



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 1 AL
ÓVALO 4 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO- HUACHI-PELILEO,
CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**

AUTOR: Walter Andrés Criollo Tisalema

TUTOR: Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solórzano

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema “**ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 1 AL ÓVALO 4 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHIPELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA**” elaborado por el señor Walter Andrés Criollo Tisalema, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1804635827, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023



Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solorzano

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Walter Andrés Criollo Tisalema, con CI. 180463582-7 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 1 AL ÓVALO 4 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHI-PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, ideas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto a excepción de la referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



Walter Andrés Criollo Tisalema

CI. 1804635827

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2023



Walter Andrés Criollo Tisalema

CI. 1804635827

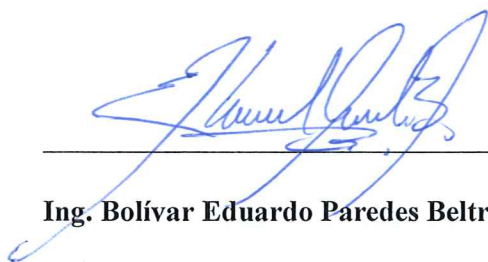
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Walter Andrés Criollo Tisalema de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 1 AL ÓVALO 4 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO-HUACHIPELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA”

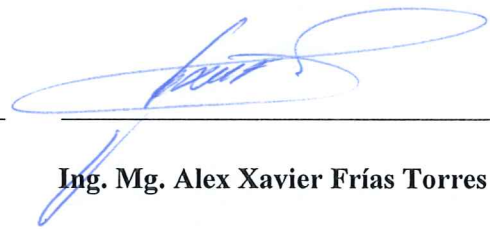
Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman



Ing. Bolívar Eduardo Paredes Beltrán Ph.D

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres José y Mará Rosa desde lo más profundo de mi ser por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por ser esa fuente de inspiración para cada día ser una mejor persona. A mis hermanas Carmen y Daniela por brindarme con sus palabras de aliento para salir adelante. A mis hermanos William y en especial a Luis, quien siempre ha estado ahí para ayudarnos mutuamente y así darme esa fortaleza y empujón para hoy en día lograr uno de mis objetivos más importante de mi vida estudiantil. Como se dice que todo tiene un final y este es mi final de una gran etapa de muchas cosas buenas y malas, pero sobretodo que ha valido la pena para con ello obtener mi recompensa a todo el sacrificio.

A mis compañeros y amigos que en su tiempo me brindaron ese apoyo y a la vez el jalón de orejas que necesitaba para hoy estar cumpliendo ese objetivo que nos planteamos al iniciar esta hermosa carrera. Gracias.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mi Dios celestial, así como a su Santa madre Virgen María por todo lo que me ha dado en la vida, gracias a mi padre José por sembrar en mí ese sueño de ser un ingeniero, a mi madre María Rosa por estar siempre ahí dándome consejos y su amor incondicional, gracias a mis hermanas/os Carmen, Daniela, William y en especial a Luis por siempre estar ahí dándome esos ánimos de que, si se podía, hasta que se logró. Agradezco también a mis compañeros y amigos de este arduo camino universitario. A mis amigos de infancia, vecinos, familiares y todos quienes pusieron ese granito de arena en mi vida para perseverar y alcanzar este objetivo.

Un agradecimiento sincero hacia mi tutor Ing. Fidel Castro por compartir su tiempo y conocimientos en esta travesía, sobre todo por la paciencia y ayuda que me ha brindado para lograr esto tan anhelado.

A la Universidad Técnica de Ambato y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que me han otorgado esa oportunidad para realizar mis estudios y ser un profesional de bien.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica	5
1.1.3.1 Conceptos de Hidráulica de Canales Abiertos	5
1.1.3.2 Elementos geométricos	6
1.1.3.3 Distribución de velocidades.....	7
1.1.3.4 Velocidad media de flujo	9
1.1.3.4.1 Velocidad mínima	11
1.1.3.4.2 Coeficientes de distribución de velocidades de coriollis (α) y Boussinesq (β).....	12
1.1.3.5 Clasificación del flujo en canales	13
1.1.3.5.1 Tipos de flujos.....	13
1.1.3.6 Efecto de la gravedad	17
1.1.3.7 Combinaciones en la naturaleza	17
1.1.3.8 Energía Específica	20
1.1.3.9 Regímenes de flujo	21
1.1.3.10 Dimensionalidad de Modelos Numéricos.....	22
1.1.3.11 Modelos Numéricos vs Modelos Físicos	22
1.1.3.12 Dimensionalidad	23

1.1.3.13	Ecuación de la conservación de energía	25
1.1.3.14	Pérdidas por contracción	26
1.1.3.15	Pérdidas por expansión.....	26
1.1.3.16	Pérdidas por fricción	27
1.1.3.17	Ecuación de cantidad de movimiento.....	27
1.1.3.18	Ecuación de Saint- Venant	28
1.1.3.19	Coefficiente de Manning.....	29
1.1.3.20	Variables dependiente e independiente	32
	• Variable dependiente.	32
	• Variable independiente.	32
1.1.4	Hipótesis	32
1.1.4.1	Hipótesis alternativa	32
1.1.4.2	Hipótesis nula.....	33
1.2	Objetivos.....	33
CAPÍTULO II		34
METODOLOGÍA.....		34
2.1	Tipo de investigación.	34
2.1.1	Población y muestra	34
	• Población	34
	• Muestra.....	35
2.2.1	Plan de muestreo	35
2.2.2	Operacionalización de variable.....	37
	• Variable dependiente	38
2.2.3	Plan de recolección de información.....	39
2.2.4	Plan de procesamiento y análisis.....	40
2.2.4.1	Plan de procesamiento	40
2.2.4.2	Plan de análisis.....	41
CAPÍTULO III		42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		42
3.1	Mediciones in situ	42
3.1.1	Topografía	42
3.1.2	Ubicación Macro	43
3.1.3	Ubicación Meso	44
3.1.4	Ubicación Micro	45
3.1.5	Perfil Longitudinal.....	50

3.1.6	Datos de velocidades	52
3.1.7	Cálculo de velocidades medias y caudales medios.....	55
3.1.7.1	Caudal Medio	56
3.1.7.2	Velocidad Media	58
3.1.7.3	Análisis de datos obtenidos en la medición in-situ.....	59
3.1.7.4	Curvas de Velocidad.....	66
3.1.7.5	Coeficientes de Manning	70
3.1.8	Análisis de los resultados de la modelación en el programa HEC-RAS.....	71
3.1.9	Simulación.....	71
3.1.10	GENERAL PLOT	73
3.1.11	Resultados de la simulación individual de secciones.....	73
3.1.12	CAPTURA ILUSTRATIVA DEL MODELO 3D HEC-RAS	81
3.2	Verificación de hipótesis.....	82
CAPÍTULO Iv		83
conclusiones y recomendaciones		83
4.1	Conclusiones	83
4.2	Recomendaciones.....	84
Referencias Bibliograficas.....		85
ANEXOS.....		88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de elementos geométricos de la sección de un canal	6
Figura 2. Distribución transversal de la velocidad en un canal rectangular	8
Figura 3. Distribución de la velocidad en un canal rectangular.....	8
Figura 4. Efecto de la rugosidad en la distribución de velocidades en un canal.....	9
Figura 5. Velocidad medida a 0.6y y cálculo de velocidad media.....	9
Figura 6. Velocidad medida a 0.2 y 0.8 de y, cálculo de velocidad media.....	10
Figura 7. Vista superior del flujo laminar	15
Figura 8. Vista superior del flujo turbulento.....	15
Figura 9: Vista superior del flujo transicional	16
Figura 10. Corte longitudinal del flujo uniforme permanente	18
Figura 11. Corte longitudinal del flujo uniforme no permanente	18
Figura 12. Corte longitudinal del flujo rápidamente variado.....	19
Figura 13. Flujo acelerado	20
Figura 14. Flujo retardado.....	20
Figura 15. Curva de energía específica.....	21
Figura 16. Modelo unidimensional	23
Figura 17. Modelo bidimensional	24
Figura 18. Modelo bidimensional	24
Figura 19. Energía total en una sección de un canal	26
Figura 20. Levantamiento Topográfico in situ del canal	42
Figura 21. Mapa político de Ecuador.....	43
Figura 22. Mapa político de la Provincia de Tungurahua.....	44
Figura 23. Implantación del tramo total en estudio	45
Figura 24. Implantación del tramo en estudio	50
Figura 25. Perfil Longitudinal del tramo en estudio	51
Figura 26. Toma de velocidades con el molinete.....	56
Figura 28. División de franjas verticales para el cálculo del caudal medio por el método2.....	58
Figura 29. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 1 por el método 1 y 2.....	59

Figura 30. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 2 por el método 1 y 2.....	61
Figura 31. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 3 por el método 1 y 2.....	62
Figura 32. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 4 por el método 1 y 2.....	63
Figura 33. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 5 por el método 1 y 2.....	64
Figura 34. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 6 por el método 1 y 2.....	65
Figura 35. Curvas de velocidad de la sección 1	66
Figura 36. Curvas de velocidad de la sección 2.....	67
Figura 37. Curvas de velocidad de la sección 3.....	67
Figura 38. Curvas de velocidad de la sección 4.....	68
Figura 39. Curvas de velocidad de la sección 5.....	69
Figura 40. Curvas de velocidad de la sección 6.....	69
Figura 41. Perfil Longitudinal de Simulación.....	72
Figura 42. Diagrama de velocidad total y número de Froude de la simulación numérica.....	73
Figura 43. Resultados de la modelación Sección 1.....	75
Figura 44. Resultados de la modelación Sección 2.....	76
Figura 45. Resultados de la modelación Sección 3.....	77
Figura 46. Resultados de la modelación Sección 4.....	78
Figura 47. Resultados de la modelación Sección 5.....	79
Figura 48. Resultados de la modelación Sección 6.....	80
Figura 49. Modelo 3D a través de la modelación en el HEC-RAS.	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de distribución de velocidades	13
Tabla 2. Valores límite del número de Reynolds.....	16
Tabla 3: Tipo de flujo según el número de Reynolds y Froude.....	22
Tabla 4. Valores de coeficientes de rugosidad de Manning	29
Tabla 5: Matriz para el registro de datos de velocidad	36
Tabla 6: Operacionalización de la variable independiente	37
Tabla 7: Operacionalización de la variable dependiente	38
Tabla 8: Plan de recolección de información.....	39
Tabla 9: Medidas geométricas de los puntos en estudio.....	46
Tabla 10: Datos de geometría del canal de la sección 1	46
Tabla 11: Datos de geometría del canal de la sección 2	47
Tabla 12: Datos de geometría del canal de la sección 3	47
Tabla 13: Datos de geometría del canal de la sección 4	48
Tabla 14: Datos de geometría del canal de la sección 5	48
Tabla 15: Datos de geometría del canal de la sección 6	49
Tabla 16. Datos de velocidades del canal en la sección 1.....	52
Tabla 17. Datos de velocidades del canal en la sección 2.....	53
Tabla 18. Datos de velocidades del canal en la sección 3.....	53
Tabla 19. Datos de velocidades del canal en la sección 4.....	54
Tabla 20. Datos de velocidades del canal en la sección 5.....	54
Tabla 21. Datos de velocidades del canal en la sección 6.....	55
Tabla 22. Resumen de velocidades medias y caudales.....	66
Tabla 23. Velocidades medias, radio hidráulico, pendientes y coeficientes de Manning para cada sección.	70
Tabla 24. Coeficientes de Manning distribuidas en las secciones.	72
.....	73
.....	76
.....	77
.....	78
.....	79
.....	80

Tabla 25. Descripción del coeficiente de rugosidad de Manning.....	81
--	----

RESUMEN EJECUTIVO

Debido a que no se tenía registros de las condiciones en las que se encuentran los óvalos en mención, en el presente trabajo experimental se propone el estudio y caracterización hidráulica del canal de riego en el tramo comprendido entre el óvalo 1 y óvalo 4 ubicados en el sector de Huachi La Libertad, basándose en el levantamiento topográfico del canal.

Se determinó las propiedades físicas e hidráulicas del canal comprendido en las abscisas 0+00 kilómetros 2+600 kilómetros, se utilizó la estación total para determinar la topografía y el molinete DMM-4000/PFT para determinar las velocidades a diferentes alturas de la profundidad hidráulica según sea el método de aforo, la topografía obtenida se procesó con la ayuda de un software especializado para determinar curvas de nivel, perfil longitudinal del canal, entre otros, las velocidades fueron procesadas en hojas de cálculo para determinar el caudal en cada sección transversal y, con esto se realizó las gráficas de velocidades en las cuales nos presentaban los rangos mínimos y máximos existentes en el canal de estudio.

Se modeló el canal haciendo uso del programa de simulación hidráulica para canales y recrear su comportamiento en un modelo numérico por cada punto, en el que se realizó el cambio de valores de coeficientes de Manning, en otras palabras, se determinó características propias del punto del estudio y se analizó el impacto del diseño del canal en la actualidad.

Palabras claves: Canal de riego, Caracterización hidráulica, simulación hidráulica, Molinete DMM-4000/PPFT, Modelos numéricos.

ABSTRACT

Due to the fact that there were no records of conditions in which the mentioned ovals are found, in the present experimental work the study and hydraulic characterization of the irrigation canal in the section between oval 1 and oval 4 located in the sector of Huachi La Libertad, based on the topographic survey of the canal.

The physical and hydraulic properties of the channel included in the abscissas 0+00 kilometers to 2+600 kilometers were determined, the total station was used to determine the topography and the DMM-4000PFT windlass to determine the speeds at different heights of the hydraulic depth, depending on the gauging method, the topography obtained was processed with the help of specialized software to determine contour lines, longitudinal profile of the channel, among others, the velocities were processed in spreadsheets to determine the flow in each cross section and with this, the speed graphs were made in which the minimum and maximum ranges existing in the study channel were presented.

The channel was modeled using the hydraulic simulation program for channels and recreating its behavior in a numerical model for each point, in which the change of values of Manning coefficients was made, in other words, characteristic of the point of the channel were determined, study and analyzed the impact of the canal design today.

Keywords: Irrigation channel, Hydraulic characterization, hydraulic simulation, DMM -4000/PPFT windlass, Numerical models.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 1 AL OVALO 4 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.

1.1.1 Antecedentes

El principio de la conservación de la energía es un fenómeno importante en toda actividad que se puede realizar día a día. Se sabe que la energía no se destruye, sino que se transforma. Es allí donde nace la idea de generar energía alternativa a base del uso del agua que se encuentra conducida mediante canales naturales, como: ríos, arroyos, canales de riego; o canales artificiales como: alcantarillas, canaletas para lluvia en casas o edificios, entre otros.

Como es de conocimiento vuestro, el agua es muy esencial tanto para el bienestar y la supervivencia humana, así como también para sectores de la economía [1].

La hidroelectricidad es un tema muy importante por su uso aporte que brinda; en asambleas internacionales y diversos tratados a nivel mundial se constituyen medidas para el uso de fuentes de energías renovables limpias. En América Latina y el Caribe se ha puesto un singular hincapié en su uso. Por las condiciones benévolas en cuanto a fuentes hídricas y sus condiciones topográficas [2].

Ecuador utiliza más la generación de energía mediante el uso de hidroeléctricas, ya que el agua es un recurso abundante, sobre todo en la sierra ecuatoriana lo que hace factible la construcción de centrales hidroeléctricas en cotas superiores a 2500 msnm (metros sobre el nivel del mar), con lo que se aprovecharía la fuerza del agua generando caudales y velocidades altas para el respectivo movimiento de las grandes turbinas. El agua una vez que ya fue utilizada vuelve al cauce y así vuelve a ser utilizada para fines industriales o domésticos, o a su vez en la agricultura, también esta agua puede llegar a ser distribuida alrededor del país en pequeños caudales usando bocatomas, los mismos que recorren largas distancias. Al momento de alcanzar un

punto alto este recurso hídrico es distribuido para varias poblaciones con alta o baja demanda de caudal según sea necesario por el número de hectáreas a las que sea destinada según lo determine un Plan Nacional de Riego y Drenaje en este caso para Ecuador el previsto del año 2011 proyectado hasta el 2026 [3].

El agua destinada para la agricultura podría tener otro uso si se ejecuta un estudio acorde de las propiedades físicas e hidráulicas de los canales que conducen el agua.

En Ecuador mediante estudios realizados haciendo uso del programa HEC-RAS se pudo hallar modelaciones hidráulicas en ríos y así determinar los parámetros hidráulicos como también el transporte de sedimentos. Los parámetros necesarios para determinar el transporte de sedimentos en un canal son: la profundidad de agua, velocidad o a su vez el caudal existente en el cauce y la descarga de sedimentos, para esto se escoge un procedimiento de modelación siendo de esto la dependencia de la separación entre secciones y el intervalo de tiempo para la modelación [4].

1.1.2 Justificación

La energía fósil se logra debido a la combustión de algunas sustancias procedentes de restos de animales o vegetales de hace varios millones de años que fueron enterrados por consecuencia de grandes cataclismos o ya sea fenómenos naturales o a la vez por efecto de microorganismos, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

Entre los combustibles fósiles que actualmente se usan tenemos al carbón mineral, petróleo y sus derivados, gas natural, arenas alquitranadas y esquistos bituminosos.

Los combustibles no son muy bien vistos en la actualidad por parte de los ecologistas, debido a que estos producen una gran cantidad de gases, los cuales afectan a la contaminación global y también aumentando el efecto invernadero. Además, el uso descontrolado de estos combustibles está provocando que puedan terminarse [5].

Debido a esto, se trata de minimizar la contaminación generando energía a través de fuentes limpias como lo es la generación de energía hidroeléctrica, que esta a su vez se relaciona con la construcción de presas, que al realizarlo provoca cambios físicos, químicos y biológicos en el cauce ya sea este del río o canal. La generación de energía por medio de hidroeléctricas representa una gran oportunidad para el Ecuador, no solo

en el tema de que sea una fuente de financiamiento de proyectos sino en relación al medio ambiente [6].

Si bien entonces el recurso hídrico agua, se extiende a lo largo y ancho del planeta, cubriéndolo el 71% de la superficie terrestre. Con respecto al PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), la Tierra posee un total aproximado de 1.400.000.000 de km³ de agua, donde solo el 2.5% es agua dulce, en el cual lidera el continente asiático con el 36% del total del agua dulce, América del Sur se encuentra en el segundo puesto con el 26%, lo cual se puede observar la gran riqueza hídrica que posee nuestro continente americano [7].

En América del Sur el cauce más sobresaliente es el río Amazonas con un caudal anual promedio de 120.000 m³/s: de él forman parte Brasil, Bolivia, Ecuador, Colombia, Perú, y Venezuela [7].

Por lo general para la generación de energía se basan básicamente con caudales de ríos, lagunas entre otras, para el presente proyecto se tratará con caudales y velocidades relativamente bajas como se da en el caso de los canales de conducción a cielo abierto, los cuales tienen propiedades tales como: la profundidad de flujo o también llamado Tirante, el Nivel, ancho superficial, área mojada, perímetro mojado, radio hidráulico, en los cuales su valor puede determinarse matemáticamente.

En dichos canales las velocidades no se encuentran uniformemente distribuidas debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes que envuelven al canal [8].

La demanda alta del consumo de energía, sustentado en combustibles fósiles, ha traído consecuencias ya mencionadas anteriormente. Por ello, ha sido de gran importancia dotar de energía moderna y limpia al tiempo que se mitiga el cambio climático, para conseguir esto el Ecuador se propone una variación en su matriz energética que se sostiene en la creación de 8 centrales hidroeléctricas que se construyen en la vertiente amazónica. Con esto lo que se analiza es que se ha incluido más fuentes de energías renovables a la matriz energética ya que Ecuador tiene potencial para realizarlo.

En el Ecuador se piensa que la variación de la matriz energética no está determinada por motivaciones ambientales o ecológicas sino más bien por razones económicas; ya que para el país se convierte insostenible el subsidio de gas y sobre todo, a los

derivados del petróleo que implica un egreso anual de más de 6 mil millones de dólares. Por esa razón se ha buscado disminuir el consumo de gas y los derivados del petróleo, pero sin dejar de producir y exportar el petróleo actualmente existente, al que se suma la producción de los pozos de la I.T.T en el Yasuní [9].

En el Ecuador existe un sin número de canales de riego, pero para el presente proyecto nos centramos en el canal de riego Ambato – Huachi – Pelileo, el cual hace la entrega de agua potable de la ciudad de Ambato aproximadamente el 10%, todo con el fin de no afectar los intereses de los agricultores, especialmente en épocas de estiaje. En el presente documento se tratará principalmente en el estudio de las características hidráulicas, el cual constará de estudios topográficos, físicos y geométricos de dicho canal, los cuales serán de mucha utilidad para la generación de energía. El trabajo consiste en la toma de datos de velocidad mediante el uso del transmisor de caudal de fluidos y medidas geométricas de la sección transversal in situ para luego estos sean procesados y así obtener un caudal medio, velocidad media, tirante y área mojada de cada sección transversal estudiada. Después se realizará el modelado matemático en el software HEC-RAS el mismo que deberá presentar resultados semejantes a los tomados en sitio.

Las simulaciones hidráulicas mediante HEC-RAS aportan de una forma más fácil a relacionar la topografía de un canal, el volumen de agua y la multitud de sedimentos que son trasladados a lo largo de una parte del canal, además nos permite definir de qué manera afectará el comportamiento del flujo, velocidad comportamiento del caudal, los obstáculos que se hacen presente en la sección transversal del cauce o canal [10].

La modelación y simulación son métodos que se pueden utilizar conjuntamente en proyectos de investigación y demás áreas que deseen definir la incidencia, vulnerabilidad, zonas de riesgo, entre otros factores que ayuden al desarrollo humano [10].

Cabe mencionar que el canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo aporta con el líquido vital de uso exclusivo para el regadío, así también como entrega el 10% de su caudal para que sea administrado por la EP - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA) para la respectiva distribución a la ciudadanía, el

caudal restante es utilizado para el riego de la tierra de los cantones de Ambato, Cevallos, Pelileo y cinco parroquias Huachi Chico, Totoras, Montalvo, Picaihua, Salasaca y Benítez.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Conceptos de Hidráulica de Canales Abiertos

Canales Abiertos

Es un conducto en el cual el agua transcurre con una superficie libre. Se clasifica de acuerdo con su origen, el cual puede llegar a ser natural o artificial.

En los canales naturales se incluyen todos aquellos cursos de agua que se encuentran naturalmente sobre la tierra, ya puedan estos variar en tamaño desde pequeños arroyos o riachuelos, ríos pequeños o grandes hasta estuarios de mareas [11].

Las propiedades hidráulicas de los canales naturales por lo general son irregulares.

Por otra parte, los canales artificiales son aquellos construidos o generados mediante la intervención humana: canales de navegación, canaletas, zanjas de drenaje, cubetas de vertederos, alcantarillas, etc., así como pueden ser canales modelos que son construidos en laboratorios con fines experimentales. Las propiedades hidráulicas de dichos canales pueden ser controlados en la medida proyectada y así cumplir los requerimientos establecidos [12].

La construcción de canales artificiales se realiza por algunos fines tales como:

- Desarrollo de energía hidráulica: se conduce el agua a partir de manantiales o presas al sistema de captación ubicado por arriba de las plantas hidroeléctricas.
- Riego: se conduce el agua que se encuentra en estanques o arroyos a tanques de almacenamiento o inmediatamente al terreno.
- Suministro municipal de agua: se conduce el agua que se encuentra en estanques o afluyente hasta tanques que brindan el suministro a los sistemas de distribución de agua en las ciudades.

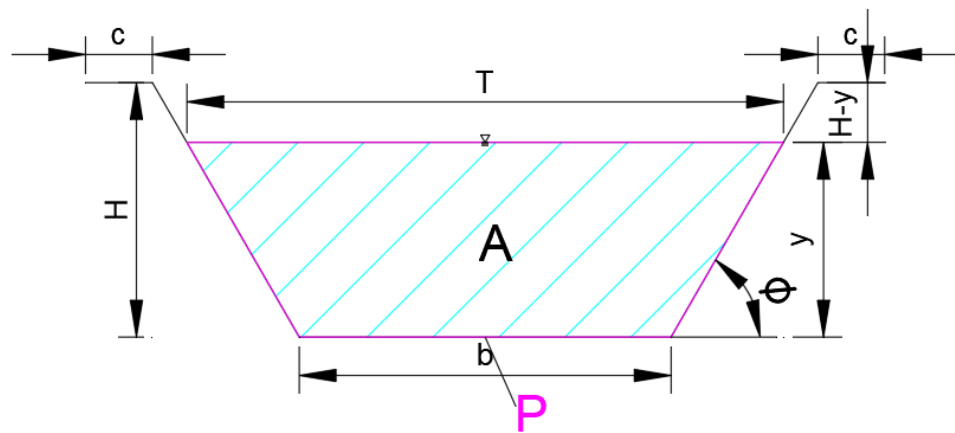
- Alcantarillados: se trata de ductos cubiertos o tuberías, estos se diseñan como canales abiertos ya que no conducen en su totalidad el fluido, sino que poseerán una superficie libre bajo una presión atmosférica.
- Drenaje: las tierras pantanosas o que presente un contenido significativo de humedad, por lo general se hacen más productivas mediante el drenaje a través de tuberías que pueden bien o no llevar un flujo total [11].

1.1.3.2 Elementos geométricos

Son las propiedades de una sección del canal que está definido por la geometría de dicha sección y la profundidad del flujo.

Para secciones simples de canales regulares, los elementos geométricos se expresan matemáticamente en función de su profundidad de escurrimiento y otros elementos de la sección, en cambio para secciones irregulares o secciones de corrientes naturales, ninguna fórmula simple puede expresar estos elementos, pero si curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad del escurrimiento [12].

