

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación del comportamiento hidráulico del canal
principal del proyecto especial Río Cachi, Ayacucho 2021**

TESIS

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

IGIDIO CAYLLAHUA SULLCA

ASESOR:

MSC. ING. JAIME LEONARDO BENDEZÚ PRADO

AYACUCHO - PERÚ

2022

**UNSCH**FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**CONSTANCIA N° 277-2022-FIMGC**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : Cayllahua Sullca, Igidio

Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL

Título de la Tesis : Evaluación del comportamiento hidráulico del canal principal del proyecto especial Río Cachi, Ayacucho 2021

Evaluación de la Originalidad : **22 %** Índice de Similitud

Identificador de la entrega : 1935359968

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 25 de octubre del 2022

Firmado
digitalmente por
**LEZAMA CUELLAR
CHRISTIAN**

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
de la FIMGC

Evaluación del comportamiento hidráulico del canal principal del proyecto especial Río Cachi, Ayacucho 2021

por Igidio Cayllahua Sullca

Fecha de entrega: 25-oct-2022 05:27p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1935359968

Nombre del archivo: Expediente_Igidio_Cayllahua_EPIC_24OCT2022-12-124.pdf (9.21M)

Total de palabras: 39415

Total de caracteres: 173197

Evaluación del comportamiento hidráulico del canal principal del proyecto especial Río Cachi, Ayacucho 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	purl.org Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
3	vsip.info Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	idoc.pub Fuente de Internet	2%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	kupdf.net Fuente de Internet	1%
8	epdf.pub Fuente de Internet	1%

9	cooperacion.org.pe Fuente de Internet	1 %
10	qdoc.tips Fuente de Internet	1 %
11	www.scribd.com Fuente de Internet	1 %
12	docero.net Fuente de Internet	1 %
13	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1 %
14	Submitted to University of Exeter Trabajo del estudiante	<1 %
15	archive.org Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
19	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
20	zonasegura.seace.gob.pe	

Fuente de Internet

<1 %

21

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

22

documents.tips

Fuente de Internet

<1 %

23

repositorio.utelesup.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

repositorio.uchile.cl

Fuente de Internet

<1 %

25

edoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

26

dokumen.pub

Fuente de Internet

<1 %

27

leeydescarga.com

Fuente de Internet

<1 %

28

Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD

Trabajo del estudiante

<1 %

29

hidraulica.unalmed.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

30

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

31

doaj.org

Fuente de Internet

<1 %

32

www.simtech.cl

Fuente de Internet

<1 %

33

regionayacucho.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

34

docs.com

Fuente de Internet

<1 %

35

www.gwp.org

Fuente de Internet

<1 %

36

prezi.com

Fuente de Internet

<1 %

37

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

38

manualzz.com

Fuente de Internet

<1 %

39

www.buenastareas.com

Fuente de Internet

<1 %

40

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

41

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

42

A AKAN. "Fundamentals of open-channel flow", Open Channel Hydraulics, 2006

<1 %

43

"Computation Of Gradually Varied Flow",
Open-Channel Flow, 2008

Publicación

<1 %

44

pt.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

45

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Es justo dedicar esta tesis a Dios y a las personas más importantes de mi vida, que sin ellos y su apoyo , no hubiera sido posible culminar las etapas importantes en mi desarrollo personal y profesional, a mis queridos padres Juan y María(†), quienes con sus ejemplos y cariño han hecho de mí la persona que soy; a mis hermanos que siempre están conmigo compartiendo los buenos y malos momentos de mi vida, gracias por todo Jerónimo, Valentín, Angelino, Yola, Edgar, Olga e Ida María; a mi adorada esposa Rosa, quien incondicionalmente me apoya e impulsa día a día a seguir adelante y a mi querido hijo Juan Irwin por ser la inspiración para poder culminar la presente tesis.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, alma mater de mi formación profesional, a la facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil; específicamente a la escuela Profesional de Ingeniería civil, del cual me siento orgulloso por haber pertenecido y estudiado en sus aulas.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional en sus aulas académicas. A mi asesor de tesis al Msc. Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su presencia incondicional, sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación..

A los docentes de la comisión revisora de esta tesis: Msc. Ing. José Ernesto Estrada Cárdenas, Msc. Ing. Edward León Palacios y al Msc. Ing. Hermes Quispe Cuadros, por sus comentarios, sugerencias y por toda la ayuda que me brindaron durante la revisión del plan de tesis y la borradora de esta tesis.

A mis amigos, colegas y colaboradores quienes me ayudaron directa o indirectamente en la realización de este trabajo de investigación.

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
AYACUCHO, OCTUBRE DE 2022

Igidio Cayllahua Sullca

Índice general

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Índice general	III
Índice de tablas	VII
Índice de figuras	VIII
Resumen	XI
Capítulo I: Planteamiento del Problema	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Delimitación del problema.	2
1.2.1. Espacial.	2
1.2.2. Temporal.	2
1.2.3. Temática y unidad de análisis.	2
1.3. Formulación del problema.	2
1.3.1. Problema general.	2
1.3.2. Problemas específicos.	2
1.4. Justificación e importancia.	2
1.5. Limitaciones de la investigación.	3
1.6. Objetivos	3
1.6.1. Objetivo general.	3
1.6.2. Objetivos específicos.	3
Capítulo II: Marco Teórico.	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Investigaciones internacionales	4
2.1.2. Investigaciones nacionales	5

2.2.	Bases teóricas	7
2.2.1.	Hidráulica de canales abiertos	7
2.2.1.1.	Elementos geométricos de canales abiertos	7
2.2.1.2.	Velocidad y caudal	7
2.2.2.	Flujo gradualmente variado (FGV)	7
2.2.2.1.	Ecuación del FGV en canales abiertos	9
2.2.2.2.	Características y Clasificación de los Perfiles del Flujo Gradualmente Variado	9
2.2.2.3.	Ecuaciones para el cálculo de perfiles básicos	13
Capítulo III: Método de la Investigación		17
3.1.	Tipo de investigación	17
3.2.	Nivel de investigación	17
3.3.	Diseño de investigación	18
3.4.	Población y muestra	18
3.4.1.	Población	18
3.4.1.1.	Unidad muestral	18
3.4.1.2.	Unidades de análisis	20
3.4.1.3.	Delimitación de la población	20
3.4.2.	Muestra	20
3.4.2.1.	Selección de la muestra	20
3.4.2.1.1.	Muestreo por conveniencia	21
3.5.	Hipótesis	22
3.5.1.	Hipótesis general	22
3.5.2.	Hipótesis específicos	23
3.6.	Operacionalización de variables	23
3.6.1.	Variables	23
3.6.2.	Indicadores	24
3.7.	Técnicas e instrumentos	24
3.7.0.1.	Técnicas de recolección	24
3.7.1.	Instrumentos	25
3.8.	Desarrollo del trabajo de tesis	26
3.8.1.	Descripción del área de estudio	26
3.8.2.	Antecedentes	26
3.8.2.1.	Ubicación	26
3.8.2.1.1.	Ubicación política	27
3.8.2.1.2.	Ubicación cartográfica	28
3.8.2.2.	Accesibilidad	29
3.8.3.	Descripción del canal	29

