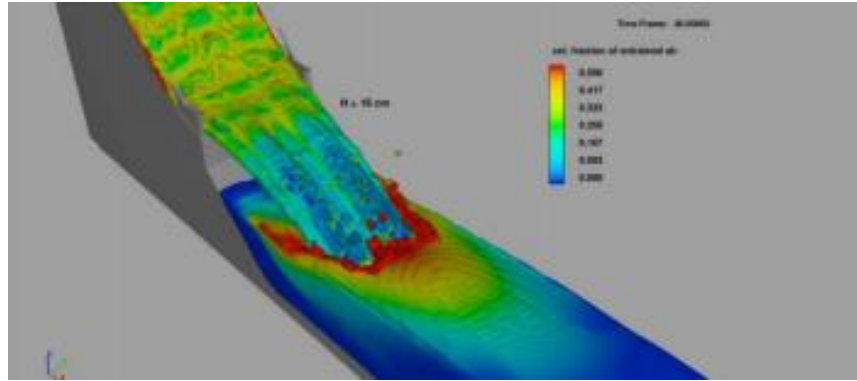


Figura 15. Modelo Tridimensional

Fuente: A. Mendoza, “Modelación física y numérica del flujo en ríos” [25].

2.1.5. Ecuación de Conservación de Energía

La ecuación de la Conservación de Energía se determina como la suma de su elevación z desde un punto de referencia, y es el tirante, la carga de presión $p/g\rho$, y la energía cinética $V^2/2g$, donde V es la velocidad local.

En un canal la energía de un punto cualquiera está dada por:

$$H = z + y \cos \theta + \frac{p}{g\rho} + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

Z = elevación del fondo del canal

H = se conoce como carga total

θ = corresponde al ángulo de inclinación del fondo de la sección

α = es el coeficiente de Coriolis para considerar el efecto de la distribución irregular de la velocidad en la sección.

Debido a la presencia de la superficie libre y la acción de la presión atmosférica $p_a = 0$, en caso de que el ángulo θ sea pequeño, se cumple que $\cos \theta \approx 1$ (solo para $\theta \leq 8^\circ$). Si además $\alpha = 1$, la ecuación de Bernoulli queda establecida de la forma [26]:

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

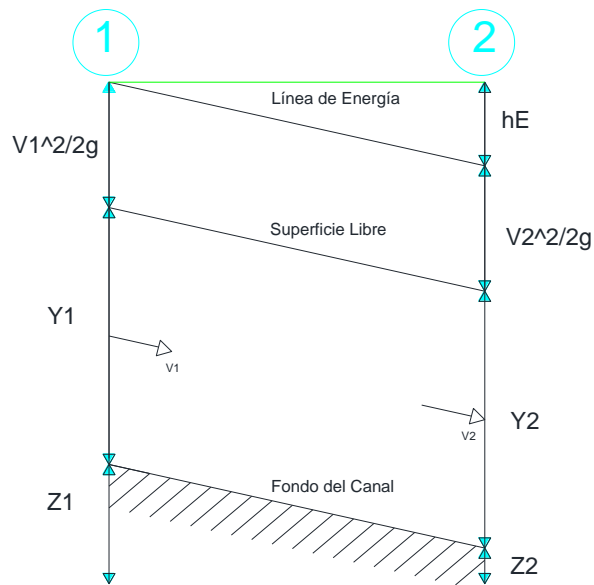


Figura 16. Interpretación de la ecuación de energía

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

De acuerdo a la figura 16, la expresión del principio de energía se establece en la forma:

$$\frac{d}{dx} \left(z + y + \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{dh_E}{dx} \quad (Ec. 6)$$

La integración de la ecuación anterior, entre dos secciones 1 y 2 del volumen de control, se obtiene la ecuación de energía:

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_E \quad (Ec. 7)$$

Donde

h_E = Pérdida de la energía, que ocurre de la sección 1 a la 2.

z = Elevación del fondo del canal

V = Velocidad

y = Tirante

g = Gravedad

2.1.5.1. Pérdidas de Energía

Las pérdidas de energía de las contracciones o también llamados estrechamientos, son apreciablemente más pequeñas que en los ensanchamientos o expansiones, como se representa en la figura 17. La pérdida de energía que dependen de la forma de contorno.

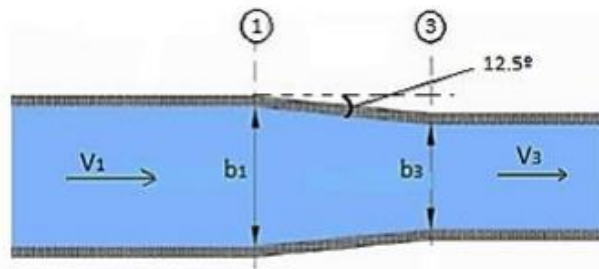


Figura 17. Contracción en un canal con ángulo de convergencia

Fuente: M. Jarrín, "Bases para el Diseño Hidráulico de Transiciones en Flujo Subcrítico y Supercrítico"[27].

La formación de ondas en la transición modifica las características de flujo a lo largo de la estructura. Si la reducción de la sección transversal es siempre gradual y suave no se espera que se presenten ondas.

2.1.5.2. Pérdida por expansión

La pérdida de energía se aprecia en ensanchamientos o expansiones, donde se puede reducir considerablemente si la expansión se realiza de manera gradual, disminuyendo el ángulo de divergencia como se muestra en la figura 18. Sin embargo, la longitud de la expansión gradual tiene un límite a partir del cual el aumento en eficiencia llega a ser insignificante.

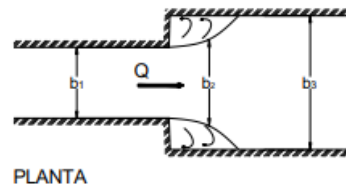


Figura 18. Expansión brusca en un canal

Fuente: M. Jarrín, “Bases para el Diseño Hidráulico de Transiciones en Flujo Subcrítico y Supercrítico” [27].

2.1.5.3. Pérdida por fricción

Por la aplicación de las ecuaciones de continuidad, energía e impulso y cantidad de movimiento, es factible determinar la magnitud de la pérdida de energía h_c que se produce por efecto del cambio de sección y cambio de pendiente. En estos casos, la pérdida de energía se compone de la pérdida por fricción h_f y la pérdida por convención h_c . La pérdida de fricción puede estimarse por medio de la fórmula de Manning; usualmente tiene poco efecto y puede ignorarse en un diseño preliminar. La pérdida por convención se debe al cambio de velocidad en la transición y es más importante que la de fricción.

2.1.6. Ecuación de Cantidad de Movimiento

La ecuación de la cantidad de movimiento para dos secciones 1 y 2 de un flujo unidimensional permanente e incompresible resulta:

$$\vec{F}_p + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_c = \rho[Q\beta\vec{V}]_2 - \rho[Q\beta\vec{V}]_1 \quad (Ec. 8)$$

Donde:

\vec{F}_p = fuerza resultante debido a las presiones, en Kg.

\vec{F}_σ = fuerza resultante debido a la acción del esfuerzo cortante generado sobre las paredes del canal, en Kg.

\vec{F}_c = fuerza de cuerpo debida al peso propio, en Kg. 9

Q = Caudal en la sección, en m³ /seg.

\vec{V} = vector de velocidad media en la sección, en m/seg.

β = coeficiente de Boussinesq para corregir el efecto de la distribución irregular de las presiones en la sección.

Las fuerzas $\vec{F}_p, \vec{F}_\sigma$ son las acciones que desde el exterior se aplican al volumen de control limitado por las secciones 1 y 2 y las paredes del canal [27].

2.1.7. Ecuación de conservación de la masa

La ecuación es una consecuencia del principio de conservación de la masa aplicada a los fluidos en movimiento, la cual plantea que la cantidad de fluido que entra por la sección de un conducto es igual a la cantidad de fluido que sale por la otra sección, como en la figura 19, siempre y cuando no existan aportes o fugas, es decir, que el flujo sea permanente.

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (\text{Ec. 9})$$

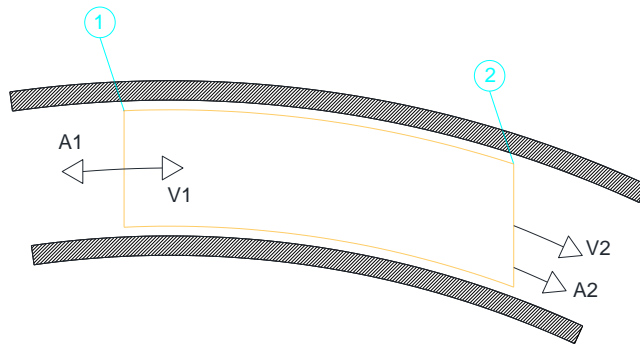


Figura 19. Superficie de Control

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Como el líquido que circula en el conducto es el mismo, entonces su densidad es constante y, por lo tanto, la ecuación anterior se simplifica de la siguiente manera:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (\text{Ec. 10})$$

El resultado del producto del área por la velocidad se le llama gasto, el cual se denota con la letra Q.

$$Q = VA \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

Q = Gasto, caudal o descarga (m³ /s)

V = Velocidad

A = Área

2.1.8. Ecuación de continuidad:

La ecuación de continuidad tiene en cuenta un balance de masa sobre un volumen de control. En forma conservativa puede escribirse en términos de:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (\text{Ec. 12})$$

O de manera no conservativa en términos de la velocidad media longitudinal y la profundidad [28]:

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde

Q = Caudal

A = Área

y = Profundidad

V = Velocidad media longitudinal

2.1.9. Ecuación de momentum:

La ecuación de momentum surge al igualar las fuerzas externas aplicadas al volumen de control como la gravedad, la presión, la fricción, el viento, entre otras. En forma conservativa puede escribirse esta ecuación:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (\text{Ec. 14})$$

O de manera no conservativa en términos de la velocidad media longitudinal así [27] [28]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde

Q = Caudal

A = Área

y = Profundidad

So = Pendiente del canal

Sf = Pendiente de fricción

g = Gravedad

V = Velocidad media longitudinal

2.1.10. Ecuación de Saint Venant

Las ecuaciones de Saint-Venant son un conjunto de ecuaciones diferenciales, que modelan los cambios de caudal y nivel de un líquido a lo largo del espacio y el tiempo de manera no permanente.

La solución de las ecuaciones de Saint Venant ha sido implementada en varias aplicaciones de software comunes usualmente a través de métodos numéricos y en particular por diferencias finitas como el programa HEC-RAS (Versión 5.0.5) [29] [30].

Ecuación de Saint Venant 1D

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad Ec. (16)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{Q}{A} q = gA[So - Sf] \quad (Ec. 17)$$

Ecuación de Saint Venant 2D

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad Ec. (18)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh(S_{ox} - S_{fx}) \quad (Ec. 19)$$

Donde

Q = Caudal

A = Área

So = Pendiente del canal

Sf = Pendiente de fricción

g = Gravedad

2.1.11. Coeficiente de Manning

El valor de la n de Manning es muy variable y depende de un número de factores que incluyen: rugosidad de la superficie, vegetación, irregularidades de canal, alineación de canales, sedimentación y erosión, obstrucciones, tamaño y forma del canal, cambios estacionales, temperatura, material suspendido y carga [31].

Tabla 1. Coeficientes de Manning (n)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen con superficie libre			
1. No metales			
a) Cemento			
Liso	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
b) Concreto			
Alcantarillado recto y libre de escombros	0.010	0.011	0.013
Alcantarillado con curvas conexiones y algunos escombros	0.011	0.013	0.014
Acabados	0.011	0.012	0.014
Drenajes rectos con ventanas de inspección, entradas, etc	0.013	0.015	0.017
No acabados, en cimbra de acero	0.012	0.013	0.014
No acabados, en cimbra de madera lisa	0.012	0.014	0.016
No acabados, en cimbra de madera bruta	0.015	0.017	0.020

c) Madera			
Duela	0.010	0.012	0.014
Laminada tratada	0.015	0.017	0.020
d) Mampostería			
Barnizada o Lacada	0.011	0.013	0.015
Acabados con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
Acabado de cemento rugoso o mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030
B. Canales revestidos			
1. No metales			
a) Cemento			
Superficie libre	0.010	0.011	0.013
En mortero	0.011	0.013	0.015
b) Madera			
Cepillada, plana, no tratada	0.010	0.012	0.014
Cepillada, plana, creosotada	0.011	0.012	0.015
Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
Tablones y tejamanil	0.012	0.015	0.018
Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c) Concreto			
Acabado con llana metálica	0.011	0.013	0.015
Acabado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
Acabado con grava en el fondo	0.015	0.017	0.020
Sin pulir	0.014	0.017	0.020
Lanzado (gunitado), buena sección	0.016	0.019	0.023
Lanzado (gunitado), sección ondular	0.018	0.022	0.025
Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
Sobre roca excavada irregular	0.022	0.027	
d) Fondo de concreto acabado con llana de madera y con taludes de:			

Mampostería cuidada, sobre mortero	0.015	0.017	0.020
Mampostería burda, sobre mortero	0.017	0.20	0.024
Mampostería junteada y recubierta con mortero	0.016	0.020	0.024
Mampostería junteada con mortero	0.20	0.025	0.30
Piedra suelta a volteo	0.020	0.030	0.035
e) Fondo de grava con lados de:			
Concreto cimbrado	0.017	0.020	0.024
Mampostería sobre mortero	0.020	0.023	0.026
Piedra suelta a volteo	0.023	0.033	0.036
f) Ladrillo			
Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
Con mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g) Mampostería			
Junteada con mortero	0.017	0.025	0.030
Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h) Piedra labrada			
0.013	0.015	0.017	
i) Asfalto			
Liso	0.013	0.013	
Rugoso	0.016	0.016	
j) Cubierta vegetal			
0.030		0.5	
C. Canales excavados o dragados			
a) En tierra recto y uniforme			
Limpio y recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
Limpio, después de intemperizado	0.018	0.022	0.025
Con grava sección uniforme y limpia	0.022	0.025	0.030
Con pastos cortos y alguna maleza	0.022	0.027	0.033
b) En tierra, con curvas y régimen lento			
Sin vegetación	0.023	0.025	0.030

Pasto y algo de hierba	0.025	0.030	0.033
Maleza densa o plantas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
Fondo de tierra y mampostería o piedra en los lados	0.028	0.030	0.035
Fondo pedregoso y maleza en los bordos	0.025	0.035	0.040
Fondos con cantos rodados y lados limpios	0.30	0.40	0.50
c) Excavados o dragados en línea recta			
Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
Pocos arbustos en los bordos	0.035	0.050	0.060
d) Cortes en roca			
Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e) Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
Maleza densa, tan alta como la profundidad del flujo	0.050	0.080	0.120
Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
Igual al anterior, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
Matorrales densos, altos niveles de escurrimiento	0.080	0.100	0.140

Fuente: V. Chow, "Hidráulica de los Canales Abiertos" [16]

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

2.1.12. Método de aforo para canales

La velocidad media del agua en una corriente se obtiene de los coeficientes de los aforos con el molinete, depende de varios factores como son las características de la sección transversal del canal, rozamiento, viscosidad, tensión superficial y alineación de la corriente.

Las siguientes reglas prácticas se determinaron a partir de mediciones experimentales de la distribución de velocidades en la vertical de la corriente.

- La velocidad máxima se presenta entre el 5% y 25% de la profundidad del agua del canal.
- La velocidad media en una vertical de una cal se encuentra a los 0.6 de la profundidad del agua del canal.
- La velocidad media en una vertical del canal es la media aritmética entre las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad de agua del canal.

En una sección se requiere conocer el área hidráulica de la sección transversal la misma que está limitada en la parte superior por la superficie del agua que es horizontal habitualmente, por las paredes del cauce y por el fondo. La separación de las mediciones dependerá del ancho de la corriente como se establece en la siguiente tabla.

Tabla 2. Separación de las mediciones según el ancho de la corriente

Ancho de la corriente (m)	Espaciamiento (m)
hasta 1.2	0.2 – 0.3
1.2 – 5.0	0.3 – 0.5
5.0 – 10	0.5 – 1.0
10 – 50	1.0 – 5.0
50 – 100	5.0 – 10.0
más de 100	10.0 – 20.0

Fuente: “Manual de Aforos”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [29].

El molinete está formado por dos partes: una la hélice con aspas o copas que el agua en movimiento hace girar permitiendo contar el número de vueltas que da la hélice en intervalo tiempo definido.

El caudal que pasa por la sección transversal de la corriente se obtiene mediante el molinete, divide la sección transversal en franjas verticales, debido a que la velocidad media en una corriente no es uniforme, con el fin de mediar el área de cada franja (a_1) y velocidad media (V_1), el producto de estos dos proporciona un caudal parcial (q_1) de la sección trasversal.

$$Q = \sum_{i=1}^n a_1 * V_1 = \sum_{i=1}^n q_1 \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

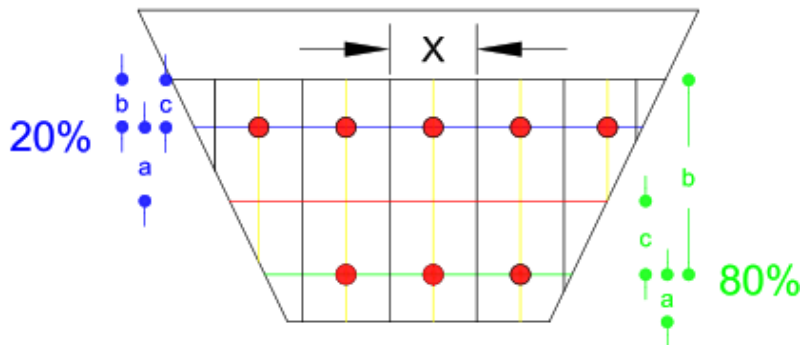
Q = Caudal total (m^3/s)

a_1 = Área de la franja (m^2)

V_1 = Velocidad media en la franja (m/s)

q_1 = Caudal en la franja ($i = 1, 2, 3, \dots, n$ franjas) (m^3/s)

El área de las franjas resulta el producto de la anchura de la franja en metros, que se obtiene restando el límite final el inicial, antes y después de la distancia al origen correspondiente al aforo; y la profundidad media en la franja siguiendo la esquematización de la figura 20 y la expresión:



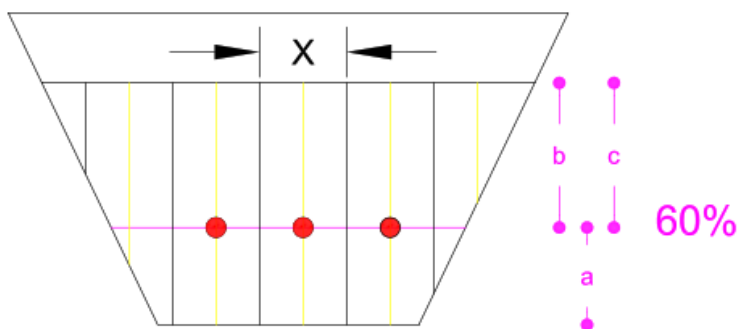


Figura 20. Esquemización para la profundidad media de la franja

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

$$a_1 = x * Pm \quad (Ec. 21)$$

$$Pm = \frac{a + 2b + c}{4} \quad (Ec. 22)$$

Donde:

a_1 = Área de la franja (m²)

x = anchura de la franja (m)

Pm = Profundidad media en la franja (m)

a = Profundidad límite inferior (m).

b = Profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo (m).

c = Profundidad límite superior (m).

El caudal parcial o caudal que pasa a través de la franja se obtiene multiplicando la velocidad media en la franja (m/s) que se consigue según el método, si el método es de 0.6 de la profundidad del agua del canal que se tiene una sola medición, si es el método de 0.2 y 0.8 de la profundidad del agua del canal será el resultado del promedio de las dos velocidades [32].

2.2. Variables Independiente y Dependiente.

2.2.1. Variable Independiente

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

2.2.2. Variable Dependiente

Caracterización hidráulica del canal de riego

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis Nula

Las características físicas del canal de riego Ambato Huachi - Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 10 al óvalo 13, del cantón Ambato, provincia de Tungurahua no influyen en el comportamiento hidráulico del canal evaluado mediante un modelo numérico.

2.3.2. Hipótesis Alterna

Las características físicas del canal de riego Ambato Huachi - Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 10 al óvalo 13, del cantón Ambato, provincia de Tungurahua influyen en el comportamiento hidráulico del canal evaluado mediante un modelo numérico.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Tipos de Investigación

Las modalidades de investigación aplicadas para el siguiente proyecto serán las siguientes:

Investigación Descriptiva

Permitirá determinar las propiedades y características hidráulicas del canal abierto mediante un análisis basándose en la investigación sintetizada del marco teórico en el mismo que establece ecuaciones y fórmulas con el fin de estudiar el comportamiento del canal.

Investigación Correlacional

Los datos tomados in situ tanto de caudales como velocidades buscan una relación con un modelo matemático ejecutado con el software HEC-RAS (Versión 5.0.5) que permitirá un análisis de las propiedades hidráulicas del canal.

Investigación Explicativa

La importancia de conocer las características del canal tanto físicas como la pendiente longitudinal y las características hidráulicas como la velocidad, el caudal y elementos geométricos.

Investigación Experimental

La información recolectada en campo junto con la modelación numérica en el software HEC-RAS (Versión 5.0.5) nos permitirá conocer el comportamiento y las características del canal.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población del proyecto para la caracterización hidráulica y los datos tomados in situ está conformada por los 27 km del canal Huachi - Pelileo, pertenecientes a los cantones Ambato, Cevallos y Pelileo.

3.2.2. Muestra

La muestra del proyecto se basa en el método denominado “**Muestreo No Probabilístico Por Juicio De Expertos o Discrecional**”, donde el investigador selecciona la muestra de la población en base al conocimiento, creatividad y juicio [33].

Dentro de la población existente, se ha seleccionado una muestra del 10% de la población existente en cada sector, es decir 2.7 km correspondientes al cantón Ambato; se ha determinado este porcentaje debido a los siguientes criterios:

- El proyecto experimental “Estudio y caracterización Hidráulica del Óvalo 10 al 13 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua”.
- Longitud total del canal está integrada por 27 km, según datos proporcionados por junta parroquial; por lo cual el estudio se ha dividido en 7 subproyectos que conforman el macroproyecto.
- Cada subproyecto se enfoca en un sector en particular.
- El propósito de cada subproyecto es abarcar una muestra representativa; esto corresponde al 10%, es decir 2.7 km.
- Distribuyendo los 27 km entre 7 subproyectos, cada uno de ellos contemplará 2.7 km.
- De tal forma que el siguiente proyecto con el tema “Estudio y Caracterización Hidráulica del Óvalo 10 al 13 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua” considerará 2.7 km.

3.3. Plan de Muestreo

El muestreo se ejecutará con la ayuda de un molinete y un panel digital que permite medir las velocidades del flujo del canal en diferentes posiciones tanto en sentido horizontal como vertical en la sección transversal de los puntos a cada 500 metros del canal.

Tabla 3. Matriz de recolección de datos

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD							
Realizado por:				Ubicación			
Fecha:				Norte:			
Tramo:				Este:			
Abscisa:				Cota:			
ANCHO DEL CANAL (X)							
CALADO (Y)	VELOCIDAD						
20% Y =							
PROMEDIO							
60% Y =							
PROMEDIO							
80% Y =							
PROMEDIO							

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

3.4. Operacionalización de Variables

3.4.1. Variable Independiente

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

Tabla 4. Operacionalización de la Variable Independiente

Concepto	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica e Instrumentos
El conocimiento empírico del funcionamiento de los canales determinando la topografía, las propiedades hidráulicas de la sección transversal y las velocidades medidas in situ. [34]	Topografía	<ul style="list-style-type: none"> • Sección transversal del canal • Pendiente longitudinal 	¿Cuál es la variación de la sección transversal y la pendiente longitudinal del canal?	<ul style="list-style-type: none"> • Estación total • Computadora
	Medición in situ	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad horizontal y vertical • Caudal • Coeficiente de Manning 	¿Cuál es el comportamiento hidráulico del canal en base a la velocidad, caudal y coeficiente de Mannig ?	<ul style="list-style-type: none"> • Molinete • Equipo de medición <i>in situ</i> • Computadora

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

3.4.2. Variable Dependiente

- Caracterización hidráulica del canal de riego

Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente

Concepto	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica e Instrumentos
Evaluar el desarrollo del proyecto mediante la caracterización experimental del canal basándose en la sección transversal del canal junto con la modelación numérica. [35]	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?	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación visual • Uso de Auto Cad Civil 3D
	Modelación Numérica	Simulación completa con datos reales en HEC-RAS (Versión 5.0.5)	¿Cuáles con las diferencias y las similitudes entre la modelación física y la matemática?	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora • Software HEC-RAS (Versión 5.0.5)

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

3.5. Plan de Recolección de Información

Tabla 6. Plan de recolección de información

Preguntas	Explicación
1. ¿Qué datos se requieren tomar?	Los datos de la sección del canal junto con los valores encontrados de velocidad y caudal permiten una estimación de los elementos geométricos del tramo del canal.
2. ¿Para qué?	Caracterizar el comportamiento hidráulico del Óvalo 10 al 13 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.
3. ¿De qué objetos?	La población del proyecto será del Óvalo 10 al 13 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.
4. ¿Dónde?	Se ejecutará en el Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.
5. ¿En qué consiste la toma de datos?	Los datos se tomará 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"> • Estudios previos • Verificación visual • Estación total • Computadora • Molinete- Equipo de medición <i>in situ</i> • Uso de AutoCad Civil 3D • Software HEC-RAS (Versión 5.0.5)

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

3.6. Plan de Procesamiento y Análisis

3.6.1. Plan de Procesamiento

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

- 1) Realización del levantamiento topográfico se obtendrá datos respecto a la sección del canal, detalles de los costados y pendiente longitudinal los mismos que se lo hará con ayuda de los equipos topográficos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Civil los cuales se nombran a continuación: estación total TRIMBLE M3, prismas, GPS, flexómetro, GNSS R10.
- 2) Recolección de datos con el molinete que es un transmisor de caudal de líquidos, serie DMM-4000/PFT el cual permite la medición de caudales y velocidades de los puntos determinados a cada 500 metros con la revisión de un plano abscisado y una matriz para tomar los datos leídos en campo, donde en cada punto se toma en la sección transversal del canal, en sentido horizontal a cada 30cm o 40cm y en sentido vertical a 20%, 60% y 80% respecto a su calado obteniendo velocidades que permitan encontrar la distribución de velocidades en la sección del canal.