Figura 1. Esquema de elementos geométricos de la sección de un canal



Elaborado por: Criollo Tisalema Walter Andrés

Donde:

Y: Distancia vertical del punto más bajo del canal a la superficie libre, se conoce como profundidad del flujo.

T: Ancho que se dispone en la superficie libre del canal y se denomina espejo de agua.

b: Ancho de la base del canal.

H: Altura total del canal.

H-y: Borde libre

C: Ancho de corona.

α: Ángulo de inclinación de las paredes con la horizontal.

A: Área de la sección transversal, se denomina área mojada.

P: Perímetro mojado, se conoce como la longitud de intersección de la superficie mojada del canal con el plano de la sección transversal.

RH: Radio hidráulico, es la relación entre el área mojada y el espejo del agua.

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

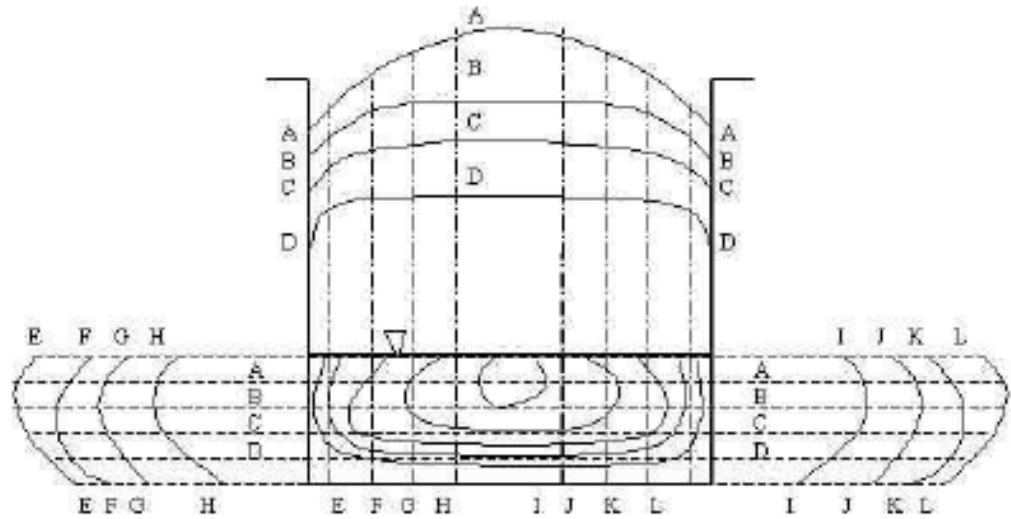
1.1.3.3 Distribución de velocidades

Las velocidades en un canal no suelen estar uniformemente distribuidas esto por consecuencia de la presencia de una superficie libre y la fricción en toda la longitud de las paredes del canal [12].

La velocidad máxima tomada en canales comunes suele ocurrir por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad, y mientras más cerca de las bancas más profundo está el máximo. En la figura 1 se puede observar el modelo general de la distribución de velocidades sobre varias secciones verticales y horizontales de un canal de sección rectangular y las curvas de igual velocidad en la sección transversal.

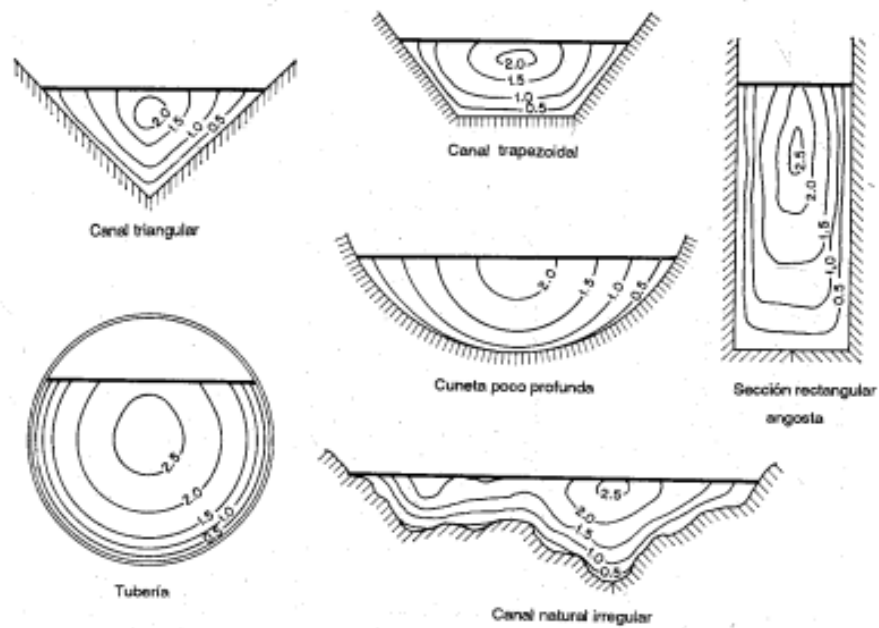
Para diferentes secciones del canal con formas diferentes, los modelos generales de muestran en la figura 2.

Figura 2. Distribución transversal de la velocidad en un canal rectangular



Fuente: Hidráulica de los canales abiertos, Ven Te Chow

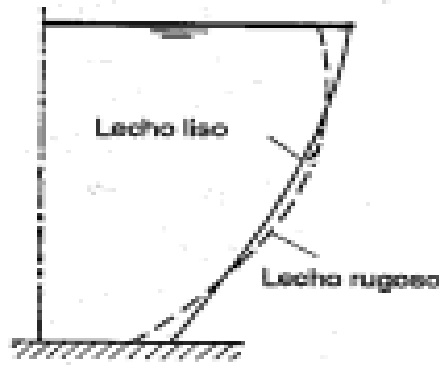
Figura 3. Distribución de la velocidad en un canal rectangular



Fuente: Hidráulica de los canales abiertos, Ven Te Chow

La distribución de la velocidad en una sección del canal se basa de otros factores, tales como la forma no muy común de la sección, la presencia de curvas y la rugosidad de este. La rugosidad producirá el aumento en la curvatura de la curva de distribución vertical de velocidades como se muestra en la figura 4[12].

Figura 4. Efecto de la rugosidad en la distribución de velocidades en un canal abierto.



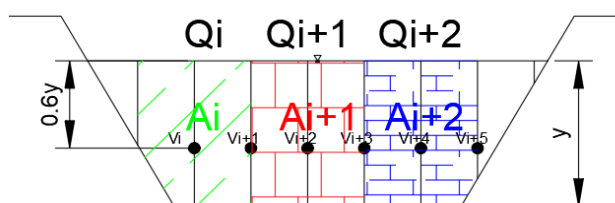
Fuente: Hidráulica de los canales abiertos, Ven Te Chow

1.1.3.4 Velocidad media de flujo

Para el cálculo de la velocidad media de flujo segmentamos a la sección transversal del canal por líneas verticales. Las velocidades medias se hallan midiendo la velocidad a 0.6 de la profundidad de cada vertical (figura 4) o también midiendo a 0.2 y 0.8 de la profundidad de cada vertical para tomar un promedio de los valores (figura 5). El producto del promedio de las velocidades medias en cualesquiera dos verticales próximas con el área entre las verticales da como resultado el caudal de aquella franja vertical de la sección transversal. La sumatoria de estos caudales es el caudal total.

Por consiguiente, la velocidad media de toda la sección transversal viene a ser igual al caudal total sobre el área completa [13].

Figura 5. Velocidad medida a 0.6y y cálculo de velocidad media



Elaborado por: Criollo Tisalema Walter Andrés

$$Q_i = \left(\frac{v_i + (v_{i+1})}{2} \right) * A_i \quad (1)$$

$$Q_t = \sum Q_i \quad (2)$$

$$A_t = \sum A_i \quad (3)$$

$$V_m = \frac{Q_t}{A_t} \quad (4)$$

Donde:

V_i: velocidad medida a 0.6y en la línea vertical

A_i: área de franja

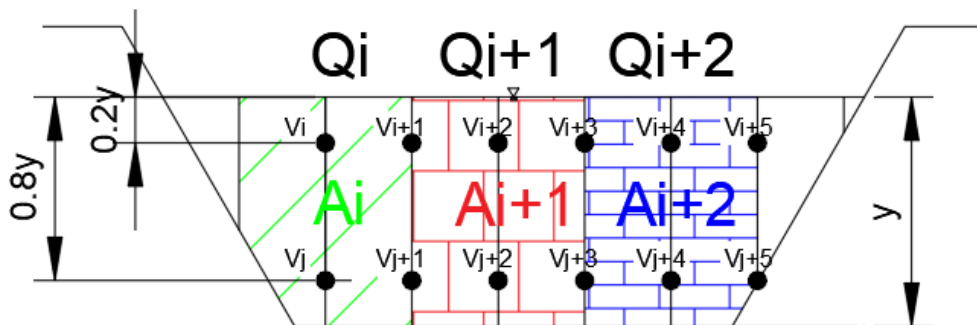
Q_i: caudal de franja

Q_t: caudal total de la sección

A_t: área total de la sección

V_m: velocidad media de la sección

Figura 6. Velocidad medida a 0.2 y 0.8 de y, cálculo de velocidad media



Elaborado por: Criollo Tisalema Walter Andrés

$$Q_i = \frac{\frac{v_i + (v_{i+1})}{2}}{\frac{v_j + (v_{j+1})}{2}} * A_i \quad (5)$$

$$Q_t = \sum Q_i \quad (6)$$

$$A_t = \sum A_i \quad (7)$$

$$V_m = \frac{Q_t}{A_t} \quad (8)$$

Donde:

V_i: velocidad medida a 0.2y en la línea vertical

V_j: velocidad medida a 0.8y en la línea vertical

A_i: área de franja

Q_i: caudal de franja

Q_t: caudal total de la sección

A_i: área total de la sección

V_m: velocidad media de la sección

1.1.3.4.1 Velocidad mínima

Mientras el agua se acerque a las paredes del canal la velocidad se va reduciendo, esto como producto de la fricción existente entre el fluido y los bordes.

El agua puede transcurrir lentamente en el punto más bajo del canal, por lo que la curva de velocidades puede concluir en cero [13].

1.1.3.4.2 Coeficientes de distribución de velocidades de coriolis (α) y Boussinesq (β)

El coeficiente de coriolis está en relación directa con la energía cinética que tiene un fluido y la energía cinética en el presunto que la velocidad sea constante y sea este igual al valor de la velocidad media en la sección. [12]

El coeficiente de coriolis (α) se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{V^3 A} \approx \frac{\Sigma v^3 \Delta A}{V^3 A} \quad (9)$$

donde:

α : coeficiente de coriolis

v : velocidad del flujo

V : velocidad media

A : área mojada

El coeficiente de Boussinesq es el valor que demuestra la relación entre la cantidad de movimiento real que hay en una sección y la cantidad de movimiento asumiendo que la velocidad sea uniforme en la sección.

El coeficiente de Boussinesq (β) puede determinarse por medio de la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{\int v^2 dA}{V^2 A} \approx \frac{\Sigma v^2 \Delta A}{V^2 A} \quad (10)$$

Donde:

β : coeficiente de Boussinesq

v : velocidad del flujo

V : velocidad media

A : área mojada

Para tener valores más confiables, los coeficientes de energía y momentum pueden determinarse haciendo el uso de las siguientes ecuaciones: [12]

$$e = \frac{V_m}{V} - 1 \quad (11)$$

$$\alpha = 1 + 3e^3 - 2e^3 \quad (12)$$

$$\beta = 1 + e^2 \quad (13)$$

Donde:

V_m = velocidad máxima

V = velocidad media del flujo

En la siguiente tabla se presentan valores reales de coeficientes para algunos canales.

Tabla 1. Coeficientes de distribución de velocidades

Canales	Valor de α			Valor de β		
	Min	Prom	Máx	Min	Prom	Máx
Canales regulares, canaletas y vertederos	1,10	1,15	1,20	1,03	1,05	1,07
Corrientes naturales y torrentes	1,15	1,30	1,50	1,05	1,10	1,17
Ríos bajo cubiertas de hielo	1,20	1,50	2,00	1,07	1,17	1,33
Valles de ríos, inundados	1,50	1,75	2,00	1,17	1,25	1,33

Fuente. F. Gutiérrez, “Evaluación de coeficientes de velocidad alfa y beta”, Univ. EAFIT, Medellín, Colombia, 2011

1.1.3.5 Clasificación del flujo en canales

1.1.3.5.1 Tipos de flujos

Para la clasificación se toma en cuenta agentes como lo es la velocidad, la forma, así también como la variación del flujo con respecto al espacio y tiempo [14].

a. Flujo permanente

Sucede cuando la profundidad del flujo no varía, así como también los demás parámetros hidráulicos durante un intervalo de tiempo.

b. Flujo No permanente

Se presente cuando varían los parámetros hidráulicos en relación a un intervalo de tiempo.

c. Flujo uniforme

Si los parámetros no cambian con respecto al espacio, es decir en cualquier punto del canal dichos parámetros permanecen constantes [15].

d. Flujo variado

Los parámetros hidráulicos varían en relación al espacio. Se da por varios factores como pueden ser la pendiente, sección irregular o rugosidad de la misma. La profundidad del flujo varía a lo largo del canal.

- **Estados de flujos**

La viscosidad y la gravedad son los dos parámetros importantes para determinar el estado de un fluido, ya que estas tienen mayor relación con las fuerzas inerciales del flujo.

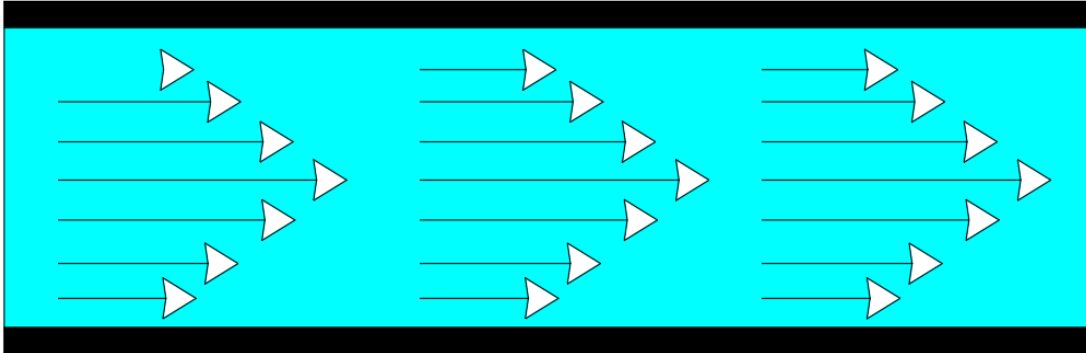
- **Efecto de viscosidad**

Debido a esto el flujo puede comportarse laminar, turbulento o transicional por la relación existente con la inercia [16].

a. Flujo laminar

Al presentarse baja la gradiente de velocidad, las fuerzas viscosas se tornan muy fuertes en relación a las fuerzas inerciales. Aquí el movimiento de las partículas del fluido marca una trayectoria lenta y definida semejante a líneas de corriente, el fluido se traslada por capas infinitesimales lo que simula deslizarse sobre capas adyacentes.

Figura 7. Vista superior del flujo laminar



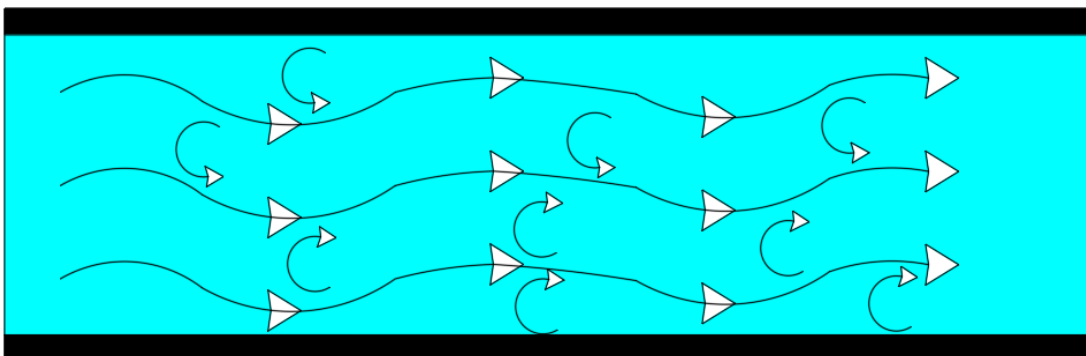
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta and A. Saiz, Canales Abiertos, Universidad de Sonora, Sonora, 2012

b. Flujo turbulento

Es el que más se muestra en problemas de ingeniería. Al incrementar la gradiente va aumentado la fricción entre partículas, en otras palabras, sucede cuando las fuerzas de viscosidad son más débiles a las fuerzas inerciales, por lo cual las partículas del fluido oscilan de forma desorganizada o por trayectoria irregular [16].

Figura 8. Vista superior del flujo turbulento



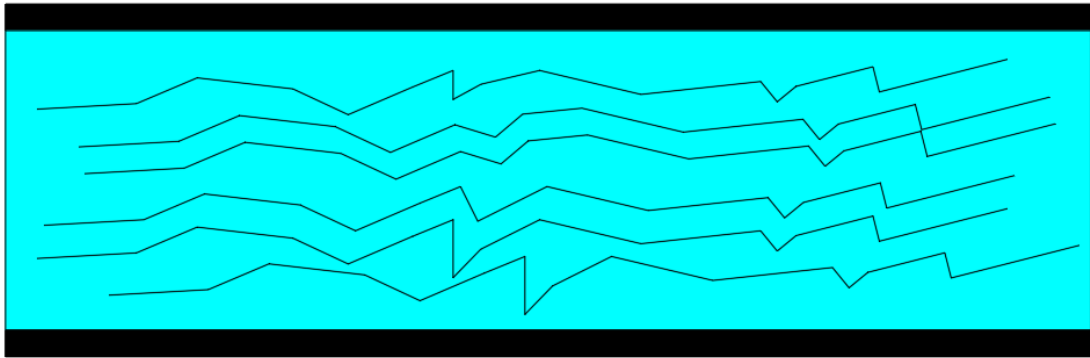
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta and A. Saiz, Canales Abiertos, Universidad de Sonora, Sonora, 2012

c. Flujo transicional

El flujo transicional se considera como un estado combinado entre el flujo laminar y el flujo turbulento.

Figura 9: Vista superior del flujo transicional



Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta and A. Saiz, Canales Abiertos, Universidad de Sonora, Sonora, 2012

El efecto de la viscosidad con relación a la inercia del flujo se basa en un parámetro adimensional conocido como número de Reynolds [17], **R**:

$$R = \frac{VL}{\nu} \quad (14)$$

Donde:

V=velocidad media del flujo

L=longitud característica, en canales abiertos es el radio hidráulico

ν = viscosidad cinemática

Tabla 2. Valores límite del número de Reynolds

$R \leq 500$	Flujo Laminar
$500 \leq R \leq 12500$	Flujo Transicional
$12500 \leq R$	Flujo Turbulento

Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta and A. Saiz, Canaletas Abiertos, Universidad de Sonora, Sonora, 2012

1.1.3.6 Efecto de la gravedad

Dependiendo de la dimensión de la proporción de las fuerzas de gravedad con relación al de las inercias el flujo puede clasificarse como subcrítico, crítico o supercrítico. Esta relación viene dada en base al número de froude, **F**:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \mathbf{F} = \frac{V}{\sqrt{g\frac{A}{T}}} \quad (15)$$

Donde:

V=velocidad media del flujo

g= aceleración de la gravedad

L=longitud característica, en canales abiertos es la profundidad hidráulica (D)

A=área hidráulica

T=ancho superficial

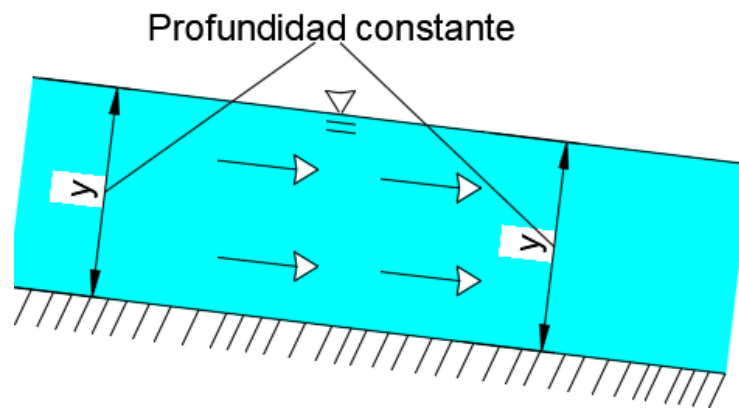
- a. **Flujo subcrítico:** si $F < 1$, indica que las fuerzas gravitacionales son más pronunciadas que las inerciales, se puede decir que las velocidades son pequeñas y considerar un canal de corriente tranquila.
- b. **Flujo crítico:** si $F = 1$, podemos decir que las fuerzas inerciales y gravitacionales están en equilibrio.
- c. **Flujo supercrítico:** si $F > 1$, en este caso las fuerzas inerciales predominan, el flujo presenta una velocidad alta y se considera al canal con una corriente rápida o torrencial [12].

1.1.3.7 Combinaciones en la naturaleza

- **Flujo uniforme permanente**

Durante un lapso dado, los parámetros hidráulicos permanecen constantes, debido a esto, este flujo se considera fundamental dentro del estudio de canales abiertos [14].

Figura 10. Corte longitudinal del flujo uniforme permanente



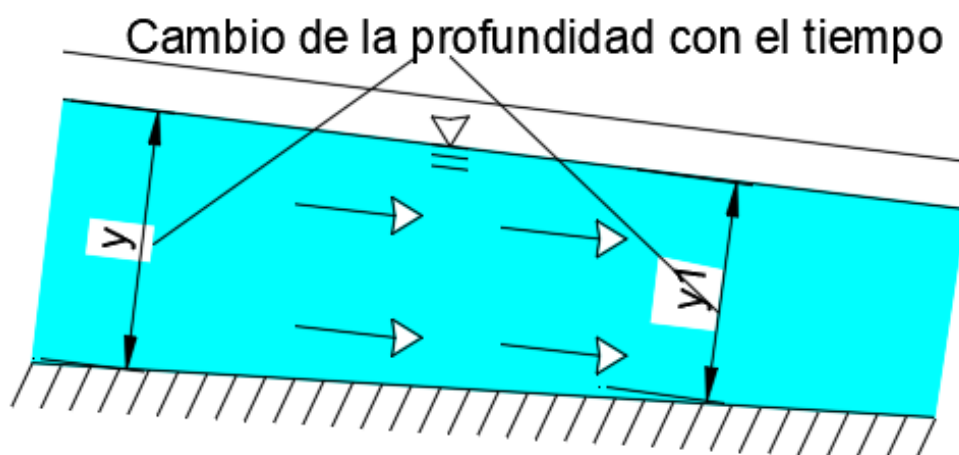
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

- **Flujo uniforme no permanente**

Para su ocurrencia requiere que la superficie del fluido varíe en un lapso a otro, aunque este requiere conservarse paralelo al fondo del canal, por lo que esta clase es básicamente una índole imposible en la naturaleza [14].

Figura 11. Corte longitudinal del flujo uniforme no permanente



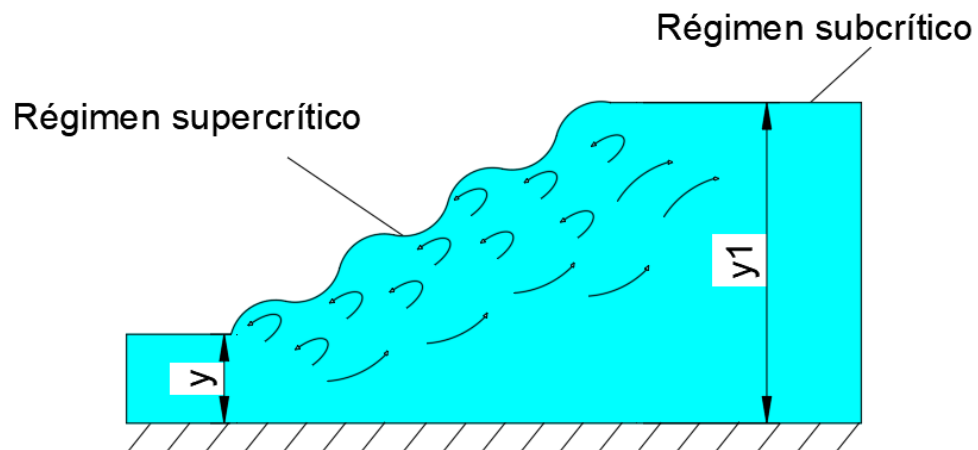
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

- **Flujo rápidamente variado**

Se presenta al ocurrir una modificación en el flujo, lo que conlleva a presentar un cambio significativo en la profundidad del mismo, ocurre en espacio básicamente cortos con lo que se puede asimilar a un resalto hidráulico [14].

Figura 12. Corte longitudinal del flujo rápidamente variado



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

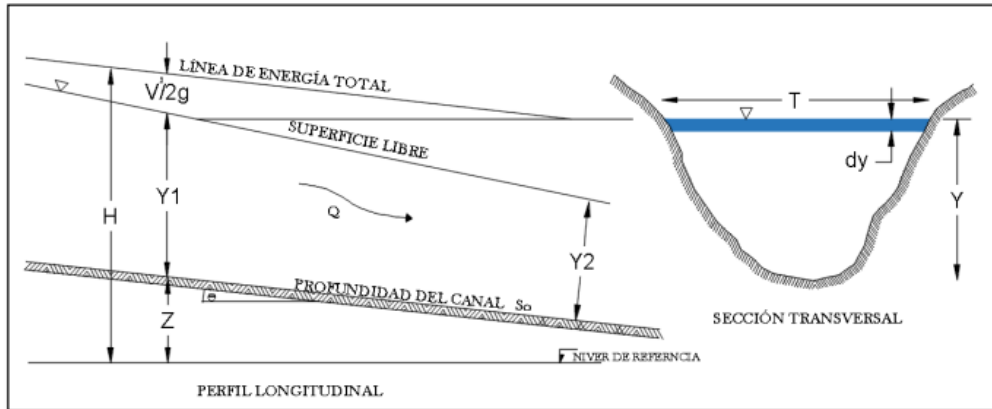
Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

- **Flujo gradualmente variado**

Ocurre un paulatino cambio a lo largo del canal, con esto se puede cotejar al de una curva de remanso.