3.8.3.1.	Obras de arte especiales	29
3.8.4.	Cálculo del flujo gradualmente variado	30
3.8.4.1.	Método del paso estándar	30
3.8.4.2.	Análisis de la solución simultanea	33
3.8.4.2.1.	Ecuaciones gobernantes	34
3.8.4.2.2.	Canales simples y en serie	36
3.8.4.2.3.	Redes de canales	40
Capítulo IV:	Resultados	47
4.1.	Canal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz	47
4.2.	Análisis de resultados	47
4.2.1.	Resultados para el objetivo general	50
4.2.1.1.	Estado actual del canal de estudio	58
4.2.1.1.1.	Canal Tramo Cuchoquesera-Ichucruz	58
4.2.2.	Resultados para el objetivo específico 1	59
4.2.3.	Medición de velocidades	61
4.2.3.1.	Método de los tres puntos	62
4.2.4.	Cálculo del caudal	63
4.2.5.	Resultados para el objetivo específico 2	69
4.2.5.1.	Operación de las estructuras hidráulicas	69
4.2.5.2.	Funcionamiento de la Central Hidroeléctrica Catalinayoc	69
4.2.5.3.	Mejoramiento de Estructuras del Sistema Hidráulico . . .	69
4.2.5.4.	Mejoramiento de Vías de acceso del Sistema Hidráulico	70
4.2.5.5.	Perfilado de plataforma	70
4.2.5.6.	Reparaciones en el Sistema Hidráulico Cachi	70
4.2.5.7.	Monitoreo y operaciones de las estaciones meteorológicas	71
4.2.5.8.	Implementar sistema SCADA	72
4.2.5.9.	Gestión Integrada de Recursos Hídricos - GIRH	72
4.2.5.9.1.	Propuesta para el Proyecto Cachi	72
Capítulo V:	Conclusiones	76
Conclusiones		76
Recomendaciones		77
Referencias		78
Referencias		78
Metodología de la investigación		78
Ciencias de la computación		78
Hidraulica de canales abiertos		78

Otros	80
Anexo A. Panel Fotográfico	81
A.1. Canal Cuchoquesera-Ichucruz	81
A.2. Fotos del aforo	86
Anexo	81
Anexo B. Resultados de la simulación hidráulica	90
Anexo C. Planos y Láminas	98

Índice de tablas

3.1. Selección de la muestra (muestreo no probabilístico)	22
3.2. Variables e Indicadores	24
3.3. Ubicación Geográfica	27
3.4. Ubicación Política	28
3.5. Ubicación Cartográfica	29
3.6. Rutas de Acceso al Proyecto	29
4.7. Calibración del coeficiente de Manning para la sección de aforo	63
4.8. Datos de aforo	66
4.9. Valores medidos	68

Índice de figuras

2.1. Elementos geométricos de la sección de los canales abiertos	8
2.2. Velocidad y caudal en un canal abierto	8
2.3. Derivación de la ecuación del FGV	9
2.4. Esquema para superficie libre de agua	10
2.5. Sistema de clasificación de perfiles de flujo gradualmente variado	12
2.6. Balance de Energía	13
3.7. Canal principal, Proyecto Especial Río Cachi	19
3.8. Unidades de muestreo en el canal del proyecto Río Cachi	19
3.9. Unidades de muestreo en el canal del proyecto Río Cachi tramo Cuchoquesera-Ichucruz	21
3.10. Canal principal, Proyecto Especial Río Cachi	27
3.11. Mapa de ubicación nacional y regional	28
3.12. Mapa de ubicación provincial y distrital	28
3.13. Sección trapezoidal	30
3.14. Cálculo de la profundidad entre dos secciones	31
3.15. Sistema de canales en paralelo y red de canales	34
3.16. Esquema de definición	35
3.17. Tramos del canal	36
3.18. Canales en serie	40
3.19. Sistema de canales paralelos	42
3.20. Uniones de canales	42
4.21. Canal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz	47
4.22. Interfaz principal del programa HEC-RAS	48
4.23. Datos geométricos del canal	48
4.24. Datos de la sección transversal	49
4.25. Datos del flujo permanente	49
4.26. Análisis del flujo permanente	50
4.27. Perfil de la superficie libre del agua	50
4.28. Sección 0+20	51
4.29. Sección 0+500	51

4.30. Sección 1+000	51
4.31. Sección 1+500	52
4.32. Sección 2+000	52
4.33. Sección 2+500	52
4.34. Sección 3+000	53
4.35. Sección 3+500	53
4.36. Sección 4+000	53
4.37. Sección 4+500	54
4.38. Sección 5+000	54
4.39. Sección 5+500	54
4.40. Sección 6+000	55
4.41. Sección 6+500	55
4.42. Sección 7+000	55
4.43. Sección 7+500	56
4.44. Sección 8+000	56
4.45. Sección 8+500	56
4.46. Sección 9+000	57
4.47. Sección 9+500	57
4.48. Sección 10+000	57
4.49. Sección 10+500	58
4.50. Sección 1+000	60
4.51. Sección 5+000	60
4.52. Sección 10+000	60
4.53. Variacion del coeficiente de rugosidad de Manning con el tirante	61
4.54. Variacion del coeficiente de rugosidad de Manning con la velocidad	61
4.55. Division de la sección transversal	62
4.56. Correntometro	64
4.57. Curvas de velocidad en la sección transversal de aforo	65
4.58. Curva de descarga	66
4.59. Curva de calibración	67
4.60. Estación hidrométrica en el canal de salida de la presa Cuchoquesera	67
4.61. Trabajos de mantenimiento	70
4.62. Estudio de suelos y topografía	71
4.63. Mejoramiento de estructuras hidráulicas	71
4.64. Mantenimiento de las estaciones hidrometeorológico	72
4.65. Dimensión del uso del agua	73
4.66. Esquema de la propuesta del enfoque recomendado	75
A.1. Canal de salida de la Presa Cuchoquesera	81

A.2. Limpieza del canal	82
A.3. Canal trapezoidal la compuerta de toma lateral y pase vehicular	82
A.4. Entrada al túnel Ichocruz	83
A.5. Inspección del canal Cachi	84
A.6. Verificando las estructuras hidráulicas	84
A.7. Tramo en estudio	85
A.8. Correntometro tipo molinete	86
A.9. Correntometro tipo molinete	87
A.10. Aforo en la salida del canal	87
A.11. Aforo en la salida del canal	88
A.12. Aforo en la entrada del túnel	88
A.13. Aforo en la entrada del túnel	89
A.14. Aforo en la entrada del túnel	89

Resumen

En el presente trabajo de investigación se hace la evaluación del comportamiento hidráulico del canal principal, Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz, identificando zonas de riesgo por desbordamiento mediante la simulación hidráulica, así mismo se analiza la influencia del coeficiente de rugosidad en la variación del comportamiento hidráulico en el canal con la finalidad de presentar una propuesta de mejora del estado actual de operación de este tramo del canal, teniendo en cuenta los diversos factores que intervienen en el funcionamiento del canal. Para la simulación hidráulica del canal en estudio se ha utilizado el programa HEC-RAS, con la cual se ha obtenido todos los resultados respecto a los parámetros hidráulicos en su conjunto.

Palabras clave: Canal, comportamiento hidráulico, desbordamiento, riesgo.

Abstract

In the present research work, the evaluation of the hydraulic behavior of the main channel, Special Project Río Cachi section Cuchoquesera - Ichucruz, is made, identifying areas of risk due to overflow by means of hydraulic simulation, likewise the influence of the coefficient of roughness in the variation is analyzed. of the hydraulic behavior in the canal in order to present a proposal to improve the current state of operation of this section of the canal, taking into account the various factors that intervene in the operation of the canal. For the hydraulic simulation of the channel under study, the HEC-RAS program has been used, with which all the results regarding the hydraulic parameters as a whole have been obtained.

Keywords : Channel, hydraulic behavior, overflow, risk.

Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del problema

El comportamiento hidráulico del flujo de agua en los canales abiertos puede variar debido a la diferencia significativa entre la profundidad y la velocidad debido al efecto de las estructuras hidráulicas aguas abajo. El comportamiento del perfil de la superficie del agua depende marcadamente de las diversas variables que controlan el flujo y es una propiedad importante que se debe conocer en cualquier parte del canal abierto. Por lo tanto, para aplicaciones de ingeniería, es necesario calcular las condiciones de flujo en el canal. Estos cálculos, generalmente denominados cálculos del perfil de la superficie del agua, determinan los tirantes de la superficie del agua a lo largo del canal para un caudal específico. Los tirantes de la superficie del agua se requieren para la planificación, el diseño y la operación de canales abiertos para evaluar los efectos de diversas obras de ingeniería y modificaciones de canales.

El comportamiento del flujo de agua durante las crecidas es muy complejo, el caudal y la velocidad de la masa del flujo de agua incrementa ampliamente el poder erosivo del agua y su capacidad de transporte. En consecuencia, un breve período es suficiente para provocar cambios significativos en la morfológica de los márgenes y del lecho de los canales causando desbordes significativos.

El movimiento del agua en la superficie terrestre, a través de los canales y el suelo depende de algunos factores hidrológicos. Para el flujo superficial, la velocidad del flujo aumenta con el gradiente del fondo del canal y la profundidad del flujo, pero cuando aumenta la rugosidad, disminuye. Para una profundidad de flujo dada, la velocidad disminuye a medida que aumenta la altura del canal.

En la Región Ayacucho el Sistema Hidráulico Cachi es considerado uno de los más importantes en las provincias de Huamanga y Cangallo, puesto que permite la irrigación de más de 9000 Ha y provee de agua potable a la población. Sin embargo, este sistema hidráulico de gran envergadura no es ajeno a los efectos del cambio climático, los desbordes en el canal principal han dañado terrenos de cultivo en Ccononcca, Angaraes, entre otros.

1.2. Delimitación del problema.

1.2.1. Espacial.

El canal principal del Proyecto Especial Río Cachi considerado para la aplicación del presente trabajo de investigación corresponde al tramo Cuchoquesera–Ichucruz que se encuentra ubicado en varios distritos, provincia de Huamanga y la provincia de Cangallo, región Ayacucho.

1.2.2. Temporal.

La información que se tendrá en cuenta para el presente trabajo de investigación propuesto son considerados dentro del periodo 2020 - 2021.

1.2.3. Temática y unidad de análisis.

Temática: Simulación hidráulica y evaluación del estado de operación del canal principal, Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz.

Unidad de análisis: Parámetros hidráulicos del canal.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general.

¿Cómo el canal principal influye en el comportamiento hidráulico en el Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera–Ichucruz, 2021?

1.3.2. Problemas específicos.

1. ¿De qué manera el coeficiente de rugosidad de materiales influye en el comportamiento hidráulico?.
2. ¿De qué manera el estado del canal influye en el comportamiento hidráulico?.

1.4. Justificación e importancia.

Las inundaciones asociadas a desborde de canales tienen como consecuencias la pérdida de áreas de cultivo, daño en viviendas, vías de comunicación afectadas, etc. Por ello es importante la prevención y la identificación de posibles áreas dañadas para tomar las medidas

pertinentes. La tecnología actual facilita la simulación de estos fenómenos lo cual es una herramienta útil de diseño y mejoramiento de sistemas hidráulicos. En esta investigación se ha utilizado el programa HEC-RAS para identificar posibles puntos críticos del canal principal del sistema hidráulico Cachi y proponer una solución a estos impases, esto constituye un aporte hacia la comunidad y autoridades locales en bien de la integridad económica y física de los pobladores.

Asimismo, la investigación se justifica puesto que, se considera una contribución en los siguientes aspectos:

- Como resultado de la evaluación del comportamiento hidráulico del canal principal del proyecto especial Río Cachi, se tendrá información más detallada y útil que contribuirá al desarrollo económico y social del canal en el tramo Presa Cuchoquesera - Ichucruz mediante la gestión y uso eficiente de los recursos hídricos.
- Los resultados de la investigación será útil sobre todo para el Gobierno Regional de Ayacucho y los usuarios que tienen que ver con la planificación, diseño y construcción de canales abiertos, por lo que el presente trabajo de investigación se justifica porque contribuye con el bienestar de la sociedad en su conjunto a largo plazo.

1.5. Limitaciones de la investigación.

En el presente trabajo de investigación solo se analizará el tramo Cuchoquesera-Ichucruz del canal principal, ya que en su totalidad tiene una gran extensión.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general.

Determinar la manera en que el canal principal influye en el comportamiento hidráulico en el Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz, 2021.

1.6.2. Objetivos específicos.

1. Determinar la manera en que el coeficiente de rugosidad de materiales influye en el comportamiento hidráulico.
2. Determinar la manera en que el estado del canal influye en el comportamiento hidráulico.

Capítulo II: Marco Teórico.

2.1. Antecedentes

La ingeniería hidráulica es tan antigua como la propia civilización. Esto es evidente basado en la lucha del hombre por la supervivencia, que le obligó a averiguar cómo utilizar y controlar el agua. En consecuencia, las civilizaciones antiguas se desarrollaron en las cercanías de los grandes ríos y desarrollaron su economía en la agricultura. Progresivamente fueron utilizando el agua en sus sistemas de riego primitivas.

Los daños y el riesgo de los canales debido a las inundaciones, hacen que este tipo de estructuras sea especialmente importante y sensibles, por ello es vital que puedan resistir de manera segura a los efectos de los desbordamientos, ya que los daños generados llevaría a consecuencias desastrosas.

2.1.1. Investigaciones internacionales

González (2018), en su investigación titulada “*Estudio de aspectos hidráulicos para el diseño de una plataforma de monitoreo y gestión de canales de regadío*”, ha definido los primordiales aspectos hidráulicos que puedan incorporarse al diseño de una plataforma de monitoreo y gestión de canales de regadío el mismo que tiene por orientación a recursos como infraestructura. Siendo una investigación descriptiva, donde finalmente concluye con el establecimiento de no un valor fijo de residual neto aceptable para cada caso sino un valor variable y ajustado a la magnitud del caudal que presente el flujo en cada punto y valor fijo para todo rango de caudales simulados referente al residual porcentual.

Guamán (2018), en su tesis titulada “*Proyecto de modelación experimental y numérica de un canal rectangular abierto con diversas clases de vertederos*”, realizó la validación de tecnologías que tienen por base la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) con la finalidad de caracterizar de manera adecuada el comportamiento de fluidos en canales hidráulicos y vertederos. Siendo una investigación descriptiva, donde finalmente concluye con la importancia la determinación de la altura de la carga referente al modelo experimental y la determinación del modelo matemático óptimo para la mejora de la caracterización del flujo.

Suresh y Sridharan (2021), en sus investigación titulada “Cálculo de flujo gradualmente variado en redes de riego estructuradas” desarrollaron un algoritmo para el análisis y diseño de una red de riego estructurada y una red de riego tradicional sobre la base del análisis de flujo gradualmente variado en toda la red. A ventaja del modelo es que puede manejar varios tipos de estructuras, como reguladores de cabeza, vertederos en el canal principal, un canal abierto, distribuidores proporcionales y clusters de cola en las tomas.

Reddy y Bhallamudi (2004), publicaron la investigación denominada “Cálculo de flujo gradualmente variado en redes de canales en bucle cíclico”, presentan un algoritmo novedoso y computacionalmente eficiente para calcular los perfiles de la superficie del agua en flujos permanentes y gradualmente variados de redes de canales abiertos. Este algoritmo permite el cálculo de profundidades de flujo y descargas en todas las secciones de una red de canales abiertos en bucle cíclico.