3.6.2. Plan de Análisis

El plan de análisis resaltará principalmente dos puntos importantes:

- 1) En base a los datos del levantamiento topográfico en donde se analizará con ayuda del software AUTOCAD CIVIL 3D los puntos insertados cada uno de ellos con el código asignado los mismos que son los siguientes: sección del canal, óvalo, eje de vía y terreno con los cuales se crean nubes para utilizar de forma independiente cada código; el código de sección de canal se une mediante líneas para poder visualizar planta y de la misma manera en 3 dimensiones la sección completa del tramo, el código de eje de vía que se encuentra junto al canal se utiliza polilíneas, el código óvalos se lo designa a las estructuras que distribuye agua para los sectores que se encuentran a diferentes distancias en la parte longitudinal del canal y el código terreno representa la superficie mediante curvas de nivel.
- 2) Los datos tomados en campo tanto caudales como velocidades se analizará por medio de gráficas que representan la distribución de velocidades mediante curvas de cada sección transversal de los seis puntos tomados con la ayuda de AUTOCAD CIVIL 3D en los que se debe ejecutar interpolación y extrapolación para ser más exactos con el fin de analizar la velocidad media, caudal medio y junto con la topografía se los ingresa en el software HEC-RAS (Versión 5.0.5) para simular individualmente cada sección, asimismo una simulación general para analizar el comportamiento y características del canal.

CAPÍTULO 4.

RECOLECCIÓN DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Hidráulica

El flujo del canal del subproyecto designado, determinado entre la abscisa 5+400 a la abscisa 8+100 cuenta con una velocidad media promedio de 0.85m/s, un caudal medio de 1.20 m³/s, caracterizado por un flujo sub-crítico debido a que valores obtenidos del número de Froude son menores a uno ($Fr < 1$).

4.2. Medidas In Situ

4.2.1. Topografía

La zona del proyecto comprendida entre la abscisa 5+400 hasta la abscisa 8+100 se encuentra ubicada en el cantón Ambato, junto al canal se encuentra una vía accesible de tierra sin pavimentar y al otro lado por lo general está formado por unas laderas pequeñas y respecto al canal se puede destacar que hay partes del tramo conformados por una capa de recubrimiento mientras en otras ha perdido el mismo es decir que se visualiza partes desgastadas, también se observó lleno de desechos y algas en su alrededor. A continuación, en la figura 21 se puede apreciar la ejecución de la topografía con la estación total TRIMBLE M3.



Figura 21. Topografía in situ del Canal

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.2.2. Ubicación

4.2.2.1. Ubicación Macro

País: Ecuador, localizada en la costa noroccidental de América del Sur

Límites: Al sur y este con Perú, con Colombia por el norte y por el oeste el Océano Pacífico.

Geografía: Ecuador es uno de los países con mayor diversidad geográfica del mundo. Ostenta cuatro regiones geográficas principales: el Oriente al este, la Sierra en el centro, la Costa al oeste, y las Islas Galápagos al oeste de la línea costera.

- La región Costa está compuesta por seis provincias: Esmeraldas, Manabí, Guayas, Santa Elena, Los Ríos y El Oro.
- La región Sierra está compuesta de once provincias: Carchi, Imbabura, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja.
- La región Oriental está compuesta de seis provincias: Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe.
- La región Insular está conformada por 13 islas grandes, 6 islas pequeñas y más de 40 islotes.



Figura 22. Mapa del Ecuador

Fuente: “Mapa político del Ecuador actualizado”, [36].

4.2.2.2. Ubicación Meso.

Provincia: Tungurahua

Localización: Se encuentra al centro del país, en la región geográfica conocida como sierra.

Límites: Norte: Provincia de Cotopaxi y Provincia de Napo; Sur: Provincia de Chimborazo y Provincia de Morona Santiago; Este: Provincia de Pastaza; Oeste: Provincia de Cotopaxi y Provincia de Bolívar.

División: La provincia de Tungurahua está conformada de 9 cantones Ambato, Baños, Cevallos, Mocha, Patate, Pelileo, Píllaro, Quero, Tisaleo.

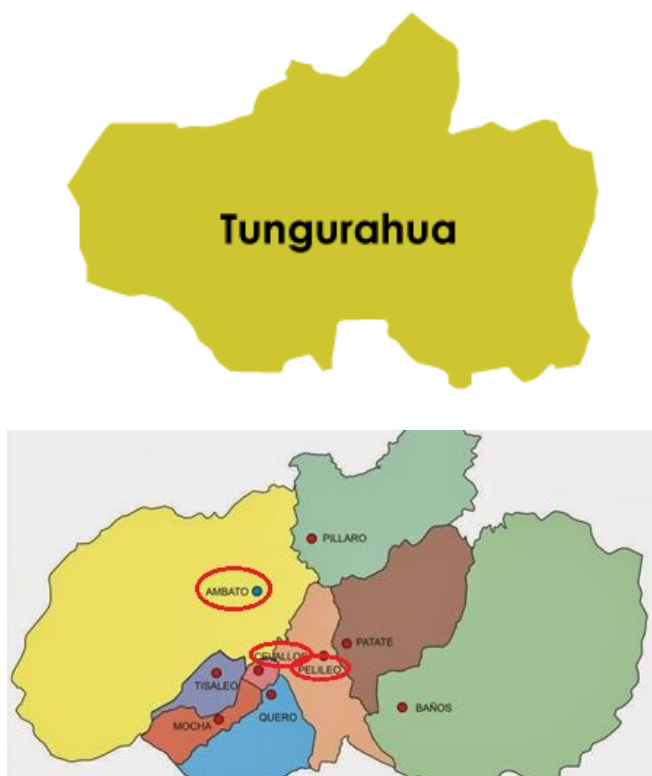


Figura 23. Provincia de Tungurahua

Fuente: "Plan Comunitario de Preparación para Desastres", [37].

4.2.2.3. Ubicación Micro

El canal Huachi-Pelileo cuenta con 27 km, pertenecientes a los cantones Ambato, Cevallos y Pelileo, por lo cual el estudio se ha dividido en 7 subproyectos cada uno de ellos contemplará 2.7 km. que conforman el macroproyecto.

El canal Ambato-Huachi-Pelileo, cuyas aguas brindan el servicio de riego el cual abastece a los cantones de Ambato, Cevallos y Pelileo.



Figura 24. Ubicación Micro - Canal Huachi - Pelileo

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

El tramo 3 cuenta con 2.7 km de canal Huachi- Pelileo, el subproyecto del canal va desde la abscisa 5+400 hasta la abscisa 8+100 y cuenta con una pendiente media longitudinal de 0.0017, en la que se determinó 6 secciones transversales de diferentes dimensiones caracterizadas por su geometría trapezoidal como se presentar en la figura 25.

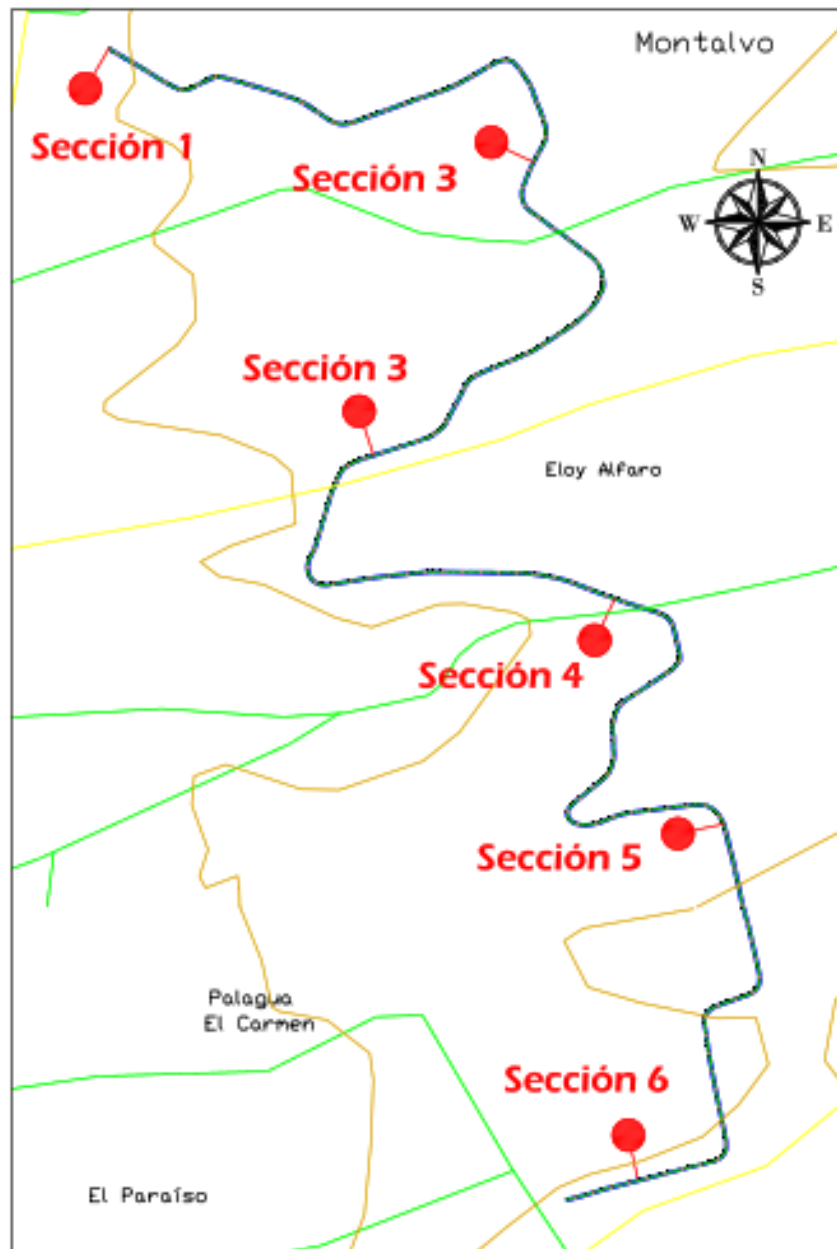
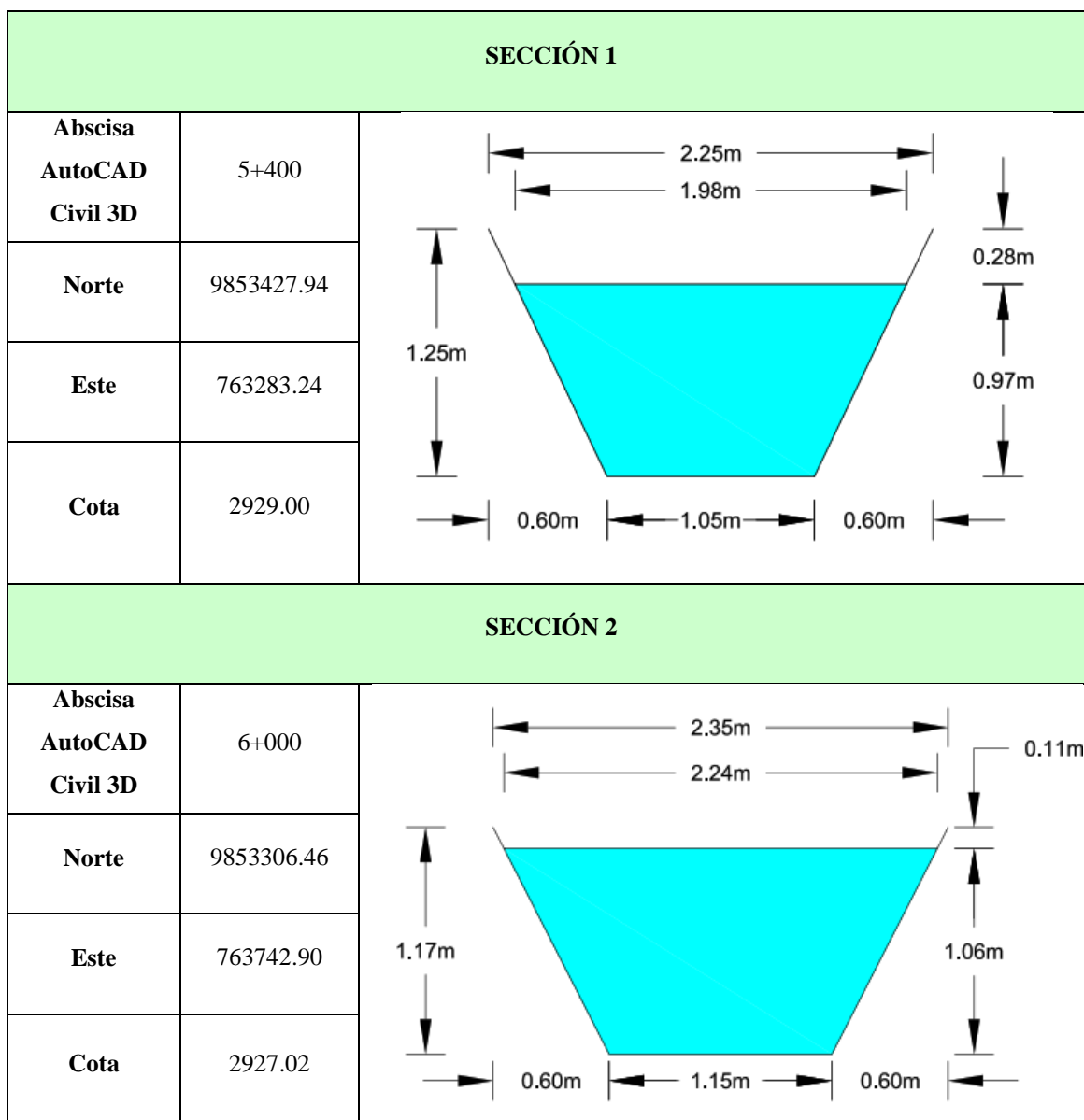


Figura 25. Vista en planta del subproyecto

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.2.3. Sección Transversal

En el tramo analizado desde la abscisa 5+400 al 8+100, cuenta con una pendiente a lo largo del tramo de 0.0017, formada con secciones transversales de geometría trapezoidal cada una con sus propias dimensiones y características similares como se muestra en la figura 26 la esquematización gráfica de las secciones aproximadamente cada 500m con su respectiva información.



SECCIÓN 3		
Abcisa AutoCAD Civil 3D	6+500	
Norte	9852988.41	
Este	763569.87	
Cota	2927.02	
SECCIÓN 4		
Abcisa AutoCAD Civil 3D	7+000	
Norte	9852831.05	
Este	763831.59	
Cota	2926.30	
SECCIÓN 5		
Abcisa AutoCAD Civil 3D	7+520	
Norte	9852586.74	
Este	763948.54	
Cota	2925.28	

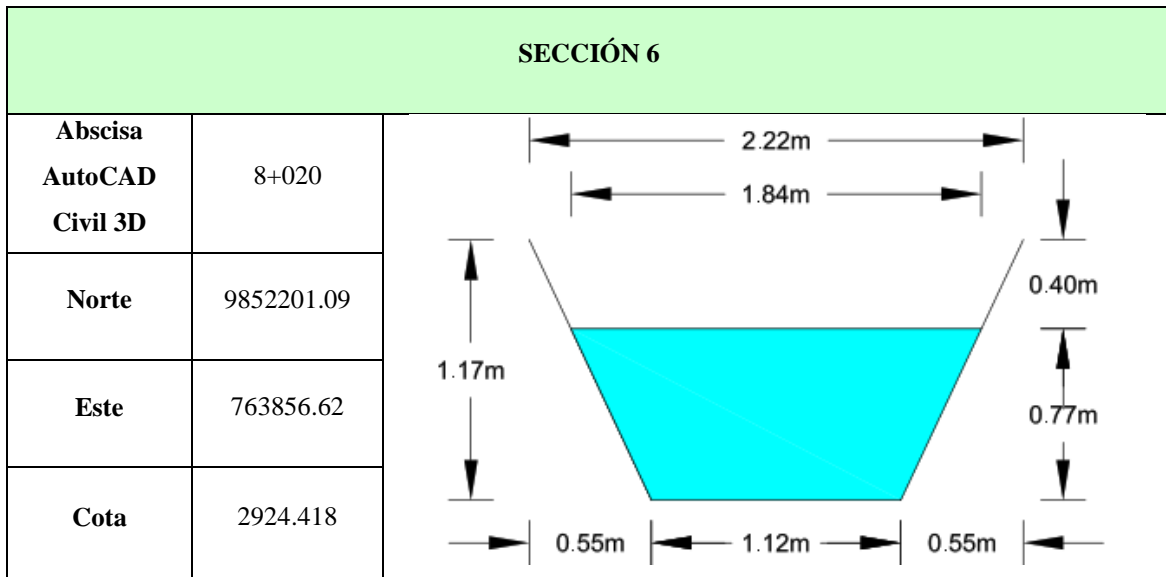


Figure 26. Esquematización de las Secciones Transversales

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.2.4. Perfil Longitudinal

La longitud del tramo 3 cuenta con 2.7 kilómetros, determinada desde la abscisa inicial 5+400 a la abscisa final 8+100 tiene una pendiente media longitudinal de 0.0017 a lo largo del subproyecto en estudio como se observa en la figura 27. Para su verificación dirigirse a la lámina 2/4.

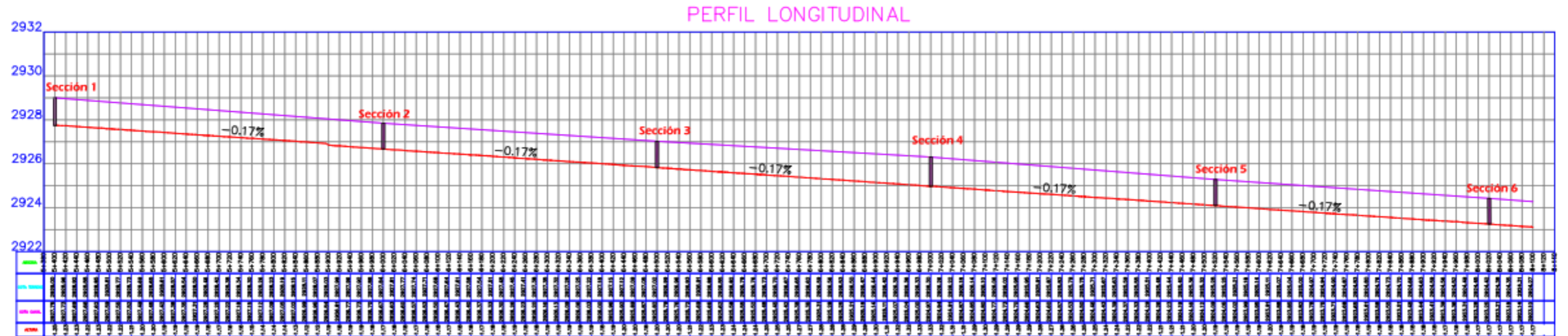


Figura 27. Perfil Longitudinal del subproyecto
Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.3. Distribución de Velocidades y Caudales Medio

La medición de velocidad se realizó mediante el molinete, que es un transmisor de caudal de líquidos, serie DMM-4000/PFT. Antes de tomar estos datos se partió con la división en franjas verticales y su separación dependió del ancho de la corriente de la sección transversal, seguido de las marcas de 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad del agua del canal. Se introdujo el molinete en el agua en movimiento la misma que hizo girar la hélice permitiendo tomar lectura de la velocidad puntual como se muestra en la figura 28.



Figura 28. Medición de velocidades con el molinete

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

En la figura 29 muestra la vista en planta del sobroyecto desde la abscisa 5+400 hasta la abscisa 8+100 y la ubicación de las secciones transversales tomadas aproximadamente a 500 m. Para su verificación dirigirse a la lámina 3/4.

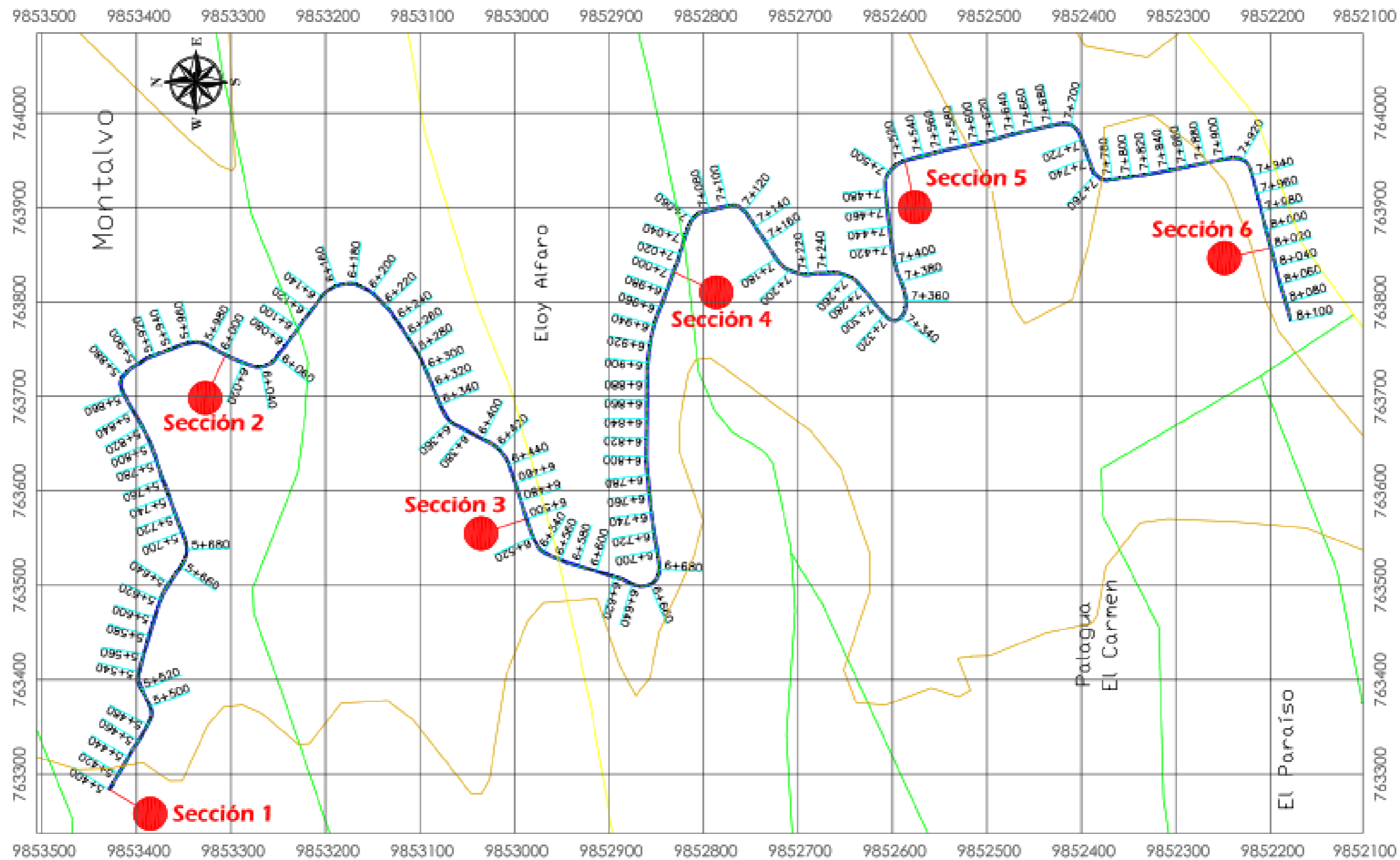


Figura 29. Vista en Planta de la distribución de las secciones

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

En la siguiente tabla muestra la ubicación de cada una de las secciones transversales tomadas aproximadamente cada 500 m.