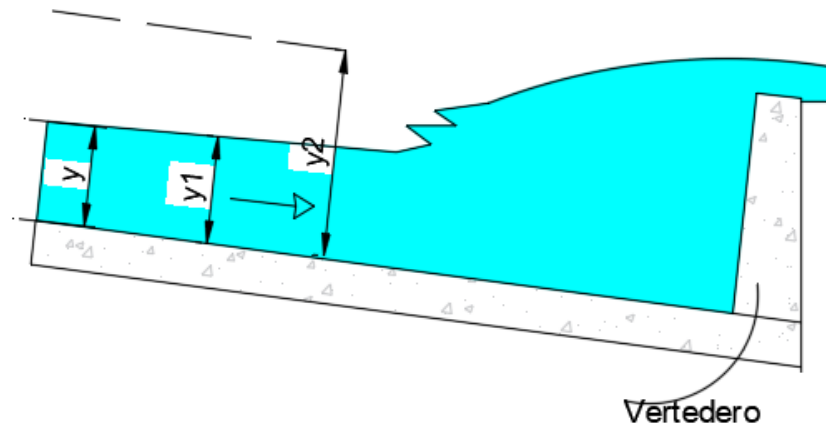
Este tipo puede obtener una condición acelerada o a su vez retardada. Para el estado acelerado presenta una disminución del tirante en el sentido del flujo (aguas abajo) **figura (12)**. En el flujo retardado, el resultado es el adverso, el tirante aumenta durante este se aproxima a un vertedero o azut el cual toma el papel de obstrucción del fluido **figura (13)**.

Figura 13. Flujo acelerado



Fuente: V, CHOW, Hidráulica de canales abiertos, 2008

Figura 14. Flujo retardado



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

1.1.3.8 Energía Específica

La energía específica en una sección de un canal viene a ser la energía por unidad de masa de agua que circula a través de la sección, medida desde el fondo del canal [18].

$$E = y + \frac{v^2}{2g} \quad (16)$$

Donde:

y = tirante hidráulico

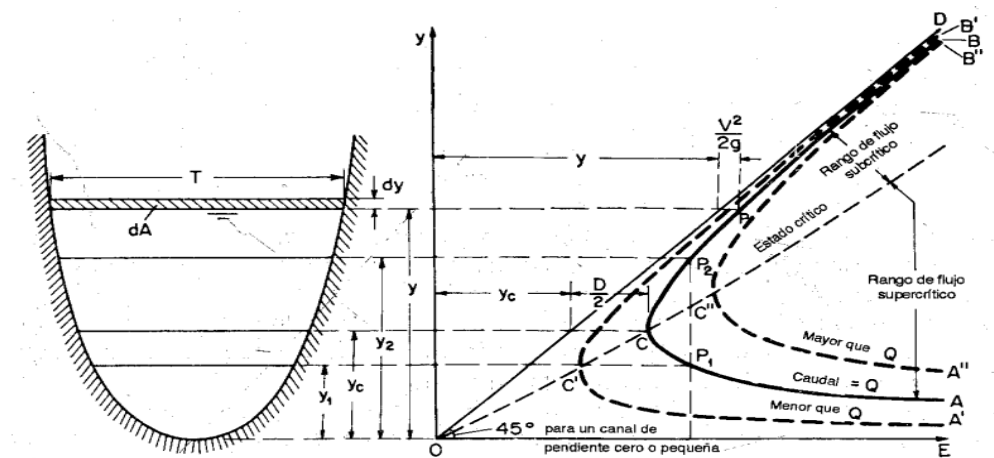
V =velocidad media del flujo

g =gravedad

La representación gráfica de la profundidad del flujo en relación a la energía para una sección de un canal se obtiene la curva de la energía específica, en donde la abscisa posee valores de energía específica y la ordena contiene la profundidad de la sección.

La curva tiene dos partes, AC Y BC. La parte AC se aproxima al eje horizontal hacia la derecha. La parte BC se aproxima a la línea OD a medida que prolonga hacia arriba y hacia la derecha. La línea OD tiene un ángulo de inclinación de 45° que va desde el origen de coordenadas hasta el punto D. Para un valor de energía específica dado se puede obtener dos escenarios respecto al punto C de la curva como: profundidades del flujo supercrítico que se halla bajo del punto C y profundidades del flujo subcrítico por arriba del punto C [12].

Figura 15. Curva de energía específica



Fuente: V, CHOW, Hidráulica de canales abiertos, 2008

1.1.3.9 Regímenes de flujo

En canales abiertos se puede presentar el efecto combinado de la viscosidad y la gravedad, esto puede generar 4 clases de regímenes de flujo [19]:

- Subcrítico – laminar
- Supercrítico – laminar
- Supercrítico – turbulento
- Subcrítico – turbulento

Tabla 3: Tipo de flujo según el número de Reynolds y Froude

REGÍMENES DE FLUJO	
FLUJO	LÍMITES SEGÚN EL NÚMERO DE REYNOLDS Y FROUDE
Subcrítico – laminar	$F < 1$ y $Re < 500$
Supercrítico – laminar	$F > 1$ y $Re < 500$
Supercrítico – turbulento	$F > 1$ y $Re > 1000$
Subcrítico – turbulento	$F < 1$ y $Re > 1000$

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, Bogotá, Mc Graw-Hill, 2004

1.1.3.10 Dimensionalidad de Modelos Numéricos

En gran cantidad de situaciones de interés práctico para la ingeniería civil, se presenta el régimen paulatinamente variado que todavía en canales de geometría simple solicita gran cantidad de cálculos numéricos para su solución. Tiempo atrás se utilizaban sofisticados modelos matemáticos que lograban tener respuestas al transcurrir un lapso considerable y solo resueltos por supercomputadoras que disponían algunos centros de investigación. Por esto se utilizaba modelos físicos que debían estar a una escala semejante a la natural. En la actualidad, el desarrollo de la tecnología ha permitido que los modelos empleados en computadores estén al alcance en su mayoría a personas de todo el mundo [20].

1.1.3.11 Modelos Numéricos vs Modelos Físicos

Concurre ventajas y desventajas entre estos dos, aunque, se puede decir que los dos son complementarios entre sí. La modelación física es esencial para establecer fenómenos en tramos cortos o cuando las fórmulas no son suficientes para determinado tipo de problema. La modelación numérica es importante para casos de problemas con tramos extensos en proyectos de mayor holgura, esto brinda un aporte importante en el aspecto costo – beneficio. En cambio, al mencionar que las dos son complementarias, se quiere decir que a un corto plazo estos dos podrían componer una sola de tipo físico- matemático, con lo que agrandaría el tiempo de simulación y cálculos más exactos [20].

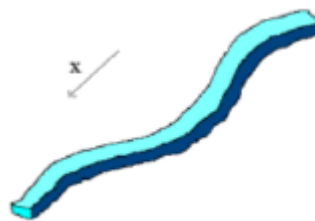
1.1.3.12 Dimensionalidad

- **Modelos Unidimensionales (1D)**

Para la utilización de este tipo, se elige una dimensión como predominante por sobre las otras dos, esta viene a ser la longitud que se prolonga a lo largo de un eje ya sea este de un canal o río. Los parámetros requeridos como los datos topográficos e hidráulicos son incorporados a partir de secciones transversales, aquí se calculan el tirante o también llamado calado y la velocidad promedios en toda su sección transversal. Entonces, cada sección incorporada es representada por el valor singular de velocidad media, la cual no estima variación en la distribución de velocidades tanto en el sentido horizontal como vertical.

Este modelo viene a ser el más utilizado para la dimensionalidad de ríos o canales en general mayores a 20 veces el ancho y cuando se requiere encontrar un nivel máximo que consigue alcanzar el agua[20].

Figura 16. Modelo unidimensional



Fuente: J. Vásquez, Modelación Numérica en Hidráulica, Lima, 2003.

- **Modelos Bidimensionales (2D)**

Se toma en cuenta las dos variaciones con respecto al plano horizontal de cálculo. La variación de velocidad, así como puede ser otro parámetro de interés en el sentido vertical del fluido, estas se promedian y el valor resultante se lo asume como único. Este tipo de modelo es ocupado en casos donde la variación de velocidad en el sentido vertical es pequeña, se lo puede denominar como modelos de aguas someras o poco profundas[20].

Figura 17. Modelo bidimensional



Fuente: J. Vásquez, Modelación Numérica en Hidráulica, Lima, 2003.

- **Modelos Tridimensionales (3D)**

Este modelo es capaz de calcular la variación de velocidad en sus tres sentidos, por lo que se aplica a todo tipo de caso práctico [20].

Figura 18. Modelo tridimensional



Fuente: J. Vásquez, Modelación Numérica en Hidráulica, Lima, 2003.

- **HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)**

Sistema de modelación numérica para el estudio de ríos, que se utiliza para flujo unidimensional no permanente, este obvia el transporte de sedimentos excepto en versiones actuales donde es posible el cálculo y estudio de los mismos y dispone con gran capacidad para trabajar con flujos mixtos, subcríticos y supercríticos.

El programa consta de dos restricciones importantes, el asumir un fondo rígido y el flujo unidireccional[20].

1.1.3.13 Ecuación de la conservación de energía

La ecuación de Bernoulli define el comportamiento de un fluido en movimiento y se compone de tres formas de energía que se toman en consideración: energía de presión, energía de velocidad y energía potencial con respecto a su posición dado un nivel de referencia, esta ecuación se aplica para fluidos incomprensibles[21].

- **Energía Potencial (EP)**

Energía que tiene un fluido respecto a un punto y que depende de la altura.

- **Energía Cinética (EC)**

Energía que posee un fluido que depende de la velocidad.

- **Energía de flujo (EF)**

Se la conoce también como energía de presión o trabajo que representa la cantidad de trabajo requerido para poner en movimiento al fluido a través de una sección.

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{\rho_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (17)$$

Donde:

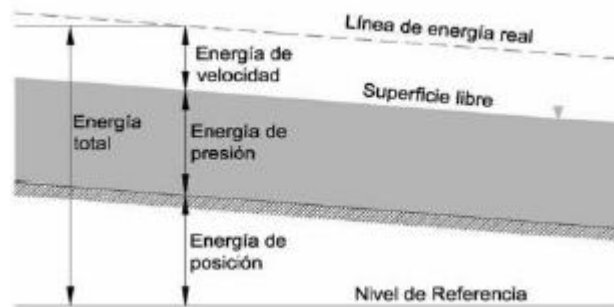
$$\frac{\rho}{\gamma} = \text{carga de flujo}$$

z = carga de elevación

$$\frac{v^2}{2g} = \text{carga de velocidad}$$

El metro es la unidad en la que se mide la energía en el sistema internacional. Para el estudio, Bernoulli considera dos secciones como se muestra a continuación:

Figura 19. Energía total en una sección de un canal



Fuente: F. Domínguez, Hidráulica, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 1974

1.1.3.14 Pérdidas por contracción

Al existir una reducción de la sección por donde circula el fluido se presentan las pérdidas por contracción, estas pérdidas son regulares en canales no prismáticos por las irregularidades que presenta.

Para su cálculo se hace uso de la ecuación de la energía expresada en la siguiente fórmula:

$$H_c = K_c \frac{v^2}{2g} \quad (18)$$

Donde:

H_c= pérdida por contracción

K_c =coeficiente de pérdida por contracción

V= velocidad media agua debajo de la contracción

El coeficiente de contracción está entre un rango de 0.1 a 0.3, el programa Hec-Ras asume los valores máximos por lo que por defecto hace uso el valor de 0.5 para las modelaciones hidráulicas.

1.1.3.15 Pérdidas por expansión

Estas pérdidas se hacen presentes al existir ampliaciones en la sección, para su cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$H_c = K_e \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad (19)$$

Donde:

H_e=pérdidas por expansión

K_e =coeficiente de pérdida por expansión

V₁ =velocidad media en la sección 1

V₂ =velocidad media en la sección 2

El coeficiente de expansión está entre un rango de 0.3 a 0.5, el programa Hec-Ras asume los valores máximos por lo que por defecto hace uso el valor de 0.5 para las modelaciones hidráulicas.

1.1.3.16 Pérdidas por fricción

Estas pérdidas son adecuadas de calcular en transiciones largas, aunque no tienen mucho interés, la pérdida de energía o de carga por fricción se la puede obtener con la siguiente expresión:

$$hf = \frac{Sf_1 + Sf_2}{2} * L \quad (20)$$

$$Sf_i = \left(\frac{v_i * n}{R_i^{2/3}} \right)^2 \quad (21)$$

Donde:

hf = pérdida por fricción.

L = longitud de transición.

n = coeficiente de rugosidad

R_i = radio hidráulico

V_i = velocidad media

1.1.3.17 Ecuación de cantidad de movimiento

Se denomina cantidad de movimiento de un cuerpo rígido de masa m y que se desplaza a una velocidad V al producto de la masa y la velocidad, esto fundamentado en la

segunda ley de Newton en la que enuncia que la aceleración de un cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa.

Cuando la superficie del líquido atraviesa de un régimen crítico a un flujo gradualmente que puede ser incitado por cambios bruscos en la pendiente o sección en dichos casos la ecuación de cantidad de movimiento no es posible aplicar, pero a pesar de esto, el programa Hec-Ras si utiliza estas ecuaciones para dar solución a los problemas.

$$\frac{\delta v}{\delta t} + v \frac{\delta v}{\delta x} + g \frac{\delta y}{\delta t} = g(S_o + S_f) \quad (22)$$

Donde:

y= tirante

v= velocidad

g= aceleración de la gravedad

S_o =pendiente en el fondo del canal

S_f =pendiente de energía calculada con Manning

1.1.3.18 Ecuación de Saint- Venant

Conjunto de ecuaciones diferenciales de tipo hiperbólico formado por ecuaciones de continuidad y conservación de cantidad de movimiento, que no posee una solución analítica, por su complejidad matemática se emplean métodos numéricos aproximados para su resolución. El programa Hec-Ras hace uso de las ecuaciones mediante el método de las diferenciales finitas para su solución.

a. Ecuación de Saint-Venant 1D

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (23)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{Q}{A} q = gA[S_o - S_f] \quad (24)$$

b. Ecuación de Saint-Venant 2D

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (25)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh[S_{0x} - S_{fx}] \quad (26)$$

Donde:

Q=caudal

A=área

So=pendiente del canal

Sf=pendiente de fricción

g=gravedad

1.1.3.19 Coeficiente de Manning

La ecuación de Manning es la de las utilizadas por su sencillez, donde el coeficiente **n** se puede determinar a partir de la tabla 4.

Tabla 4. Valores de coeficientes de rugosidad de Manning

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
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	0.014
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 (gunteado), buena sección	0.016	0.019	0.023
Lanzado (gunteado), 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	0.020	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	0.020	0.030	0.035
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	0.040
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
Afliados e irregulares	0.035	0.050	0.060
e) Canales sin mantenimiento, malezas 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	0.050	0.080
Matorrales densos, altos niveles de escurrimiento	0.080	0.100	0.140

Fuente: V, CHOW, Hidráulica de canales abiertos, 2008

1.1.3.20 Variables dependiente e independiente

- **Variable dependiente.**

Caracterización hidráulica del tramo en estudio de 2.6 km que forma parte del Canal Ambato – Huachi – Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

- **Variable independiente.**

Velocidad media, sección transversal, geometría, pendiente longitudinal y coeficiente de Manning

1.1.4 Hipótesis

1.1.4.1 Hipótesis alternativa

Las características físicas del canal de riego Ambato – Huachi – Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 1 y el óvalo 4 del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua influyen en el comportamiento hidráulico del canal en el tramo evaluado mediante un modelo numérico.

1.1.4.2 Hipótesis nula

Las características físicas del canal de riego Ambato – Huachi – Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 1 y el óvalo 4 del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua no influyen en el comportamiento hidráulico del canal en el tramo evaluado mediante un modelo numérico.

1.2 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Caracterizar el comportamiento hidráulico del Óvalo 1 al 4 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

1.1.2 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 II

METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación.

Para la realización del presente proyecto se seguirán los lineamientos de los siguientes tipos de investigación: [20]

- ✓ Investigación Descriptiva: se busca determinar las características y propiedades hidráulicas de los canales abiertos, esto en base a investigación previa resumida en el marco teórico, mediante las fórmulas y ecuaciones que permiten determinar el comportamiento del canal mediante el punto de vista matemático.
- ✓ Investigación Experimental: se verifican los datos tomados los cuales pueden estar sujetos a cambios dentro de la variable independiente para poder observar cambios en la simulación numérica que permitan hacer una comparación digital y real del tramo en estudio y así aportar con el análisis para un futuro estudio a mayor escala.
- ✓ Investigación Correlacional: al tomar las medidas de caudales y velocidades in situ se busca relacionarlas con un modelo matemático mediante HEC – RAS con lo cual se determinará si las propiedades hidráulicas y su respectiva caracterización matemática permitan la relación entre la generación de energía con el aprovechamiento de las bajas velocidades y caudales en canales de riego.
- ✓ Investigación Explicativa: se busca dar a conocer que la generación de energía por medio de fuentes no convencionales es una opción viable para el aprovechamiento al máximo del recurso hidráulico y dejando a un lado el uso de combustibles fósiles, de esta manera se ayudará a aminorar el impacto ambiental.

2.1.1 Población y muestra

- **Población**

La población total requerida se refiere a la longitud total del canal, el cual cuenta con aproximadamente de 27 kilómetros que inician al sur en los límites del Cantón Ambato y finaliza en el Cantón Pelileo.

- **Muestra**

El método de muestro idóneo para este tipo de trabajos experimentales basados en datos reales y simulaciones es un “Muestreo No Probabilístico Por Juicio De Expertos o Discrecional”, esto debido a que el investigador basándose en el conocimiento del área en estudio y a su propio juicio [21].

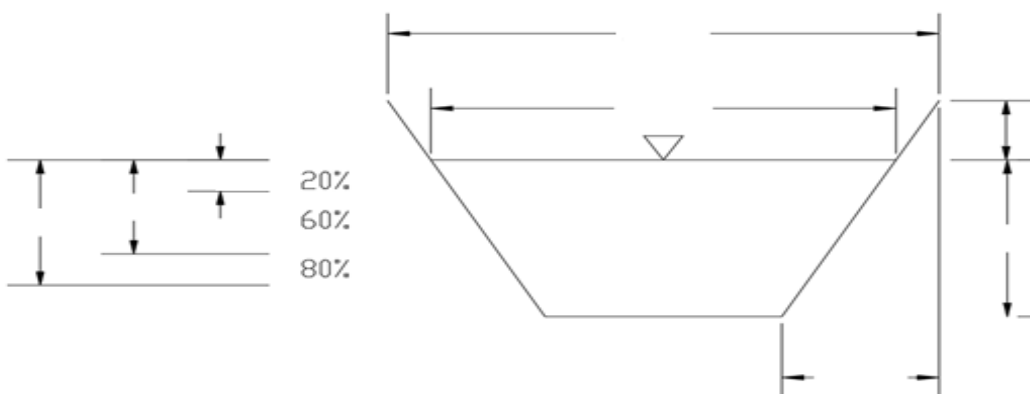
- ✓ Basados en el método descrito, se ha seleccionado 2.7 km de tramo para el estudio, lo que representa un 10% de la longitud total del canal de regadío.
- ✓ Gracias a la muestra tomada el estudio ha sido dividido en 7 subproyectos ubicados en diferentes sectores los cuales se enfocarán en cumplir los objetivos trazados.
- ✓ De tal forma que el presente proyecto se define como el “Estudio y caracterización Hidráulica del Óvalo 1 al 4 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua” y considerará 2.6 km.

2.2.1 Plan de muestreo

El muestreo se realizará por medio del equipo transmisor de caudales de líquidos DMM-4000/PFT el cual tiene incorporado una hélice y un panel digital que permite visualizar la velocidad del flujo en diferentes posiciones tanto en sentido horizontal como vertical en toda la sección transversal del canal, cada toma de datos o muestreo se realizará en una sección transversal separada entre 400 a 500 metros de longitud, a continuación, se muestra la matriz a utilizar para toma de datos en cada punto.

Tabla 5: Matriz para el registro de datos de velocidad

MATRIZ PARA LOS DATOS DE VELOCIDAD			
Realizado por:		COORDENADAS	
Fecha:		Norte:	
Tramo:		Este:	
		Cota:	



	INICIO	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	FIN
	@40cm							
20%								
60%								
80%								

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

2.2.2 Operacionalización de variable

- **Valeria independiente**

Velocidad media, sección transversal, geometría, pendiente longitudinal y coeficiente de Manning

Tabla 6: Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica e instrumentos
El estudio comprende, la determinación de los parámetros hidráulicos de la sección transversal y el sondeo de velocidades en campo.	Topografía	Sección transversal del canal Pendiente longitudinal Coeficiente de Manning	¿Cuál es el cambio de la sección transversal y la pendiente longitudinal del canal?	Estación total Computadora
	Medición in situ	Velocidad horizontal y vertical Caudal Distribución de velocidades	¿Cuál es el bosquejo de distribución de velocidades en la sección transversal y en sentido longitudinal?	Molinete Equipo de medición <i>in situ</i> Laptop

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

- **Variable dependiente**

Caracterización hidráulica del tramo del canal Ambato-Huachi-Pelileo-

Tabla 7: Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica e instrumentos
El objetivo primordial de la simulación se basa en determinar el comportamiento hidráulico del flujo, con lo posible correlacionar los datos simulados con los obtenidos en campo.	Sección transversal	Propiedades geométricas (forma)	¿Qué características geométricas debe tener el sitio para que se lo pueda considerar apto para el fin del estudio?	Verificación visual Uso de Auto Cad Civil 3D
	Modelación numérica	Simulación completa con datos reales en HEC – RAS	¿Cuáles con las diferencias y las similitudes entre los datos de campo y los simulados?	Computadora Software HEC – RAS

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

2.2.3 Plan de recolección de información

Tabla 8: Plan de recolección de información

Objetivo del Proyecto	
Preguntas	Explicación
¿Qué datos se requieren registrar?	Los datos de caudal y velocidad, así como los datos de sección del canal para la respectiva evaluación de sus elementos geométricos.
¿Para qué?	Para lograr el objetivo principal del proyecto: Caracterizar el comportamiento hidráulico del tramo comprendido entre el Óvalo 1 – 4 del Canal de Riego Ambato-Huachi-Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.
¿Cómo?	Se realizará el levantamiento topográfico del tramo en estudio con una estación total calibrada y un GPS diferencial para iniciar con las coordenadas correctas. Seguidamente con el registro de datos de velocidad a lo largo del canal. Finalmente, se desarrollará las simulaciones con los datos ya procesados de levantamiento topográfico y velocidades.
¿De qué objetos?	Del tramo en estudio de 2.6 km distancia entre los óvalos 1 al 4
¿Dónde?	En el tramo desde el óvalo 1 al óvalo 4 del canal Ambato-Huachi-Pelileo.
¿En qué consiste el registro de datos?	Las mediciones se las realiza en la sección transversal del canal tanto en el sentido horizontal como en el vertical.
¿Con qué técnicas o instrumentos se llevará a cabo las mediciones?	Estación total Estudios previos Molinete- Equipo de medición <i>in situ</i> Verificación visual Uso de AutoCad Civil 3D Computadora Software HEC – RAS

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

2.2.4 Plan de procesamiento y análisis

2.2.4.1 Plan de procesamiento

Para el procesamiento se lo realizará en campo, es decir, en el canal de riego siguiendo dos procedimientos fundamentales descritos a continuación:

- a) Primeramente, es necesario ejecutar el levantamiento topográfico del canal en donde tendrán más incidencia los datos respecto a la sección del canal y su pendiente longitudinal, así como la topografía a sus costados; todo esto se llevará a cabo con la ayuda de los equipos que encontramos en el laboratorio de topografía de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato de los cuales serán necesarios los siguientes: GNSS R 10, Estación total Trimble M3, prismas, GPS, flexómetro.
- b) La segunda parte del procesamiento consiste en recorrer el canal con la máquina medidora de caudales denominada Transmisor de caudal de líquidos DMM – 4000/PFT, la cual permite medir velocidades de entre 0.3 m/s a 10 m/s y con un máximo de 15m/s , el procedimiento de medición será a cada 400 a 500 metros con la verificación de un plano abscisado y una matriz para registrar los datos medidos, en cada punto en la abscisa se registrarán datos en toda la sección transversal del canal en sentido horizontal a cada 30 cm a 40 cm y en sentido vertical al 20%, 60% y 80% del calado del canal para generar un malla en la que se permitirá observar las curvas de velocidad específicas de cada punto que luego serán analizados.