Szymkiewicz y Szymkiewicz (2004), publicaron el trabajo “Método para resolver los sistemas de ecuaciones no lineales para flujo estacionario gradualmente variado en una red de canales abiertos”, donde presentan la solución de un sistema de ecuaciones no lineal del flujo permanente gradualmente variado en una red de canales abiertos. Propusieron un enfoque para mejorar y asegurar la convergencia del método de Picard.

Jeppson (1974), en el reporte técnico “Simulation Simulation of Steady and of Steady and Unsteady Flows Unsteady Flows in Channels in Channels and Rivand Riversers”, resuelve las ecuaciones unidimensionales e transitorias de Saint-Venant mediante un esquema implícito de diferencias finitas para manejar los flujos generales de canales y ríos. Las condiciones iniciales para el flujo no permanente se obtienen resolviendo la ecuación de flujo permanente variado para las condiciones de contorno especificadas. La solución para el flujo no permanente permite especificar cualquiera de las ocho condiciones de contorno separadas que se componen de combinaciones de especificar e tirante o e caudal como funciones del tiempo en los extremos aguas arriba o aguas abajo.

2.1.2. Investigaciones nacionales

Cruz Fernández (2016), en su investigación titulada “Evaluación de la velocidad en un canal abierto por medio de ecuaciones de factor fricción Manning, Chezy y Darcy-Weisbach”, realizó una comparación de la variación de la velocidad de agua en un canal abierto teniendo por consideración ecuaciones de factor fricción de Manning, Chezy, Chezy-Weisbach y así estudiar y plasmar la velocidad superficial. Siendo una investigación descriptiva, donde finalmente se concluye, con la medición de la velocidad por medio de los métodos de correntómetro y flotador siendo este último una óptima alternativa y evaluación de velocidad por medio de la ecuación Darcy-Weisbach $V_f = 1.08$ m/s, de manera constante estuvo próximo al valor de velocidad media $V = 1.18$ m/s.

Sinche (2018), en su estudio titulado “*Análisis del comportamiento hidráulico de flujos en canales abiertos para ubicar fallas canal de San Lorenzo, Jauja 2017*”, determinó la influencia del caudal de circulación referente al comportamiento hidráulico de flujos en el canal de San Lorenzo. Siendo una investigación descriptiva, donde finalmente concluye las velocidades de flujo no producen levantamiento del revestido ni sedimentación, los valores en gran parte son mayores a 0.015 en lo que respecta al coeficiente de rugosidad y el caudal perdido por evaporación representa el 0.01

Figuerola Lopez (2017), en su tesis titulada “*Análisis de las ecuaciones de Saint - Venant para la simulación de flujos en canales abiertos*”, con el objetivo general de realizar el estudio de las ecuaciones de Saint-Venant (ESV) unidimensionales como modelo matemático para canales abiertos. Siendo una investigación descriptiva, donde finalmente concluye que el esquema de Abbott-Ionescu sería un método de mucha ayuda en lo que respecta al estudio de prefactibilidad en la construcción de canales abiertos inclinados con sección rectangular.

Espir y Morales Leiva (2015), en su investigación titulada “*Estimación de fenómenos hidráulicos en el canal Chaquin del sistema de riego del valle de Virú*”, con el objetivo general de evaluar y determinar la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos son controlados a causa de la arquitectura hidráulica del canal Chaquin primer tramo. Siendo una investigación descriptiva, donde finalmente concluye, los fenómenos hidráulicos se encuentran de manera directa relacionados a la arquitectura hidráulica, referente al diseño del canal se ejecutó de forma correcta bajo determinados criterios y el análisis de los diseños individuales deberán realizarse de manera conjunta y no individual.

Torres (2017), en su tesis “*Diseño hidráulico y modelamiento en HEC-RAS del canal de concreto y de obras de arte del Proyecto Carpintero - Tramo Km 0+000 al Km 5+000*” presenta una descripción sobre las características, tipos de flujos y ecuaciones fundamentales de la hidráulica. Posteriormente utiliza el programa HEC-RAS y presenta los resultados del diseño realizado para el canal Carpintero y las obras de arte, se analiza y se compara los valores obtenidos del procedimiento recomendado por la U.S.B.R. y del modelamiento a fin de obtener un resultado lo más ajustado a la realidad posible.

Misaico (2014), en su tesis “*Modelamiento hidráulico del río Lircay en el tramo de la ciudad de Ocopa*”, realizó el modelamiento hidráulico usando el HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System) en un intento de aplicar un modelo unidimensional con su variante cuasi bidimensional a las características fisiográficas de la sierra, en el tramo de la ciudad de Lircay - Angaraes - Huancavelica de pendiente moderada muy característico de ríos que atraviesan el casco urbano de una ciudad, como es el caso del río Lircay, ubicado en el departamento de Huancavelica, específicamente en el ámbito del distrito de Lircay.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Hidráulica de canales abiertos

Los canales abiertos son estructuras de transporte naturales o artificiales que suelen tener la parte superior abierta, e incluyen ríos, arroyos y estuarios. Una cualidad importante del flujo en canales abiertos es que tiene una superficie libre a presión atmosférica. El flujo de canal abierto también acontece en conductos con la parte superior cerrada, como tuberías y alcantarillas, siempre y cuando el conducto fluya parcialmente lleno. Por ejemplo, el flujo en la mayoría de proyectos de saneamiento y drenaje pluvial tiene una superficie libre y, por lo tanto, se clasifica como flujo de canal abierto (Akan, 2006).

2.2.1.1. Elementos geométricos de canales abiertos

Una sección de canal se define como la sección transversal tomada perpendicular a la dirección del flujo principal. Los elementos geométricos de un canal abierto son el tirante, área mojada, perímetro mojado, radio hidráulico, espejo de agua, profundidad hidráulica y pendiente del fondo.

2.2.1.2. Velocidad y caudal

En cualquier punto de un canal abierto, el flujo puede tener componentes de velocidad en las tres direcciones. En su mayor parte, sin embargo, se supone que el flujo de canal abierto es unidimensional, y las ecuaciones de flujo se escriben en la dirección principal del flujo. Por lo tanto, por velocidad generalmente nos referimos al componente de velocidad en la dirección principal del flujo. La velocidad varía en una sección del canal debido a las fuerzas de fricción en los contornos y la presencia de la superficie libre. Utilizamos el término velocidad puntual para referirnos a la velocidad en diferentes puntos en una sección del canal. La Figura 2.2a) muestra una distribución típica de velocidad puntual, v , en un canal trapezoidal (Akan, 2006).

Según Akan (2006), el volumen de agua que pasa a través de una sección de canal por unidad de tiempo se denomina caudal o descarga. Con referencia a la Figura 2.2b), la descarga incremental, dQ , a través de un área incremental, dA , es $dQ = v dA$.