Tabla 7. Ubicación de las secciones transversales

Secciones Transversales	Abscisa AutoCAD Civil 3D	Norte	Este	Cota Terreno	Cota Canal
Sección 1	5+400	9,853,427.94	763,283.24	2,929.00	2,927.75
Sección 2	6+000	9,853,306.46	763,742.90	2,927.84	2,926.67
Sección 3	6+500	9,852,988.41	763,569.87	2,927.02	2,925.82
Sección 4	7+000	9,852,831.05	763,831.59	2,926.30	2,924.97
Sección 5	7+520	9,852,586.73	763,948.54	2,925.28	2,924.09
Sección 6	8+020	9,852,201.09	763,856.62	2,924.42	2,923.25

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

En la figura 30 presenta el perfil longitudinal del tramo en estudio y cada una de las secciones transversales con una pendiente media del canal de 0.0017. Para su verificación dirigirse a la lámina 2/4.

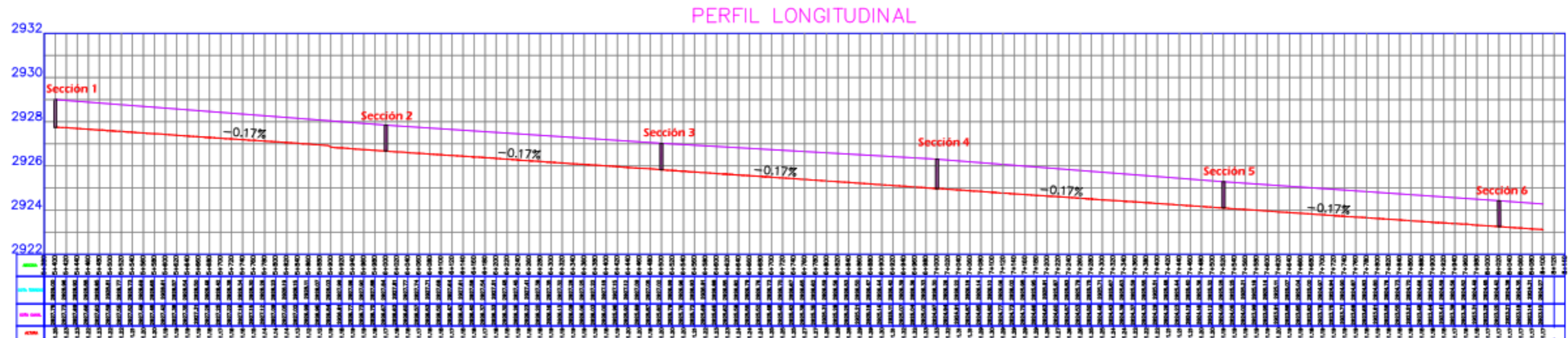


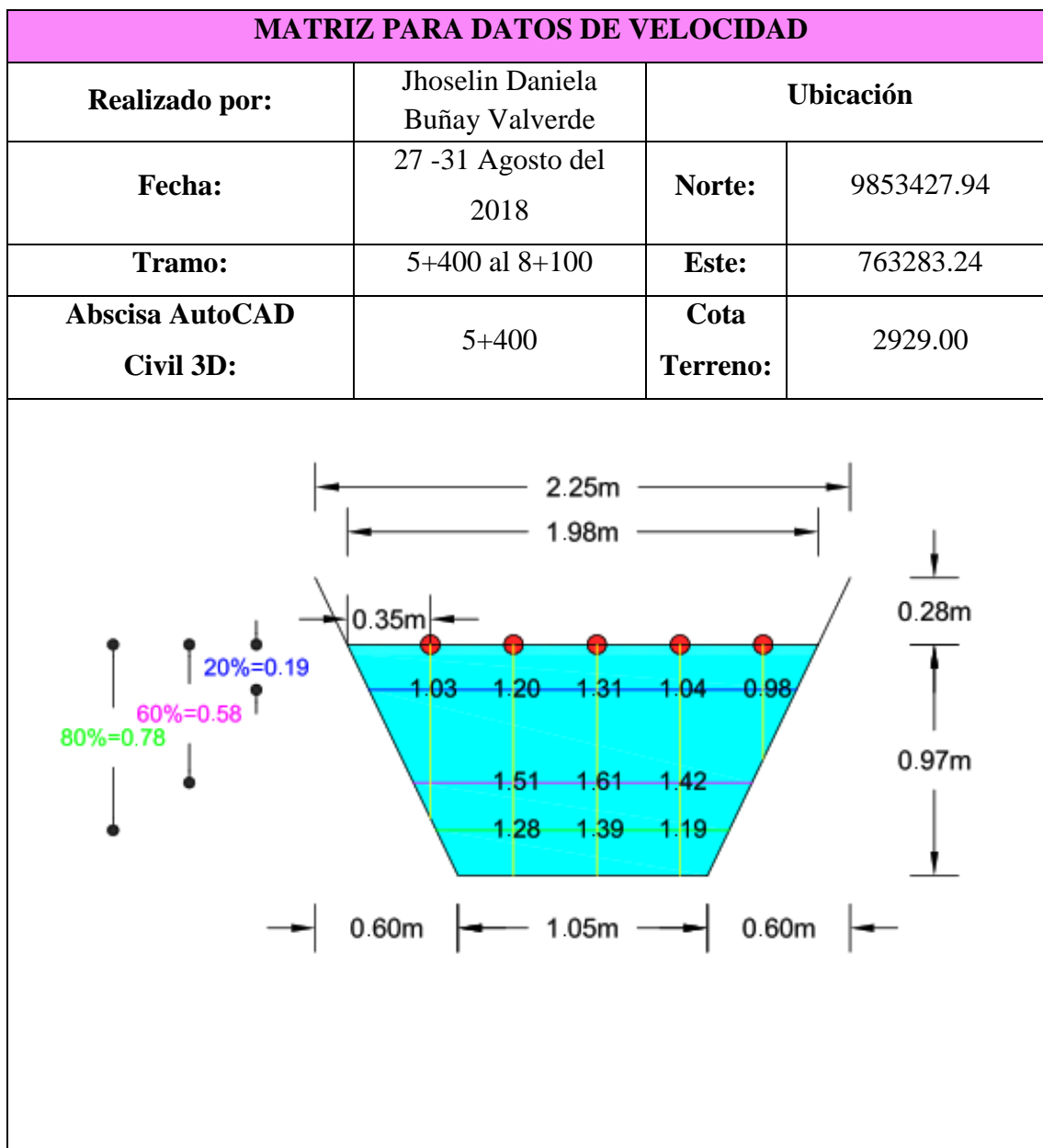
Figura 30. Perfil Longitudinal de las secciones

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.3.1. Matrices para la recolección de datos de velocidad

Las matrices a continuación representan la recolección de datos de cada una de las secciones determinadas aproximadamente a cada 500 metros, seguidas del cálculo del caudal medio y velocidad media.

Tabla 8. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 1



ANCHO DEL CANAL (X)		0	0.35	0.7	1.05	1.4	1.75	1.98
CALADO (Y)		VELOCIDAD						
20% Y = 0.19	#1	-	1.01	1.17	1.31	1.02	0.96	-
	#2	-	1.05	1.20	1.32	1.05	0.97	-
	#3	-	1.03	1.22	1.30	1.04	1.00	-
PROMEDIO		-	1.03	1.20	1.31	1.04	0.98	-
60% Y = 0.58	#1	-	-	1.50	1.59	1.42	-	-
	#2	-	-	1.53	1.61	1.40	-	-
	#3	-	-	1.50	1.64	1.43	-	-
PROMEDIO		-	-	1.51	1.61	1.42	-	-
80% Y = 0.78	#1	-	-	1.29	1.37	1.19	-	-
	#2	-	-	1.27	1.39	1.20	-	-
	#3	-	-	1.29	1.41	1.18	-	-
PROMEDIO		-	-	1.28	1.39	1.19	-	-

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Sección 1 - Caudal Medio y Velocidad Media

-	0.2 Y	0.8 Y	0.6 Y
a	0.30	0.19	0.39
b	0.19	0.78	0.58
c	0.19	0.30	0.58
Pm	0.22	0.51	0.53

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.2 - 0.8 de la profundidad del agua

0.2Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.03	0.35	0.22	0.08	0.00	0.07	0.07	0.39
1.20	0.35	0.22	0.08	-	0.08	0.09	
1.31	0.35	0.22	0.08	-	0.08	0.10	
1.04	0.35	0.22	0.08	-	0.08	0.08	
0.98	0.29	0.22	0.06	0.01	0.05	0.05	

0.8Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.28	0.35	0.51	0.18	-	0.18	0.23	0.69
1.39	0.35	0.51	0.18	-	0.18	0.25	
1.19	0.35	0.51	0.18	0.00	0.18	0.21	

QT (0.2y-0.8y)	Área total	Vm (0.2y-0.8y)	Fr
1.08	1.47	0.74	0.24

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.6 de la profundidad del agua

0.6Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.51	0.35	0.53	0.19	-	0.19	0.28	0.84
1.61	0.35	0.53	0.19	-	0.19	0.30	
1.42	0.35	0.53	0.19	0.00	0.18	0.26	

Q (0.6y)	Área total	Vm (0.6y)	Fr
0.84	1.47	0.57	0.19

Donde:

y = calado (m)

a = Profundidad límite inferior (m).

b = Profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo (m).

c = Profundidad límite superior (m).

P_m = Profundidad media en la franja (m)

V = Velocidad puntual (m/s)

x = anchura de la franja (m)

A = Área de la franja (m²)

AT = Área de total la franja (m²)

Q_i = Caudal medio por cada franja (m³/s)

Q = Caudal Total medio de la sección transversal (m³/s)

V_m = Velocidad media de la sección transversal (m/s)

Fr = Número de Froude

Tabla 9. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 2

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD								
Realizado por:	Jhoselin Daniela Buñay Valverde			Ubicación				
Fecha:	27 -31 Agosto del 2018			Norte:	9853306.46			
Tramo:	5+400 al 8+100			Este:	763742.90			
Abscisa AutoCAD Civil 3D:	6+000			Cota Terreno :	2927.84			
ANCHO DEL CANAL (X)	0	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.24	
CALADO (Y)	VELOCIDAD							
20% Y = 0.21	#1	-	0.83	0.97	1.13	1.04	0.90	-
	#2	-	0.85	0.98	1.11	1.06	0.91	-
	#3	-	0.87	1.02	1.14	1.05	0.92	-
PROMEDIO	-	0.85	0.99	1.13	1.05	0.91	-	

60% Y = 0.64	#1	-	-	1.51	1.69	1.59	-	-
	#2	-	-	1.54	1.68	1.60	-	-
	#3	-	-	1.52	1.67	1.62	-	-
PROMEDIO		-	-	1.52	1.68	1.60	-	-
80% Y = 0.85	#1	-	-	1.14	1.50	1.25	-	-
	#2	-	-	1.18	1.49	1.28	-	-
	#3	-	-	1.17	1.53	1.27	-	-
PROMEDIO		-	-	1.16	1.51	1.27	-	-

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Sección 2 - Caudal Medio y Velocidad Media

-	0.2 Y	0.8 Y	0.6 Y
a	0.32	0.21	0.42
b	0.21	0.85	0.64
c	0.21	0.32	0.64
Pm	0.24	0.56	0.59

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.2 - 0.8 de la profundidad del agua

0.2Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
0.85	0.40	0.24	0.10	0.00	0.09	0.08	0.43
0.99	0.40	0.24	0.10	-	0.10	0.09	
1.13	0.40	0.24	0.10	-	0.10	0.11	
1.05	0.40	0.24	0.10	-	0.10	0.10	
0.91	0.32	0.24	0.08	0.02	0.05	0.05	

0.8Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.16	0.40	0.56	0.22	-	0.22	0.26	0.86
1.51	0.40	0.56	0.22	-	0.22	0.34	
1.27	0.40	0.56	0.22	0.01	0.21	0.27	

QT (0.2y-0.8y)	Área del flujo	Vm (0.2y-0.8y)	Fr
1.29	1.80	0.72	0.22

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.6 de la profundidad del agua

0.6Y							
V	b	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.52	0.40	0.59	0.23	-	0.23	0.36	1.11
1.68	0.40	0.59	0.23	-	0.23	0.39	
1.60	0.40	0.59	0.23	0.01	0.22	0.36	

Q (0.6y)	Vm (0.6y)	Área del flujo	Fr
1.11	0.61	1.80	0.19

Donde:

y = calado (m)

a = Profundidad límite inferior (m).

b = Profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo (m).

c = Profundidad límite superior (m).

P_m = Profundidad media en la franja (m)

V = Velocidad puntual (m/s)

x = anchura de la franja (m)

A = Área de la franja (m²)

AT = Área de total la franja (m²)

Q_i = Caudal medio por cada franja (m³/s)

Q = Caudal Total medio de la sección transversal (m³/s)

V_m = Velocidad media de la sección transversal (m/s)

Fr = Número de Froude

Tabla 10. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 3

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD								
Realizado por:	Jhoselin Daniela Buñay Valverde			Ubicación				
Fecha:	27 -31 Agosto del 2018			Norte:	9852988.41			
Tramo:	5+400 al 8+100			Este:	763569.87			
Abscisa AutoCAD Civil 3D:	6+500			Cota Terreno:	2927.02			
ANCHO DEL CANAL (X)	0	0.35	0.70	1.05	1.40	1.75	2.13	
CALADO (Y)	VELOCIDAD							
20% Y = 0.19	#1	-	1.00	1.39	1.50	1.40	1.24	-
	#2	-	1.04	1.40	1.49	1.43	1.26	-
	#3	-	1.03	1.41	1.53	1.42	1.24	-
PROMEDIO	-	1.02	1.40	1.51	1.42	1.25	-	

60% Y = 0.58	#1	-	-	1.81	1.98	1.75	-	-
	#2	-	-	1.83	1.97	1.78	-	-
	#3	-	-	1.85	1.99	1.76	-	-
PROMEDIO		-	-	1.83	1.98	1.76	-	-
80% Y = 0.77	#1	-	-	1.57	1.64	1.59	-	-
	#2	-	-	1.58	1.65	1.58	-	-
	#3	-	-	1.55	1.68	1.61	-	-
PROMEDIO		-	-	1.57	1.66	1.59	-	-

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Sección 3 - Caudal Medio y Velocidad Media

-	0.2 Y	0.8 Y	0.6 Y
a	0.29	0.19	0.38
b	0.19	0.77	0.58
c	0.19	0.29	0.58
Pm	0.22	0.51	0.53

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.2 - 0.8 de la profundidad del agua

0.2Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.02	0.35	0.22	0.08	0.00	0.07	0.07	0.49
1.40	0.35	0.22	0.08	-	0.08	0.11	
1.51	0.35	0.22	0.08	-	0.08	0.11	
1.42	0.35	0.22	0.08	-	0.08	0.11	
1.25	0.37	0.22	0.08	0.00	0.08	0.09	

0.8Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.57	0.35	0.51	0.18	-	0.18	0.28	0.85
1.66	0.35	0.51	0.18	-	0.18	0.29	
1.59	0.35	0.51	0.18	-	0.18	0.28	

QT (0.2y-0.8y)	Vm (0.2y-0.8y)	Área del flujo	Fr
1.35	0.83	1.62	0.27

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.6 de la profundidad del agua

0.6Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.83	0.35	0.53	0.19	-	0.19	0.34	1.03
1.98	0.35	0.53	0.19	-	0.19	0.37	
1.76	0.35	0.53	0.19	-	0.19	0.33	

Q (0.6y)	Vm (0.6y)	Área del flujo	Fr
1.03	0.64	1.62	0.21

Donde:

y = calado (m)

a = Profundidad límite inferior (m).

b = Profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo (m).

c = Profundidad límite superior (m).

P_m = Profundidad media en la franja (m)

V = Velocidad puntual (m/s)

x = anchura de la franja (m)

A = Área de la franja (m²)

AT = Área de total la franja (m²)

Q_i = Caudal medio por cada franja (m³/s)

Q = Caudal Total medio de la sección transversal (m³/s)

V_m = Velocidad media de la sección transversal (m/s)

Fr = Número de Froude

Tabla 11. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 4

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD								
Realizado por:	Jhoselin Daniela Buñay Valverde			Ubicación				
Fecha:	27 -31 Agosto del 2018			Norte:	9852831.05			
Tramo:	5+400 al 8+100			Este:	763831.59			
Abscisa AutoCAD Civil 3D:	7+000			Cota Terreno :	2926.30			
<p>The diagram shows a trapezoidal channel cross-section. The top width is 2.16m and the bottom width is 1.02m. The water depth is 0.90m. Three measurement points are shown at depths of 0.18m (20%), 0.54m (60%), and 0.72m (80%) from the surface. Velocity values are provided for each point at various horizontal distances from the left bank: 0.30m, 0.57m, 1.02m, and 1.79m. The velocity values are: 1.37, 1.40, 1.47, 1.43, 1.33 (at 0.18m depth); 1.54, 1.69, 1.70, 1.64, 1.42 (at 0.54m depth); 1.62, 1.65, 1.55 (at 0.72m depth).</p>								
ANCHO DEL CANAL (X)	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.79	
CALADO (Y)	VELOCIDAD							
20% Y = 0.18	#1	-	1.38	1.43	1.48	1.40	1.35	-
	#2	-	1.35	1.37	1.45	1.44	1.33	-
	#3	-	1.37	1.40	1.49	1.46	1.32	-
PROMEDIO	-	1.37	1.40	1.47	1.43	1.33	-	

60%Y = 0.54	#1	-	1.53	1.68	1.71	1.68	1.42	-
	#2	-	1.54	1.71	1.70	1.64	1.43	-
	#3	-	1.56	1.69	1.69	1.61	1.40	-
PROMEDIO		-	1.54	1.69	1.70	1.64	1.42	-
80%Y = 0.72	#1	-	-	1.62	1.69	1.54	-	-
	#2	-	-	1.60	1.65	1.55	-	-
	#3	-	-	1.63	1.62	1.57	-	-
PROMEDIO		-	-	1.62	1.65	1.55	-	-

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Sección 4 - Caudal Medio y Velocidad Media

-	0.2 Y	0.8 Y	0.6 Y
a	0.27	0.18	0.36
b	0.18	0.72	0.54
c	0.18	0.27	0.54
Pm	0.20	0.47	0.50

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.2 - 0.8 de la profundidad del agua

0.2Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.37	0.30	0.20	0.06	0.00	0.06	0.08	0.42
1.40	0.30	0.20	0.06	-	0.06	0.09	
1.47	0.30	0.20	0.06	-	0.06	0.09	
1.43	0.30	0.20	0.06	-	0.06	0.09	
1.33	0.29	0.20	0.06	0.00	0.06	0.07	

0.8Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.62	0.30	0.47	0.14	-	0.14	0.23	0.68
1.65	0.30	0.47	0.14	-	0.14	0.23	
1.55	0.30	0.47	0.14	-	0.14	0.22	

QT (0.2y-0.8y)	Vm (0.2y-0.8y)	Área del flujo	Fr
1.10	0.87	1.27	0.29

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.6 de la profundidad del agua

0.6Y							
V	x	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.54	0.30	0.50	0.15	0.07	0.08	0.13	0.99
1.69	0.30	0.50	0.15	-	0.15	0.25	
1.70	0.30	0.50	0.15	-	0.15	0.25	
1.64	0.30	0.50	0.15	-	0.15	0.24	
1.42	0.30	0.50	0.15	0.07	0.08	0.12	

Q (0.6y)	Vm (0.6y)	Área del flujo	Fr
0.99	0.78	1.27	0.26

Donde:

y = calado (m)

a = Profundidad límite inferior (m).

b = Profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo (m).

c = Profundidad límite superior (m).

P_m = Profundidad media en la franja (m)

V = Velocidad puntual (m/s)

x = anchura de la franja (m)

A = Área de la franja (m²)

AT = Área de total la franja (m²)

Q_i = Caudal medio por cada franja (m³/s)

Q = Caudal Total medio de la sección transversal (m³/s)

V_m = Velocidad media de la sección transversal (m/s)

Fr = Número de Froude

Tabla 12. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 5

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD								
Realizado por:	Jhoselin Daniela Buñay Valverde		Ubicación					
Fecha:	27 -31 Agosto del 2018		Norte:	9852586.73				
Tramo:	5+400 al 8+100		Este:	763948.54				
Abscisa AutoCAD Civil 3D:	7+520		Cota Terreno:	2925.28				
ANCHO DEL CANAL (X)	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.93	
CALADO (Y)	VELOCIDAD							
20% Y = 0.17	#1	-	1.01	1.12	1.13	1.12	1.07	-
	#2	-	1.03	1.11	1.12	1.10	1.09	-
	#3	-	1.00	1.10	1.11	1.09	1.06	-
PROMEDIO	-	1.01	1.11	1.12	1.10	1.07	-	

60% Y = 0.50	#1	-	1.31	1.67	1.74	1.51	1.06	-
	#2	-	1.33	1.64	1.75	1.49	1.11	-
	#3	-	1.34	1.65	1.79	1.48	1.13	-
PROMEDIO		-	1.33	1.65	1.76	1.49	1.10	-
80% Y = 0.67	#1	-	1.15	1.55	1.72	1.27	1.12	-
	#2	-	1.17	1.53	1.64	1.30	1.11	-
	#3	-	1.16	1.53	1.58	1.29	1.09	-
PROMEDIO		-	1.16	1.54	1.65	1.29	1.11	-

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Caudal Medio y Velocidad Media– Sección 5

-	0.2 Y	0.8 Y	0.6 Y
a	0.27	0.18	0.36
b	0.18	0.72	0.54
c	0.18	0.27	0.54
Pm	0.20	0.47	0.50

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.2 - 0.8 de la profundidad del agua

0.2Y							
V	b	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.01	0.30	0.20	0.06	0.00	0.06	0.06	0.34
1.11	0.30	0.20	0.06	-	0.06	0.07	
1.12	0.30	0.20	0.06	-	0.06	0.07	
1.10	0.30	0.20	0.06	-	0.06	0.07	
1.07	0.37	0.20	0.07	-	0.07	0.08	

0.8Y							
V	b	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.16	0.30	0.47	0.14	0.04	0.10	0.12	0.91
1.54	0.30	0.47	0.14	-	0.14	0.22	
1.65	0.30	0.47	0.14	-	0.14	0.23	
1.29	0.30	0.47	0.14	-	0.14	0.18	
1.11	0.37	0.47	0.17	0.03	0.14	0.16	

QT (0.2y-0.8y)	Vm (0.2y-0.8y)	Área del flujo	Fr
1.25	0.97	1.29	0.34

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.6 de la profundidad del agua

0.6Y							
V	b	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.33	0.30	0.50	0.15	0.06	0.09	0.11	1.01
1.65	0.30	0.50	0.15	-	0.15	0.25	
1.76	0.30	0.50	0.15	-	0.15	0.26	
1.49	0.30	0.50	0.15	-	0.15	0.22	
1.10	0.37	0.50	0.18	0.03	0.15	0.16	

Q (0.6y)	Vm (0.6y)	Área del flujo	Fr
1.01	0.78	1.29	0.27

Donde:

y = calado (m)

a = Profundidad límite inferior (m).

b = Profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo (m).

c = Profundidad límite superior (m).

P_m = Profundidad media en la franja (m)

V = Velocidad puntual (m/s)

x = anchura de la franja (m)

A = Área de la franja (m²)

AT = Área de total la franja (m²)

Q_i = Caudal medio por cada franja (m³/s)

Q = Caudal Total medio de la sección transversal (m³/s)

V_m = Velocidad media de la sección transversal (m/s)

Fr = Número de Froude

Tabla 13. Matriz de recolección de datos de velocidades - sección 6

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD								
Realizado por:	Jhoselin Daniela Buñay Valverde		Ubicación					
Fecha:	27 -31 Agosto del 2018		Norte:	9852201.09				
Tramo:	5+400 al 8+100		Este:	763856.62				
Abscisa AutoCAD Civil 3D:	8+020		Cota Terreno:	2924.42				
<p>The diagram shows a trapezoidal canal cross-section. The top width is 2.22m and the bottom width is 1.12m. The water depth is 0.77m. Three measurement points are marked at 20% (0.15m), 30% (0.62m), and 60% (0.46m) of the water depth. Velocity values are provided for each point at three different horizontal locations across the canal width.</p>								
ANCHO DEL CANAL (X)	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.84	
CALADO (Y)	VELOCIDAD							
20% Y = 0.15	#1	-	1.33	1.38	1.44	1.39	1.33	-
	#2	-	1.34	1.39	1.43	1.40	1.31	-
	#3	-	1.35	1.41	1.38	1.37	1.35	-
PROMEDIO	-	1.34	1.39	1.42	1.39	1.33	-	

60% Y = 0.46	#1	-	1.40	1.76	1.80	1.75	1.38	-
	#2	-	1.43	1.75	1.78	1.73	1.35	-
	#3	-	1.41	1.70	1.82	1.68	1.33	-
PROMEDIO		-	1.41	1.74	1.80	1.72	1.35	-
80% Y = 0.62	#1	-	1.22	1.34	1.63	1.53	1.27	-
	#2	-	1.21	1.38	1.65	1.50	1.28	-
	#3	-	1.20	1.37	1.64	1.49	1.30	-
PROMEDIO		-	1.21	1.36	1.64	1.51	1.28	-

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

Sección 6 - Caudal Medio y Velocidad Media

-	0.2 Y	0.8 Y	0.6 Y
a	0.24	0.15	0.31
b	0.15	0.62	0.46
c	0.15	0.24	0.46
Pm	0.17	0.41	0.42

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.2 - 0.8 de la profundidad del agua

0.2Y							
V	b	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.34	0.30	0.17	0.05	0.00	0.05	0.07	0.36
1.39	0.30	0.17	0.05	-	0.05	0.07	
1.42	0.30	0.17	0.05	-	0.05	0.07	
1.39	0.30	0.17	0.05	-	0.05	0.07	
1.33	0.32	0.17	0.06	-	0.06	0.07	

0.8Y							
V	b	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.21	0.30	0.41	0.12	0.04	0.08	0.10	0.77
1.36	0.30	0.41	0.12	-	0.12	0.17	
1.64	0.30	0.41	0.12	-	0.12	0.20	
1.51	0.30	0.41	0.12	-	0.12	0.18	
1.28	0.32	0.41	0.13	0.03	0.10	0.12	

QT (0.2y-0.8y)	Vm (0.2y-0.8y)	Área del flujo	Fr
1.13	0.99	1.14	0.36

Caudal Medio y Velocidad Media con 0.6 de la profundidad del agua

0.6Y							
V	b	Pm	A	A- restada	AT	Qi	Q
1.41	0.30	0.42	0.13	0.05	0.08	0.11	0.91
1.74	0.30	0.42	0.13	-	0.13	0.22	
1.80	0.30	0.42	0.13	-	0.13	0.23	
1.72	0.30	0.42	0.13	-	0.13	0.22	
1.35	0.32	0.42	0.14	0.04	0.10	0.13	

Q (0.6y)	Vm (0.6y)	Área del flujo	Fr
0.91	0.80	1.14	0.29

Donde:

y = calado (m)

a = Profundidad límite inferior (m).

b = Profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo (m).

c = Profundidad límite superior (m).