2.2.4.2 Plan de análisis

El análisis de los datos tendrá de la misma manera dos aspectos los cuales son referenciados al procesamiento:

- a) Con los datos obtenidos del levantamiento topográfico se realiza el análisis mediante la ayuda de AUTO CAD Civil 3D, importando los puntos tomados a dicho software los cuales están identificados con códigos los que permiten identificar las siguientes propiedades: sección del canal, eje de vía, óvalos y de terreno; una vez conocidos los códigos se crean nubes de puntos para poder trabajar de manera independiente con cada código, el código correspondiente a la sección del canal se lo une mediante líneas para poder visualizar en planta y en 3 dimensiones la sección completa del tramo, el código eje de vía será tomado debido a que el canal cuenta con esta para su mantenimiento éste también se lo unirá mediante polilínea, los puntos tomados del terreno se los procesará mediante superficie, es decir, que formarán curvas de nivel que permiten conocer la situación topográfica del entorno del canal y por último el código óvalos que vienen a ser las estructuras que distribuyen el agua para diferentes sectores por esta razón se encuentran a diferentes distancias a lo largo del canal además de permitir la visualización del perfil longitudinal del canal y apreciar los cambios de pendiente en el mismo.
- b) Con los datos tomados en situ de la medición de caudales y velocidad es necesario que estos sean procesados en Excel mediante tablas y posteriormente con el uso de otro software Auto Cad Civil 3D se procede a la interpolación y extrapolación de datos para así consolidar graficas más exactas de las curvas de velocidad al obtener las tablas y sus respectivas graficas de los 6 puntos a medir y analizar la velocidad media y caudal, estos datos al igual que con la topografía son procesados en HEC – RAS para su respectiva simulación, así recrear el comportamiento del canal en un modelo numérico por cada punto en el que se proceda a hacer el cambio en los valores de coeficiente de rugosidad y así determinar los puntos que tengan mayor relevancia, es decir, determinar factores y características propias de cada punto en estudio y analizar su impacto en el diseño del canal en la actualidad.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Mediciones in situ

3.1.1 Topografía

El tramo a estudiar inicia en la parroquia de Huachi Grande en el sector los Girasoles y culmina en el sector del Censo, con una longitud de 2.6km, junto al canal se encuentra una calle sin asfaltar y al otro lado por lo general se encuentra unas laderas pequeñas.

La pendiente del canal es uniforme, la forma de este es trapezoidal, y se observa conformado por un recubrimiento.

Figura 20. Levantamiento Topográfico in situ del canal



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema, Autor

3.1.2 Ubicación Macro

País: Ecuador

Localización: hemisferio sur, zona noroccidental de América del Sur.

Límites: Al sur y este Perú, y norte con Colombia

División: Se divide en 24 provincias: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, El Oro, Esmeraldas, Galápagos, Guayas, Imbabura, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona-Santiago, Napo, Orellana, Pastaza, Pichincha, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Sucumbíos, Tungurahua, Zamora-Chinchipe [22].

Figura 21. Mapa político de Ecuador



Fuente: <https://ecuadorec.com/cuales-son-las-provincias-del-ecuador-y-sus-capitales/>

3.1.3 Ubicación Meso

Provincia: Tungurahua

Localización: Centro sierra, en la región Sierra.

Límites: Al norte con las provincias de Cotopaxi y Napo, al sur con Chimborazo y Morona Santiago, al este Pastaza y Napo y al oeste con las provincias de Cotopaxi y Bolívar.

División: Se divide en 9 cantones: Cevallos, Tisaleo, Mocha, Quero, Baños, Pillaro, Ambato, Patate y Pelileo. [23]

Figura 22. Mapa político de la Provincia de Tungurahua

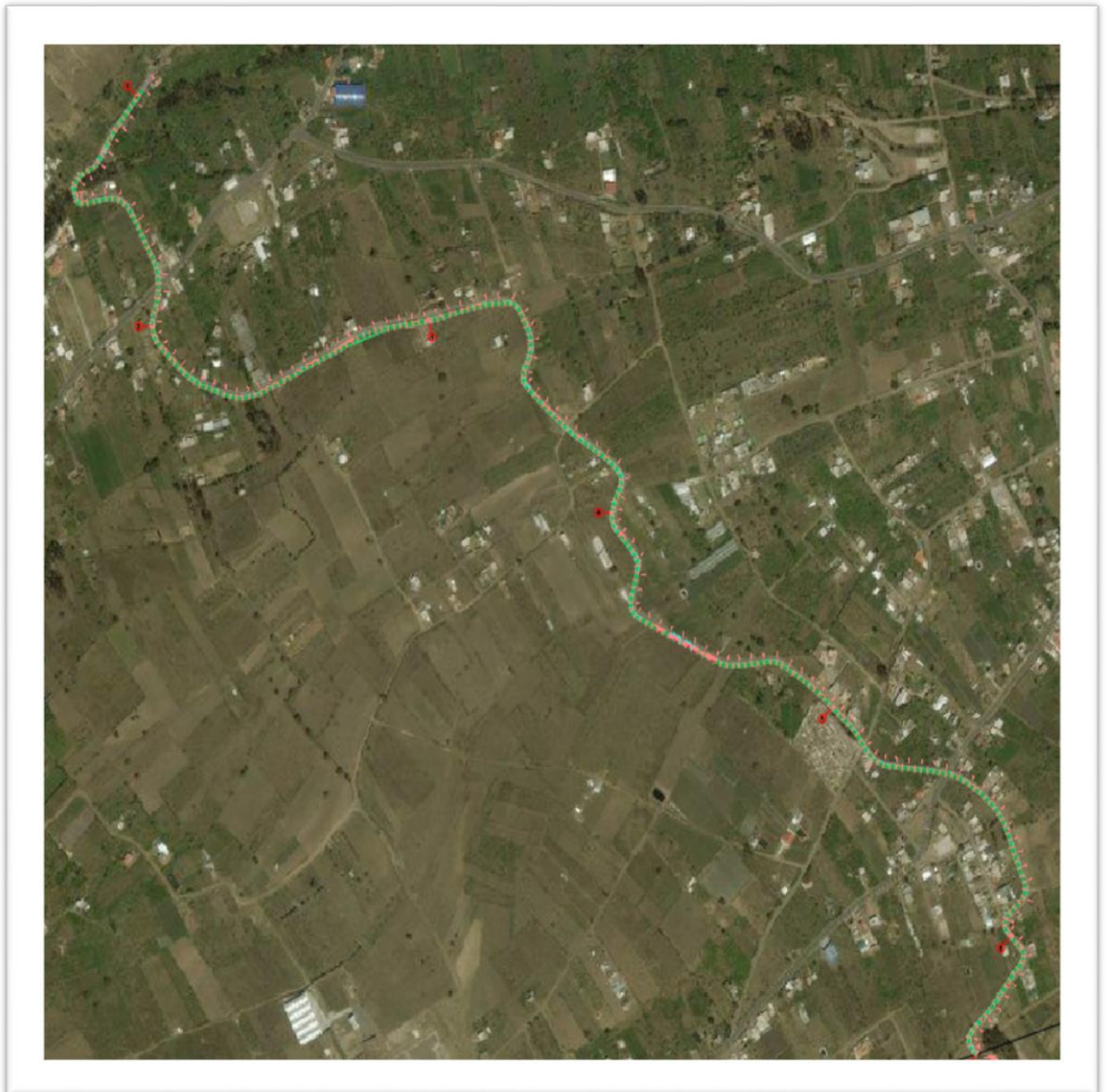


Fuente: <https://www.mapasecuador.net/mapa/mapa-tungurahua-mapa-division-politica.html>

3.1.4 Ubicación Micro

El tramo a estudiar inicia en la parroquia de Huachi Grande en el sector los Girasoles y culmina en el sector del Censo, con una longitud de 2.6km.

Figura 23. Implantación del tramo total en estudio



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

La sección transversal es de forma trapezoidal, en la que se ha tomado datos en 6 secciones a lo largo del canal, los mismos que son en 6 puntos diferentes en los que se observa diferentes medidas geométricas, así como de calado, estas están comprendidas entre sí a una distancia entre 400 m a 500 m.

Tabla 9: Medidas geométricas de los puntos en estudio

Abscisa km		Altura total (m)	Ancho (m)	Espejo de agua (m)	Ancho del fondo (m)	Pendiente lateral (1:2)
Inicial	Final					
0+000	0+035	1.93	3.05	2.57	1.31	1 : 0.445
0+035	0+470	1.53	2.74	2.58	1.40	1 : 0.466
0+470	0+965	1.50	2.72	2.65	1.62	1 : 0.404
0+965	1+465	1.55	2.70	2.36	1.2	1 : 0.488
1+465	1+965	1.64	2.78	2.62	1.33	1 : 0.488
1+965	2+465	1.53	2.75	2.52	1.35	1 : 0.445

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

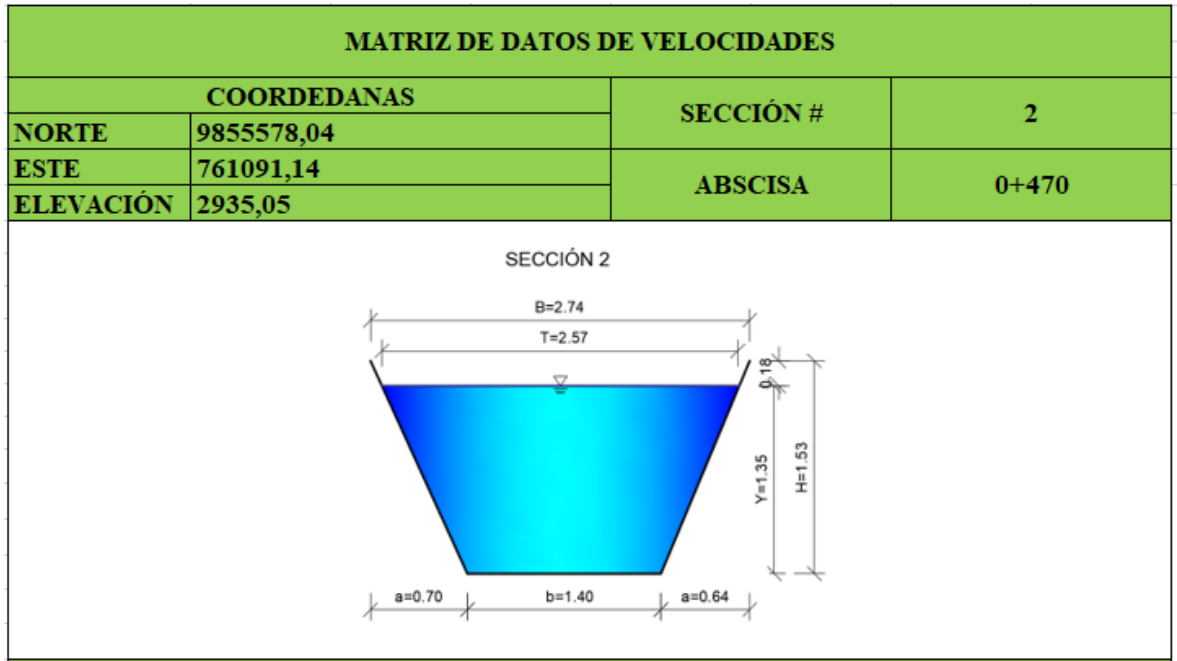
Tabla 10: Datos de geometría del canal de la sección 1

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES			
COORDENADAS		SECCIÓN #	1
NORTE	9855880,513		
ESTE	761068,0025	ABSCISA	0+035
ELEVACIÓN	2936,114		

SECCIÓN 1

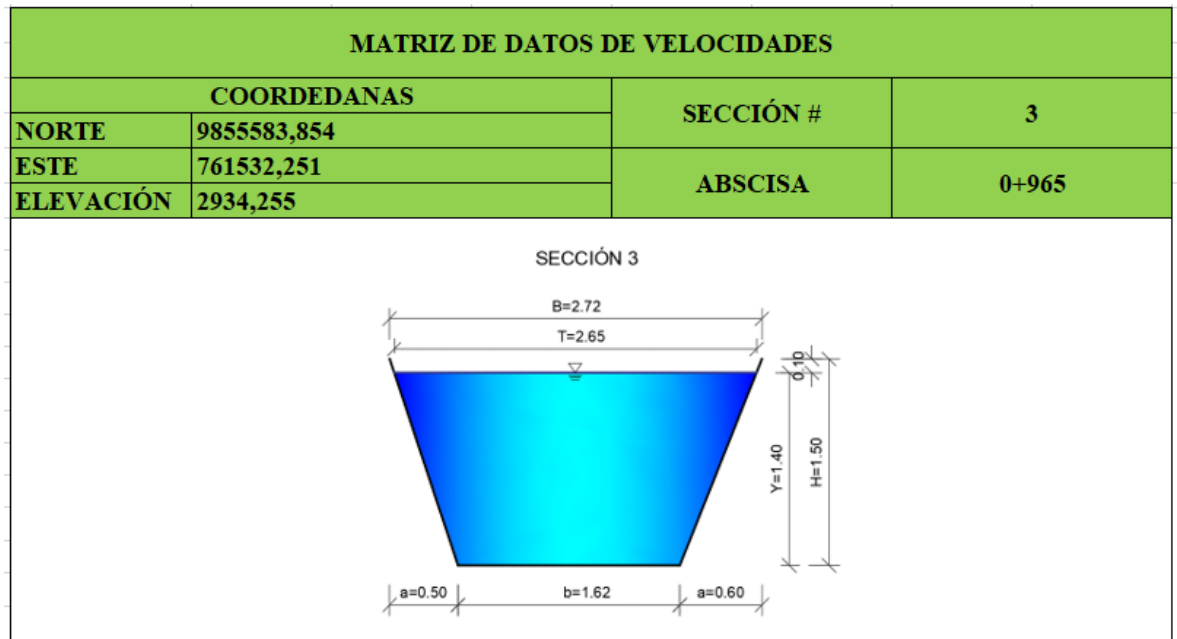
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 11: Datos de geometría del canal de la sección 2



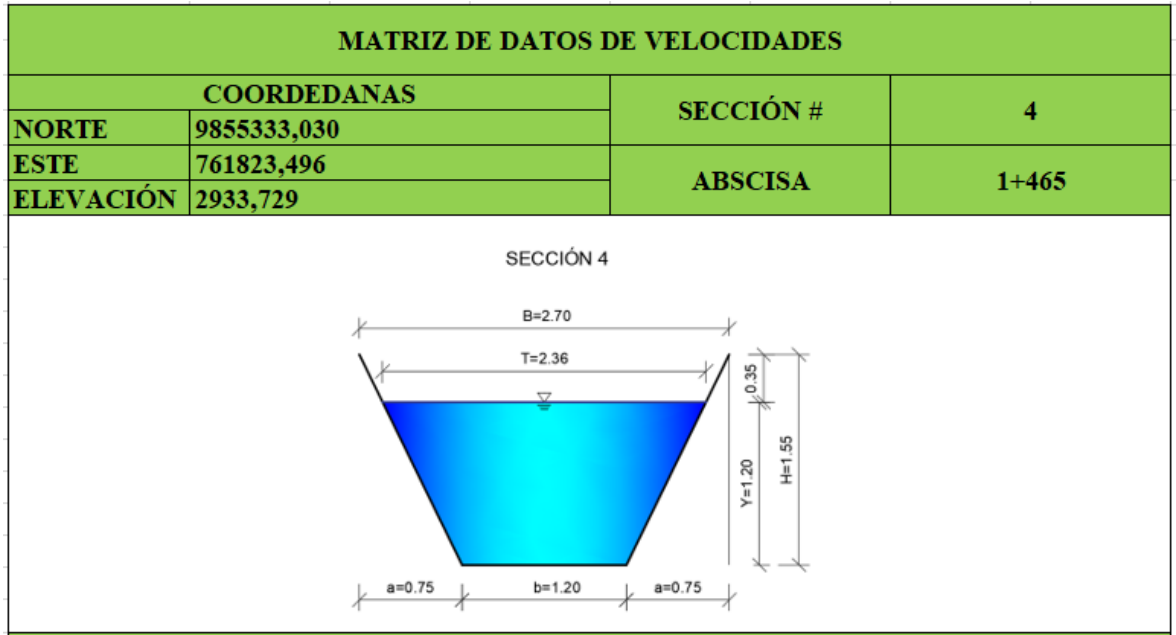
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 12: Datos de geometría del canal de la sección 3



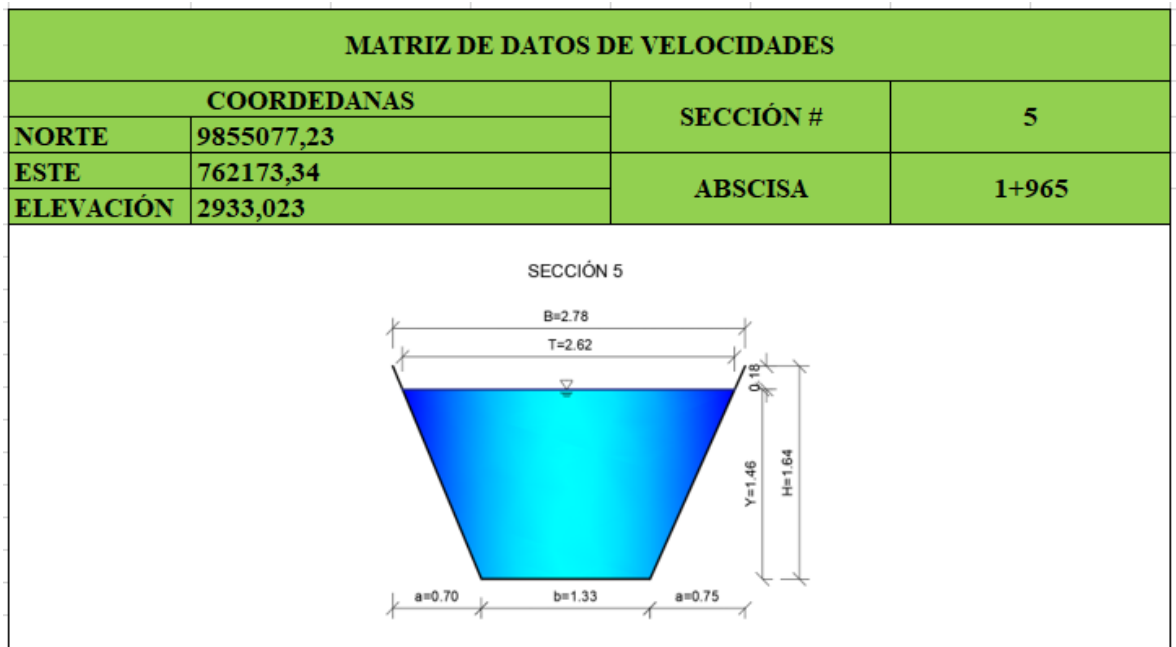
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 13: Datos de geometría del canal de la sección 4



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 14: Datos de geometría del canal de la sección 5



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 15: Datos de geometría del canal de la sección 6

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES			
COORDENADAS		SECCIÓN #	6
NORTE	9854776,2356		
ESTE	762457,8588	ABSCISA	2+465
ELEVACIÓN	2932,134		

SECCIÓN 6

The diagram shows a trapezoidal cross-section of a canal. The top width is labeled B=2.75. The bottom width is labeled b=1.35. The water surface width is labeled T=2.52. The water depth is labeled Y=1.35. The total channel depth is labeled H=1.53. The side slopes are defined by a=0.70. A small depth of 0.18 is shown between the water surface and the top of the channel.

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

3.1.5 Perfil Longitudinal

Figura 24. Implantación del tramo en estudio

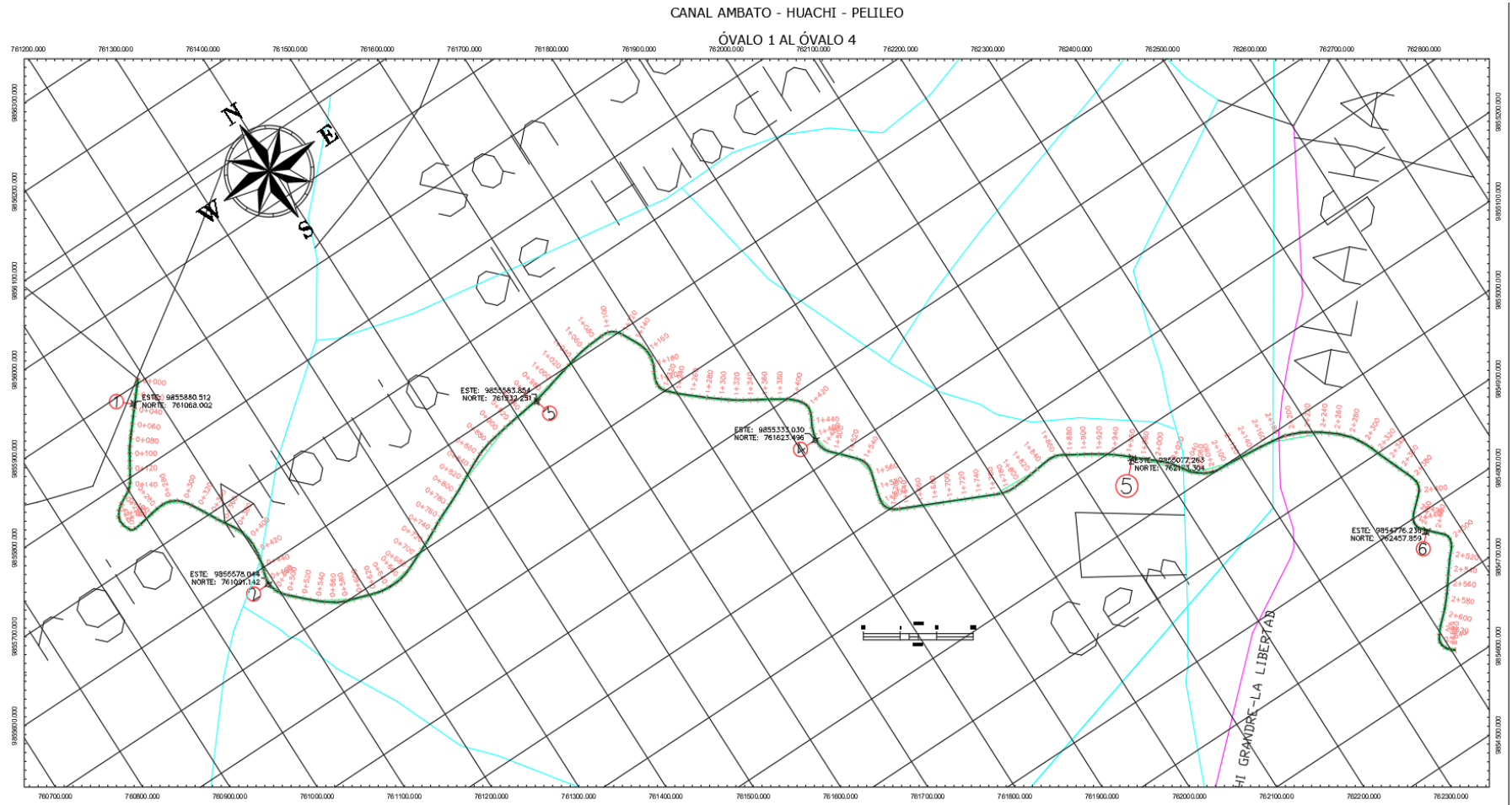
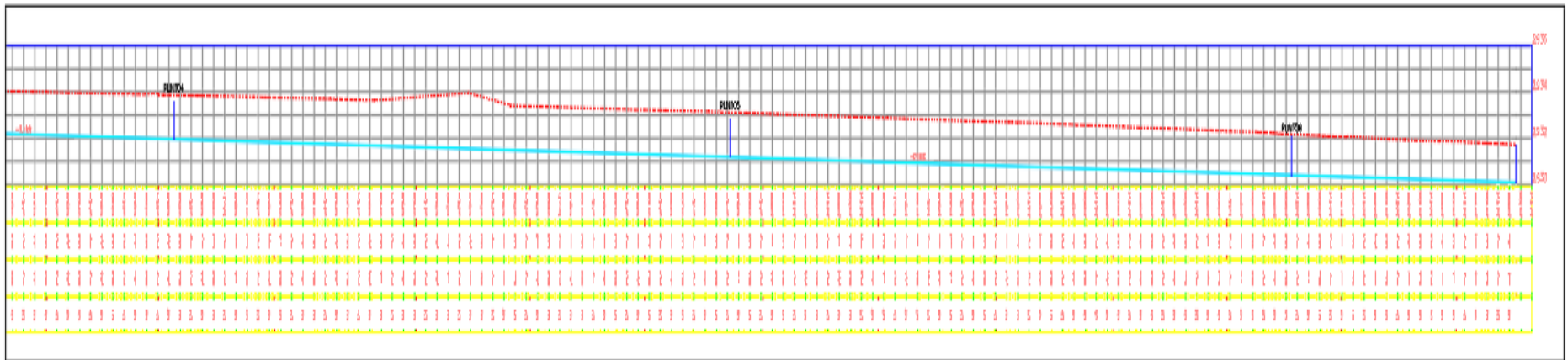
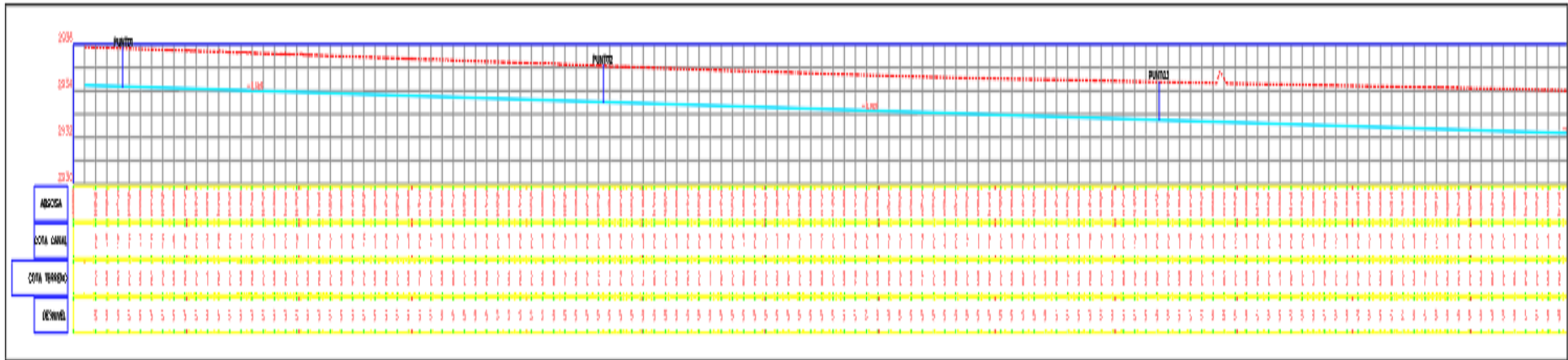


Figura 25. Perfil Longitudinal del tramo en estudio



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

3.1.6 Datos de velocidades

- **Secciones Transversales**

Las siguientes tablas muestran los valores de las velocidades tomadas a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad hidráulica respectivamente. Estas velocidades fueron obtenidas mediante la utilización del molinete en cada sección transversal a lo largo del tramo en estudio.