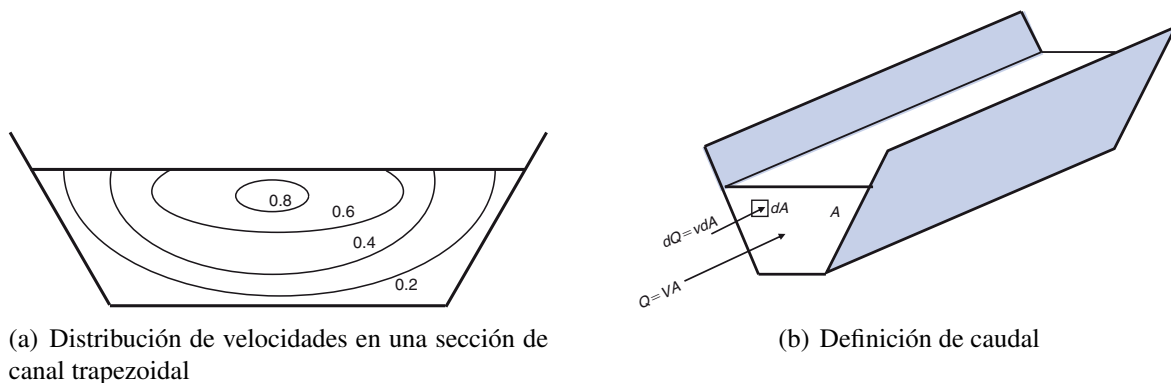
2.2.2. Flujo gradualmente variado (FGV)

El flujo unidimensional gradualmente variado (FGV) es un flujo constante no uniforme en un canal prismático con cambios graduales en la elevación de la superficie del agua. Muchos trabajos de ingeniería hidráulica implican el cálculo de perfiles de superficie FGV unidimensionales, como el descenso producido por una caída repentina en un canal y el remanso producido por una presa o lago a través de un río, como lo indican Chaudhry (2008), Chow

Figura 2.1: Elementos geométricos de la sección de los canales abiertos

Tipo de sección	Area A	Perímetro mojado P	Radio Hidraulico R	Espejo de agua T	Profundidad Hidraulica D
Rectangular	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y
Trapezoidal	$(b + my)y$	$b + 2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{(b + my)y}{b + 2y\sqrt{1 + m^2}}$	$b + 2my$	$\frac{(b + my)y}{b + 2my}$
Triangular	my^2	$2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{my}{2\sqrt{1 + m^2}}$	$2my$	$\frac{y}{2}$
Circular	$\frac{1}{8}(2\theta - \sin 2\theta)d_0^2$ $\theta = \pi - \arccos\left[\left(y - \frac{d_0}{2}\right)/(d_0/2)\right]$	θd_0	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin 2\theta}{2\theta}\right)d_0$	$(\sin \theta)d_0$ or $2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{2\theta - \sin 2\theta}{\sin \theta}\right)d_0$

Fuente: Adaptado de Akan (2006)

Figura 2.2: Velocidad y caudal en un canal abierto


Fuente: Obtenido de Akan (2006)

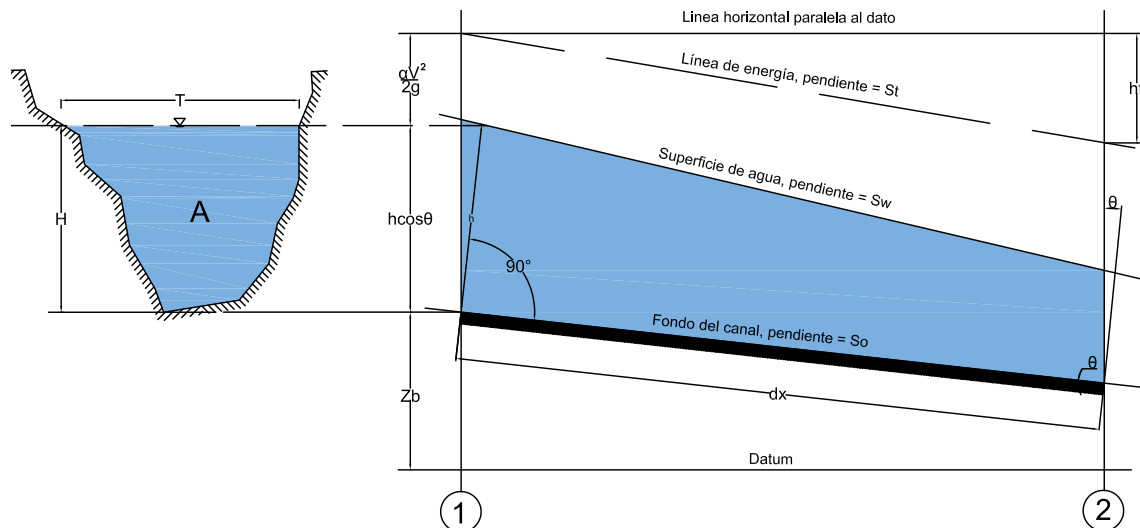
(1959), Subramanya (2013), entre otros. La evaluación de perfiles de flujo constantes unidimensionales que varían gradualmente bajo una descarga de flujo específica es muy importante en la ingeniería hidráulica de canales abiertos. Dos supuestos básicos están involucrados en el análisis de FGV. Uno es la distribución de presión en cualquier sección que se suponga es hidrostática. El otro es la resistencia al flujo a cualquier profundidad que se supone dada por la ecuación de flujo uniforme correspondiente, como la ecuación de Manning. Casi todas las principales actividades de ingeniería hidráulica en el flujo de superficie libre involucran el cálculo de perfiles FGV. Los diversos procedimientos disponibles para calcular los perfiles FGV se pueden clasificar en: el método de integración gráfica, la integración directa y

el método numérico, como se muestra en Chow (1959) y Subramanya (2013). El desarrollo de la ecuación dinámica FGV básica y la clasificación de los perfiles de flujo en un canal prismático se revisan y discuten en este capítulo.

2.2.2.1. Ecuación del FGV en canales abiertos

Para derivar la ecuación FGV, consideramos un perfil FGV en un canal prismático abierto con forma de sección transversal arbitraria. Para simplificar, supongamos que no hay aceleración vertical ni desviación de la distribución de la presión hidrostática en el flujo. Entonces, como se muestra en la Figura 2.3, la energía total H de un flujo gradualmente variado en cualquier sección referida a un dato en un canal se puede escribir como:

Figura 2.3: Derivación de la ecuación del FGV



Fuente: Obtenido de Jan (2014)

2.2.2.2. Características y Clasificación de los Perfiles del Flujo Gradualmente Variado

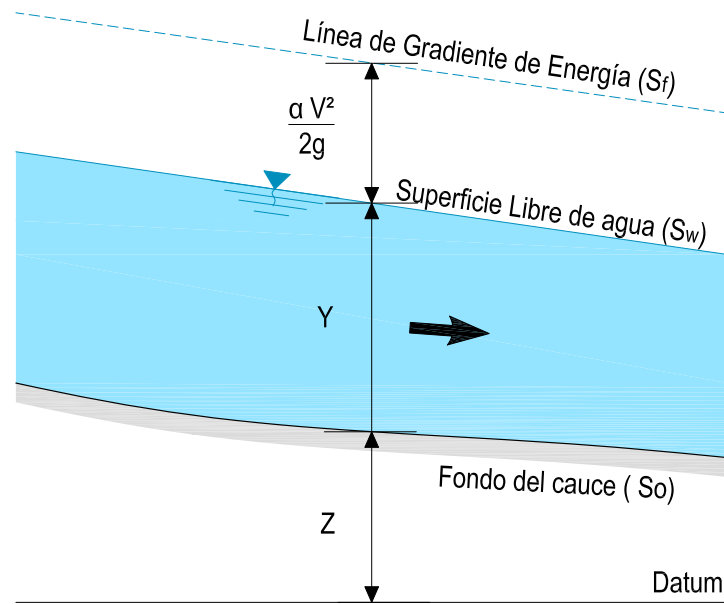
Al examinar el cálculo de los perfiles de flujo gradualmente variado, es importante, en primer lugar, establecer una estrategia precisa para agrupar los perfiles que pueden darse en un canal determinado.