P_m = Profundidad media en la franja (m)

V = Velocidad puntual (m/s)

x = anchura de la franja (m)

A = Área de la franja (m²)

AT = Área de total la franja (m²)

Q_i = Caudal medio por cada franja (m³/s)

Q = Caudal Total medio de la sección transversal (m³/s)

V_m = Velocidad media de la sección transversal (m/s)

Fr = Número de Froude

4.3.2. Curvas de Distribución de Velocidad

A continuación, se muestra en las figuras siguientes los diagramas de distribución de las curvas de velocidad de cada sección, detallando sus respectivos rangos de velocidad un color en específico.

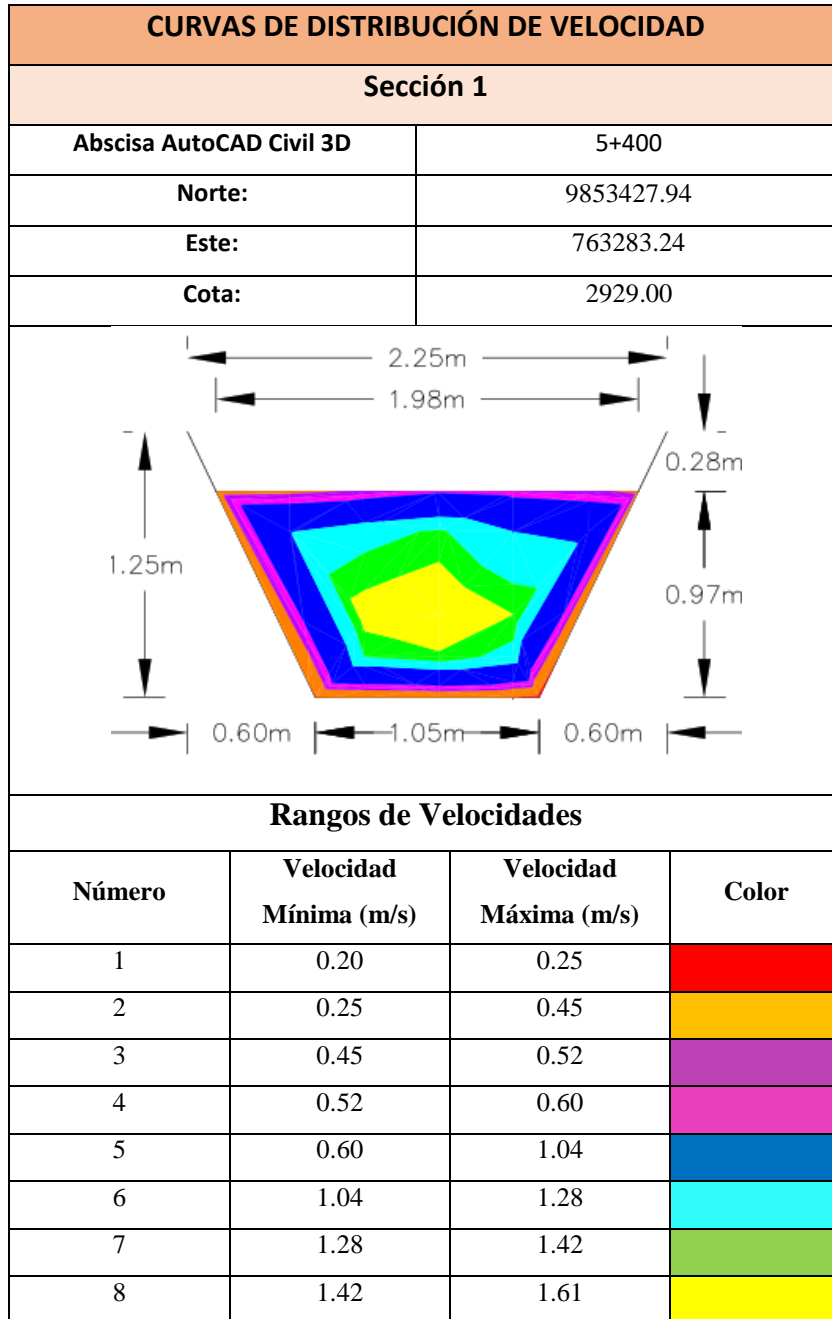


Figura 31. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 1

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

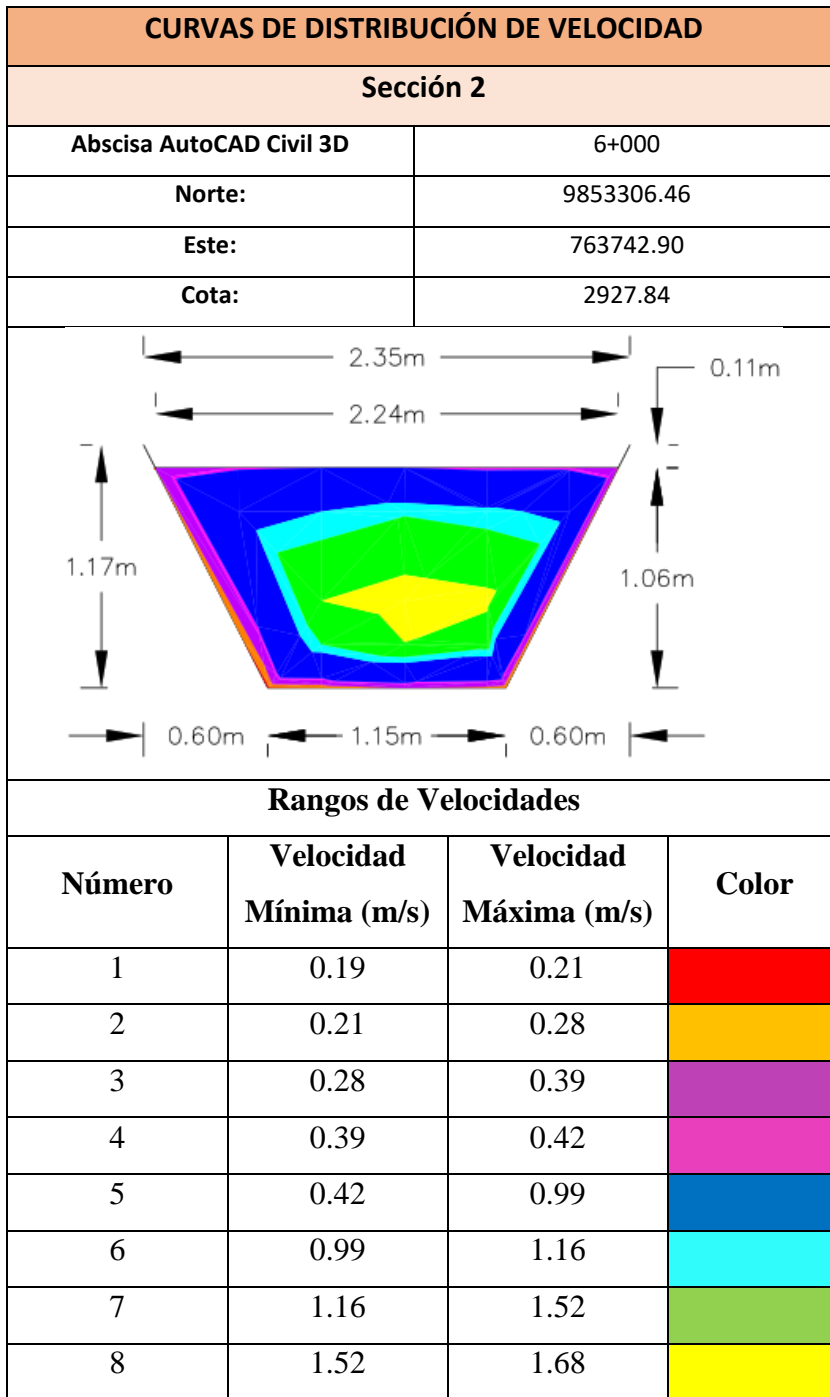


Figura 32. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 2

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

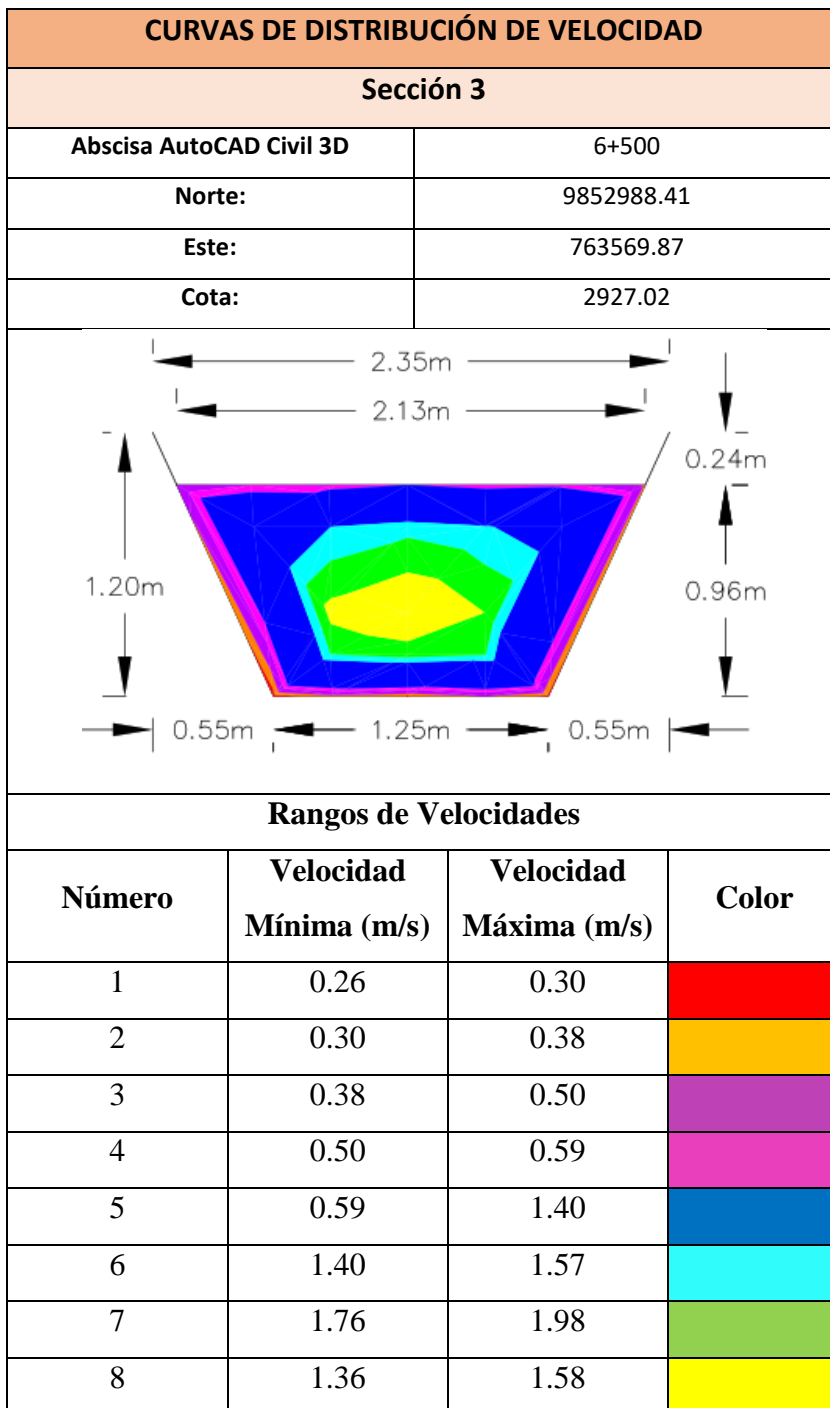


Figura 33. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 3

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

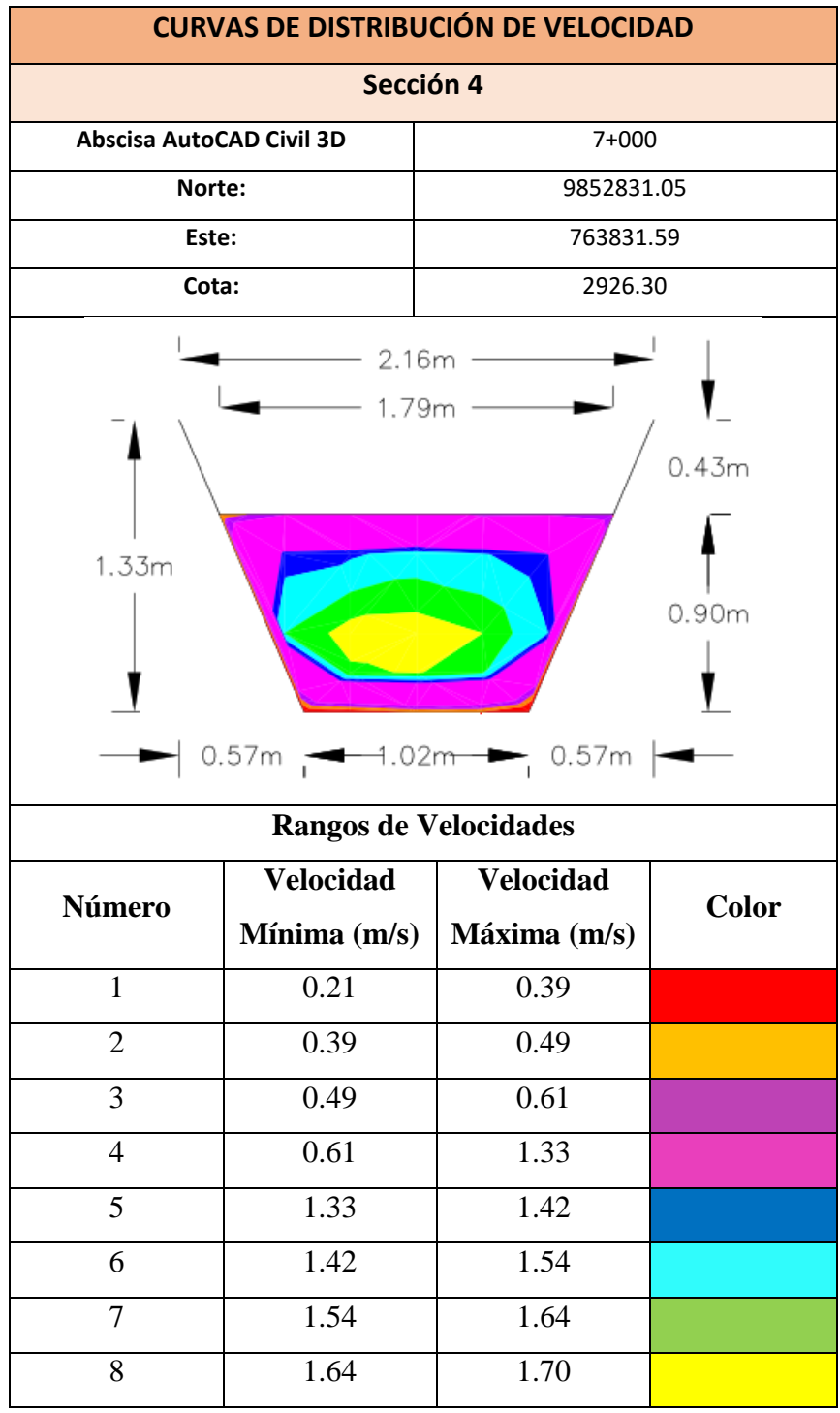


Figura 34. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 4

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

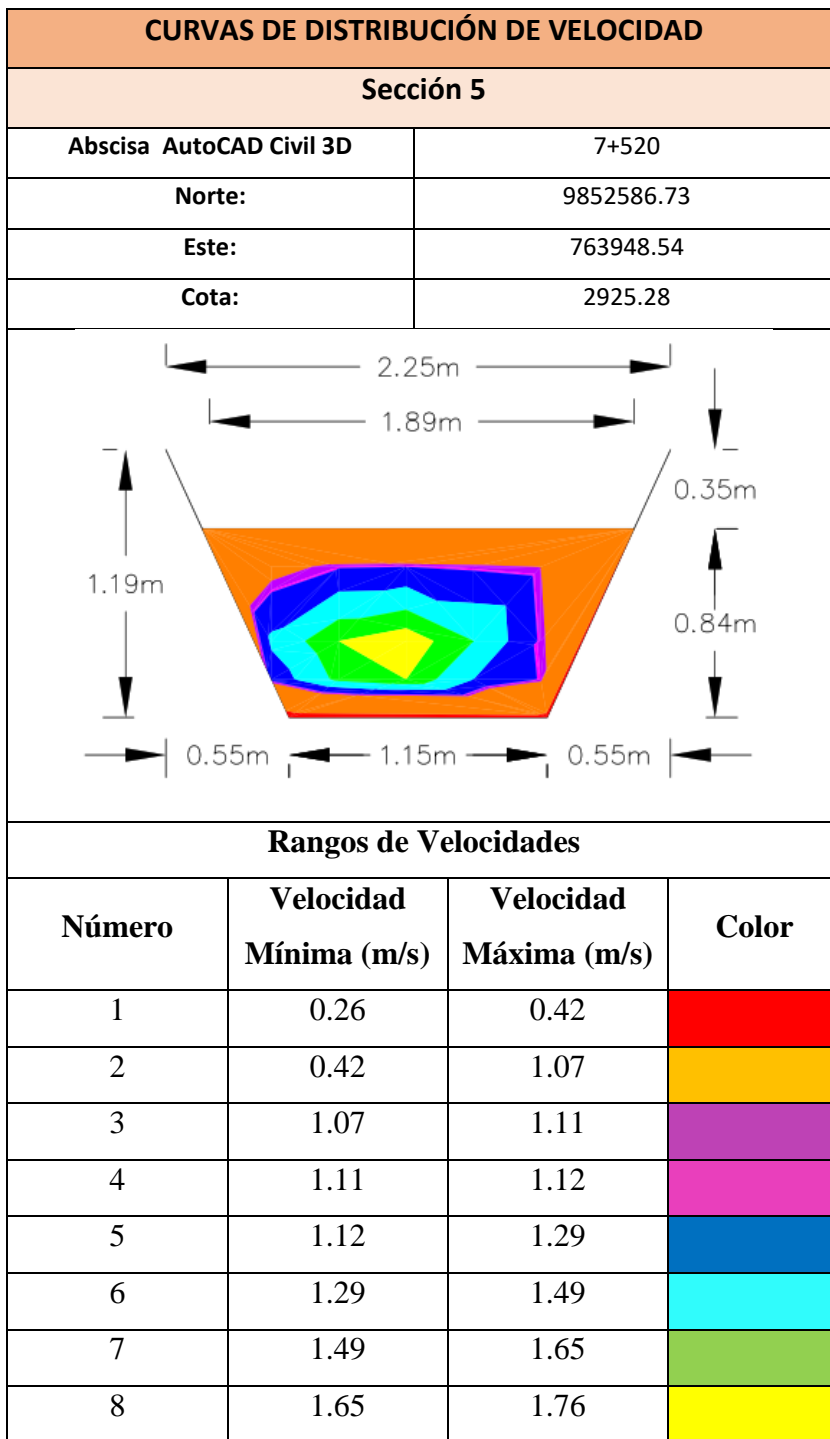


Figura 35. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 5

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

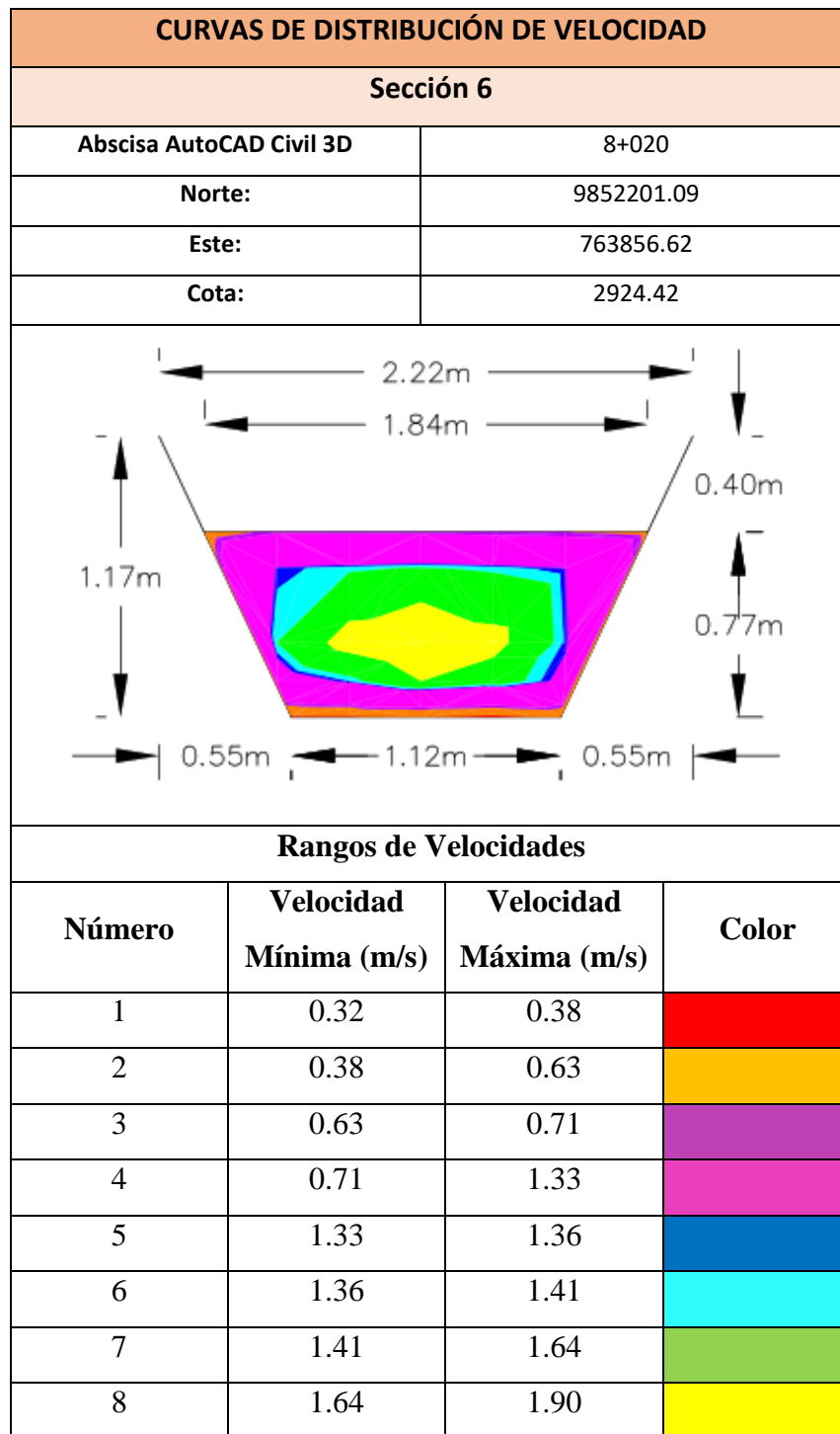


Figura 36. Diagrama de Distribución de Velocidades - Sección 6

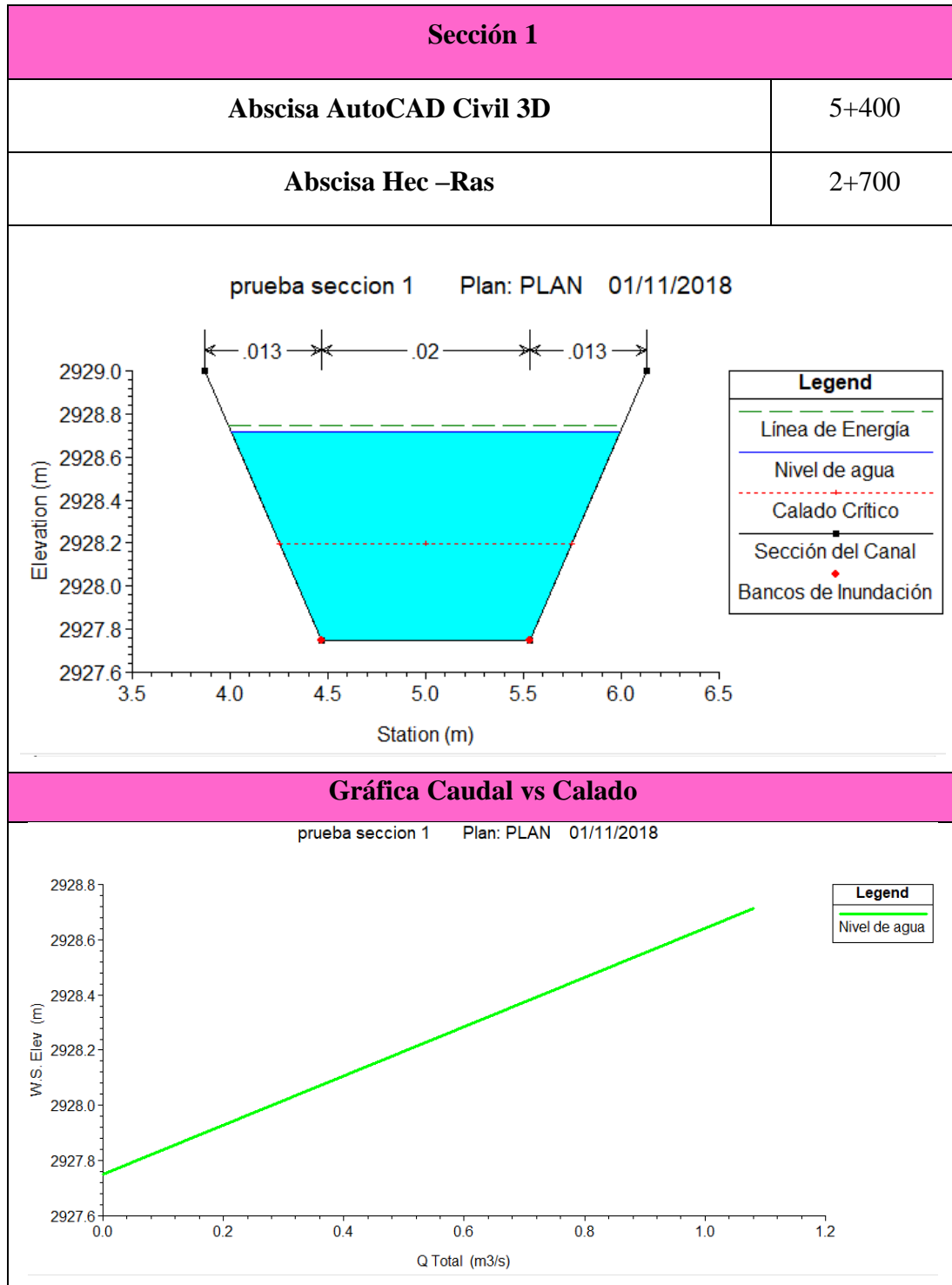
Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.4. Modelación HEC-RAS (Versión 5.0.5)