Tabla 16. Datos de velocidades del canal en la sección 1

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES							
COORDEDANAS		SECCIÓN #		1			
NORTE	9855880,513	ABSCISA		0+035			
ESTE	761068,0025						
ELEVACIÓN	2936,114						
<p>SECCIÓN 1</p>							
LECTURAS DE VELOCIDAD							
%*Y	m/s						
	1	2	3	4	5	6	7
0.2Y	1,29	1,58	1,61	1,60	1,62	1,31	
0.6Y		1,61	1,59	1,71	1,70		
0.8Y		1,28	1,54	1,56	1,32		

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 17. Datos de velocidades del canal en la sección 2

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES							
COORDEDANAS		SECCIÓN #	2				
NORTE	9855578,04						
ESTE	761091,14	ABSCISA	0+470				
ELEVACIÓN	2935,05						
<p>SECCIÓN 2</p>							
LECTURAS DE VELOCIDAD							
%*Y	m/s						
	1	2	3	4	5	6	7
0.2Y	0,85	1,25	1,41	1,56	1,54		
0.6Y		1,50	1,63	1,80	1,40		
0.8Y		0,87	1,51	0,87			

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 18. Datos de velocidades del canal en la sección 3

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES							
COORDEDANAS		SECCIÓN #	3				
NORTE	9855583,854						
ESTE	761532,251	ABSCISA	0+965				
ELEVACIÓN	2934,255						
<p>SECCIÓN 3</p>							
LECTURAS DE VELOCIDAD							
%*Y	m/s						
	1	2	3	4	5	6	7
0.2Y	1,17	1,17	1,15	1,18	1,13		
0.6Y	1,05	1,44	1,61	1,51	1,240		
0.8Y		1,16	1,21	1,17			

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 19. Datos de velocidades del canal en la sección 4

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES							
COORDEDANAS				SECCIÓN #	4		
NORTE	9855333,030			ABSCISA	1+465		
ESTE	761823,496						
ELEVACIÓN	2933,729						
LECTURAS DE VELOCIDAD							
%*Y	m/s						
	1	2	3	4	5	6	7
0.2Y	1,24	1,48	1,53	1,26	1,17		
0.6Y	1,29	1,93	1,80	1,63	1,11		
0.8Y		1,24	1,81	1,15			

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 20. Datos de velocidades del canal en la sección 5

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES							
COORDEDANAS				SECCIÓN #	5		
NORTE	9855077,23			ABSCISA	1+965		
ESTE	762173,34						
ELEVACIÓN	2933,023						
LECTURAS DE VELOCIDAD							
%*Y	m/s						
	1	2	3	4	5	6	7
0.2Y	0,80	0,90	0,85	0,76	0,76		
0.6Y	0,75	1,18	1,16	1,37	1,00		
0.8Y		1,15	1,22	1,06			

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 21. Datos de velocidades del canal en la sección 6

MATRIZ DE DATOS DE VELOCIDADES						
COORDENADAS			SECCIÓN #	6		
NORTE	9854776,2356					
ESTE	762457,8588					
ELEVACIÓN	2932,134 <th>ABSCISA</th> <td colspan="3">2+465</td>		ABSCISA	2+465		
<p>SECCIÓN 6</p> <p>Diagrama de la sección 6 del canal, mostrando un trapecio invertido con las siguientes dimensiones: ancho superior B=2.75, ancho inferior T=2.52, anchos laterales a=0.70, ancho central b=1.35, altura del agua Y=1.35, altura total H=1.53, y una profundidad de 0.18.</p>						
LECTURAS DE VELOCIDAD						
%*Y	m/s					
	1	2	3	4	5	6
0.2Y	0,96	1,11	1,24	1,11	1,04	
0.6Y	1,02	1,51	1,34	1,23	0,87	
0.8Y		1,03	1,13	0,93		

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Se llegó a obtener 6 puntos de medición en el tramo del canal comprendido en las abscisas 0+000 a 2+600 km, estas mediciones se realizó cada 400 o 500 metros.

3.1.7 Cálculo de velocidades medias y caudales medios

La medición de las velocidades se realizó mediante la ayuda del equipo llamado molinete, el cual viene a ser un transmisor de caudal de líquidos con capacidad de medición de velocidades de hasta 15 m/s, serie DMM-4000/PFT. Para realizar la medición se procedió inicialmente a dividir en franjas verticales y la separación dependió de la medida del espejo de agua que tenía un rango de 30 a 40 cm, seguido de las alturas de 0.2, 0.6 y 0.8 del tirante del agua. Se introdujo el molinete para realizar las lecturas de velocidad en cada punto, para obtener una mayor aproximación se realizó la toma de 3 lecturas con los que se realiza un promedio; los cuales vamos registrando en la matriz para el respectivo procesamiento.

Figura 26. Toma de velocidades con el molinete



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

3.1.7.1 Caudal Medio

Para el cálculo del caudal medio de cada sección transversal se realizó por 2 métodos:

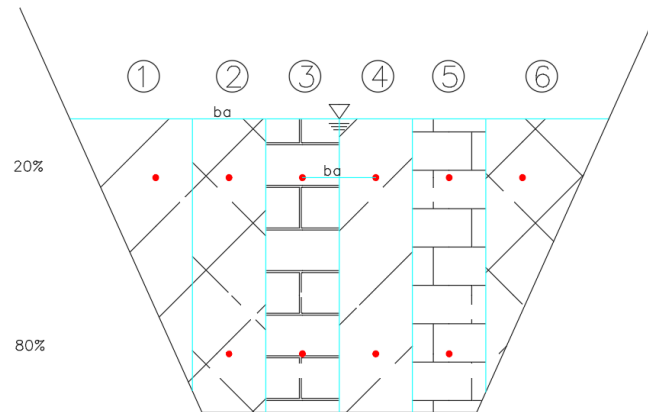
En el primer método determinamos la profundidad promedio para las profundidades verticales a $0.2Y$ y $0.8Y$, posteriormente se multiplicó por las respectivas velocidades parciales y por el ancho de la franja para así obtener un caudal parcial. Para culminar realizamos la sumatoria de los caudales parciales anteriormente determinados de $0.2Y$ y $0.8Y$ para con esto obtener un caudal para cada sección según el Manual de Aforos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [24]

En este manual para calcular la profundidad media se basa en fórmulas en la que se calcula el área donde influye cada punto de velocidad, consiguiente, para obtener el caudal medio de cada uno, se procede a la sumatoria de los caudales calculados de forma individual, debido a la gran cantidad de datos, este proceso se realiza a través de tablas programadas con la ayuda de la herramienta Excel para obtener resultados con mayor rapidez y precisión.

Por último, obtenemos un caudal medio por cada método y se calcula la respectiva velocidad media con respecto al área total de agua, de los resultados que se obtenga se escoge el

escenario más crítico, en otras palabras, el valor más alto que se luego se usará para la simulación.

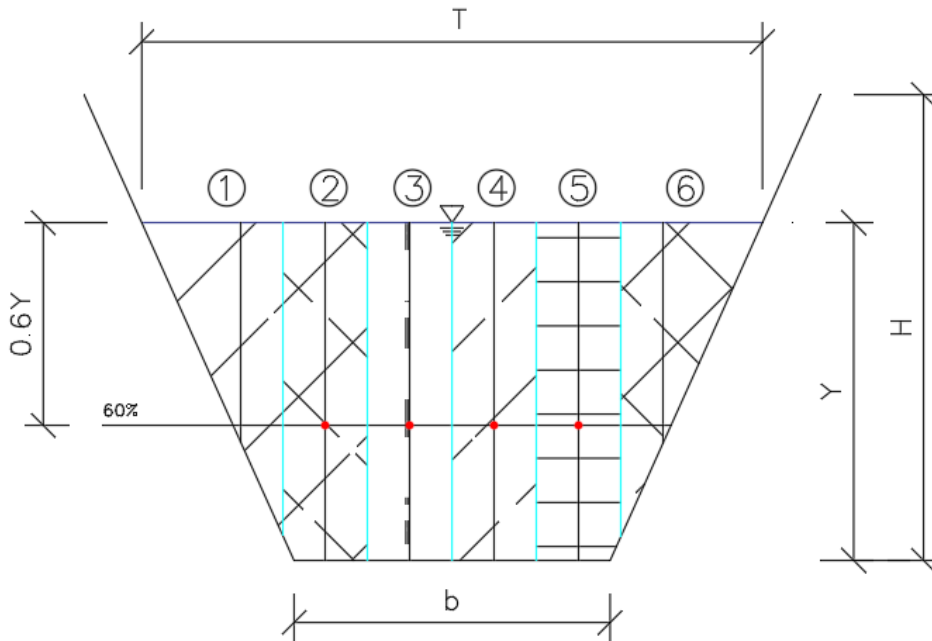
Figura 27. División de franjas verticales para el cálculo del caudal medio por el método 1



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

El segundo método se determina un valor de la profundidad promedio, en otras palabras, para las profundidades de $0.6Y$. Este valor se multiplica por las velocidades parciales y por el ancho de la franja obteniendo así el caudal parcial, para con esto realizar la sumatoria de los caudales parciales y obtener el valor del caudal para cada sección.

Figura 28. División de franjas verticales para el cálculo del caudal medio por el método2



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

3.1.7.2 Velocidad Media

Para el cálculo de la velocidad media de una sección transversal dividimos el caudal total para el área mojada del canal [12].

$$Vm = \frac{QT}{A} \quad (27)$$

Donde:

V_m = velocidad media del canal (m/s)

Q_T = caudal total (m^3/s)

A = área mojada m^2

Los valores de velocidad y caudal medio obtenidos in-situ, posteriormente serán comprobadas al modelar en el software HEC-RAS.

3.1.7.3 Análisis de datos obtenidos en la medición in-situ.

A continuación, se muestran las tablas con los datos de velocidades medidas con el molinete que corresponden a las abscisas 0+000 a 2+600 km, cada sección transversal se dividió en 5 franjas con respecto al espejo del agua y se procedió a la medición de velocidades a 0.2Y, 0.6Y y 0.8y. También se podrá apreciar el cálculo del caudal tanto por el método 1 como el método 2.

Figura 29. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 1 por el método 1 y 2.

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES							
DESCRIPCIÓN		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5	FRANJA DE SECCIÓN 6
Y	1,4						
%Y	0.2Y	1,29	1,58	1,61	1,60	1,62	1,31
	0.8Y		1,28	1,54	1,56		
Y(m)0.2	0,28	0,28	0,28	0,28	0,254	0,254	0,254
Y(m)0.8	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
ANCHO	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
ALTURA PROMEDIO	0,770						
a=0.4Y	0,56						
b=0.6Y	0,84						
c=0.6Y	0,84						
ÁREA		0,374	0,4859	0,4859	0,4859	0,3818	0,369
VELOCIDAD		1,29	1,43	1,58	1,58	1,62	1,31
Q PROMEDIO POR ÁREA		0,48246	0,694837	0,7652925	0,767722	0,618516	0,48339
ΣQ TOTAL		3,812					
	V media	1,409					

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,4					
%Y	0.6Y	0,00	1,61	1,59	1,71	0,00
Y(m)0.6	0,762	0	0,762	0,762	0,762	0
ANCHO	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
ALTURA PROMEDIO	0,770					
a=0.4Y	0,56					
b=0.6Y	0,84					
c=0.6Y	0,84					
ÁREA		0	0,4859	0,4859	0,4859	0
VELOCIDAD		0,00	1,61	1,59	1,71	0,00
Q PROMEDIO POR ÁREA		0	0,782299	0,772581	0,830889	0
ΣQ TOTAL		2,386				
	V media	0,882				

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Figura 30. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 2 por el método 1 y 2.

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,35					
%Y	0,2Y	0,85	1,25	1,41	1,56	1,54
	0,8Y		0,87	1,51	0,87	
Y(m)0.2	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Y(m)0.8	1,08	0	0	1,008	1,008	1,008
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,743					
a=0.4Y	0,54					
b=0.6Y	0,81					
c=0.6Y	0,81					
ÁREA		0,514	0,5382	0,5382	0,5382	0,514
VELOCIDAD		0,85	1,06	1,46	1,22	1,54
Q PROMEDIO POR ÁREA		0,4369	0,570492	0,785772	0,653913	0,79156
ΣQ TOTAL		3,239				
	V media	1,182				

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,35					
%Y	0,6Y	0,00	1,50	1,63	1,80	0,00
Y(m)0.6	0,81	0	0,81	0,81	0,81	0
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,743					
a=0.4Y	0,54					
b=0.6Y	0,81					
c=0.6Y	0,81					
ÁREA		0	0,5382	0,5382	0,5382	0
VELOCIDAD		0,00	1,50	1,63	1,80	0,00
Q PROMEDIO POR ÁREA		0	0,8073	0,877266	0,96876	0
ΣQ TOTAL		2,653				
	V media	0,969				

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Figura 31. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 3 por el método 1 y 2

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,4					
%Y	0.6Y	0,00	1,44	1,61	1,51	0,00
Y(m)0.6	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,770					
a=0.4Y	0,56					
b=0.6Y	0,84					
c=0.6Y	0,84					
ÁREA		0	0,5582	0,5582	0,5582	0
VELOCIDAD		0,00	1,44	1,61	1,51	0,00
Q PROMEDIO POR ÁREA		0	0,803808	0,898702	0,842882	0
ΣQ TOTAL		2,545				
	V media	0,832				

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,4					
%Y	0.2Y	1,17	1,17	1,15	1,18	1,13
	0.8Y		1,16	1,21	1,17	
Y(m)0.2	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Y(m)0.8	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,770					
a=0.4Y	0,56					
b=0.6Y	0,84					
c=0.6Y	0,84					
ÁREA		0,6877	0,5582	0,5582	0,5582	0,6171
VELOCIDAD		1,17	1,17	1,18	1,18	1,13
Q PROMEDIO POR ÁREA		0,804609	0,650303	0,658676	0,655885	0,697323
ΣQ TOTAL		3,467				
	V media	1,133				

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Figura 32. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 4 por el método 1 y 2

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,2					
% Y	0.2Y	1,24	1,48	1,53	1,26	1,17
	0.8Y		1,24	1,81	1,15	
Y(m)0.2	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Y(m)0.8	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,660					
a=0.4Y	0,48					
b=0.6Y	0,72					
c=0.6Y	0,72					
ÁREA		0,3464	0,4782	0,4782	0,4782	0,348
VELOCIDAD		1,24	1,36	1,67	1,21	1,17
Q PROMEDIO POR ÁREA		0,429536	0,650352	0,798594	0,576231	0,40716
ΣQ TOTAL		2,862				
	V media	1,336				

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,2					
% Y	0.6Y	0,00	1,93	1,80	1,63	0,00
Y(m)0.6	0,72	0	0,72	0,72	0,72	0
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,660					
a=0.4Y	0,48					
b=0.6Y	0,72					
c=0.6Y	0,72					
ÁREA		0	0,4782	0,4782	0,4782	0
VELOCIDAD		0,00	1,93	1,80	1,63	0,00
Q PROMEDIO POR ÁREA		0	0,922926	0,86076	0,779466	0
ΣQ TOTAL		2,563				
	V media	1,196				

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Figura 33. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 5 por el método 1 y 2

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,46					
%Y	0,2Y	0,80	0,90	0,85	0,76	0,76
	0,8Y		1,15	1,22	1,06	
Y(m)0.2	0,292	0,292	0,292	0,292	0,292	0,292
Y(m)0.8	1,168	1,168	1,168	1,168	1,168	1,168
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,803					
a=0.4Y	0,584					
b=0.6Y	0,876					
c=0.6Y	0,876					
ÁREA		0,5156	0,5822	0,5822	0,5822	0,5156
VELOCIDAD		0,80	1,03	1,04	0,91	0,76
Q PROMEDIO POR ÁREA		0,41248	0,596755	0,602577	0,529802	0,391856
ΣQ TOTAL		2,533				
	V media	0,850				

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,46					
%Y	0,6Y	0,00	1,18	1,16	1,37	0,00
Y(m)0.6	0,876	0	0,876	0,876	0,876	0
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,803					
a=0.4Y	0,584					
b=0.6Y	0,876					
c=0.6Y	0,876					
ÁREA		0	0,5822	0,55822	0,5822	0
VELOCIDAD		0,00	1,18	1,16	1,37	0,00
Q PROMEDIO POR ÁREA		0	0,686996	0,6475352	0,797614	0
ΣQ TOTAL		2,132				
	V media	0,715				

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Figura 34. Análisis de resultados de velocidades y caudales para la sección 6 por el método 1 y 2

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,35					
%Y	0,2Y	0,96	1,11	1,24	1,11	1,04
	0,8Y		1,03	1,13	0,93	
Y(m)0.2	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Y(m)0.8	1,08	0	1,08	1,08	1,08	1,08
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,743					
a=0.4Y	0,54					
b=0.6Y	0,81					
c=0.6Y	0,81					
ÁREA		0,475	0,5188	0,5188	0,5188	0,4417
VELOCIDAD		0,96	1,07	1,19	1,02	1,04
Q PROMEDIO POR ÁREA		0,456	0,555116	0,614778	0,529176	0,459368
ΣQ TOTAL		2,614				
	V media	0,993				

CÁLCULO DEL CANAL POR EL METODO DE PROFUNDIDADES						
		FRANJA DE SECCIÓN 1	FRANJA DE SECCIÓN 2	FRANJA DE SECCIÓN 3	FRANJA DE SECCIÓN 4	FRANJA DE SECCIÓN 5
Y	1,35					
%Y	0,6Y	1,02	1,51	1,34	1,23	0,87
Y(m)0.6	0,81	0	0,81	0,81	0,81	0
ANCHO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ALTURA PROMEDIO	0,743					
a=0.4Y	0,54					
b=0.6Y	0,81					
c=0.6Y	0,81					
ÁREA		0,475	0,5188	0,5188	0,5188	0,475
VELOCIDAD		1,02	1,51	1,34	1,23	0,87
Q PROMEDIO POR ÁREA		0,4845	0,783388	0,695192	0,638124	0,41325
ΣQ TOTAL		3,014				
	V media	1,145				

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Tabla 22. Resumen de velocidades medias y caudales.

TABLA DE RESUMEN DE CAULADES Y VELOCIDAD MEDIA					
SECCIONES	Q(0.2+0.8)	Q(0.6)	ÁREA MOJADA	Vm(0.2+0.8)	Vm(0.6)
	m3/s	m3/s	m2	m/s	m/s
SECCIÓN 1	3,812	2,386	2,706	1,409	0,882
SECCIÓN 2	3,239	2,653	2,739	1,182	0,969
SECCIÓN 3	3,467	2,545	3,060	1,133	0,832
SECCIÓN 4	2,862	2,563	2,143	1,336	1,196
SECCIÓN 5	2,533	2,132	2,982	0,850	0,715
SECCIÓN 6	2,614	3,014	2,634	0,993	1,145

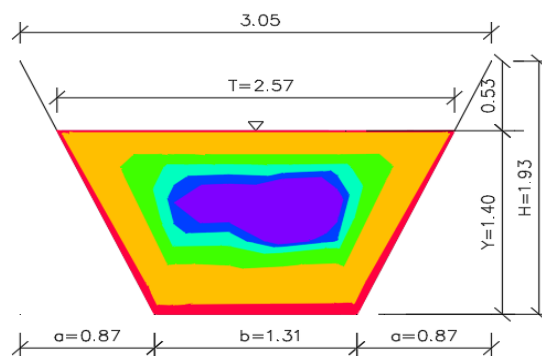
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

3.1.7.4 Curvas de Velocidad

Las velocidades medidas in-situ son procesadas en AUTO CAD Civil 3D donde se procede a generar las curvas de distribución transversal de velocidades clasificadas e identificadas por colores, según el rango de velocidades, desde las más bajas a las más altas dentro de la sección transversal y se crean tablas dinámicas por cada punto en estudio que contienen los rangos de velocidad, mínima, máxima y sus respectivos colores.

En las siguientes figuras encontraremos rangos de velocidades, las cuales están distribuidas por colores, siendo el color rojo el valor mas bajo de la velocidad y el color morado el valor más alto.

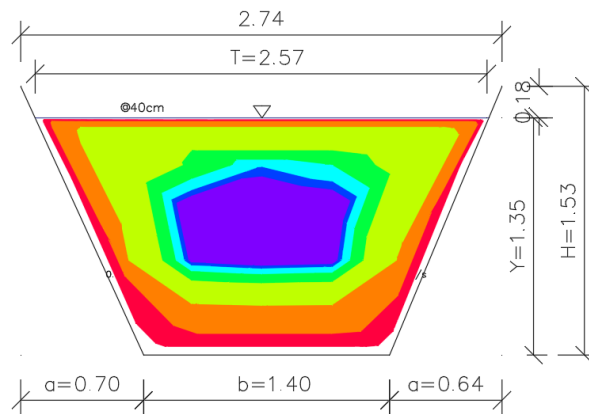
Figura 35. Curvas de velocidad de la sección 1



TRAMO 1				
RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.60	0.75	0.26	Red
2	0.75	1.29	1.22	Orange
3	1.29	1.54	0.45	Yellow
4	1.54	1.65	0.26	Green
5	1.65	1.70	0.16	Cyan
6	1.70	1.90	0.37	Blue

Elaborado por: *Walter Andrés Criollo Tisalema*

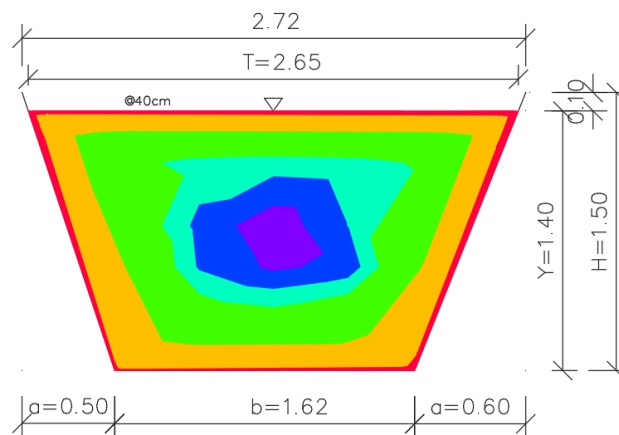
Figura 36. Curvas de velocidad de la sección 2



RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.72	0.75	0.28	Red
2	0.75	0.85	0.51	Orange
3	0.85	1.25	0.81	Yellow
4	1.25	1.41	0.25	Green
5	1.41	1.51	0.15	Cyan
6	1.51	1.56	0.07	Blue
7	1.56	1.80	0.40	Purple

Elaborado por: *Walter Andrés Criollo Tisalema*

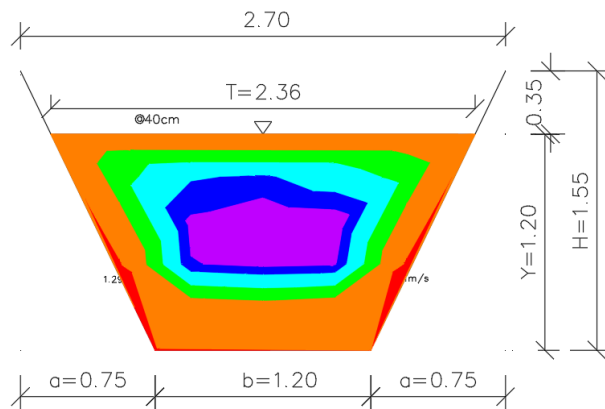
Figura 37. Curvas de velocidad de la sección 3



RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.50	0.57	0.18	Red
2	0.57	0.80	0.88	Orange
3	0.80	1.15	1.07	Green
4	1.15	1.30	0.43	Cyan
5	1.30	1.45	0.32	Blue
6	1.45	1.61	0.10	Purple

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

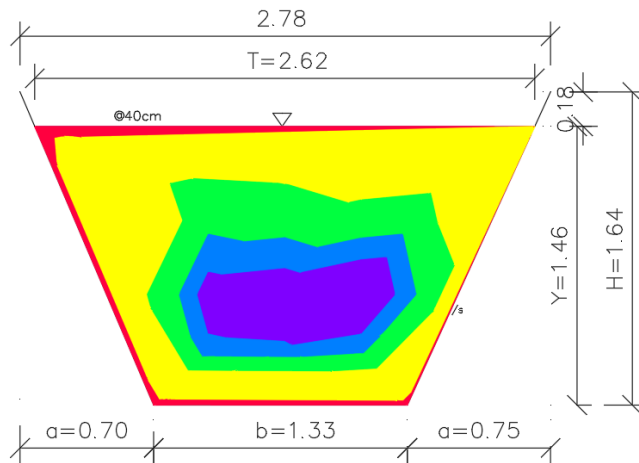
Figura 38. Curvas de velocidad de la sección 4



RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.30	0.64	0.07	Red
2	0.64	1.00	0.89	Orange
3	1.00	1.24	0.35	Green
4	1.24	1.50	0.34	Cyan
5	1.50	1.65	0.22	Blue
6	1.65	1.93	0.27	Purple

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

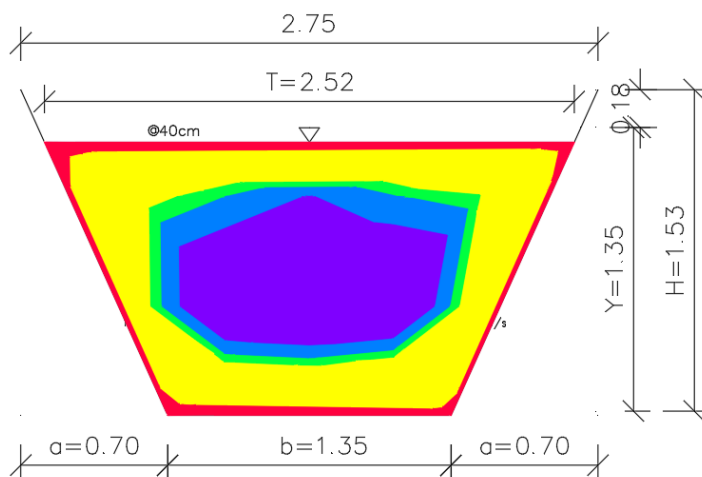
Figura 39. Curvas de velocidad de la sección 5








RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.32	0.42	0.17	Red
2	0.42	0.85	1.41	Yellow
3	0.85	1.06	0.64	Green
4	1.06	1.18	0.32	Blue
5	1.18	1.37	0.34	Purple

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

Figura 40. Curvas de velocidad de la sección 6



RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.40	0.55	0.24	
2	0.55	1.02	1.12	
3	1.02	1.10	0.17	
4	1.10	1.23	0.30	
5	1.23	1.65	0.68	

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

3.1.7.5 Coeficientes de Manning

Para determinar el coeficiente de Manning utilizamos la ecuación de la velocidad en función de **n** y del radio hidráulico (**Rh**), de donde adquirimos valores de n1 para las diferentes secciones, dichos valores serán ingresados en el programa HEC-RAS.

$$Rh = \frac{A}{P} \quad (28)$$

Donde:

Rh= Radio Hidráulico

A= Área

P= Perímetro mojado

$$n = \frac{1}{v} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

Donde:

n= coeficiente de Manning

s= pendiente

v= velocidad

Tabla 23. Velocidades medias, radio hidráulico, pendientes y coeficientes de Manning para cada sección.