De la figura 2.4, se deriva las ecuaciones:

$$H = Z + Y + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (2.1)$$

Diferenciando con respecto a X y la velocidad V enunciando en función del caudal Q

$$\frac{dH}{dX} = \frac{dZ}{dX} + \frac{dY}{dX} + \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{d}{dX} \left(\frac{1}{A^2} \right) \quad (2.2)$$

Figura 2.4: Esquema para superficie libre de agua


Ahora, por definición.

$$\frac{dH}{dX} = -S_f \quad (2.3)$$

$$\frac{dZ}{dX} = -S_0 \quad (2.4)$$

Donde S_f es la pendiente de la gradiente de energía y S_0 es la pendiente del fondo del canal.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dX} \left(\frac{1}{A^2} \right) &= \frac{d}{dA} \left(\frac{1}{A^2} \right) \frac{dA}{dX} \\ &= \frac{d}{dA} \left(\frac{1}{A^2} \right) \frac{dA}{dY} \frac{dY}{dX} \\ &= -\frac{2B}{A^3} \frac{dY}{dX} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Donde $dA/dY = B$. De las ecuaciones anteriores se tiene la ecuación de la variación del tirante Y con respecto a la distancia X .

$$\frac{dY}{dX} = \frac{S_0 - S_f}{1 - (\alpha B Q^2)/(g A^3)} \quad (2.6)$$

Donde:

$$F^2 = \frac{\alpha B Q^2}{g A^3} = \frac{(Q/A)^2}{(gA)/(\alpha B)} \quad (2.7)$$

$$\frac{dY}{dX} = \frac{S_0 - S_f}{1 - F^2} \quad (2.8)$$

El caudal Q , y S_f está en función del tirante Y y en un canal ancho F y S_f varían similarmente que Y dado que $P = B$ y tanto S_f como F tienen una fuerte dependencia inversa en el área de flujo. Además, al incrementar Y , F y S_f disminuirán. Por definición $S_f = S_0$ cuando $Y = Y_n$, por consiguiente, el siguiente conjunto de desigualdades debe cumplirse:

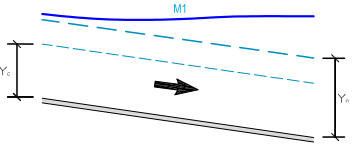
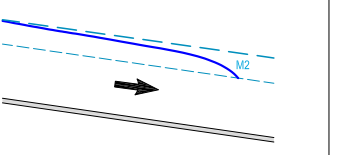
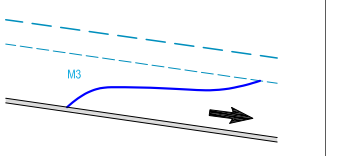
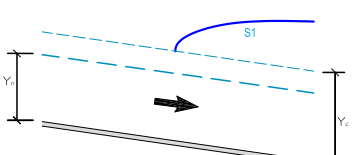
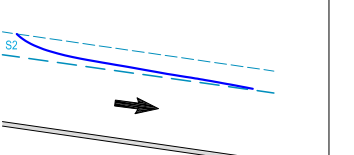
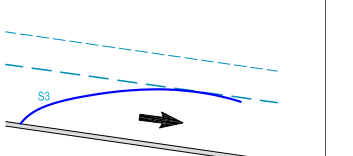
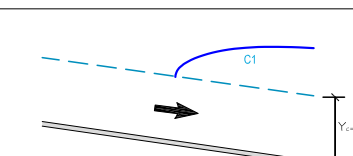
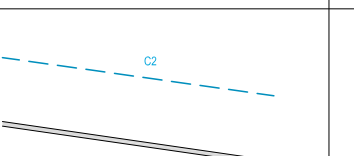
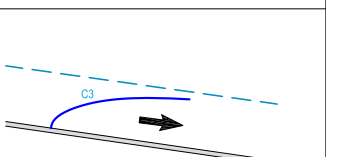
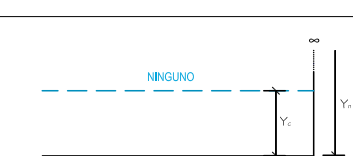
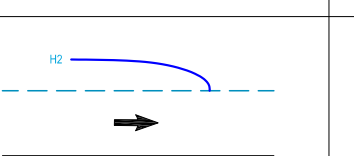
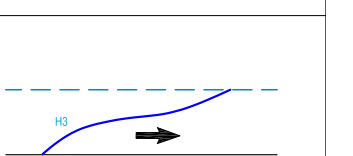
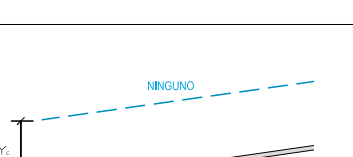
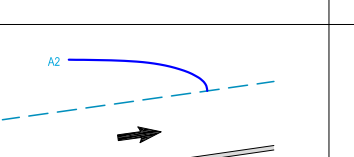
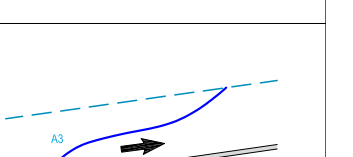
$$S_f \geq S_0 \quad \text{Correspondiente a} \quad Y \leq Y_n \quad (2.9)$$

$$F \geq 1 \quad \text{Correspondiente a} \quad Y \leq Y_c \quad (2.10)$$

Estas desigualdades dividen al canal en tres secciones en la dimensión vertical, tal como se muestra en la figura 2.5. Por convención, estas secciones se enumeran del 1 al 3 empezando desde arriba. Los perfiles del FGV se organizan en cinco clasificaciones:

- Suave (Mild): Pertenece al perfil M , describe a canales con pendientes suaves o subcríticas. Se obtiene los siguientes resultados donde Y es el tirante real del flujo:
 - Zona 1: $Y > Y_n > Y_c$; $S_0 > S_f$, $F < 1$; $dY/dX > 0$
 - Zona 2: $Y_n > Y > Y_c$; $S_0 < S_f$, $F < 1$; $dY/dX < 0$
 - Zona 3: $Y_n > Y_c > Y$; $S_0 < S_f$, $F > 1$; $dY/dX > 0$
- Fuerte (Steep): Corresponde al perfil S . En estos perfiles, $S_0 > S_c$ y $Y_n < Y_c$. El perfil $S1$ usualmente comienza con un salto en el contorno aguas arriba y termina con un perfil tangente a la horizontal en el contorno de aguas abajo. El perfil $S2$ es una curva de rápida que es usualmente muy corta. En el contorno aguas abajo, este perfil es tangente al tirante normal. El perfil $S3$ es temporal porque conecta un flujo supercrítico con el tirante normal.
- Crítica (Critical): Corresponde al perfil C . En estos perfiles, $S_0 = S_c$ y $Y_n = Y_c$. El perfil $C1$ es asintótico a una línea horizontal, por ejemplo un perfil que conecta a un canal de pendiente crítica con un canal de pendiente suave. El perfil $C3$ puede conectar un flujo supercrítico con un almacenamiento en una pendiente crítica.