Para la modelación del tramo en estudio en el programa HEC-RAS (Versión 5.0.5) se analizó independientemente cada una de las 6 secciones unificando los parámetros obtenidos en campo: topografía, secciones transversales de caudal, calado y en el modelo numérico variando el coeficiente de Manning para que los resultados arrojados por el programa sean similares a los obtenidos en la medición de velocidad media calculada con la información de campo, cuyo método utiliza las velocidades puntuales entre 0.2-0.8 de la profundidad del agua. Por último, una vez calibrada cada una de las secciones transversales, se distribuyó proporcionalmente los coeficientes de rugosidad a lo largo del canal y se realizó un análisis de flujo permanente con el caudal medio promedio medido in situ.

4.4.1 Simulación Individual de las Secciones

Tabla 14. Modelación de la Sección Transversal 1

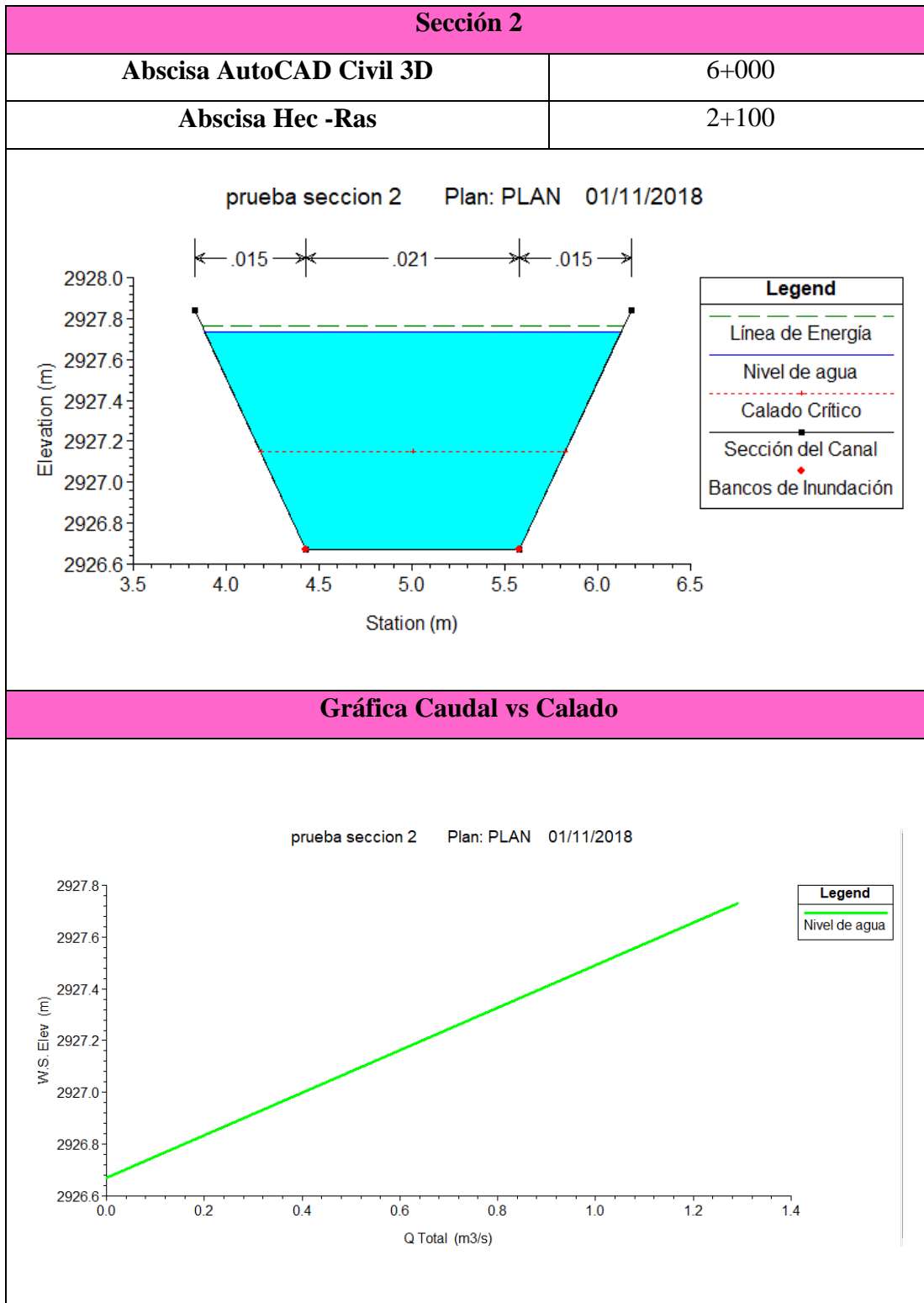


Características Hidráulicas	
Caudal (m³/s)	1.08
Altura del calado (m)	0.97
Coefficiente Manning izquierda	0.013
Coefficiente Manning central	0.020
Coefficiente Manning iderecho	0.013
Nivel de agua (m)	0.96
Calado Crítico (m)	0.45
Línea de Energía (m)	1.00
Velocidad Total (m/s)	0.74
Número de Froude	0.28

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

La tabla 14 contiene los resultados del procesos de calibración de la sección 1, la gráfica inicial muestra la línea de energía, nivel de agua, calado crítico, los puntos de bancos de inundación que divide cada límite de estudio tanto las paredes y el fondo del canal cada uno con su respectivo coeficiente de Manning, seguido de la gráfica de la variación del caudal respecto al calado y por último los datos hidráulicos utilizados como el caudal igual a 1.08 m³/s, calado igual a 0.97 m y el coeficiente de Manning tanto en las paredes de 0.013 y el fondo del canal de 0.020, encontrando varios resultados entre los cuales se puede resaltar la velocidad total de 0.74m/s, calado crítico de 0.45 m y número de Froude igual a 0.28 lo que permite verificar el estado de flujo subcrítico.

Tabla 15. Modelación de la Sección Transversal 2

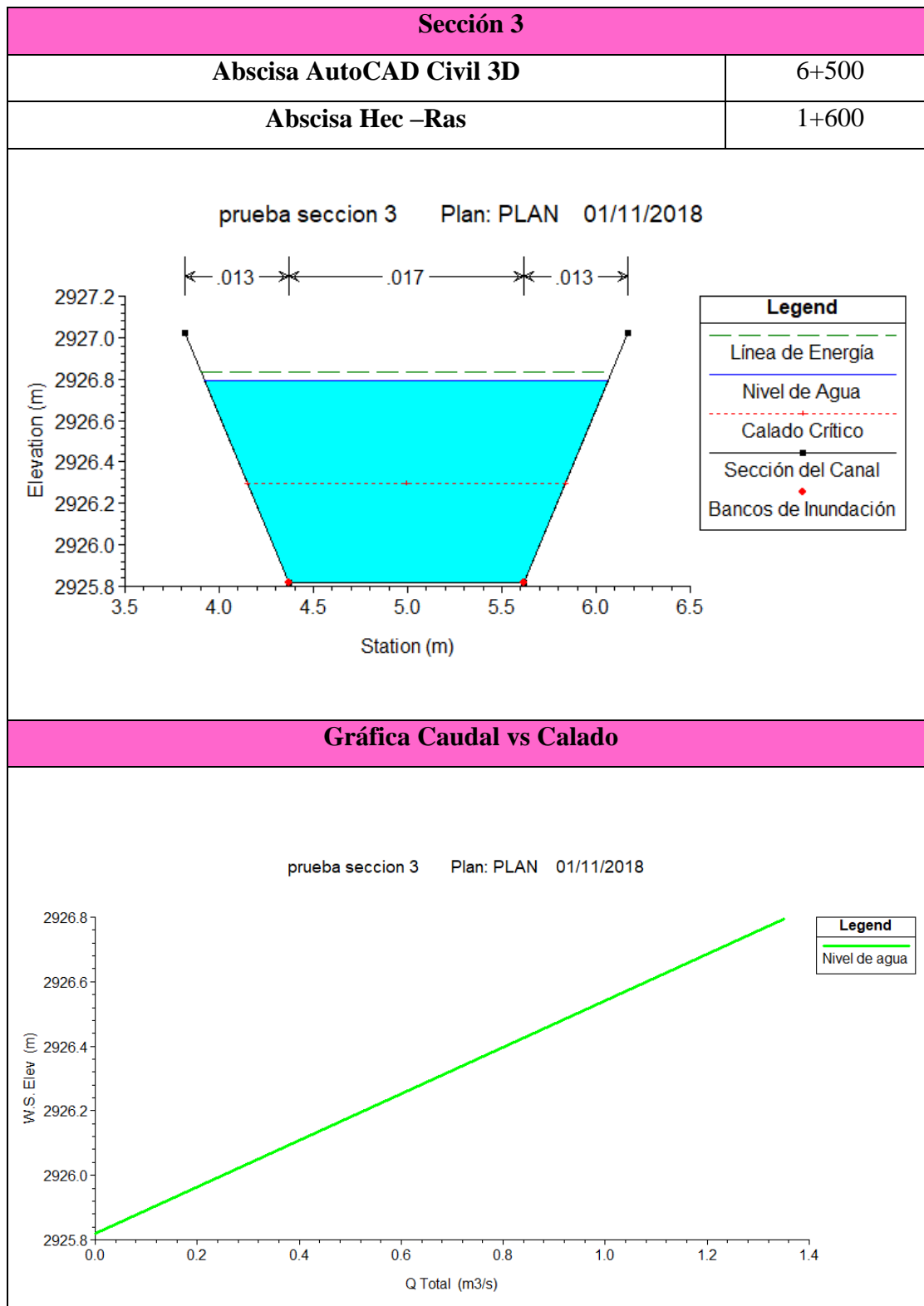


Características Hidráulicas	
Caudal (m³/s)	1.29
Altura del calado (m)	1.06
Coefficiente Manning izquierda	0.015
Coefficiente Manning central	0.021
Coefficiente Manning derecho	0.015
Nivel de agua (m)	1.06
Calado Crítico (m)	0.48
Línea de Energía (m)	1.09
Velocidad Total (m/s)	0.72
Número de Froude	0.26

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

La tabla 15 contiene los resultados del procesos de calibración de la sección 2, la gráfica inicial muestra la línea de energía, nivel de agua, calado crítico, los puntos de bancos de inundación que divide cada límite de estudio tanto las paredes y el fondo del canal cada uno con su respectivo coeficiente de Manning, seguido de la gráfica de la variación del caudal respecto al calado y por último los datos hidráulicos utilizados como el caudal igual a 1.29 m³/s, calado igual a 1.06 m y el coeficiente de Manning tanto en las paredes de 0.015 y el fondo del canal de 0.021, encontrando varios resultados entre los cuales se puede resaltar la velocidad total de 0.72 m/s, calado crítico de 0.48 m y número de Froude igual a 0.26 lo que permite verificar el estado de flujo subcrítico.

Tabla 16. Modelación de la Sección Transversal 3

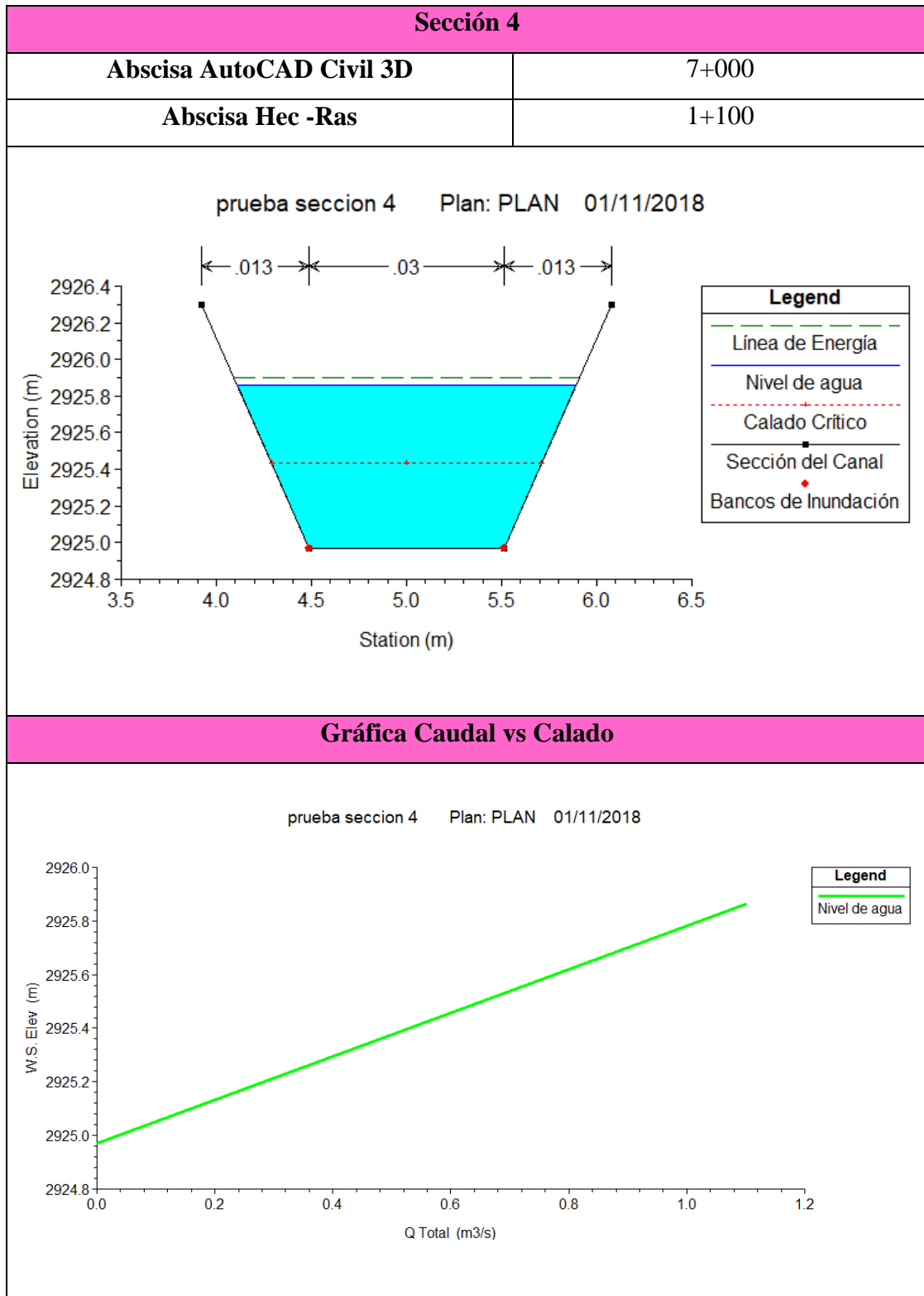


Características Hidráulicas	
Caudal (m³/s)	1.35
Altura del calado (m)	0.96
Coefficiente Manning izquierda	0.013
Coefficiente Manning central	0.017
Coefficiente Manning iderecho	0.013
Nivel de agua (m)	0.98
Calado Crítico (m)	0.48
Línea de Energía (m)	1.02
Velocidad Total (m/s)	0.82
Número de Froude	0.31

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

La tabla 16 contiene los resultados del procesos de calibración de la sección 3, la gráfica inicial muestra la línea de energía, nivel de agua, calado crítico, los puntos de bancos de inundación que divide cada límite de estudio tanto las paredes y el fondo del canal cada uno con su respectivo coeficiente de Manning, seguido de la gráfica de la variación del caudal respecto al calado y por último los datos hidráulicos utilizados como el caudal igual a 1.35 m³/s, calado igual a 0.96 m y el coeficiente de Manning tanto en las paredes de 0.013 y el fondo del canal de 0.017, encontrando varios resultados entre los cuales se puede resaltar la velocidad total de 0.82 m/s, calado crítico de 0.48 m y número de Froude igual a 0.31 lo que permite verificar el estado de flujo subcrítico.

Tabla 17. Modelación de la Sección Transversal 4

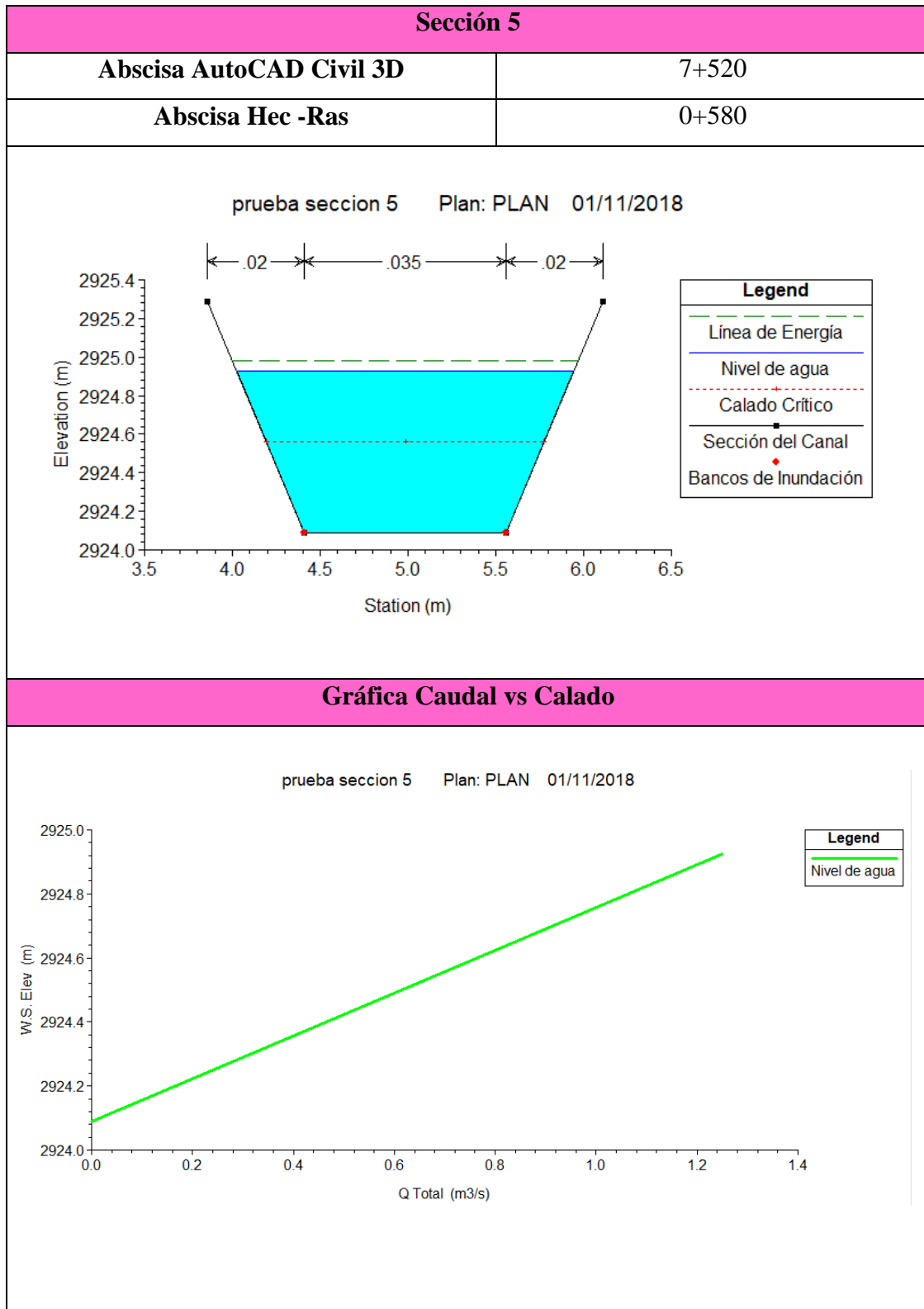


Características Hidráulicas	
Caudal (m³/s)	1.1
Altura del calado (m)	0.89
Coefficiente Manning izquierda	0.013
Coefficiente Manning central	0.03
Coefficiente Manning derecho	0.013
Nivel de agua (m)	0.89
Calado Crítico (m)	0.46
Línea de Energía (m)	0.93
Velocidad Total (m/s)	0.88
Número de Froude	0.32

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

La tabla 17 contiene los resultados del procesos de calibración de la sección 4, la gráfica inicial muestra la línea de energía, nivel de agua, calado crítico, los puntos de bancos de inundación que divide cada límite de estudio tanto las paredes y el fondo del canal cada uno con su respectivo coeficiente de Manning, seguido de la gráfica de la variación del caudal respecto al calado y por último los datos hidráulicos utilizados como el caudal igual a 1.10 m³/s, calado igual a 0.90 m y el coeficiente de Manning tanto en las paredes de 0.013 y el fondo del canal de 0.030, encontrando varios resultados entre los cuales se puede resaltar la velocidad total de 0.88 m/s, calado crítico de 0.46 m y número de Froude igual a 0.32 lo que permite verificar el estado de flujo subcrítico.