SECCIÓN	Vm (1)	Vm (2)	Rh	S	n1
1	1,41	0,88	0,6185994	0,0009	0,0154612
2	1,18	0,97	0,6255833	0,0009	0,0185604
3	1,13	0,83	0,6594668	0,0009	0,0200610

4	1,34	1,20	0,5535992	0,0009	0,0151437
5	0,85	0,72	0,6512185	0,0009	0,0265298
6	0,99	1,14	0,6116955	0,0009	0,0217755

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

3.1.8 Análisis de los resultados de la modelación en el programa HEC-RAS

La simulación en el programa HEC-RAS se la realizará con los datos obtenidos de velocidad y caudal, se ejecutan 6 simulaciones cada una con sus respectivos datos donde cada uno consta con su sección transversal.

Dentro de los resultados que se obtendrán serán las gráficas de Número de Froude vs Longitud, las gráficas de Velocidad vs Longitud y de Calado vs Caudal; cabe mencionar que el software nos provee un informe de los resultados que son organizados en tablas con la información antes mencionada.

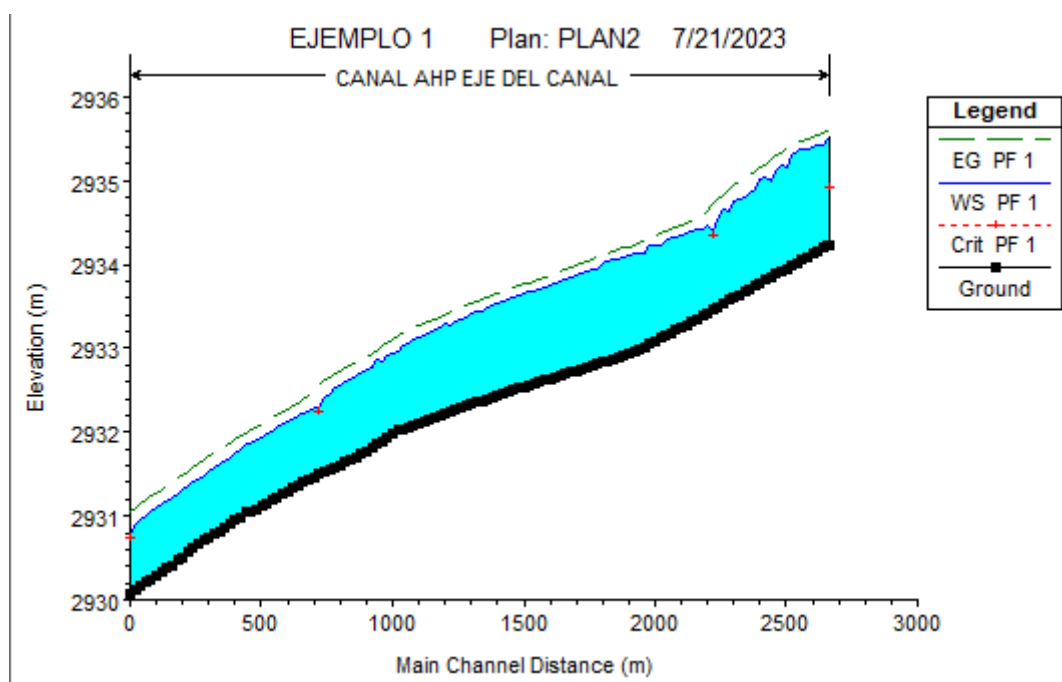
Finalmente, se realiza la simulación final con los datos de caudal promedio de los seis puntos y los respectivos coeficientes de Manning calculados en cada simulación.

3.1.9 Simulación

Se procedió a ingresar los 6 diferentes caudales medios que constan en las 6 secciones.

En la figura 39 se puede observar: la línea verde entrecortada representa la altura de energía, la línea azul continua es el nivel de agua o espejo de agua, la línea roja entrecortada representa a la altura del calado crítico, la línea de color negro corresponde a los bordes de la sección.

Figura 41. Perfil Longitudinal de Simulación.



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema

En la siguiente tabla nos indica los coeficientes de manning utilizados para cada sección de la modelación del canal, se puede observar abscisas tanto en el programa Autocad Civil 3D como en el programa HEC-RAS, puesto que las mismas son distintas ya que al realizar la modelación en el programa HEC-RAS la geometría se debe hacer del final al inicio.

Tabla 24. Coeficientes de Manning distribuidas en las secciones.

ABSCISA HEC-RAS		ABSCISA AUTOCAD CIVIL 3D		COEFICIENTES DE MANNING
INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	n
2+630	2+195	0+035	0+470	0.0155
2+195	1+700	0+470	0+965	0.020
1+700	1+465	0+965	1+465	0.025
1+465	1+200	1+465	1+965	0.0201
1+200	0+700	1+965	2+465	0.018
0+700	0+200	2+465	2+665.77	0.03562

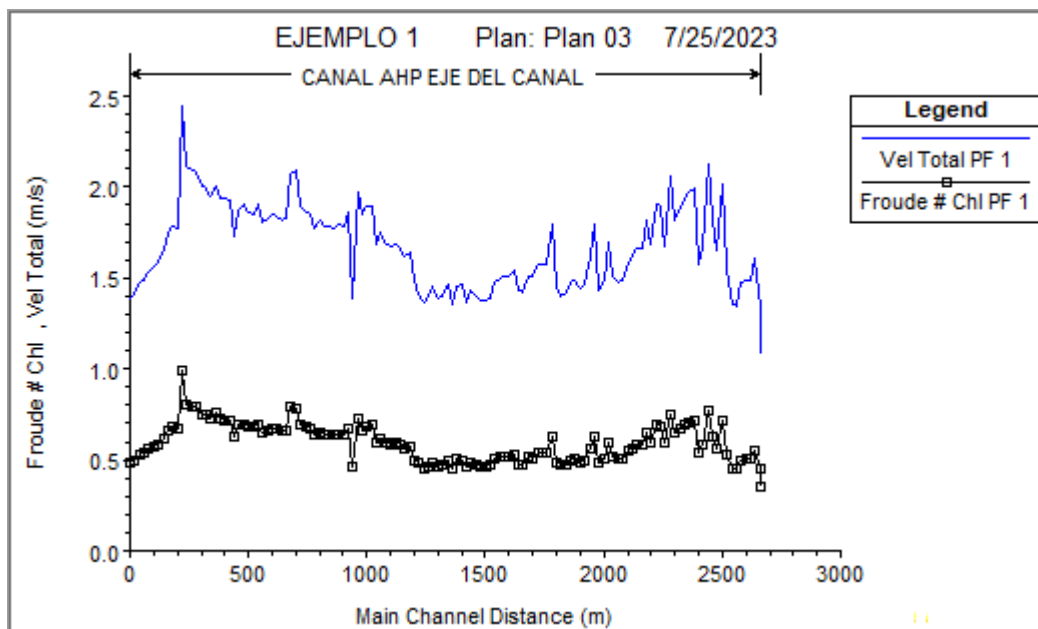
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

3.1.10 GENERAL PLOT

En la siguiente gráfica nos presenta la variación de velocidad y número de Froude para un caudal promedio de 3.089 m³/s a lo largo del canal para una simulación general, en la que se observa picos más altos los mismos que se debe a las curvaturas de la conducción en el tramo estudiado, la variación de la velocidad media nos muestra un comportamiento de flujo relativamente variable.

Podemos observar que el fluido se comporta en un rango subcrítico ya que el máximo valor del número de Froude es de 0.99 siendo menor a la unidad.

Figura 42. Diagrama de velocidad total y número de Froude de la simulación numérica.



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

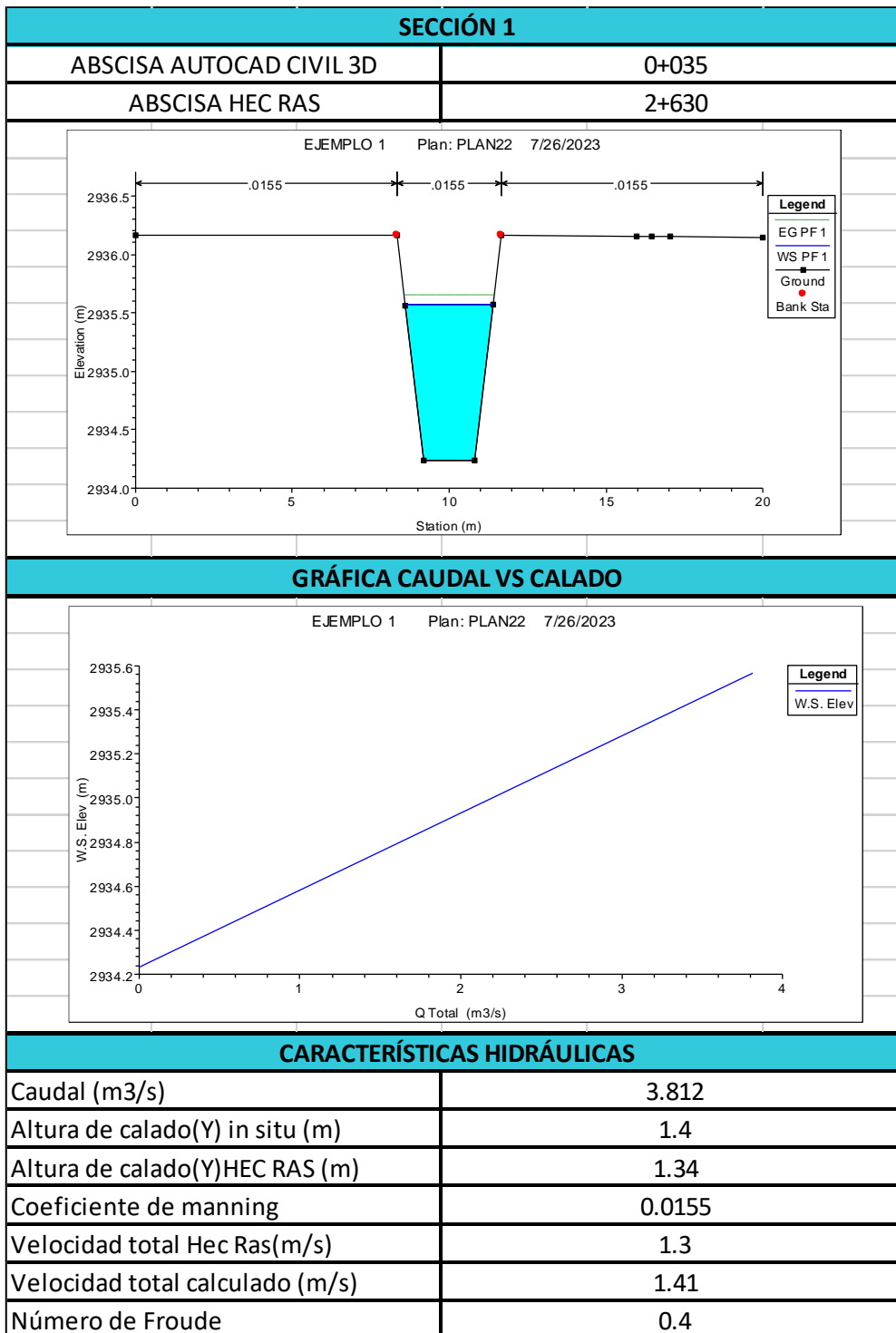
3.1.11 Resultados de la simulación individual de secciones

Las siguientes tablas abarcan resultados del proceso de calibración de las secciones desde la 1 hasta la 6 siendo estos valores de caudal de 3.812, 3.239, 3.467, 2.862, 2.533, 2.614 m³/s.

Como figura preliminar se tiene la línea de energía (línea verde entrecortada), nivel de agua (línea azul continua), calado crítico (línea roja entrecortada), los puntos de paredes y el fondo del canal (puntos rojos) cada uno con su correspondiente coeficiente de manning, seguido tenemos la gráfica de la curva de descarga que presenta el gasto hidráulico que pasa por las

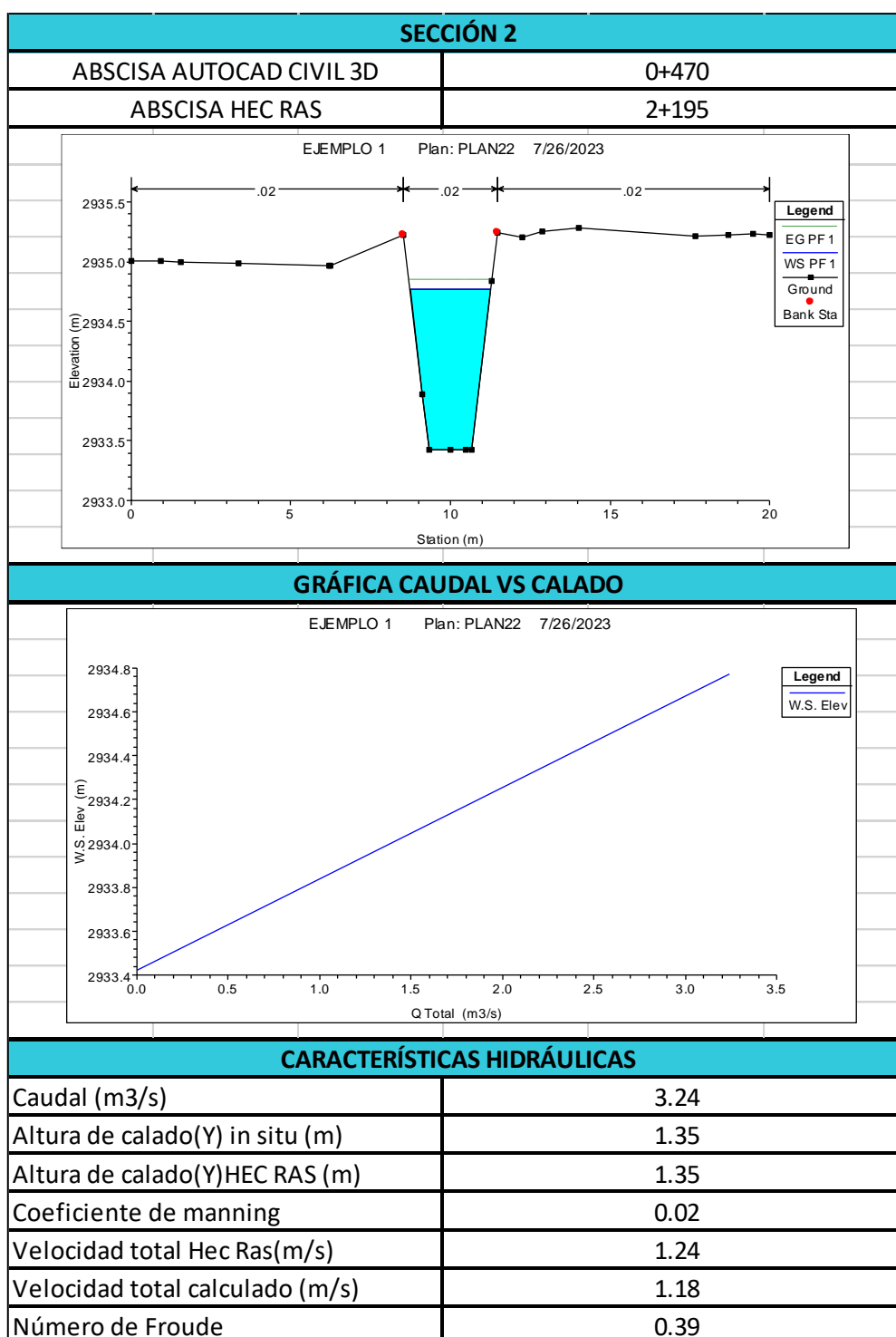
secciones en donde el eje horizontal tiene el valor del caudal, mientras en el eje vertical se tiene el valor del calado. Finalmente tenemos los datos hidráulicos utilizados como el caudal, calado, coeficiente de manning, así determinamos los resultados de los que podemos destacar la velocidad y número de Froude el mismo que nos permite comprobar el estado de flujo subcrítico.

Figura 43. Resultados de la modelación Sección 1



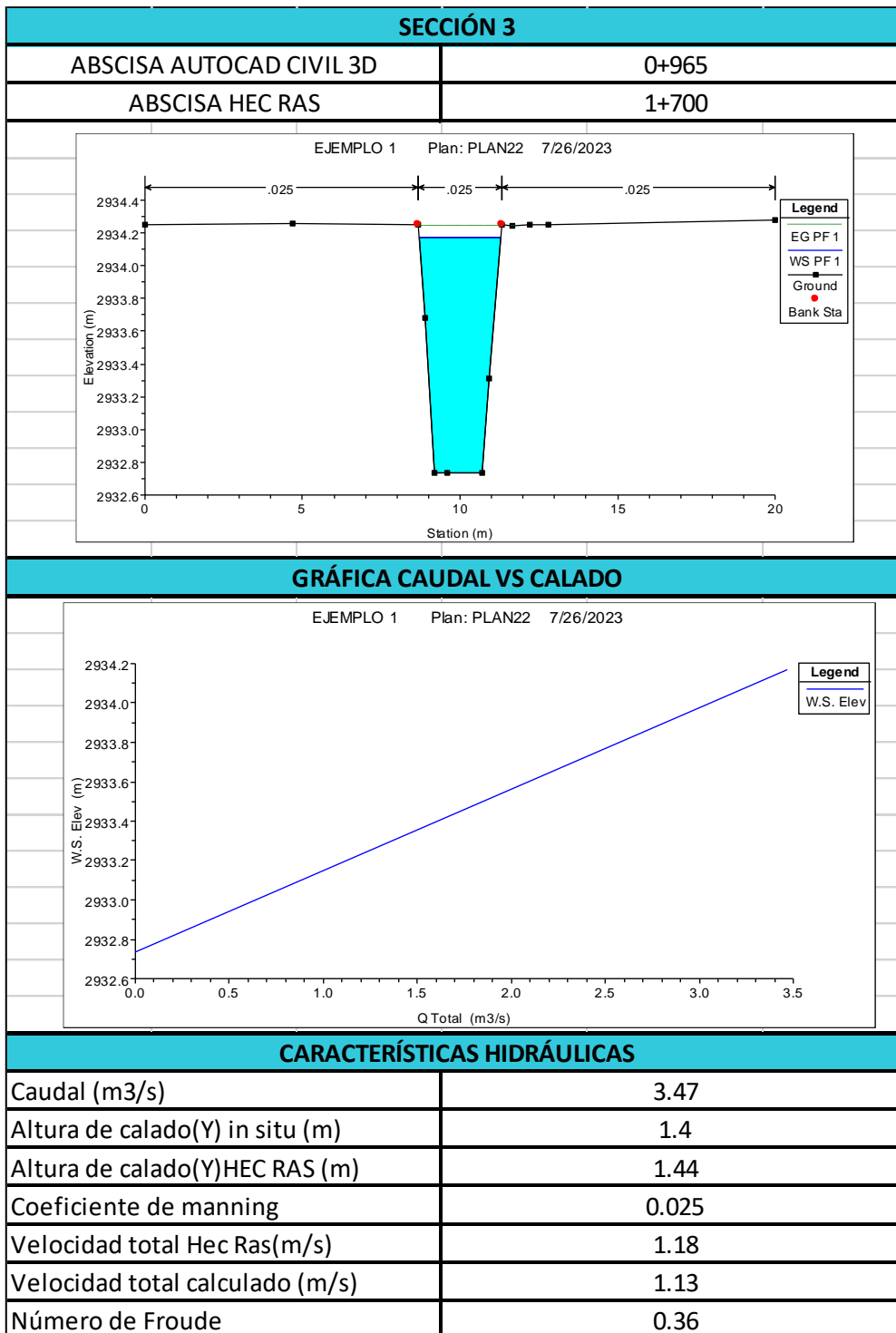
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

Figura 44. Resultados de la modelación Sección 2.



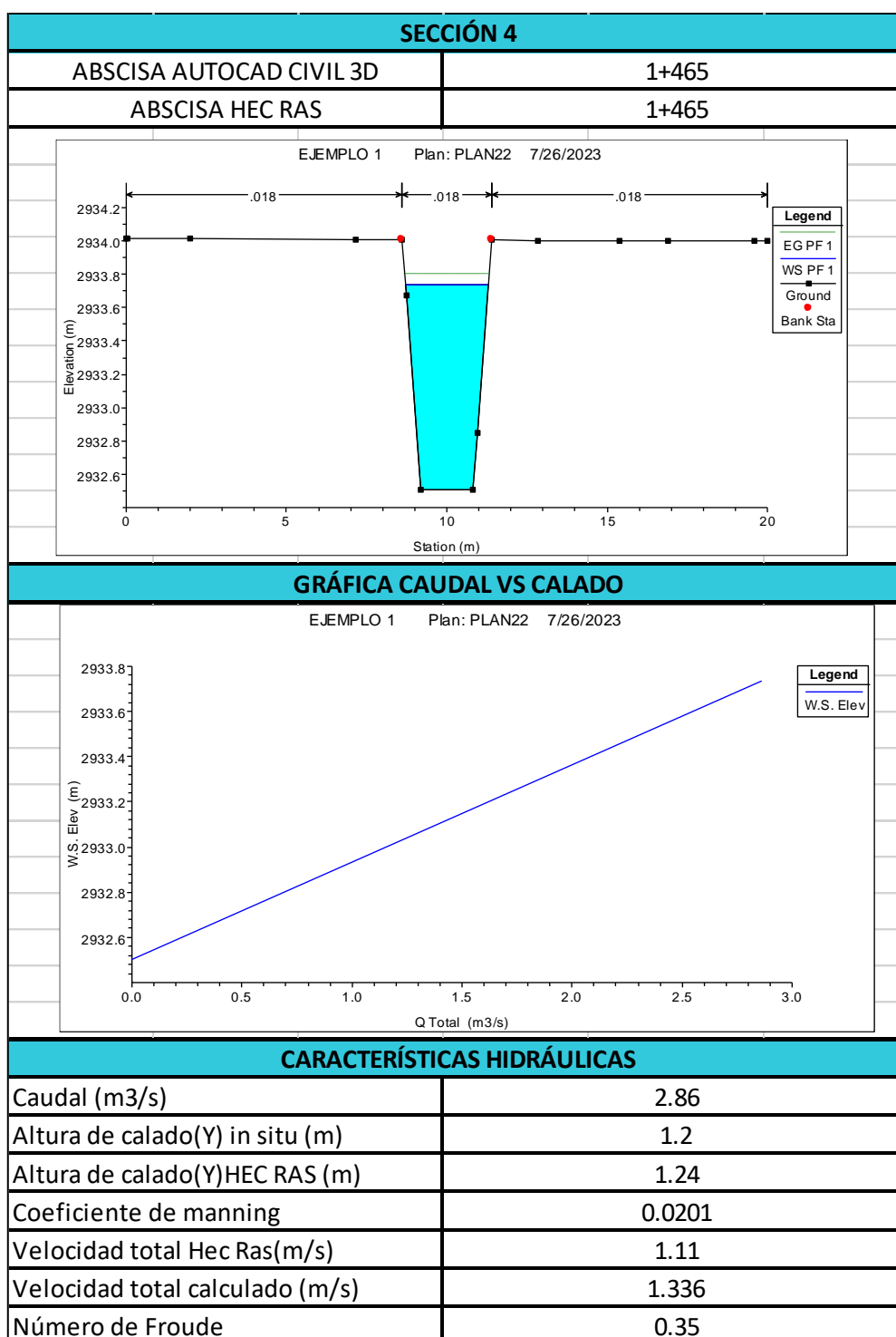
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

Figura 45. Resultados de la modelación Sección 3.