Figura 2.5: Sistema de clasificación de perfiles de flujo gradualmente variado

PENDIENTE DE FONDO DEL CANAL	ZONA 01	ZONA 02	ZONA 03
SUAVE			
FUERTE			
CRÍTICA			
HORIZONTAL			
ADVERSA			

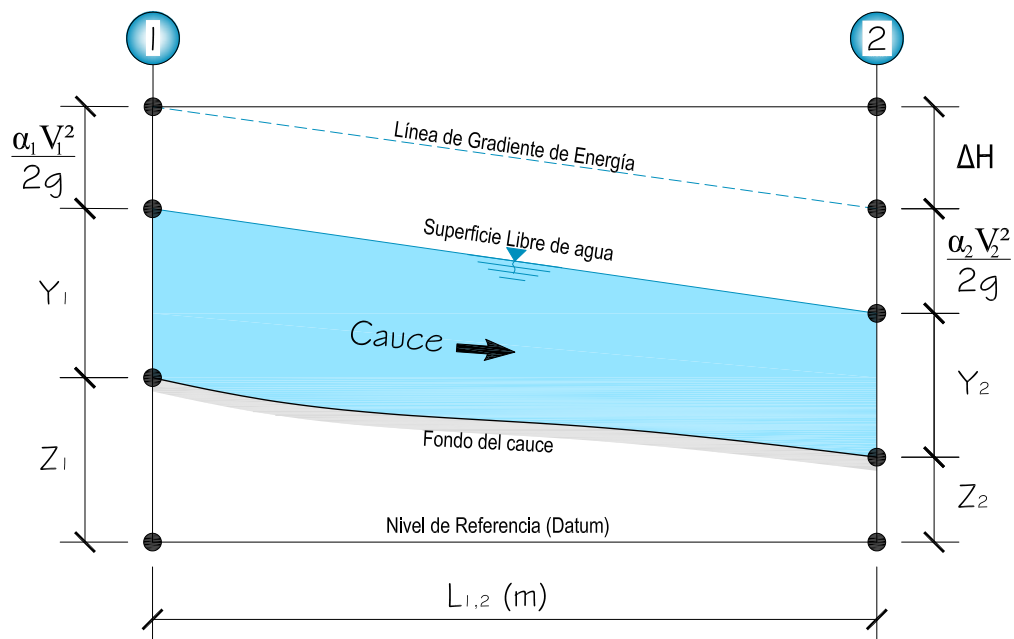
- Horizontal (pendiente cero): Corresponde al perfil H . Para esta situación $S_0 = 0$, y los perfiles H pueden considerarse como un caso límite de los M . El perfil de la curva descendente $H2$ puede encontrarse aguas arriba de una caída rápida, mientras que el perfil $H3$ puede conectar un flujo supercrítico bajo una compuerta con un nivel en vaso.
- Adverso (Adverse): Corresponde al perfil A . En estos perfiles $S_0 < 0$, Generalmente los perfiles $A2$ y $A3$ ocurren raramente y son similares a los perfiles $H2$ y $H3$.

2.2.2.3. Ecuaciones para el cálculo de perfiles básicos

Estos datos son necesarios para determinar los tirantes del canal, empleando el método del paso estándar.

Flujo Gradualmente Variado: Método del paso Estándar

Figura 2.6: Balance de Energía



A partir de la condición de energía tenemos:

$$Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f \quad (2.11)$$

Para un caudal dado, el tirante Y_1 se conoce en la sección 01. El método del paso estándar consiste en calcular el tirante en la sección 02 a una distancia X_2 . Primero se calcula la velocidad V_1 en la sección 01, $V = \frac{Q}{A}$, y en la ecuación de la energía (Ec. 2.11) representamos de la siguiente manera:

$$H_1 = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \quad (2.12)$$

$$H_2 = H_1 - h_f \quad (2.13)$$

Donde h_f , pertenece a la pérdida total ¹ entre las secciones 1 y 2

Se sabe además que

$$h_f = \frac{1}{2}(Sf_1 + Sf_2)(X_2 - X_1) \quad (2.14)$$

Sustituyendo en la ecuación 2.13 se tiene

$$H_2 = H_1 - \frac{1}{2}(Sf_1 + Sf_2)(X_2 - X_1) \quad (2.15)$$

Reemplazando las ecuaciones

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2}(Sf_1 + Sf_2)(X_2 - X_1) - H_1 = 0$$

$$Y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2}Sf_2(X_2 - X_1) + Z_2 - H_1 + \frac{1}{2}Sf_1(X_2 - X_1) = 0 \quad (2.16)$$

En la ecuación 2.16, A_2 y Sf_2 son funciones de Y_2 y todos los términos restantes son conocidos (determinados en la sección 01). El tirante Y_2 puede ser calculado, resolviendo la siguiente ecuación algebraica *NO-LINEAL* con método numéricos como Bisección o el método de Newton Raphson.

$$F(Y_2) = Y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2}Sf_2(X_2 - X_1) + Z_2 - H_1 + \frac{1}{2}Sf_1(X_2 - X_1) = 0 \quad (2.17)$$

Para utilizar el método de Newton Raphson, es necesario derivar la función con respecto al tirante por conocer (Y_2). Esto se adquiere al diferenciar la expresión 2.17

$$\frac{dF}{dY_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{gA_2^3} \frac{dA_2}{dY_2} + \frac{1}{2}(X_2 - X_1) \frac{dSf_2}{dY_2} + 0 - 0 + 0$$

¹Pérdida por fricción + pérdida local

También se sabe:

$$Sf_2 = \frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}}$$

$$\frac{dF}{dY_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} \frac{dA_2}{dY_2} + \frac{1}{2} (X_2 - X_1) \frac{d}{dY_2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dY_2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) &= \frac{-2Q^2 n^2}{A_2^3 R_2^{4/3}} \frac{dA_2}{dY_2} - \frac{4Q^2 n^2}{3A_2^2 R_2^{7/3}} \frac{dR_2}{dY_2} \\ &= \frac{-2}{A_2} \underbrace{\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}}}_{Sf_2} \frac{dA_2}{dY_2} - \frac{4}{3R_2} \underbrace{\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{4/3}}}_{Sf_2} \frac{dR_2}{dY_2} \\ &= \frac{-2}{A_2} Sf_2 \frac{dA_2}{dY_2} - \frac{4}{3R_2} Sf_2 \frac{dR_2}{dY_2} \\ &= -2 \left(\frac{Sf_2}{A_2} \frac{dA_2}{dY_2} + \frac{2Sf_2}{3R_2} \frac{dR_2}{dY_2} \right) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Reemplazando la ecuación 2.19 en 2.18

$$\frac{dF}{dY_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} \frac{dA_2}{dY_2} + \frac{1}{2} (X_2 - X_1) (-2) \left(\frac{Sf_2}{A_2} \frac{dA_2}{dY_2} + \frac{2Sf_2}{3R_2} \frac{dR_2}{dY_2} \right)$$

$$\frac{dF}{dY_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} \frac{dA_2}{dY_2} - (X_2 - X_1) \left(\frac{Sf_2}{A_2} \frac{dA_2}{dY_2} + \frac{2Sf_2}{3R_2} \frac{dR_2}{dY_2} \right) \quad (2.20)$$

La expresión $\frac{dR_2}{dY_2}$ puede expresarse en función del área y el perímetro. Cómo:

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

$$\begin{aligned} \frac{dR_2}{dY_2} &= \frac{d}{dY_2} \left(\frac{A_2}{P_2} \right) = \frac{1}{P_2} \frac{dA_2}{dY_2} + A_2 \frac{d}{dY_2} \left(\frac{1}{P_2} \right) \\ &= \frac{1}{P_2} \left(\frac{dA_2}{dY_2} \right) - \frac{A_2}{P_2^2} \left(\frac{dP_2}{dY_2} \right) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Sustituyendo la derivada $dA_2/dY_2 = B_2$

$$\frac{dF}{dY_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} B_2 - (X_2 - X_1) \left[Sf_2 \frac{B_2}{A_2} + \frac{2}{3} Sf_2 \left(\frac{P_2}{A_2} \right) \left(\frac{B_2}{P_2} - \frac{A_2 dP_2}{P_2^2 dY_2} \right) \right]$$

$$\frac{dF}{dY_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} B_2 - (X_2 - X_1) \left[S f_2 \frac{B_2}{A_2} + \frac{2}{3} \frac{S f_2}{A_2} \left(B_2 - \frac{A_2}{P_2} \frac{dP_2}{dY_2} \right) \right]$$
$$\frac{dF}{dY_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{g A_2^3} B_2 - \frac{1}{3} S f_2 (X_2 - X_1) \left(5 \frac{B_2}{A_2} - \frac{2}{P_2} \frac{dP_2}{dY_2} \right) \quad (2.22)$$

Estas ecuaciones se utilizan para calcular la superficie libre de agua (curva de remanso en un flujo gradualmente variado) en secciones prismáticas y no prismáticas.