Tabla 18. Modelación de la Sección Transversal 5

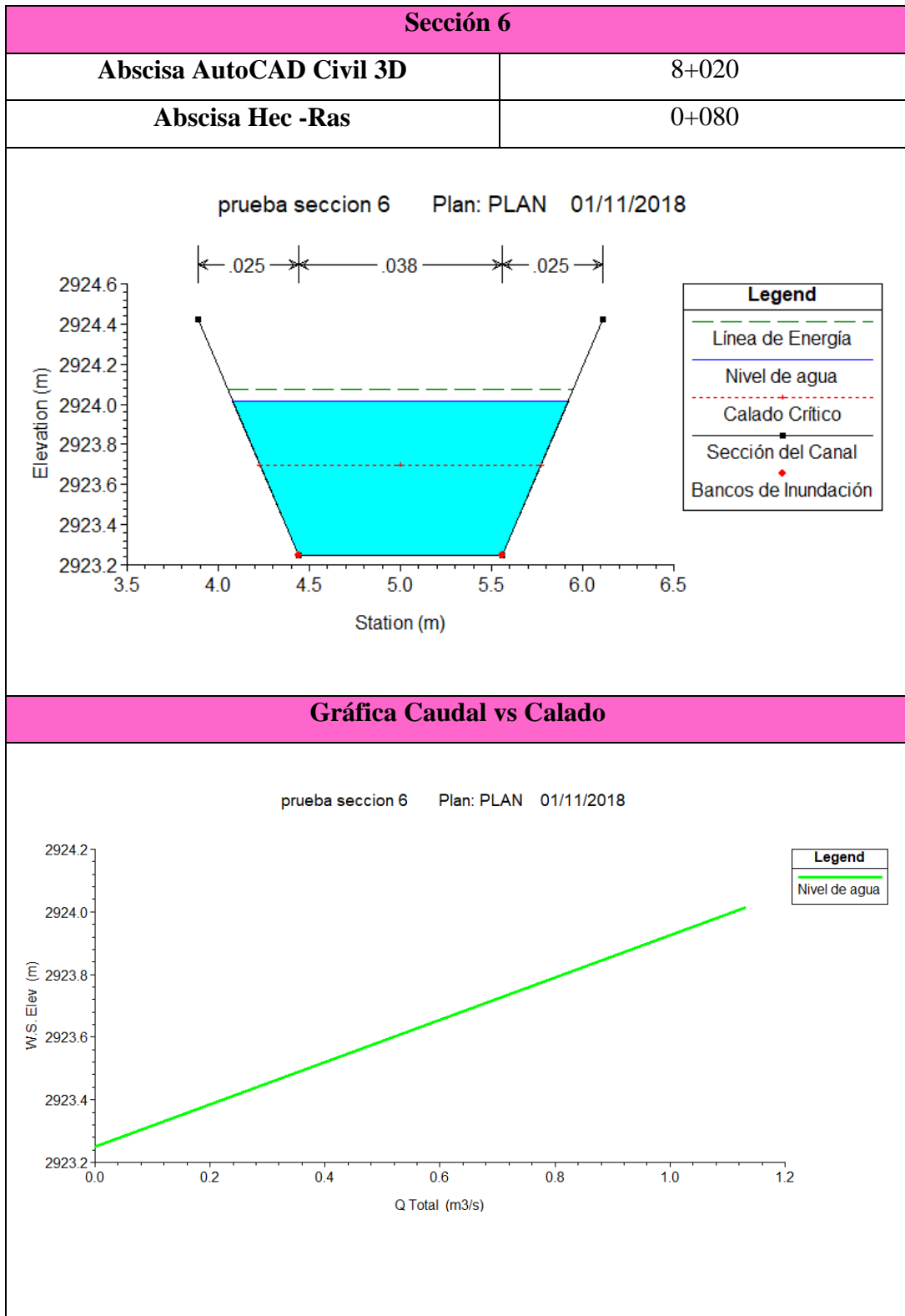


Características Hidráulicas	
Caudal (m³/s)	1.25
Altura del calado (m)	0.83
Coefficiente Manning izquierda	0.02
Coefficiente Manning central	0.035
Coefficiente Manning derecho	0.02
Nivel de agua (m)	0.84
Calado Crítico (m)	0.47
Línea de Energía (m)	0.89
Velocidad Total (m/s)	0.98
Número de Froude	0.38

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

La tabla 18 contiene los resultados del procesos de calibración de la sección 5, la gráfica inicial muestra la línea de energía, nivel de agua, calado crítico, los puntos de bancos de inundación que divide cada límite de estudio tanto las paredes y el fondo del canal cada uno con su respectivo coeficiente de Manning, seguido de la gráfica de la variación del caudal respecto al calado y por último los datos hidráulicos utilizados como el caudal igual a 1.25 m³/s, calado igual a 0.84 m y el coeficiente de Manning tanto en las paredes de 0.020 y el fondo del canal de 0.035, encontrando varios resultados entre los cuales se puede resaltar la velocidad total de 0.98 m/s, calado crítico de 0.47 m y número de Froude igual a 0.38 lo que permite verificar el estado de flujo subcrítico.

Tabla 19. Modelación de la Sección Transversal 6



Características Hidráulicas	
Caudal (m³/s)	1.13
Altura del calado (m)	0.76
Coefficiente Manning izquierda	0.025
Coefficiente Manning central	0.038
Coefficiente Manning derecho	0.025
Nivel de agua (m)	0.76
Calado Crítico (m)	0.45
Línea de Energía (m)	0.82
Velocidad Total (m/s)	1.00
Número de Froude	0.41

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

La tabla 19 contiene los resultados del procesos de calibración de la sección 6, la gráfica inicial muestra la línea de energía, nivel de agua, calado crítico, los puntos de bancos de inundación que divide cada límite de estudio tanto las paredes y el fondo del canal cada uno con su respectivo coeficiente de Manning, seguido de la gráfica de la variación del caudal respecto al calado y por último los datos hidráulicos utilizados como el caudal igual a 1.13 m³/s, calado igual a 0.77 m y el coeficiente de Manning tanto en las paredes de 0.025 y el fondo del canal de 0.038, encontrando varios resultados entre los cuales se puede resaltar la velocidad total de 1.00 m/s, calado crítico de 0.45 m y número de Froude igual a 0.41 lo que permite verificar el estado de flujo subcrítico.

A continuación, en la tabla 20 muestra un resumen de los coeficientes de Manning que resultaron del proceso de calibración de cada una de las secciones transversales, las cuales fueron comparadas con diferentes coeficientes de rugosidad, coberturas superficiales del canal, las mismas que nos proporcionan una idea del grado de funcionamiento y deterioro del material original y el tipo de cobertura equivalente en la actualidad [16].

Tabla 20. *Coeficientes de Manning (n) con sus respectivas fuentes bibliográficas*

n min	n normal	n máx	n HEC-RAS (Versión 5.0.5)	Superficie
0.011	0.013	0.015	0.013	Canal Revestido de Cemento en mortero
0.013	0.015	0.016	0.015	Canal Revestido en Concreto acabado con llana de madera
0.014	0.017	0.02	0.017	Canal Revestido de Concreto sin pulir
0.017	0.02		0.02	Canal Revestido de Concreto sobre roca bien excavada
0.017	0.02	0.025	0.021	Tierra en buenas condiciones
0.018	0.025	0.03	0.025	Acabado de cemento rugoso o mampostería de piedra, cementada
0.022	0.027	0.033	0.03	Canal en tierra recto y uniforme con pastos cortos y alguna maleza
0.025	0.035	0.040	0.035	Fondo pedregoso y maleza en los bordos
0.025	0.035	0.040	0.038	Fondo pedregoso y maleza en los bordos

Fuente: V. Chow, "Hidráulica de los Canales Abiertos", [16].

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.4.2. Simulación General

4.4.2.1. Perfil Longitudinal:

En la Figura 37 se muestra el perfil longitudinal del canal resultado de la Simulación General con la distribución proporcional de coeficiente de Manning con un caudal promedio entre todas las secciones de $1.20 \text{ m}^3/\text{s}$, en la gráfica se puede visualizar la línea de energía, nivel de agua y el calado crítico, determinando que el flujo del tramo estudiado no es uniforme debido a que las características topográficas y geométricas cambian de una sección a otra, teniendo curvaturas pronunciadas a lo largo de la conducción.

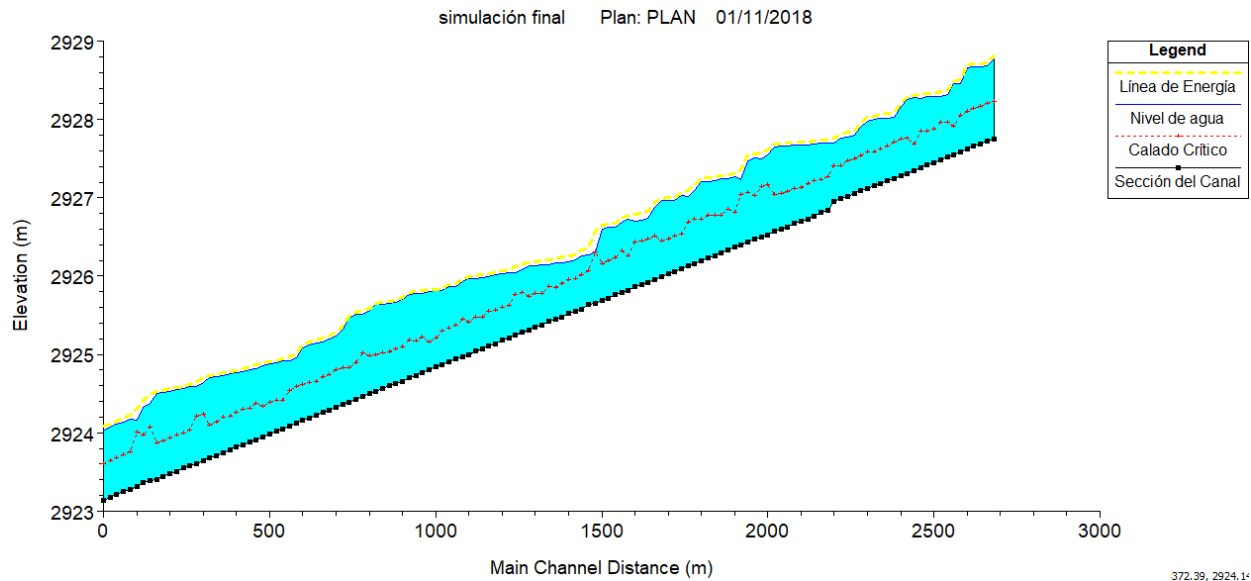


Figura 37. Perfil Longitudinal de la Simulación General

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

La tabla 21 muestra los coeficientes de Manning distribuidos de forma proporcional dentro de la Simulación General, los cuales se basaron en el proceso de calibración del modelo en cada una de las secciones.

Tabla 21. *Coeficientes de Manning distribuidos en las secciones*

Coeficiente de Manning				
Abscisa Hec – Ras (inicial)	Abscisa Hec –Ras (final)	Coeficiente de Manning (izquierdo)	Coeficiente de Manning (centro)	Coeficiente de Manning (derecho)
2+700	2+400	0.013	0.020	0.013
2+380	1+840	0.015	0.021	0.015
1+820	1+300	0.013	0.017	0.013
1+280	0+840	0.013	0.030	0.013
0+820	0+340	0.020	0.035	0.020
0+320	0+020	0.025	0.038	0.025

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.4.2.2. General Plot:

En la gráfica 38 se muestra la variación número de Froude y la Velocidad Total a lo largo del canal para la Simulación General, en la que se destaca los picos más altos los cuales se deben a las curvaturas del recorrido de la conducción que se encuentran en el tramo estudiado, en las abscisas respecto al HEC-RAS (Versión 5.0.5) son: 0+180, 0+340, 0+600, 0+760, 1+440, 1+920, y las abscisas del AutoCAD Civil 3D son: 7+920 , 7+760, 7+500, 7+340, 6+660, 6+180 respectivamente, estas curvas se comportan como una obstrucción al flujo ya que corta la sección transversal del mismo, lo que resulta un aumento de la velocidad y por consiguiente el número de Froude incrementa acercándose a un 1 (estado crítico de flujo) pero se manteniéndose dentro de los parámetros en un estado de flujo subcrítico.

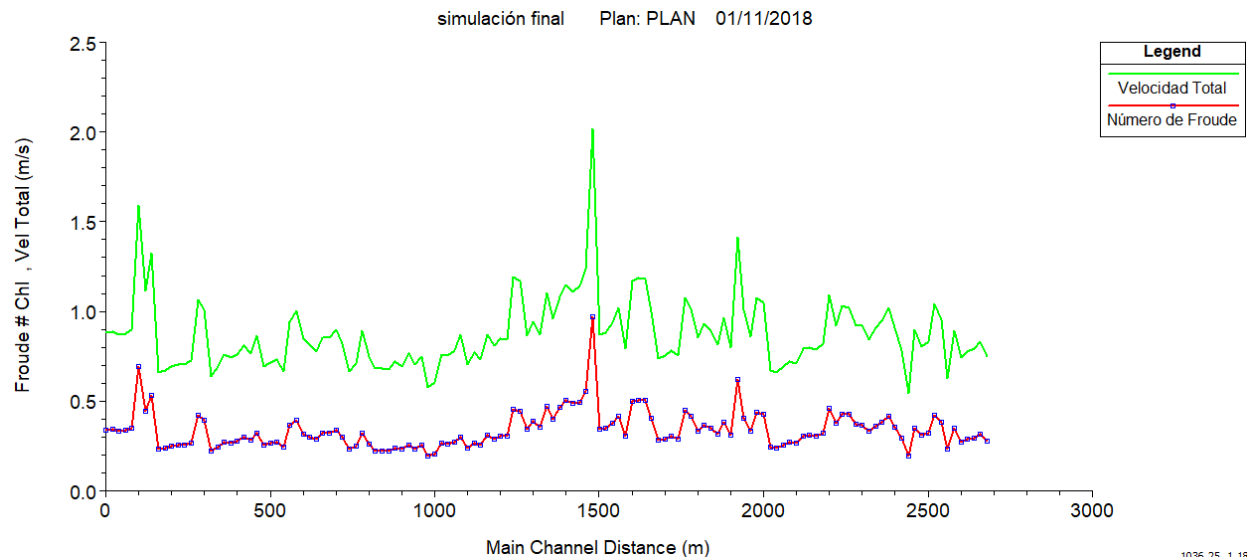


Figura 38. Diagrama respecto al Número de Froude y Velocidad Total

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

En la tabla 22 especifica la distribución en cada tramo dependiendo de la abscisa con su respectivo coeficiente de Manning, el cual determina la referencia característica de la superficie tanto las paredes como el fondo del canal.

Tabla 22. *Coeficientes de Manning con su respectiva característica*

Coeficiente de Manning						
Abscisa Hec – Ras (inicial)	Abscisa Hec – Ras (final)	Coeficiente de Manning (izquierdo)	Coeficiente de Manning (centro)	Coeficiente de Manning (derecho)	Paredes del canal (izquierdo y derecho)	Fondo del Canal (centro)
2+700	2+400	0.013	0.020	0.013	Canal Revestido de Cemento en mortero	Canal Revestido de Concreto sobre roca bien excavada
2+380	1+840	0.015	0.021	0.015	Canal Revestido en Concreto acabado con llana de madera	Tierra en buenas condiciones
1+820	1+300	0.013	0.017	0.013	Canal Revestido de Cemento en mortero	Canal Revestido de Concreto sin pulir
1+280	0+840	0.013	0.030	0.013	Canal Revestido de Cemento en mortero	Canal en tierra recto y uniforme con pastos cortos y alguna maleza
0+820	0+340	0.020	0.035	0.020	Canal Revestido de Concreto sobre roca bien excavada	Fondo pedregoso y maleza en los bordos
0+320	0+020	0.025	0.038	0.025	Acabado de cemento rugoso o mampostería de piedra, cementada	Fondo pedregoso y maleza en los bordos

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.4.2.2. Tablas de resumen de resultados

La tabla 23 presenta un resumen de resultados de la Simulación General en el HEC-RAS (Versión 5.0.5) de todas las secciones con la distribución proporcional de los coeficientes de Manning, detallando las características principales dependiendo la abscisa, indicando los valores obtenidos de caudal, nivel de agua, calado crítico, línea de energía, velocidad total, área del flujo y número de Froude.

Tabla 23. Resumen de las características hidráulicas de la Simulación General

Abscisa AutoCAD Civil 3D	Abscisa Hec-Ras	Caudal (m ³ /s)	Nivel de Agua (m)	Calado Crítico (m)	Línea de Energía (m)	Velocidad de Canal (m/s)	Área de Flujo (m ²)	Número de Froude
5+400	2+700	1.20	1.03	0.48	1.06	0.75	1.60	0.28
5+500	2+600	1.20	0.87	0.46	0.92	0.89	1.34	0.35
5+600	2+500	1.20	0.87	0.43	0.91	0.81	1.49	0.31
5+700	2+400	1.20	0.78	0.46	0.84	1.02	1.18	0.41
5+800	2+300	1.20	0.82	0.45	0.87	0.92	1.30	0.37
5+900	2+200	1.20	0.86	0.43	0.90	0.82	1.46	0.32
6+000	2+100	1.20	1.00	0.45	1.03	0.72	1.66	0.27
6+100	2+000	1.20	1.00	0.64	1.08	1.08	1.12	0.44
6+200	1+900	1.20	0.91	0.52	0.97	0.96	1.25	0.39
6+300	1+800	1.20	0.94	0.57	1.01	1.01	1.18	0.41
6+400	1+700	1.20	0.96	0.45	1.00	0.74	1.63	0.28
6+500	1+600	1.20	0.91	0.44	0.95	0.79	1.51	0.31
6+600	1+500	1.20	0.66	0.66	0.92	2.02	0.59	0.97
6+700	1+400	1.20	0.69	0.43	0.76	1.08	1.11	0.46
6+800	1+300	1.20	0.82	0.43	0.87	0.86	1.39	0.35
6+900	1+200	1.20	0.87	0.42	0.91	0.81	1.48	0.29
7+000	1+100	1.20	0.96	0.49	1.00	0.87	1.38	0.30

7+100	1+000	1.20	1.00	0.37	1.02	0.58	2.07	0.19
7+200	0+900	1.20	1.02	0.45	1.05	0.72	1.66	0.24
7+300	0+800	1.20	1.06	0.56	1.10	0.89	1.35	0.32
7+400	0+700	1.20	0.91	0.46	0.95	0.86	1.40	0.32
7+500	0+600	1.20	0.83	0.48	0.89	1.00	1.19	0.39
7+520	0+580	1.20	0.83	0.46	0.88	0.94	1.27	0.37
7+600	0+500	1.20	0.91	0.39	0.94	0.69	1.73	0.25
7+700	0+400	1.20	0.97	0.44	1.00	0.74	1.61	0.27
7+800	0+300	1.20	0.98	0.60	1.05	1.06	1.13	0.42
7+900	0+200	1.20	1.08	0.46	1.10	0.67	1.78	0.24
8+000	0+100	1.20	0.89	0.48	0.94	0.90	1.34	0.35
8+020	0+080	1.20	0.89	0.47	0.93	0.88	1.37	0.34

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.4.2.3. Captura ilustrativa de una perspectiva 3D.

En la imagen 3D muestra el estudio del subproyecto de 2.7km, el mismo que se ha simulado en el software HEC-RAS (Versión 5.0.5) apreciando la geometría y características propias del canal.

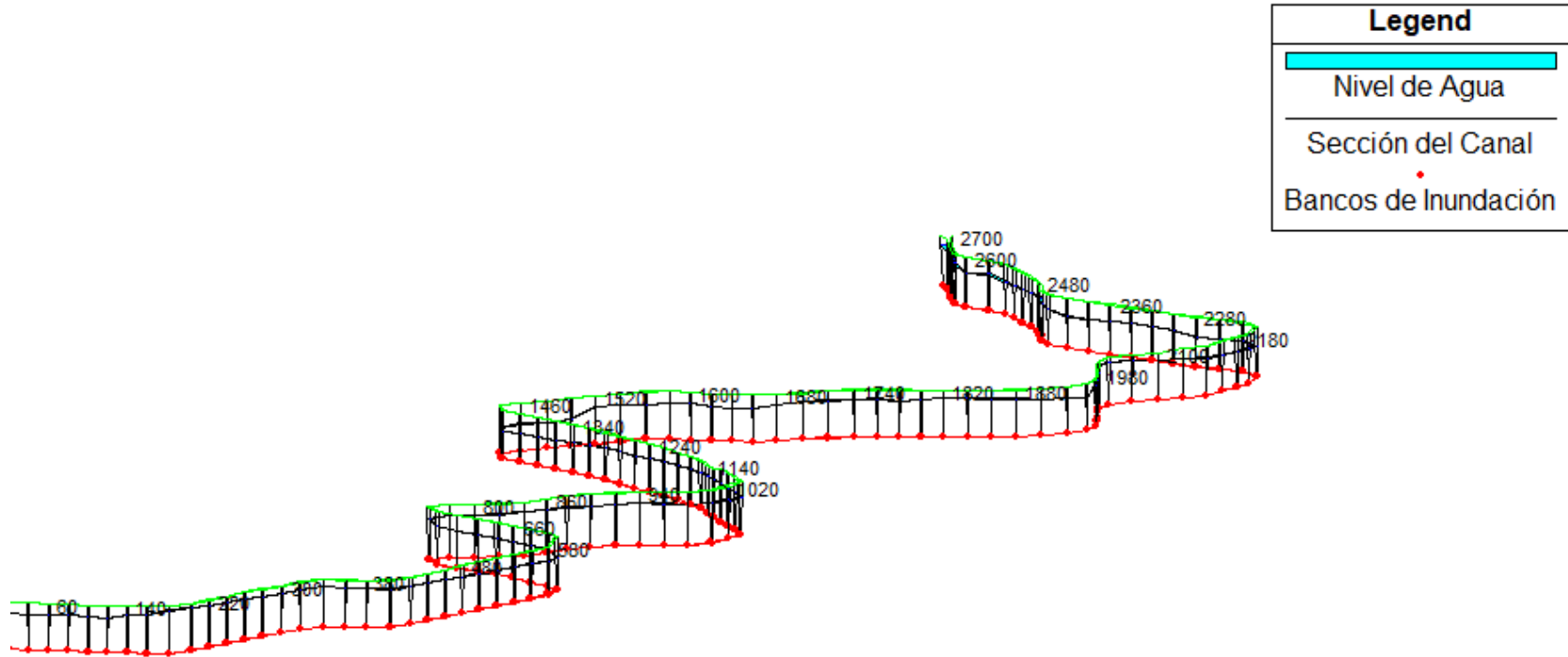


Figura 39. Subproyecto en una perspectiva 3D

Realizado por: Jhoselin Daniela Buñay Valverde

4.5. Verificación de la Hipótesis

- El canal Huachi – Pelileo, en el tramo comprendido entre el óvalo 10 y 13, tiene una longitud de 2.7km, con una pendiente de 0.0017 caracterizado por tener secciones trapezoidales de geometría.
- Al realizar la medición in situ de velocidad y caudal se tuvo un valor promedio de 0.85m/s y 1.20m/s³ respectivamente, lo que nos da un valor de número de Froude de 0.29 que corresponde a un estado de flujo subcrítico.
- El calado normal y el número de Froude en todas las secciones transversales analizadas muestran que el flujo se encuentra en un estado subcrítico, criterio básico para el diseño de sistemas de conducción a cielo abierto [39].

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENCIONES

5.1. Conclusiones

- En la abscisa 0+840 hasta 2+700 de acuerdo al software HEC-RAS (Versión 5.0.5) en base a la modelación numérica del canal el coeficiente de rugosidad de Manning mínimo es de 0.013 en las paredes laterales, debido a que la superficie presenta refacciones en el recubrimiento y acabado de hormigón y limpieza en las paredes laterales del canal. Valor de coeficiente de Manning que es cercano al de un hormigón nuevo con buenos acabados.
- Por otra parte, en la abscisa 0+020 hasta 1+280 en el software HEC-RAS (Versión 5.0.5) se determinó un coeficiente de manning entre un intervalo de 0.030 a 0.038 en el fondo del canal, los máximos obtenidos en la modelación, el cual según la bibliografía corresponde a un canal con fondo pedregoso y maleza en los bordes. Esto se presenta debido a que dentro del tramo analizado está formado por algunas curvas los mismos que producen una aceleración del flujo provocando mayor erosión y rugosidad por tal motivo existe un desgaste, acumulación de algas y materia orgánica.
- El cambio de manning no es uniforme a lo largo del canal, depende de las características propias de la zona analizada, curvaturas, conexiones de agua servidas, basura, escombros, existe derrumbes de laderas pequeñas.
- A pesar que el coeficiente de manning se ha visto afectado por el desgaste de material o acumulaciones de sedimentos y materia orgánica, no ha existido un cambio en el estado de flujo, manteniéndose siempre en régimen subcrítico.

5.2. Recomendaciones

- Pese al cambio de las características físicas del canal, este continúa en funcionamiento, por lo que se recomienda la ejecución de planes de capacitación para la operación, monitoreo y mantenimiento del canal
- Se recomienda la realización de planes, campañas o proyectos para los usuarios del canal de riego con el fin de concientizar y disminuir el arrojo de basuras, desechos animales muertos o vegetales y no ejecutar conexiones clandestinas de aguas servidas de las viviendas por lo que afecta la calidad de agua ya que esto perjudica debido a que forma capas de algas en las paredes y fondo del canal.
- Se recomienda hacer un estudio de análisis de suelos en las zonas inestables en el talud lateral derecho del canal para la implantación de obras de protección ya sea de hormigón lanzado, geo malla o muros de contención.
- Se recomienda algunos radios de curvatura para el diseño de canales trapezoidales, los cuales de ser el caso podrían ser implantados en los puntos problemáticos, al momento de un rediseño de la vía paralela al canal, la tabla 24 muestra el radio mínimo de curvatura en relación a la capacidad del canal.

Tabla 24. *Radio mínimo en canales*

Capacidad del Canal (m ³ /s)	Radio Mínimo (m)
20	100
15	80
10	60
5	20
1	10
0.5	5

Fuente: “Consideraciones Generales sobre Canales Trapezoidales”, Ministerio de Agricultura y Alimentación, Boletín Técnico N°7, Lima 1978, [38].