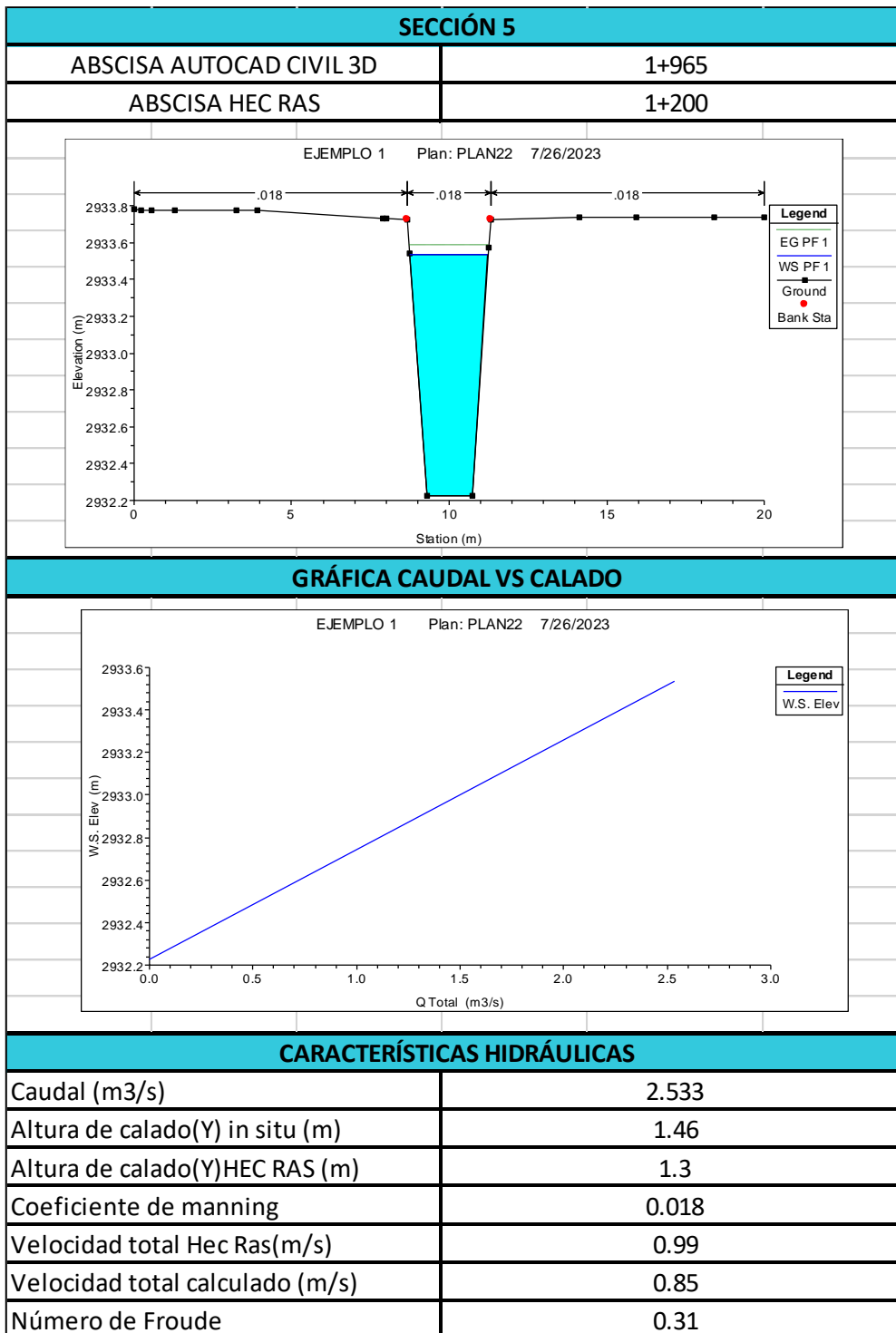
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

Figura 46. Resultados de la modelación Sección 4.



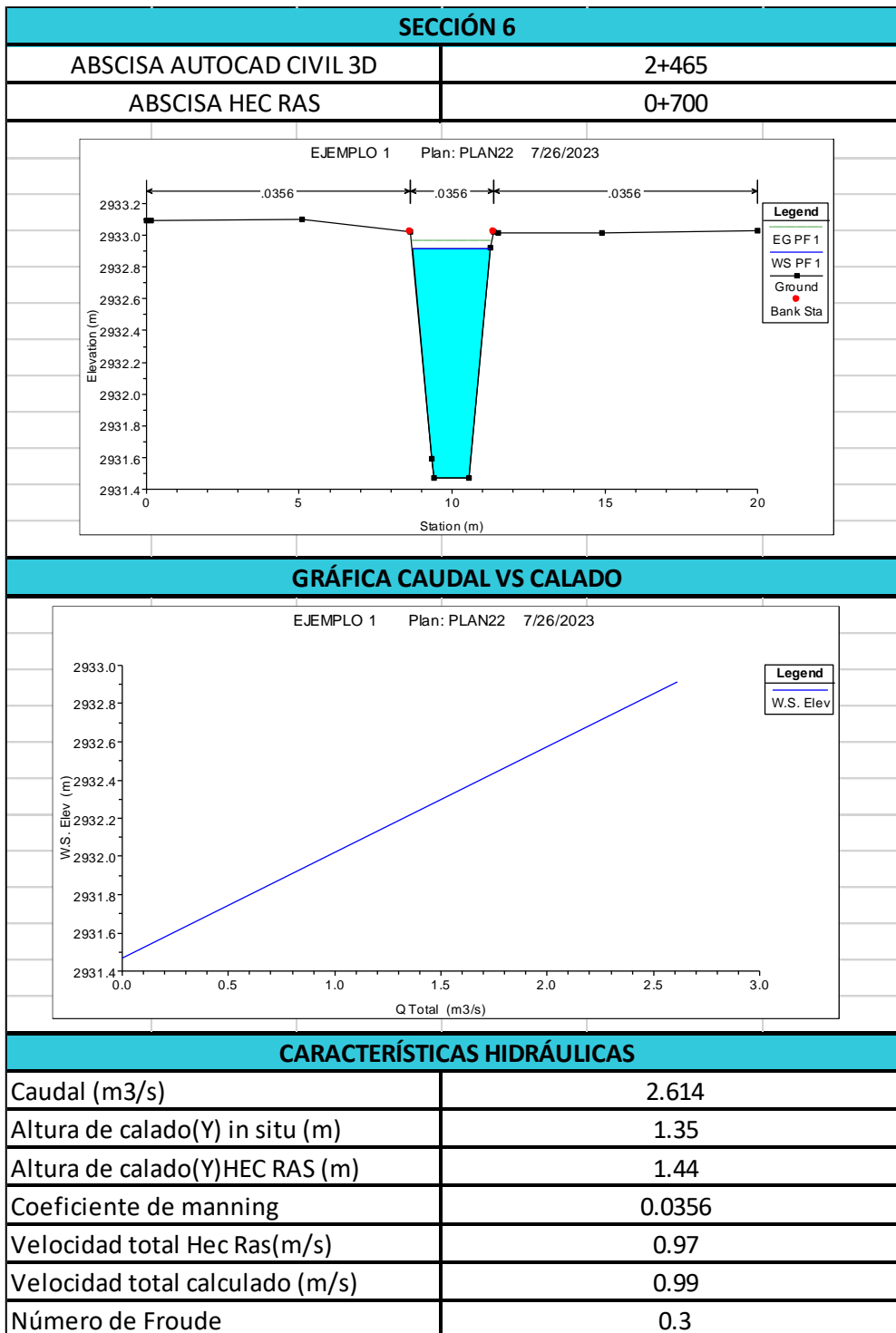
Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

Figura 47. Resultados de la modelación Sección 5.



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

Figura 48. Resultados de la modelación Sección 6.



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

En las figuras anteriores podemos observar que las condiciones reales in situ se ven pactados en la simulación, se puede observar como los datos simulados son muy cercanos a los reales.

La tabla 25 presenta el resumen de las secciones del tramo en estudio, así como los valores de Manning y su descripción de rugosidad.

Tabla 25. Descripción del coeficiente de rugosidad de Manning.

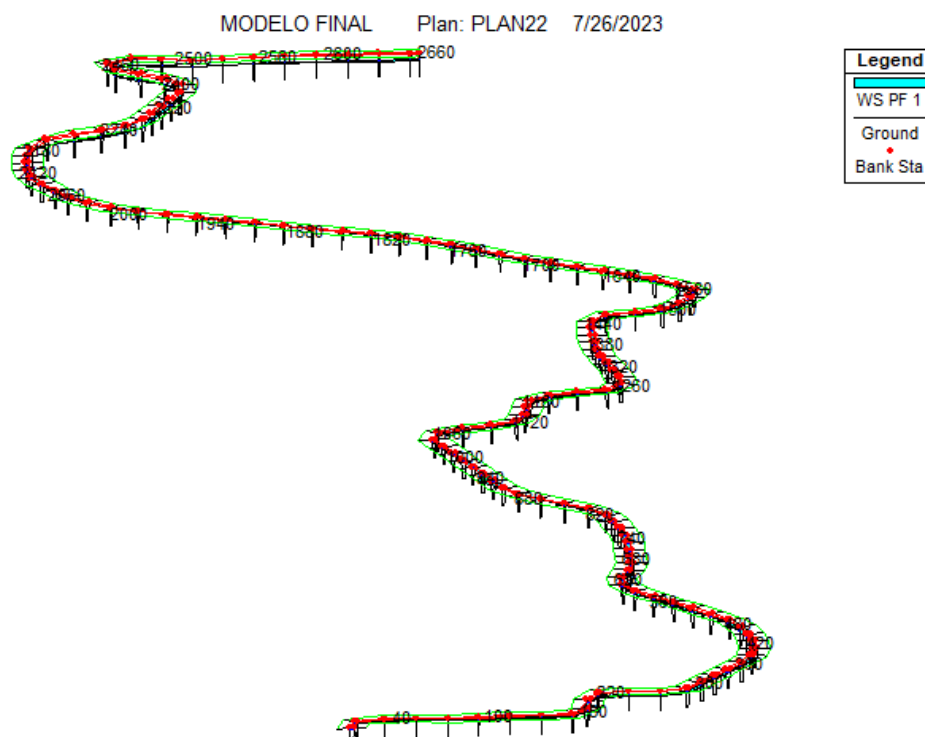
TIPO DE CANAL RESPECTO AL COEFICIENTE DE MANNING			
SECCIÓN #	ABSCISA HEC RAS	n MANNING	TIPO DE CANAL
1	2+630	0.0155	Canal revestido con mortero
2	2+195	0.02	Canal con concreto lanzado, sección buena
3	1+700	0.025	Canal con concreto lanzado, sección buena
4	1+465	0.0201	Canal con concreto lanzado, sección buena
5	1+200	0.018	Canal con concreto lanzado, sección buena
6	0+700	0.03562	Fondo pedregoso y maleza en los bordes

Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

3.1.12 CAPTURA ILUSTRATIVA DEL MODELO 3D HEC-RAS

La figura siguiente presenta el modelo en tres dimensiones del canal, se puede

Figura 49. Modelo 3D a través de la modelación en el HEC-RAS.



Elaborado por: Walter Andrés Criollo Tisalema.

3.2 Verificación de hipótesis

Las características físicas del tramo en estudio se han modificado con el pasar del tiempo básicamente las de la superficie lo que ha originado a un cambio en la rugosidad de las paredes del fondo del canal, según los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas el canal cuenta aún con su funcionalidad para el cual fue diseñada manteniendo un flujo subcrítico y un calado por encima de la profundidad crítica. Estas características influyen en el comportamiento hidráulico del canal. Por lo cual verificamos la hipótesis alternativa impuesta.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se ha caracterizado el comportamiento hidráulico del óvalo 1 al óvalo 4 del canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo tales como secciones transversales de tipo trapezoidal, velocidades, caudales.
- El canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo comprendido entre el óvalo 1 al óvalo 4 se caracterizó por medio de un levantamiento topográfico que consta de 2700 m aproximadamente y con una pendiente de 0.0016(0.16%), característico por poseer secciones transversales de tipo trapezoidal con variantes en el ancho total del canal que están entre 1.62 a 1.20 m.
- Se observó in situ que el coeficiente de rugosidad de Manning inicial de 0.013 correspondiente a un hormigón nuevo según [12] se ha visto afectado con el pasar del tiempo por algunos factores como descarga de aguas servidas al mismo, basura y parte de taludes deslizados, dado por esto el coeficiente de rugosidad ha incrementado hasta valores que sobrepasan el 0.030 que corresponde a la presencia de maleza y/o sedimentos.
- El calado y el número de Froude en todo el tramo en estudio de todas las secciones transversales nos dan a entender que el flujo se halla en un estado subcrítico, con esto se cumple el objetivo principal del diseño de sistemas a conducción a cielo abierto.
- Mediante la simulación de cada sección se determinó que los resultados obtenidos in situ tanto de velocidad y calado son muy similares a los resultados obtenidos en el programa HEC-RAS.

4.2 Recomendaciones

- Con respecto a las condiciones del canal se recomienda realizar un mantenimiento continuo para así mitigar la acumulación de sedimentos, algas, maleza entre otros, y así poder preservar la vida útil del canal.
- Se recomienda también realizar el mantenimiento de la infraestructura del canal
- Se recomienda realizar un mejor control a las personas que tienen sus viviendas junto al canal ya que la mayoría tienen sus descargas directamente hacia el canal lo que en una u otra manera reduce la calidad del líquido vital.
- Al encontrarse el canal en una zona de taludes a lo largo del mismo se recomienda ejecutar obras para la respectiva estabilización de taludes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] GreenFacts, «Resumen del 2º informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo».
- [2] M. Coviello, «Recursos naturales e infraestructura,» *Santiago de Chile: Naciones Unidas*, 2003.
- [3] P. C. V. a. A. D. G. Y. A. Alzamora, «Evaluación ambiental de la producción de combustibles fósiles y renovables,» *Univ. De San Buenaventura, Cartagena, COL*, 2010.
- [4] V. A. R. C. I. V. B. N. Velasteguí Carrillo, «MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN RÍOS MEDIANTE EL PROGRAMA COMPUTACIONAL DE HEC-VERSION 4.0RAS,» de *1er CONGRESO IBEROAMERICANO SRE SEDIMENTOS Y ECOLOGÍA*, QUITO, 2015.
- [5] P. R. Torres, «Combustibles fósiles y Contaminación,» *Universidad Nacional de Colombia*, 1999.
- [6] A. Avilés, «Generación Hidroeléctrica en el Ecuador: Posibles beneficios en los mercados de carbono,» 2008.
- [7] y. J. G. M. Dieser, «Los recursos hídricos en Sudamérica: panorama y perspectivas,» en *V Congreso Latinoamericano de Ciencia Política. Asociación Latinoamericana de Ciencia Política*, p. 3, 2010.
- [8] M. M. y. J. Z. C. Marín, «Diseño y Construcción de un canal Hidráulico de pendiente Variable para uso Didáctico e Investigación,» de *Universidad De El Salvador, San Salvador*, 2012.
- [9] K. Vélez, «El cambio de la matriz energética en el Ecuador (2007-2014),» *Universidad Central del Ecuador, Ecuador*, Feb. 2016.

- [10] D. P. A. Ortiz, «Diseño de un simulador de flujos de ríos,» 2018.
- [11] H. King, «Hidráulica,» *México: Editorial Trillas*, 1986.
- [12] V. Chow, «Hidráulica de canales abiertos,» *México: Editorial Diana*, 1982.
- [13] F. Gutiérrez, «Evaluación de coeficientes de velocidad alfa y beta,» de *Univ. EAFIT, Medellín, Colombia*, 2011.
- [14] P. Ruiz, «Hidráulica II,» de *BOLCA S.A, Oaxaca, Méxic*, 2008.
- [15] J. M. V. Béjar, «Hidráulica de canales,» de *Perú: Editorial Villón*, 2008.
- [16] J. S. y. A. Saiz, «Canales Abiertos,» de *Univ. de Sonora, División de Ingeniería, Sonora, México*, .
- [17] G. Z. y. M. Morresi, «Flujo en canales abiertos,» de *Univ. Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina*, 2012.
- [18] Á. G. Sotelo, Apuntes de hidráulica II, México: Departamento de publicaciones de la Facultad de Ingeniería, 2002.
- [19] J. García, «Modelos Hidráulicos,» de *Univ. Politécnica de Madrid, Madrid, España*, 2013.
- [20] V. A., «Modelación Numérica en Hidráulica,» de *Univ. de Piura, Piura, Perú*, 2003.
- [21] R. L. M. y. J. A. Untener, «Mecánica de fluidos,» de *México: Pearson*, 2015.
- [22] C. F. y. P. B. R. Hernández, «Metodología de la Investigación,» de *Quinta Edición, McGraw Hill, México*, 2010.
- [23] S. Gómez, «Metodología de la Investigación,» de *Primera Edición, Red Tercer Milenio, México*, 2012.
- [24] (. [I. A. Ecuador Ec. [En línea]. Available: <https://ecuadorec.com/cualeson-las-provincias-del-ecuador-y-sus-capitales/>.
- [25] (. [I. Mapas Ecuador. [En línea]. Available: <https://www.mapasecuador.net/mapa/mapa-tungurahua-mapa-divisionpolitica.html>.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO FOTOGRÁFICOS



Reconocimiento del canal ambato-huachi-pelileo



Levantamiento topográfico con estación total trimble



Marcación de las separaciones a lo largo del ancho del canal



Molinete; equipo para la medición de caudales



Colocación de marcas en las medidas a los 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad del agua

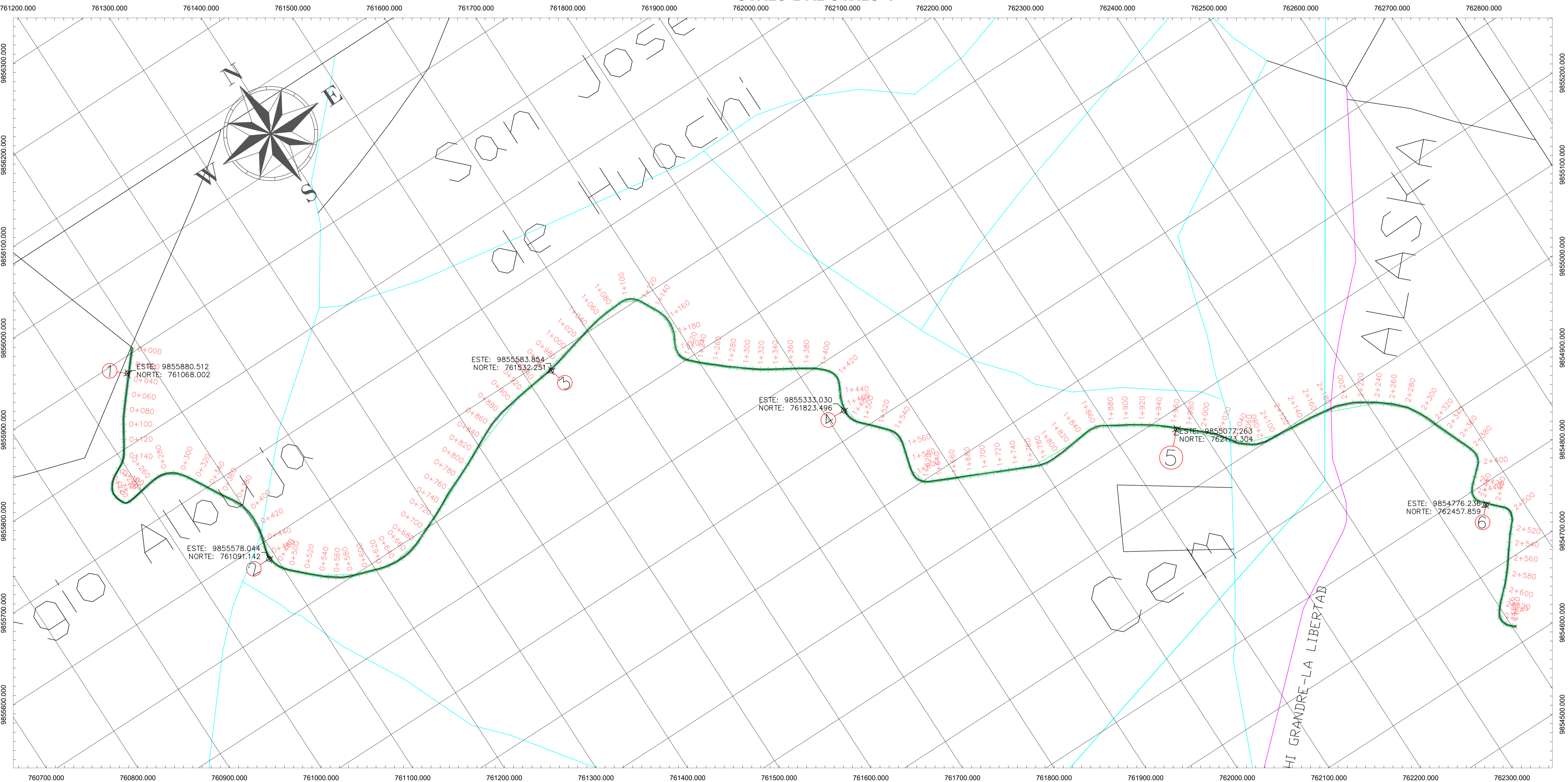


Toma de lectura de las velocidades in situ

IMPLANTACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

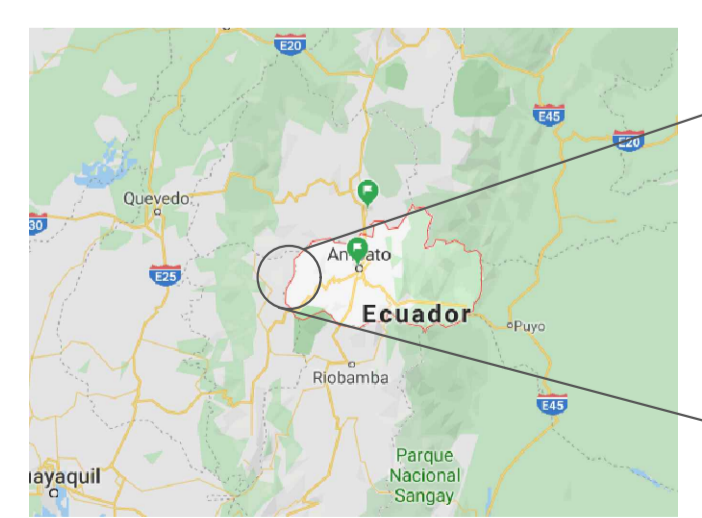
ÓVALO 1 AL ÓVALO 4



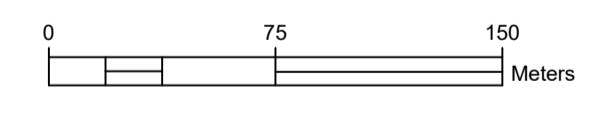
SIMBOLOGÍA

- Canal Ambato - Huachi - Pelileo
- Tramo en estudio desde el Óvalo 1 al 4
- Vía Huachi Grande - Huachi La Libertad
- Calles principales y secundarias
- Ubicación Secciones

UBICACIÓN



AMBATO-SECTOR HUACHI GRANDE



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

TESISTA:
 WALTER ANDRÉS CRIOLLO TISALEMA

PROYECTO:
 "ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 1 AL ÓVALO 4 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

CONTIENE:
 - IMPLANTACIÓN DE TRAMO EN ESTUDIO Y UBICACIÓN

REALIZADO POR:
 WALTER ANDRÉS CRIOLLO TISALEMA

REVISADO POR:
 ING. FIDEL CASTRO

ESCALA:
 1:2500

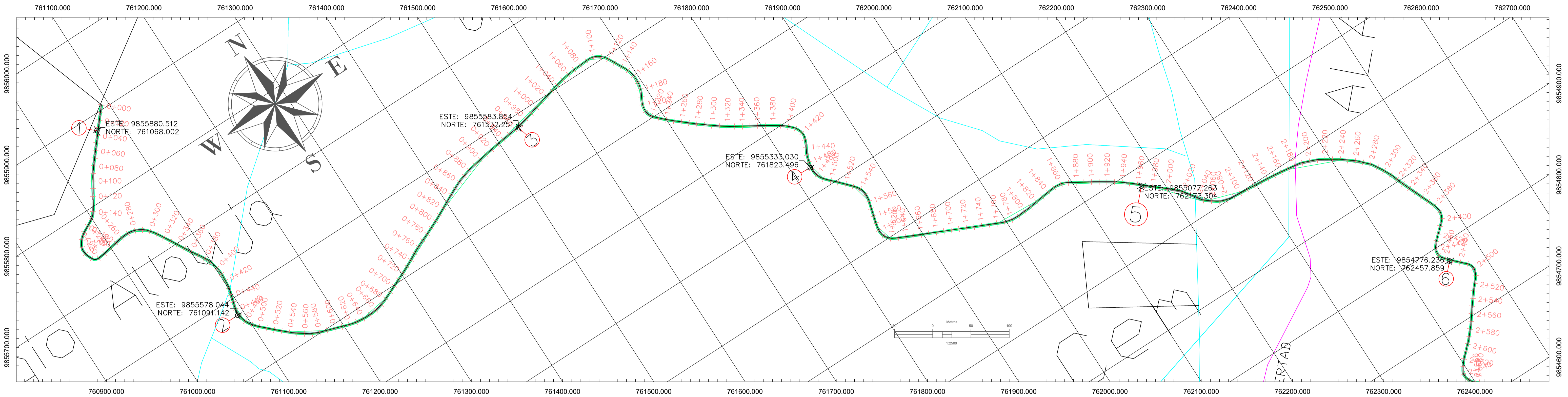
FECHA:
 JULIO 2023

HUJA No:
 L-1

IMPLANTACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

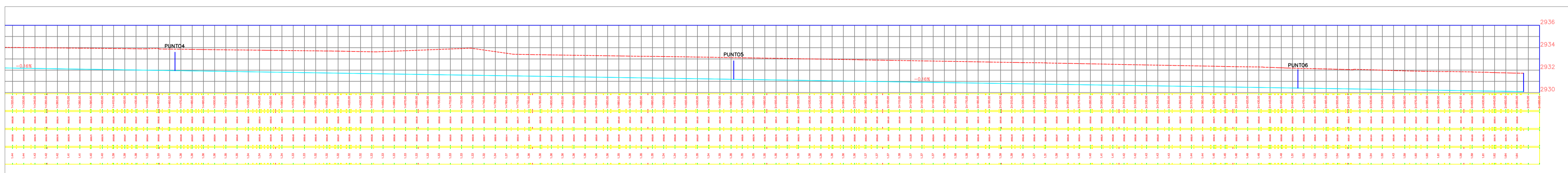
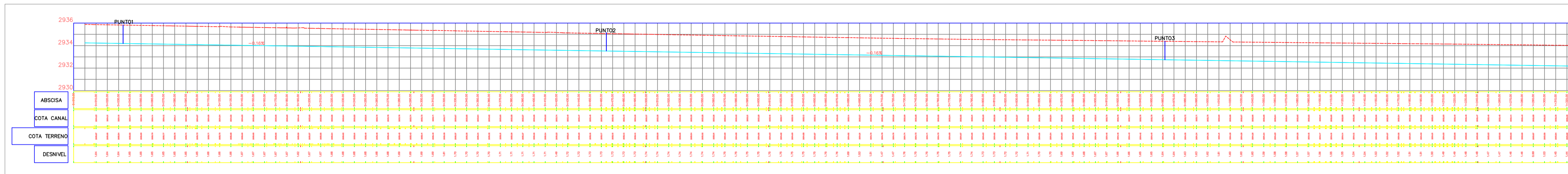
CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