MATERIAL DE REFERENCIA

1. Referencias

- [1] J. Espir y J. Morales, “Evaluación de Fenómenos Hidráulicos en el Canal Chaquin del Sistema de Riego del Valle de Viru Primer Tramo”, Universidad Privada Antenor Orrego, Abril 2015. [En línea]. Disponible: http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/1142/1/ESPIR_JAN_FEN%C3%93MENOS_HIDR%C3%81ULICOS_CHAQU%C3%8DN.pdf
- [2] L. Correa, “Generación de Energía Hidroeléctrica en Canales de Regadío”, Universidad de Chile, Noviembre 2012. [En línea]. Disponible: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113401/cfcorrea_lj.pdf?sequence=1
- [3] J. Cabrera y P. Racines, “Aplicación de Software libre para el Diseño y Modelación de las Obras Hidráulicas a Flujo Libre de una Pequeña Central Hidroeléctrica en el Río Zarapullo ubicado en la provincia de Sto. Domingo de los Tsachilas”, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2015, [En línea]. Disponible: file:///C:/Users/user/Downloads/DISERTACI%C3%93N%20DE%20GRADO_%20CABRERA_RACINES.pdf
- [4] “Contaminación: Combustibles fósiles”, 2010. [En línea]. Disponible: <http://docum.x10.mx/nat/contaminacion.htm>
- [5] C. Battle, “Análisis del impacto del incremento de la generación de energía renovable no convencional en los sistemas eléctricos latinoamericanos”, Banco Iberoamericano de Desarrollo, Enero 2014. [En línea]. Disponible: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6401/DRP%20An%C3%A1lisis%20del%20impacto%20ER.pdf>
- [6] “Energías Renovables”, Revista National Geographic en su número especial del Cambio Climático, Noviembre 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.accion.com/es/energias-renovables/>
- [7] J. Galindo, R. Utreras, C. Planitzeer, P. Segarra, P. Forster, G. Urgilés, A. Vergara e I. Endara, “Valoración Económica del Aporte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas a la Nueva Matriz Energética del Ecuador: Sector Hidroeléctrico”, Ministerio del Ambiente,

- Octubre 2015. [En línea]. Disponible: <file:///C:/Users/user/Downloads/SNAP%20HIDROELECTRICAS%20WEB.pdf>
- [8] Cemaer, “Energía Hidroeléctrica. Cuáles son los países con mayor capacidad de Producción”, Energías Renovables, Noviembre 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2012/11/16/energia-hidroelectrica-cuales-son-los-paises-con-mayor-capacidad-de-produccion/>
- [9] “Fuentes de Energía Renovables y Mitigación del Cambio Climático”, Informe Especial del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático, 2011 . [En línea]. Disponible: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf
- [10] “La energía hidráulica”. [En línea]. Disponible: <http://energiasdemipais.educ.ar/energia-hidraulica/>
- [11] L. Iglesias, J. Ruperti, L. Valencia y M. Moreira, “El Cambio de la Matriz Energética en el Ecuador y su Incidencia en el Desarrollo Social y Económico de la Población”, Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria, Agosto 2017. [En línea]. Disponible: [file:///C:/Users/user/Downloads/695-1874-4-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/695-1874-4-PB%20(1).pdf)
- [12] “Plan Provincial de Riego Tungurahua 2014 – 2029”, Gobierno Provincial de Tungurahua, 2014. [En línea]. Disponible: file:///C:/Users/user/Downloads/PDF_Resumen_Ejecutivo_Plan_de_Riego_Tungurahua_2014_-_2029.pdf
- [13] E. Hernández, “Hidráulica”, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Noviembre 2014. [En línea]. Disponible: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16714/LECT146.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] G. Sotelo, “ Hidráulica General”, Primera edición , México, Limusa, 1979
- [15] Prado, “Hidráulica”, Hidráulica Prado S.L., [En línea]. Disponible: <http://www.hidraulicaprado.com/pdf/hidraulica.pdf>
- [16] V. Chow, “Hidráulica de los Canales Abiertos” Primera edición, México, Editorial Diana, 1982.
- [17] “Distribución de Velocidades en una Sección de Canal”. [En línea]. Disponible: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/02/distribucion-de-velocidades-en-una.html>

- [18] R. Mott, “Mecánica de Fluidos”, Cuarta edición, México, Pearson Educación, 1996.
- [19] “Conducciones Abiertas Canales”, Cátedra de Ingeniería Rural. [En línea]. Disponible: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/Tema14.pdf
- [20] P. Novak, A.I.B. Moffat y C. Nalluri, “Estructuras Hidráulicas”, Segunda edición, Bogotá, McGraw Hill, 2001
- [21] W. Morán, “Mecánica de Fluidos 2”, Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea]. Disponible: http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/41245/mecanica_de_fluidos_2.pdf
- [22] J. Perez, “Estado del Arte de la Modelación Física en Ingeniería Civil”, Ingeniero Civil, Universidad de La Salle, Bogotá, 2013. [En línea] pp 33. Disponible: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/22227/T40.13%20P415e.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [23] “Modelación Hidráulica” [En línea] pp 15. Disponible: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf
- [24] J. Vasquéz, “Modelación Numérica en Hidráulica”, 2003. [En línea]. Disponible: <http://www.oocities.org/hidropiura/ModelNum.pdf>
- [25] A. Mendoza, “Modelación física y numérica del flujo en ríos”, UAM - Unidad Lerma. [En línea] pp 45- 47. Disponible: <https://www.imta.gob.mx/potamologia/images/potamologia/presentaciones/DR.%20ALEJANDRO%20MENDOZA%20RES%20C3%89NDIZ.pdf>
- [26] “Fricción en tuberías. Pérdidas de carga continuas”, Hidrodinámica Principios Fundamentales. [En línea]. Disponible: <http://cidta.usal.es/cursos/hidraulica/modulos/Documentos/Unidad%203/u3c1s1.pdf>
- [27] M. Jarrín, “Bases para el Diseño Hidráulico de Transiciones en Flujo Subcrítico y Supercrítico”, 2014, pp 38-58, [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2969/1/T-UCE-0011-145.pdf>
- [28] “Ecuaciones fundamentales de la hidráulica”, INITE. [En línea]. Disponible: http://gc.initelabs.com/recursos/files/r144r/w226w/Problema_2/Problema2_Hidraulica_Ecuaciones.pdf

- [29] J. Daza, “Ecuaciones de Saint Venant”, Universidad Militar Nueva Granada, septiembre 2015. [En línea]. Disponible: http://www.academia.edu/16144452/ECUACIONES_DE_SAINT_VENANT
- [30] “Flujo variable en lámina libre”. [En línea]. Disponible: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93706/04Ebc04de12.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [31] “Hidráulica Aplicada HEC-RAS. [En línea]. pp 11 Disponible: <https://jeffreydiaz.files.wordpress.com/2008/08/1-hidraulica-aplicada-hec-ras-flujo-uniforme.pdf>
- [32] “Manual de Aforos”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Primera Edición, México, Editorial IMTA, 1991, pg 3-16.
- [33] “Muestreo de Juicio”, [En línea]. Disponible: <http://ri.ufg.edu.sv/jspui/bitstream/11592/7502/4/658.83-A678p-CAPITULO%20II.1.pdf>
- [34] E. Guadalupe, “Laboratorio de Hidráulica de Canales”, Universidad Austral de Chile, [En línea]. Disponible: http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual_de_Hidraulica_de_Canales.pdf
- [35] O. Fernández, “Caracterización Experimental y Modelado de Canal MIMO para aplicaciones WLAN y WMAN”, Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, Santander, 2007. [En línea]. pp 37, Disponible: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/10668/3de7.OFFcap3.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [36] “Mapa político del Ecuador actualizado”, [En línea]. Disponible: <https://ecuador10.com/mapa-politico-del-ecuador-actualizado/>
- [37] “Plan Comunitario de Preparación para Desastres”, [En línea]. Disponible: <http://www.codeso.com/PDA-Pilahuin/Mapa-Tungurahua-Cantones.html>
- [38] “TRAZO Y DISEÑO DE CANALES”, [En línea]. Disponible: http://www.academia.edu/29102449/TRAZO_Y_DISEÑO_DE_CANALES
- [39] S. Krochin, “Diseño Hidráulico”, Segunda edición, 1982, [En línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/doc/283882848/Diseno-Hidraulico-KROCHIN-pdf>

2. Anexo Fotográfico

2.1.Topografía



Reconocimiento visual del Canal Huachi – Pelileo



Colocando y encerando la Estación total



Visualizando el prisma para tomar la medida.



Guardando las medidas tomadas en la estación total



Enfocando los puntos de la vía junto al canal



Cambio de estación de un punto a otro

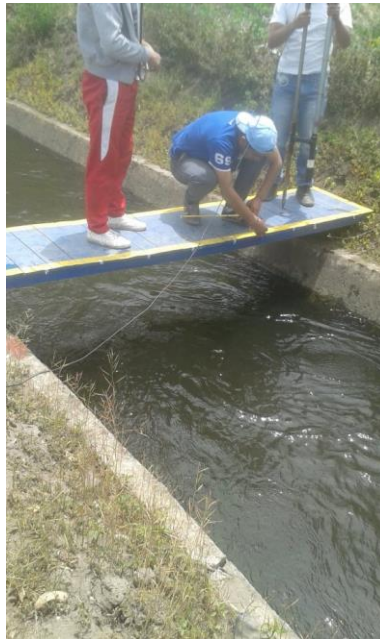


Colocando el prisma al borde del canal

2.2.Recolección de Medidas de Velocidad



Prueba previa con el molinete



Marcando las separaciones a lo largo del ancho de la corriente de agua



Colocando abrazaderas en las medidas a los 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad del agua



Tomando lectura de las velocidades puntuales – Sección 1



Tomando lectura de las velocidades puntuales – Sección 2



Tomando lectura de las velocidades puntuales – Sección 3



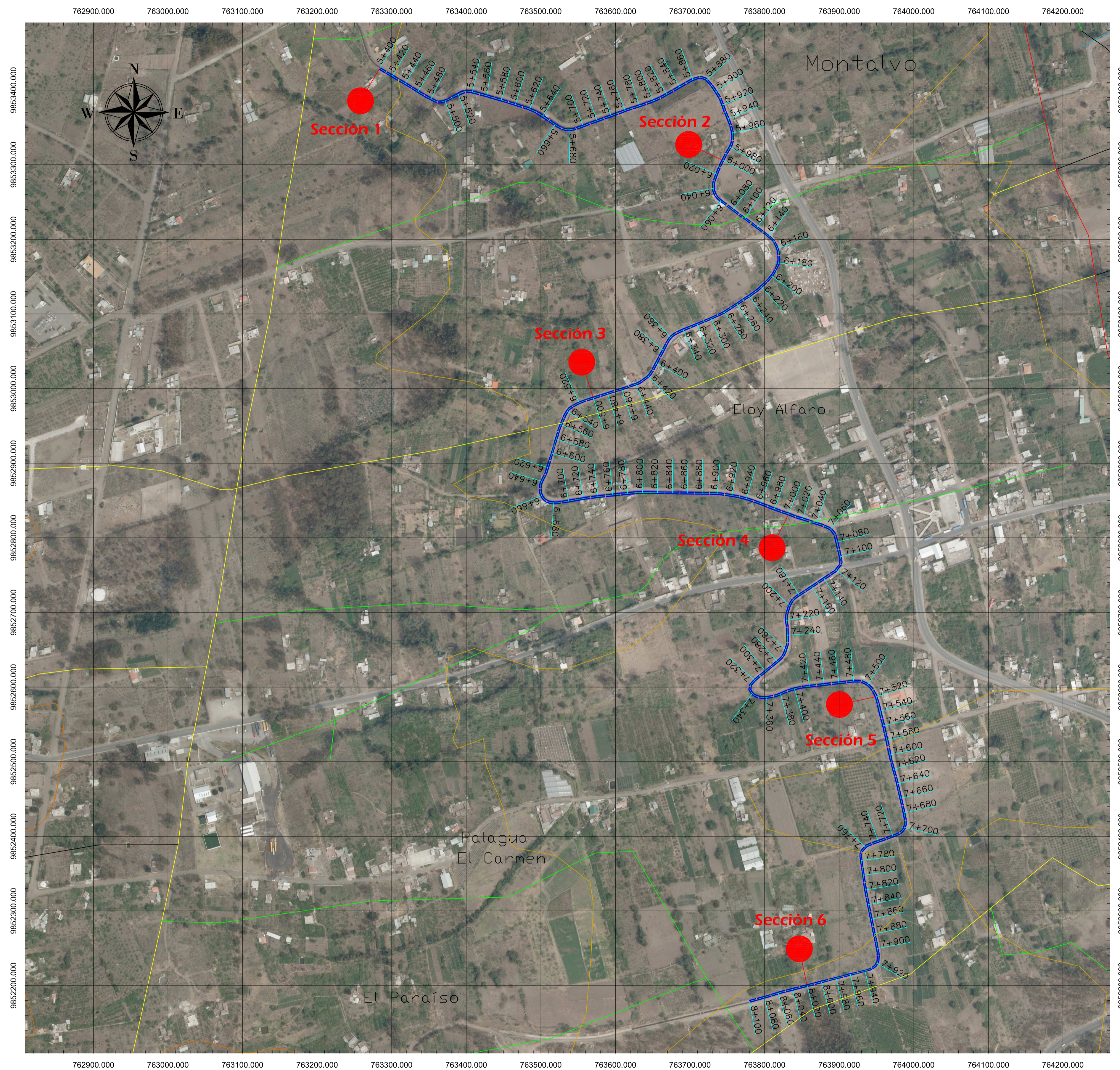
Tomando lectura de las velocidades puntuales – Sección 4



Tomando lectura de las velocidades puntuales – Sección 5



Tomando lectura de las velocidades puntuales – Sección 6



LEYENDA					
Secciones Transversales	Abscisa AutoCAD Civil 3D	Norte	Este	Cota Terreno	Cota Canal
Sección 1	5+400	9,853,427.94	763,283.24	2,929.00	2,927.75
Sección 2	6+000	9,853,306.46	763,742.90	2,927.84	2,926.67
Sección 3	6+500	9,852,988.41	763,569.87	2,927.02	2,925.82
Sección 4	7+000	9,852,831.05	763,831.59	2,926.30	2,924.97
Sección 5	7+520	9,852,586.73	763,948.54	2,925.28	2,924.09
Sección 6	8+020	9,852,201.09	763,856.62	2,924.42	2,923.25

Simbología	
camino	
sendero	
curvas secundarias	
canal Huachi - Pelileo	
via principal	
secciones transversales	



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



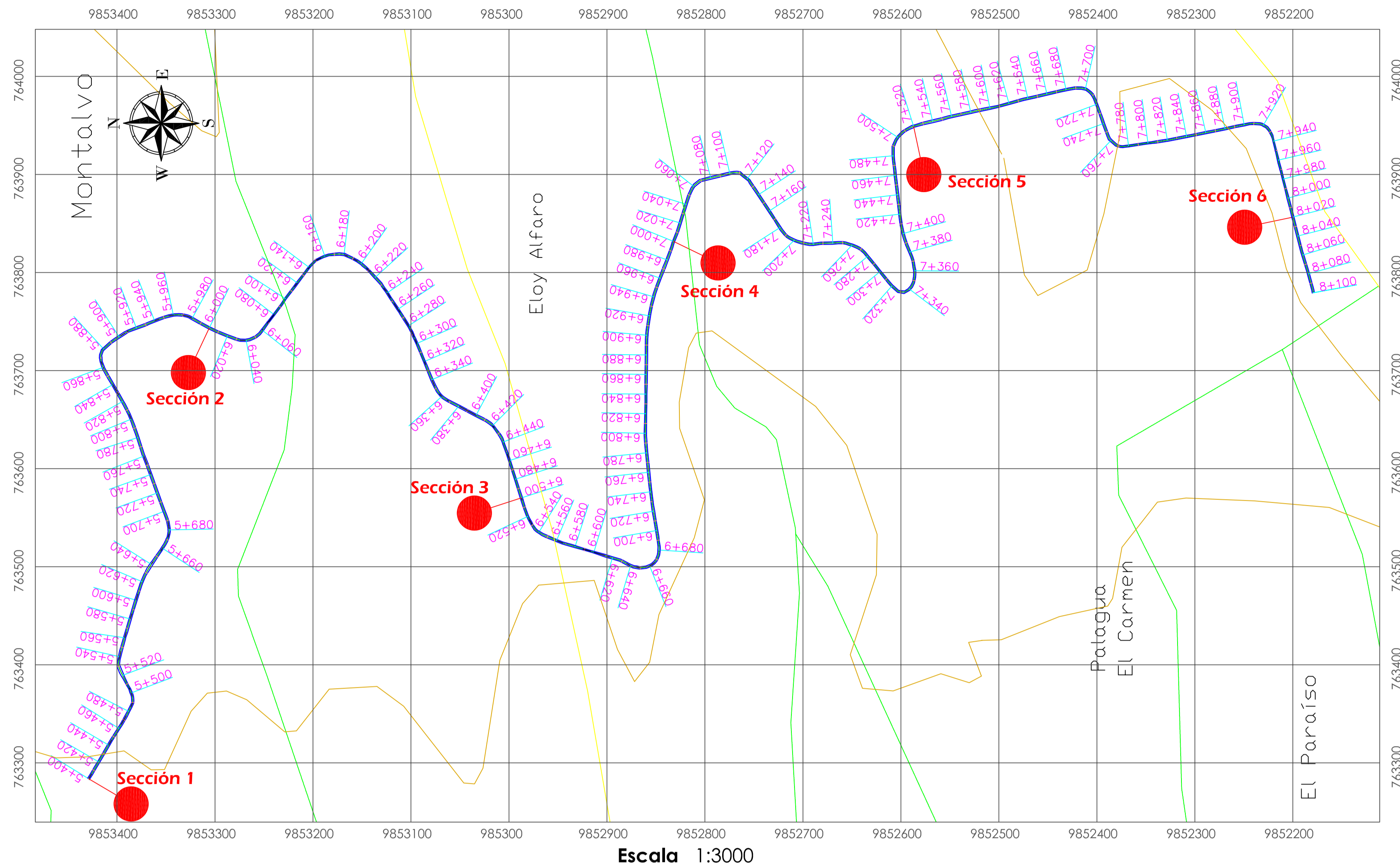
Tesista:
JHOSELIN DANIELA BUÑAY VALVERDE
Proyecto:
TRABAJO EXPERIMENTAL

Contiene:
-Implantación del tramo en estudio

REALIZADO POR:
Jhoselin Daniela Buñay Valverde
REVISADO POR:
Ing. Mg. Lenin Maldonado

CÓDIGO:
ESCALA:
1:3000

FECHA:
Noviembre 2018
LÁMINA:
1/4



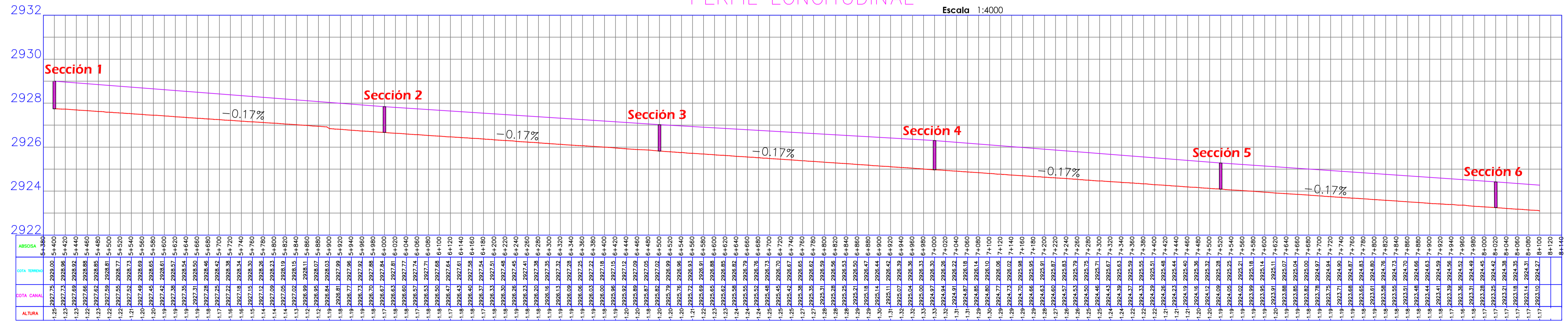
Escala 1:3000

Simbología	
camino	
sendero	
curvas secundarias	
canal Huachi - Pelileo	
secciones transversales	

LEYENDA					
Secciones Transversales	Abscisa AutoCAD Civil 3D	Norte	Este	Cota Terreno	Cota Canal
Sección 1	5+400	9,853,427.94	763,283.24	2,929.00	2,927.75
Sección 2	6+000	9,853,306.46	763,742.90	2,927.84	2,926.67
Sección 3	6+500	9,852,988.41	763,569.87	2,927.02	2,925.82
Sección 4	7+000	9,852,831.05	763,831.59	2,926.30	2,924.97
Sección 5	7+520	9,852,586.73	763,948.54	2,925.28	2,924.09
Sección 6	8+020	9,852,201.09	763,856.62	2,924.42	2,923.25

PERFIL LONGITUDINAL

Escala 1:4000



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



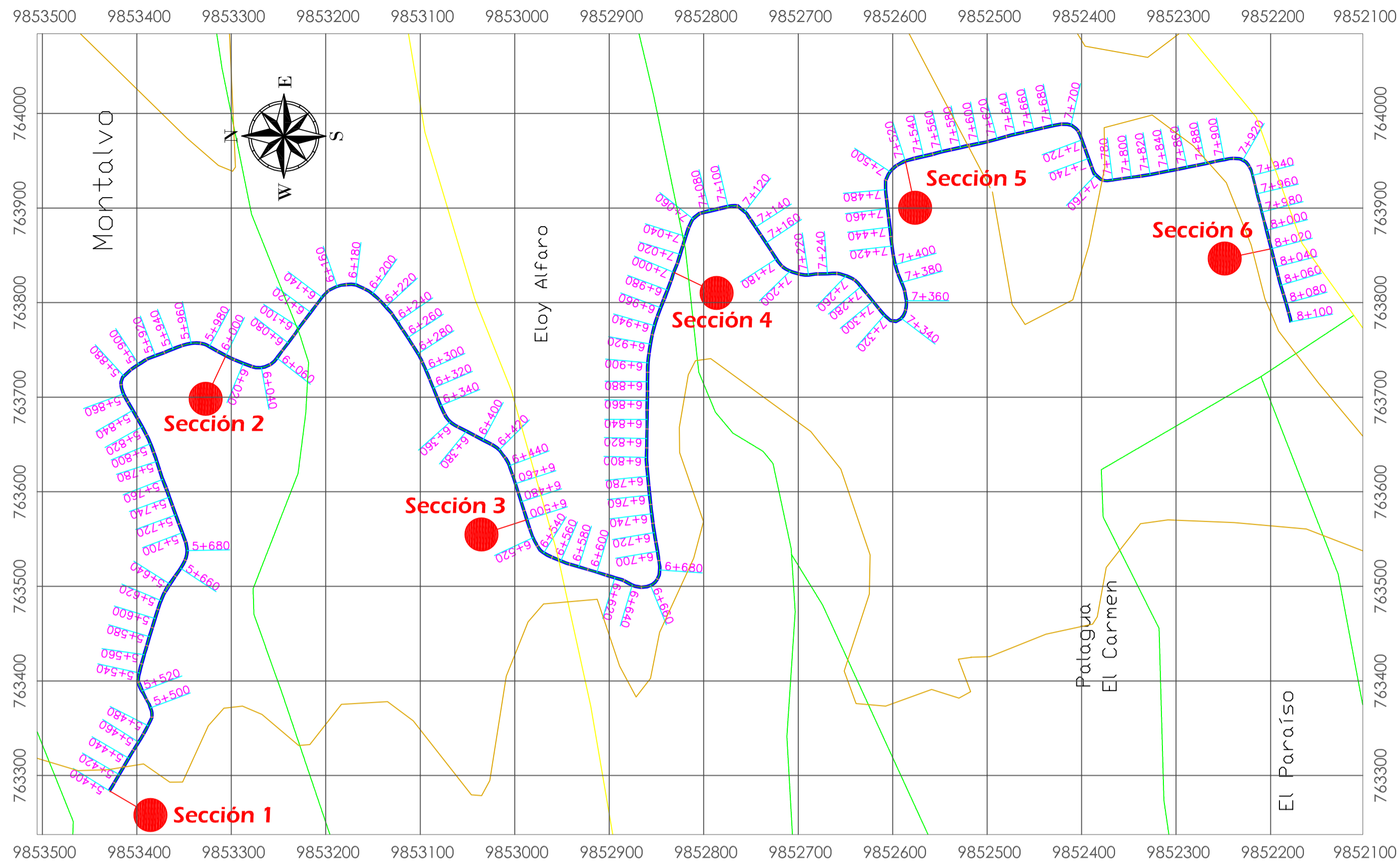
Tesista:
JHOSELIN DANIELA BUÑAY VALVERDE
Proyecto:
TRABAJO EXPERIMENTAL

Contiene:
- Vista en Planta
- Perfil Longitudinal

REALIZADO POR:
Jhoselin Daniela Buñay Valverde
REVISADO POR:
Ing. Mg. Lenin Maldonado