ÓVALO 1 AL ÓVALO 4



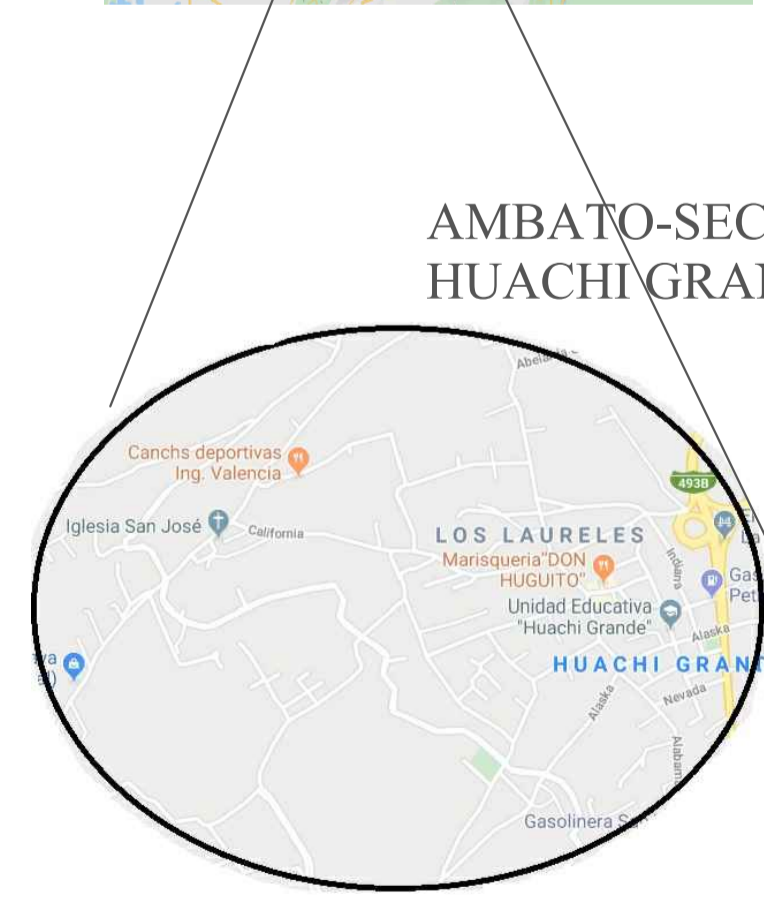
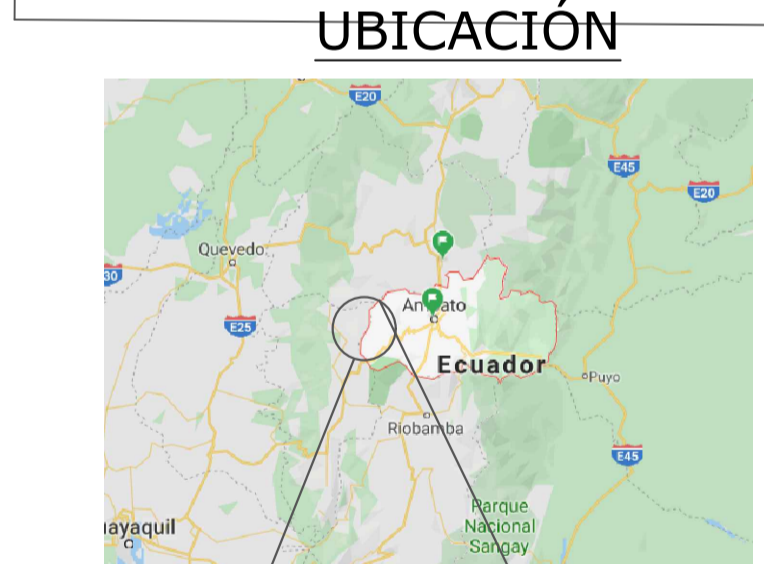
PERFIL DEL TRAMO EN ESTUDIO

ESC: 1:2000



SIMBOLOGÍA

- Canal Ambato - Huachi - Pelileo
- Tramo en estudio desde el Óvalo 1 al 4
- Vía Huachi Grande - Huachi La Libertad
- Calles principales y secundarias
- Ubicación Secciones



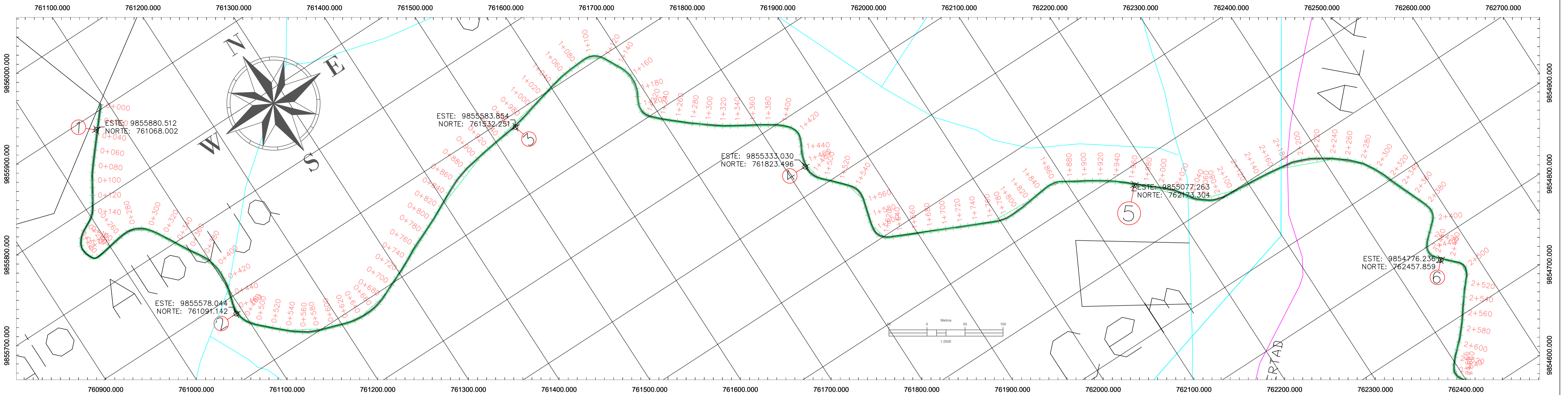
Puntos de medición de velocidades				
Puntos	Abscisa	Coordenadas		
		Norte	Este	Cota
1	0+035	9855880,513	761068,0025	2936,114
2	0+470	9855578,04	761091,14	2935,05
3	0+965	9855583,854	761532,251	2934,255
4	1+465	9855333,03	761823,496	2933,729
5	1+965	9855077,230	762173,34	2933,023
6	2+465	9854776,2356	762457,8588	2932,134

Los puntos indican los lugares de medición de velocidad in situ

IMPLANTACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

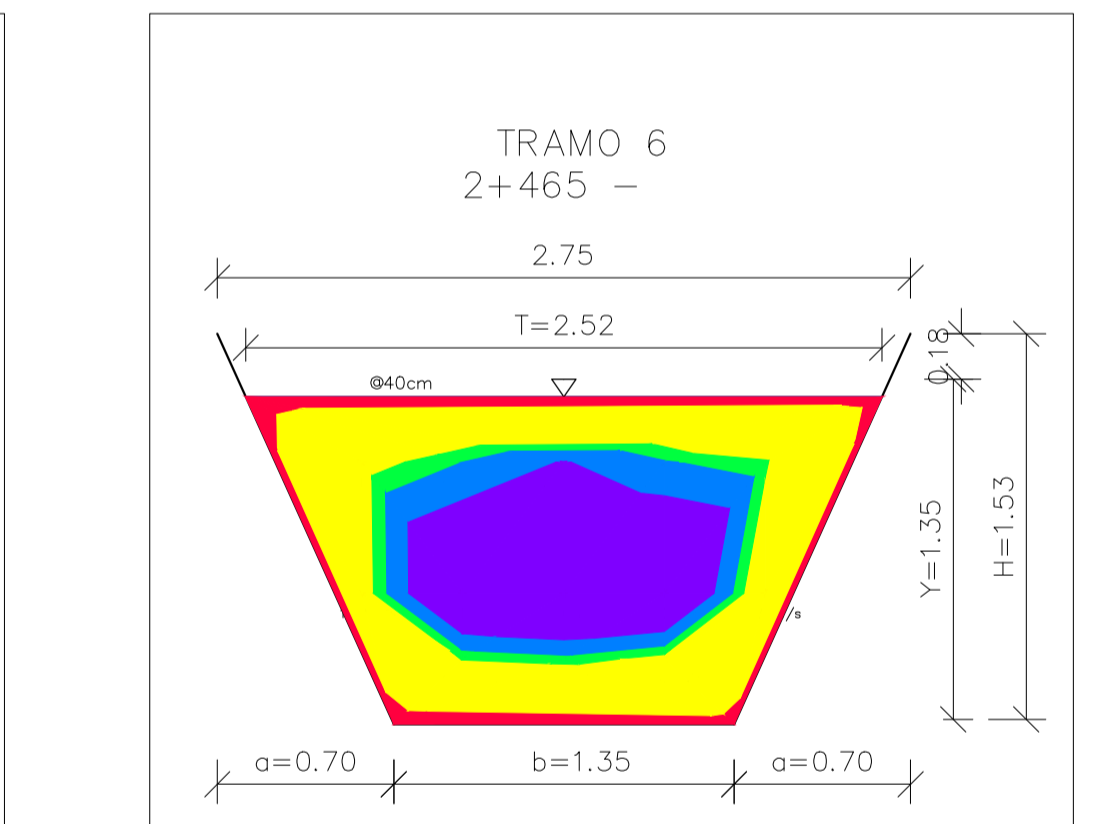
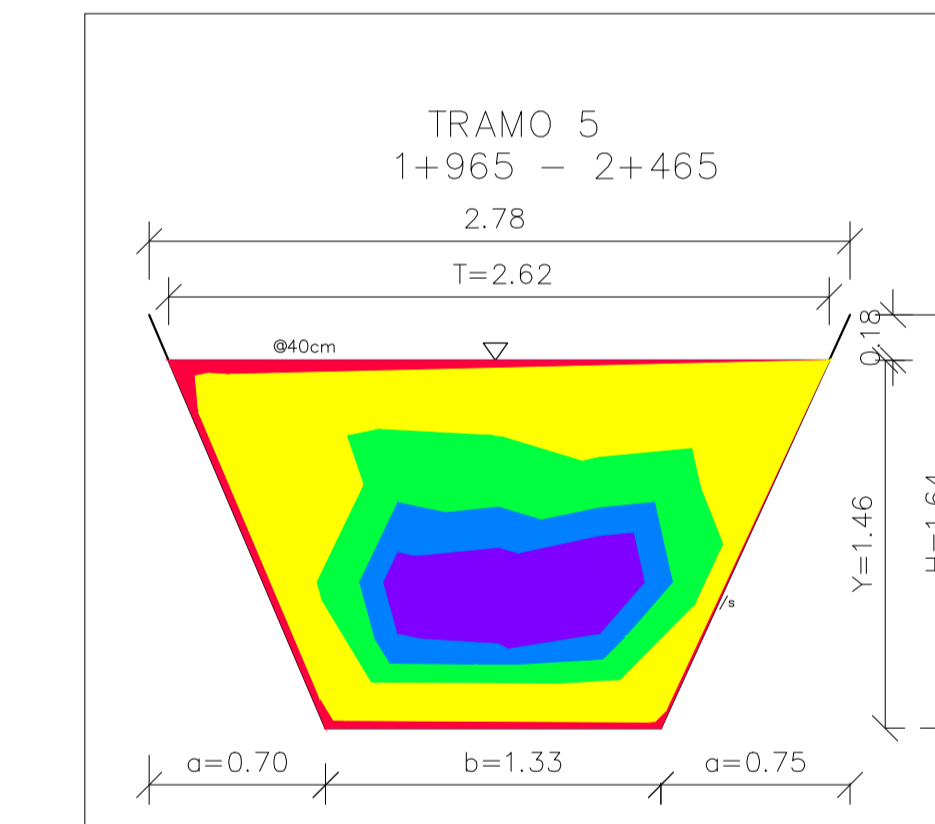
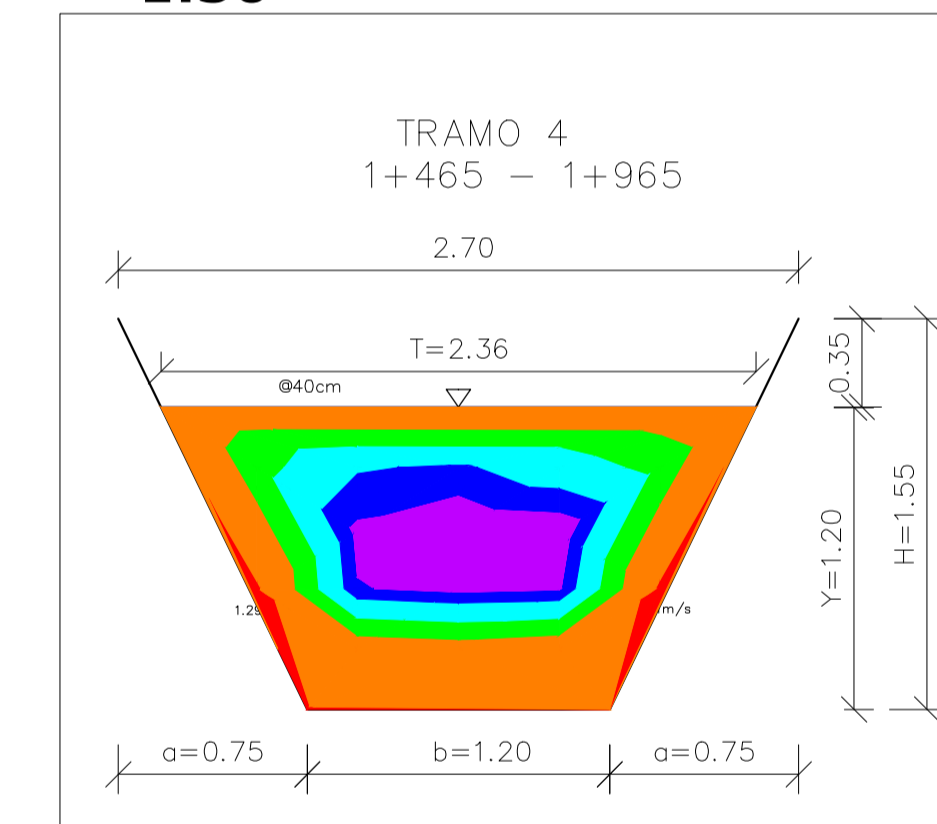
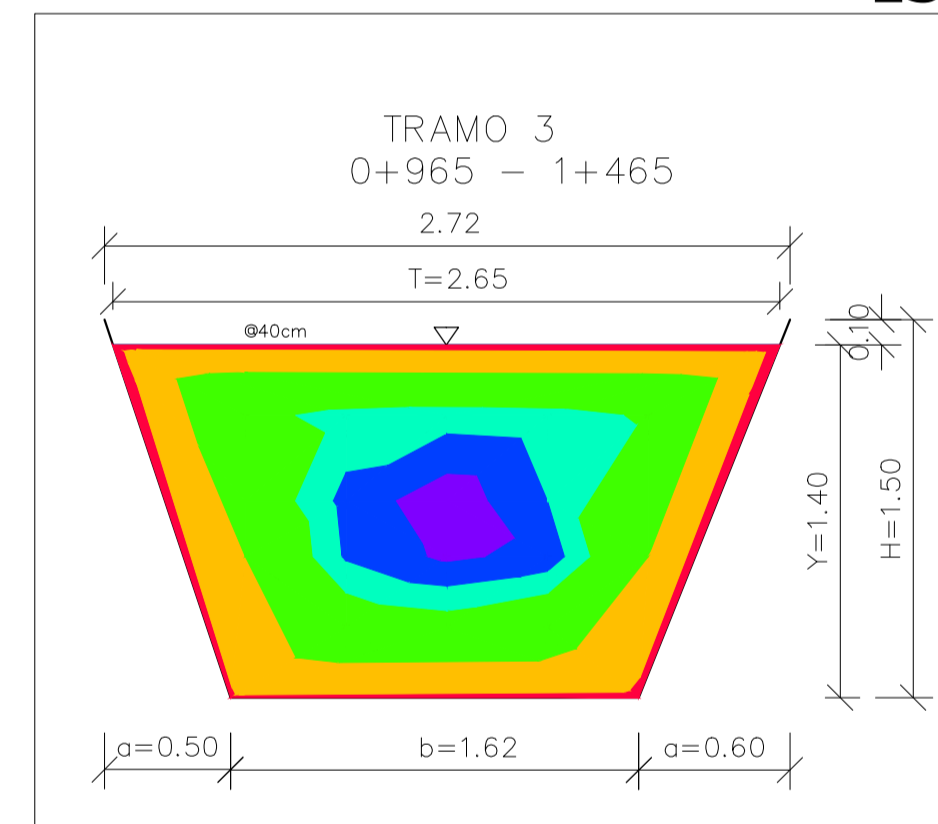
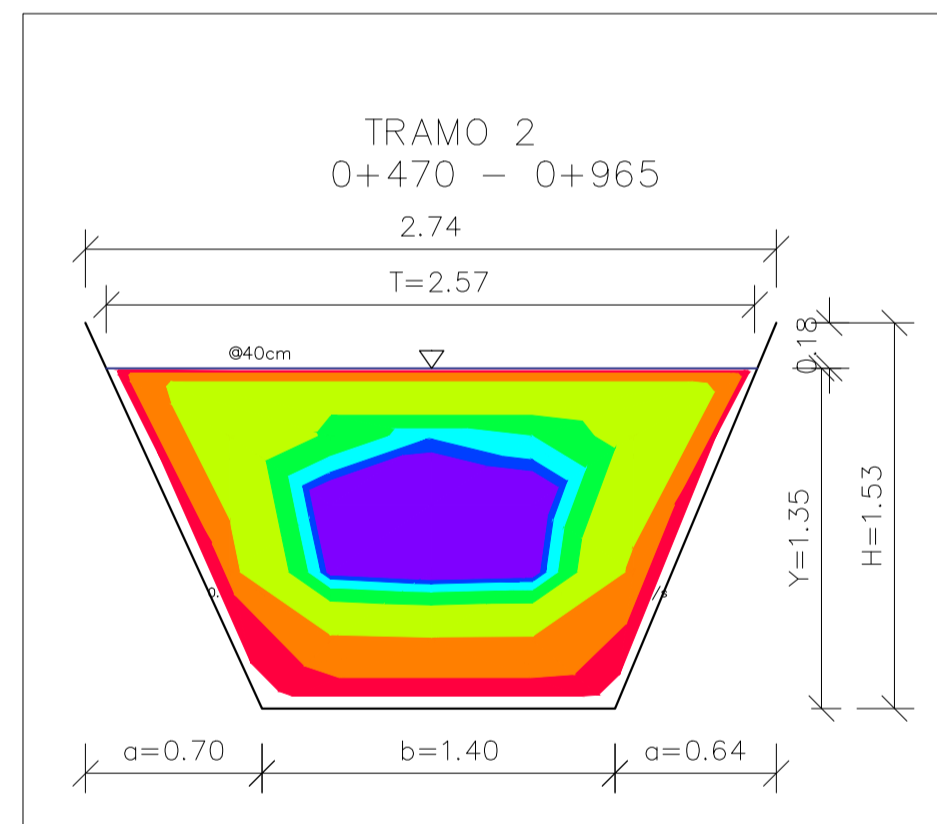
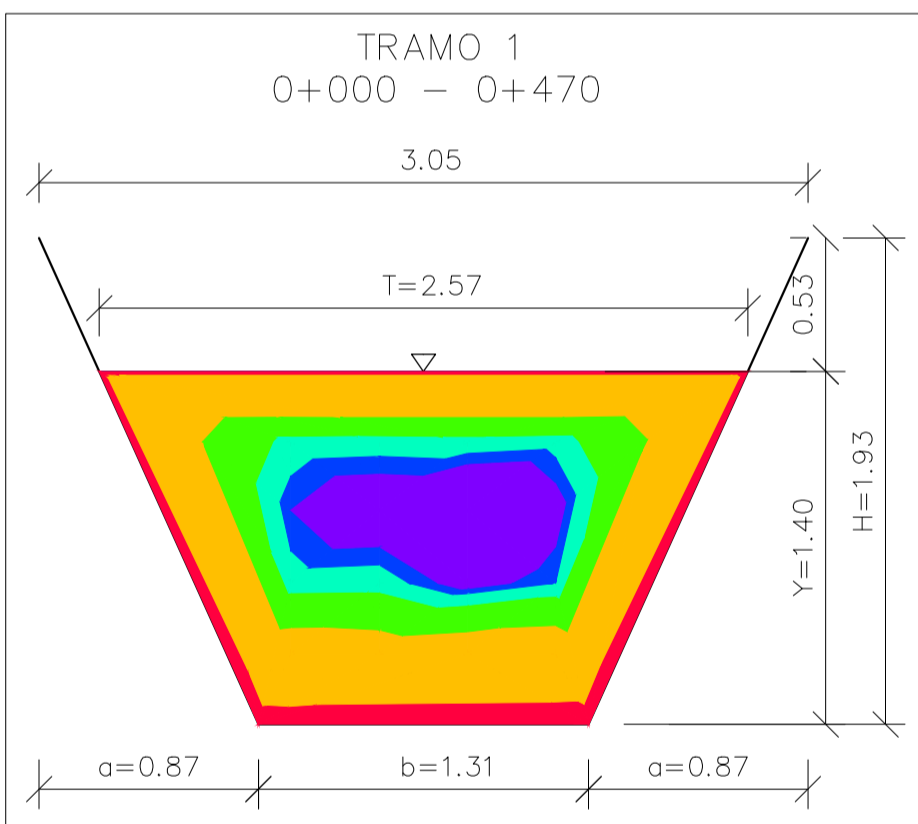
CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

ÓVALO 1 AL ÓVALO 4



CURVAS DE DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES

ESC: 1:30



RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.60	0.75	0.26	Red
2	0.75	1.29	1.22	Orange
3	1.29	1.54	0.45	Green
4	1.54	1.65	0.26	Cyan
5	1.65	1.70	0.16	Blue
6	1.70	1.90	0.37	Purple

RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.72	0.75	0.28	Red
2	0.75	0.85	0.51	Orange
3	0.85	1.25	0.81	Green
4	1.25	1.41	0.25	Cyan
5	1.41	1.51	0.15	Blue
6	1.51	1.56	0.07	Dark Blue
7	1.56	1.80	0.40	Purple

RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.50	0.57	0.18	Red
2	0.57	0.80	0.88	Orange
3	0.80	1.15	1.07	Green
4	1.15	1.30	0.43	Cyan
5	1.30	1.45	0.32	Blue
6	1.45	1.61	0.10	Purple

RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.30	0.64	0.07	Red
2	0.64	1.00	0.89	Orange
3	1.00	1.24	0.35	Green
4	1.24	1.50	0.34	Cyan
5	1.50	1.65	0.22	Blue
6	1.65	1.93	0.27	Purple

RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.32	0.42	0.17	Red
2	0.42	0.85	1.41	Orange
3	0.85	1.06	0.64	Green
4	1.06	1.18	0.32	Cyan
5	1.18	1.37	0.34	Blue

RANGO	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA	Area	Color
1	0.40	0.55	0.24	Red
2	0.55	1.02	1.12	Orange
3	1.02	1.10	0.17	Green
4	1.10	1.23	0.30	Cyan
5	1.23	1.65	0.68	Purple

SIMBOLOGÍA

- Canal Ambato - Huachi - Pelileo
- Tramo en estudio desde el Óvalo 1 al 4
- Vía Huachi Grande - Huachi La Libertad
- Calles principales y secundarias
- Ubicación Secciones

Puntos de medición de velocidades

Puntos	Abscisa	Coordenadas		
		Norte	Este	Cota
1	0+035	9855880,513	761068,0025	2936,114
2	0+470	9855578,04	761091,14	2935,05
3	0+965	9855583,854	761532,251	2934,255
4	1+465	9855333,03	761823,496	2933,729
5	1+965	9855077,230	762173,34	2933,023
6	2+465	9854776,2356	762457,8588	2932,134

Los puntos indican los lugares de medición de velocidad in situ