CÓDIGO:
ESCALA:
Indicadas

FECHA:
Noviembre 2018
LÁMINA:
2/4



Escala 1:4000

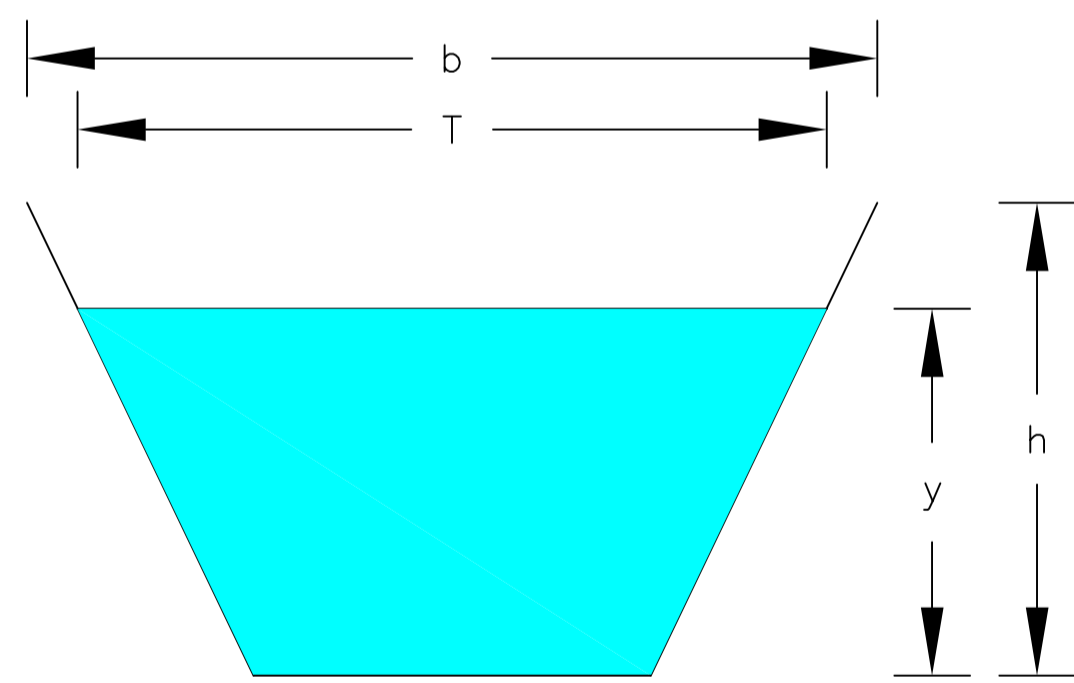
LEYENDA					
Secciones Transversales	Abscisa AutoCAD Civil 3D	Norte	Este	Cota Terreno	Cota Canal
Sección 1	5+400	9,853,427.94	763,283.24	2,929.00	2,927.75
Sección 2	6+000	9,853,306.46	763,742.90	2,927.84	2,926.67
Sección 3	6+500	9,852,988.41	763,569.87	2,927.02	2,925.82
Sección 4	7+000	9,852,831.05	763,831.59	2,926.30	2,924.97
Sección 5	7+520	9,852,586.73	763,948.54	2,925.28	2,924.09
Sección 6	8+020	9,852,201.09	763,856.62	2,924.42	2,923.25

Simbología	
camino	
sendero	
curvas secundarias	
canal Huachi - Peñeol	
secciones transversales	
b	Ancho del canal (m)
T	Espejo de agua (m)
y	Calado (m)
h	Altura del canal (m)

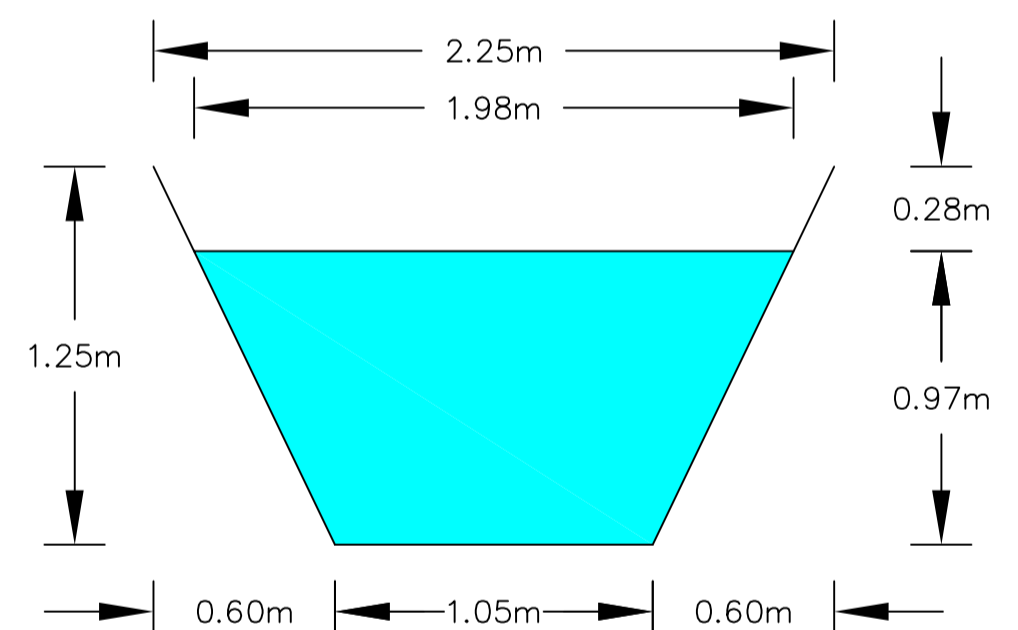
Secciones Transversales

Escala 1:25

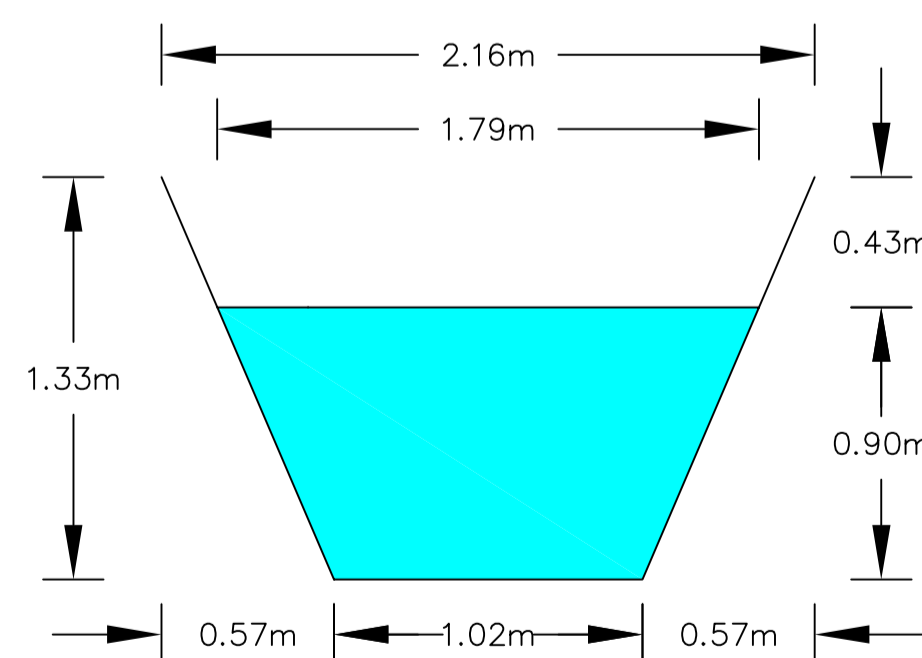
Sección Tipo



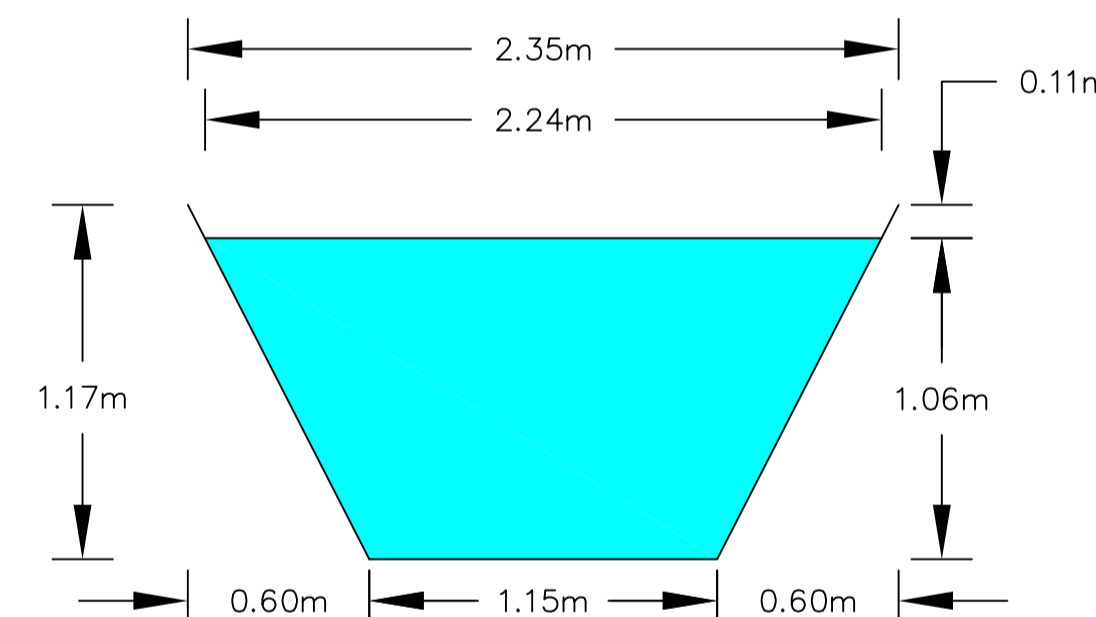
Sección 1



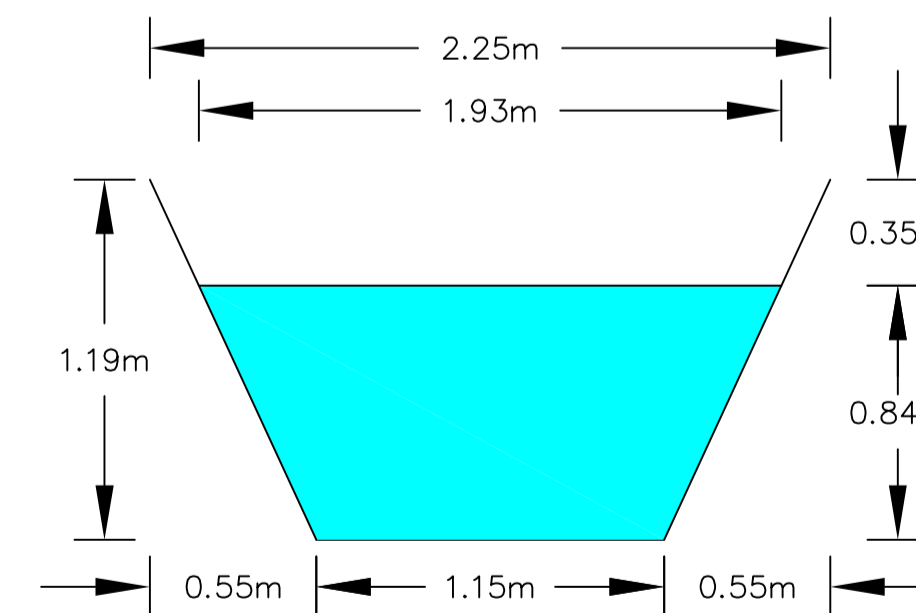
Sección 4



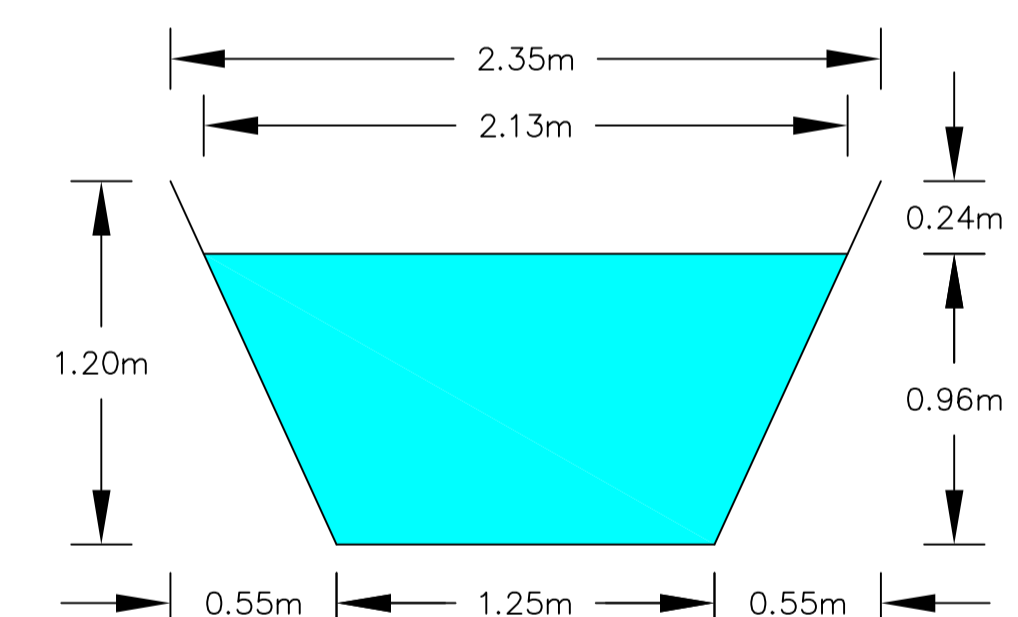
Sección 2



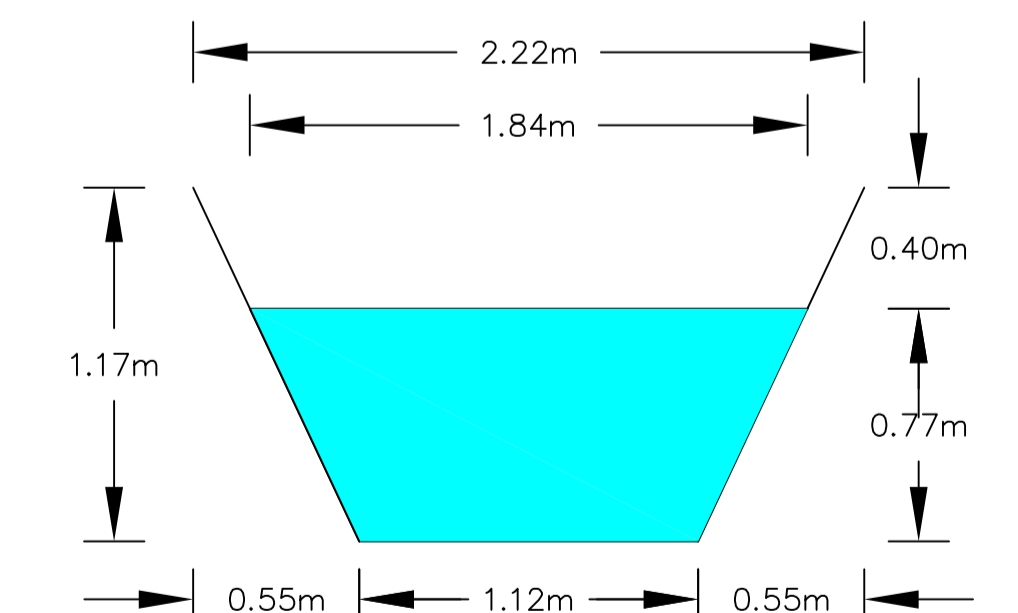
Sección 5



Sección 3



Sección 6



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



Tesista:
JHOSELIN DANIELA BUÑAY VALVERDE
Proyecto:
TRABAJO EXPERIMENTAL

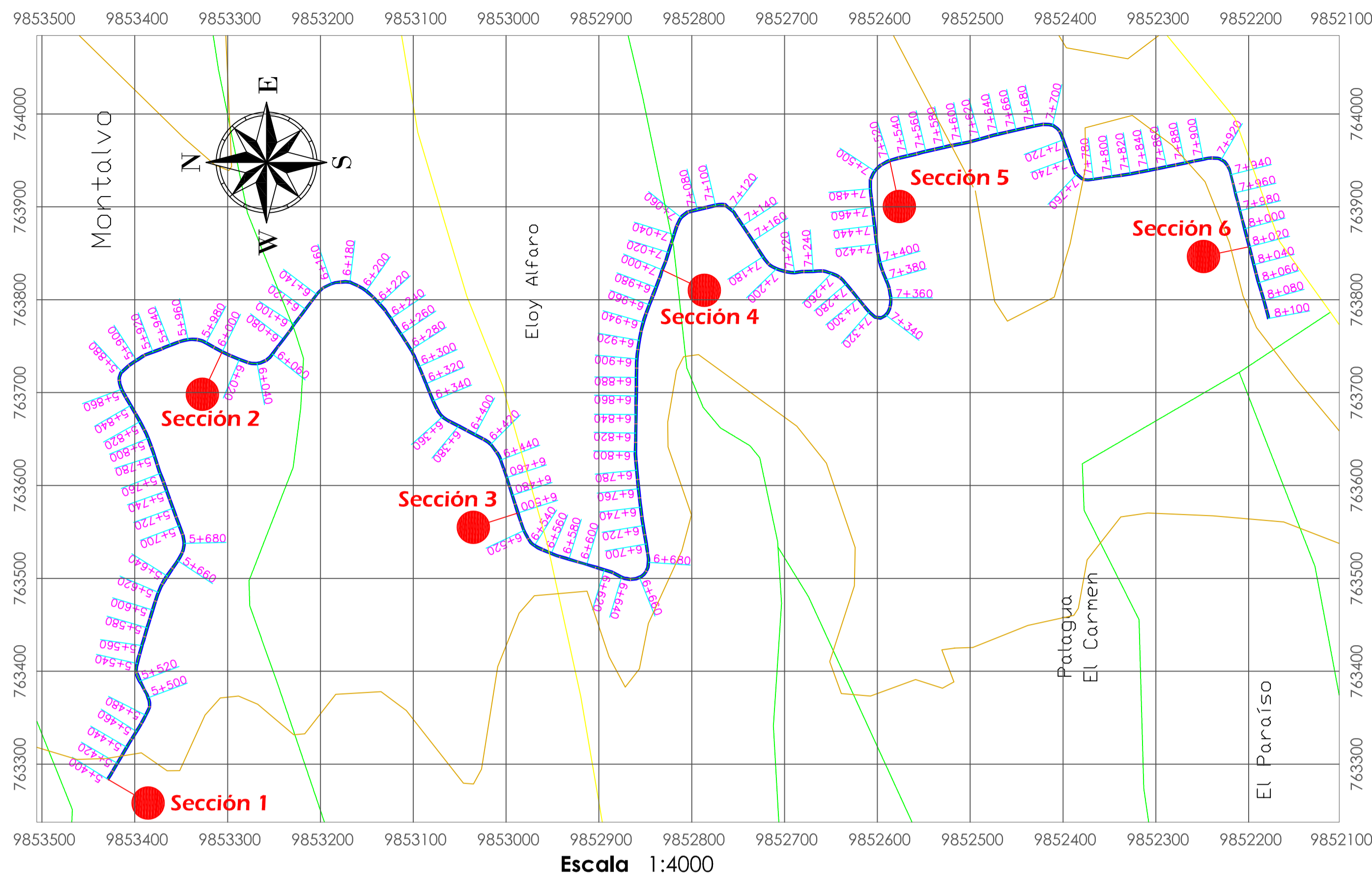
Contiene:
- Vista en Planta
- Secciones Transversales

REALIZADO POR:
Jhoselin Daniela Buñay Valverde
REVISADO POR:
Ing. Mg. Lenin Maldonado

CÓDIGO:
ESCALA:
Indicadas

Noviembre 2018

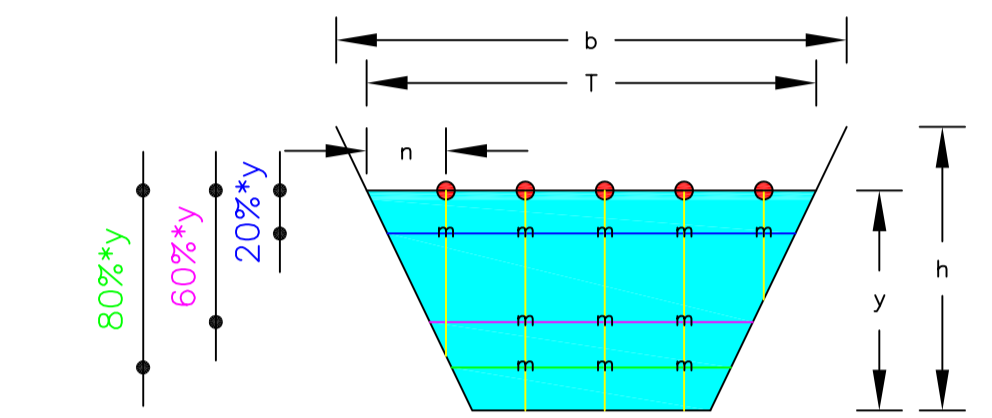
3/4



LEYENDA					
Secciones Transversales	Abscisa AutoCAD Civil 3D	Norte	Este	Cota Terreno	Cota Canal
Sección 1	5+400	9,853,427.94	763,283.24	2,929.00	2,927.75
Sección 2	6+000	9,853,306.46	763,742.90	2,927.84	2,926.67
Sección 3	6+500	9,852,988.41	763,569.87	2,927.02	2,925.82
Sección 4	7+000	9,852,831.05	763,831.59	2,926.30	2,924.97
Sección 5	7+520	9,852,586.73	763,948.54	2,925.28	2,924.09
Sección 6	8+020	9,852,201.09	763,856.62	2,924.42	2,923.25

Simbología	
camino	
sendero	
curvas secundarias	
canal Huachi - Peñeol	
secciones transversales	
b	Ancho del canal (m)
T	Espejo de agua (m)
y	Calado (m)
h	Altura del canal (m)
n	Separación de las mediciones (m)
m	Medida de Velocidad (m/s)

Sección Tipo - Datos de Velocidad

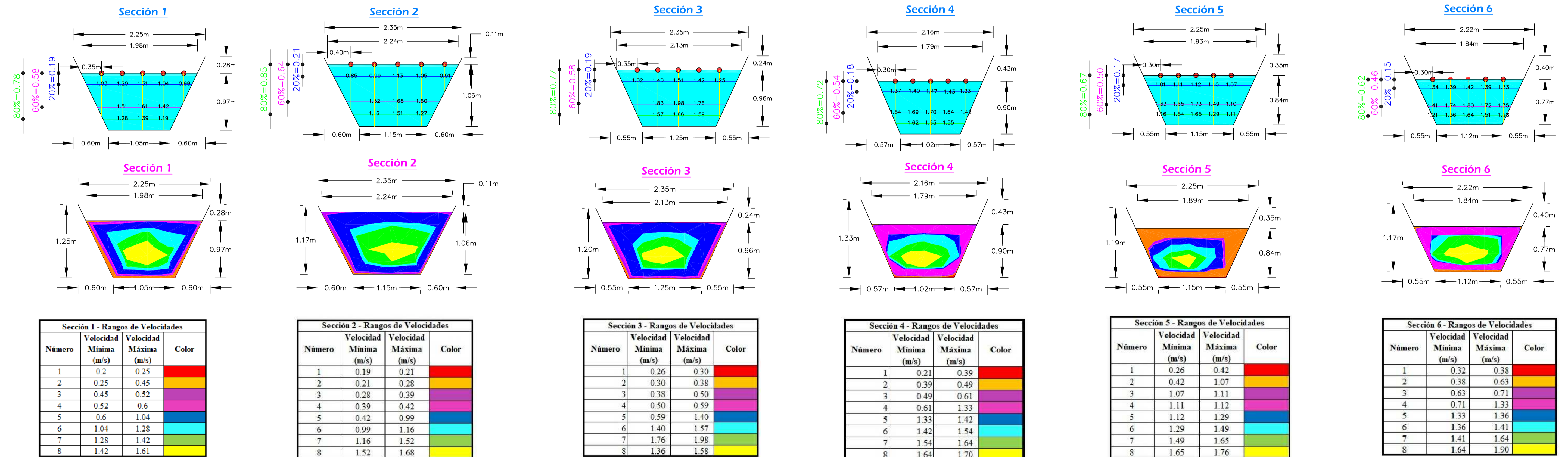


Datos de Velocidad Puntual

Escala 1:35

Curvas de Distribución de Velocidad

Escala 1:35



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



Tesista:
JHOSELIN DANIELA BUÑAY VALVERDE
Proyecto:
TRABAJO EXPERIMENTAL

Contiene:
- Vista en planta
- Medidas de Velocidad Puntual
- Curvas de Distribución de Velocidad

REALIZADO POR:
Jhoselin Daniela Buñay Valverde
REVISADO POR:
Ing. Mg. Lenin Maldonado

CÓDIGO:
ESCALA:
Indicadas

FECHA:
Noviembre 2018
LÁMINA:
4 / 4