Capítulo III: Método de la Investigación

3.1. Tipo de investigación

Para Salinas (1993), la investigación observacional “es aquella que se basa en la observación de los fenómenos, características, situaciones, variaciones, etc. de la materia que se quiere investigar. Se observa, sin manipular, cambiar o variar nada. Luego, las observaciones realizadas se pueden registrar para posteriores análisis”. En el presente trabajo de investigación se observará el comportamiento hidráulico del canal principal; por esta razón, la investigación es de **tipo observacional**.

Según Supo (2012), la planificación de toma de datos prospectivo; es cuando los datos que se requieren para el estudio son recogidos a propósito para la investigación. Por lo que, posee control del sesgo de medición. Los datos recogidos para la evaluación del comportamiento hidráulico, son recolectados directamente del canal principal, entonces la investigación es de **tipo prospectivo**.

Según Supo (2012), cuando “la variable de estudio es medida en dos o más ocasiones; para realizar comparaciones (antes y después) son entre medidas repetidas”. La medición de las velocidades en varios tramos del canal principal se realizó en varios días, por ello; la investigación es de **tipo longitudinal**.

Según Supo (2012), de acuerdo al número de variables analíticas, el estudio es analítico cuando “El análisis estadístico por lo menos es bivariado; puesto que plantea y pone a prueba la hipótesis, en su nivel básico establece la asociación entre factores”. En el presente trabajo de investigación se tiene dos variables; canal principal y comportamiento hidráulico, por esta razón la investigación es de **tipo analítico**.

3.2. Nivel de investigación

En una investigación explicativa se busca determinar las causas de los eventos o fenómenos físicos o sociales de estudio; puntualmente, explica por qué ocurre un fenómeno, en qué condiciones se da y porqué dos o más variables están relacionadas (Hernández, 1998). El nivel

de la investigación nos indicará el resultado, lo que se obtendrá a partir de ella y condicionará el método que se seguirá para obtener dichos resultados. Esta investigación es de **nivel explicativo**; porque explora la relación causal, es decir, no solo busca describir o acercarse al problema del estado de operación de los canales objeto de investigación, sino que prueba encontrar las causas de los riesgos asociados.

3.3. Diseño de investigación

La investigación desarrollada aquí es de **diseño no experimental prospectivo - longitudinal**, pues los hechos y las variables ya ocurrieron y esta investigación observa variables y relaciones entre éstas en su contexto natural. La investigación no experimental, podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables, es decir; se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Según Tamayo (2007), la población es la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica y se le denomina población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio o investigación. En el presente trabajo de investigación se ha tenido la importancia de las estructuras hidráulica (canales), que están directamente relacionados con el desarrollo socio económico y agrario de la región Ayacucho. Así mismo para la selección de la población se ha tenido en consideración los antecedentes y severidad de las sequías y sobre su probabilidad de ocurrencia en la provincia de Huamanga, en base a la información de caudales de la Presa Cuchoquesera, datos climáticos e hidrológicos, y mapas de satélite. Por lo tanto, la población está compuesta por 2410 secciones con longitud de 20 m de canal, haciendo un total de 48.2 km de canal, comprendido entre la presa Cuchoquesera y el túnel Ichucruz del Proyecto Especial Río Cachi del año 2021.

3.4.1.1. Unidad muestral

La unidad muestral corresponde al tramo Cuchoquesera–Ichucruz, donde se tiene datos de caudales y datos geométricos de los canales, las mismas que son seleccionados tomando en cuenta la importancia desde el punto de vista de abastecimiento y desarrollo social, económico y productivo. La identificación de las unidades de muestreo quedan especificadas en la

Figura 3.7: Canal principal, Proyecto Especial Río Cachi

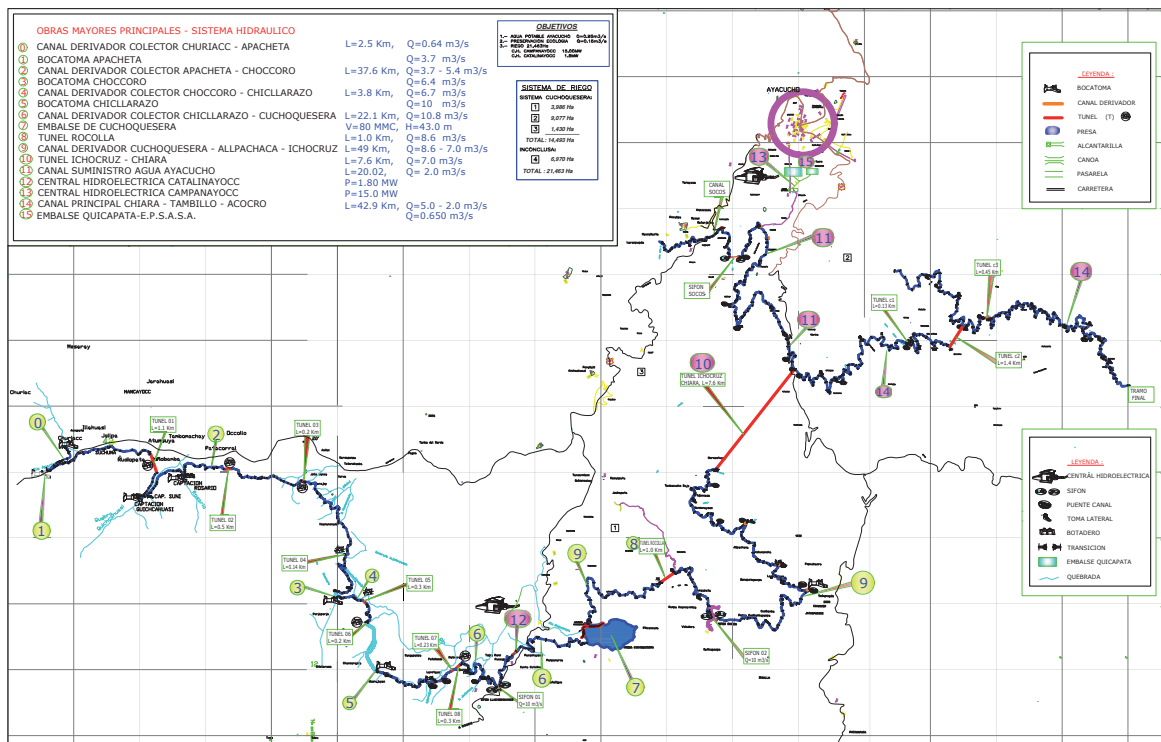


18L 551687 8523636

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8.

Figura 3.8: Unidades de muestreo en el canal del proyecto Río Cachi



Fuente: OPEMAN

3.4.1.2. Unidades de análisis

La unidad de análisis es el tramo Cuchoquesera–Ichucruz desde las cuales se registran las unidades de análisis, éste se corresponde directamente con el registro de datos geométricos, parámetros hidráulicos, y otros datos inherentes al problema de simulación hidráulica de canales abiertos.

3.4.1.3. Delimitación de la población

La delimitación de las características de la población no sólo depende de los objetivos de la investigación, sino de otras razones prácticas. Un estudio no será mejor por tener una población más grande; la calidad de un trabajo investigativo estriba en delimitar claramente la población con base en el planteamiento del problema (Hernández et al., 2014). Este trabajo de investigación se desarrollará sobre el canal del proyecto especial Río Cachi, por lo tanto, la población es el canal del proyecto especial río Cachi, seleccionados por la disponibilidad de datos y otros parámetros sociales, económicos y ambientales asociados a la ingeniería hidráulica, además, se tiene en cuenta la importancia local del desarrollo socio-económico de la provincia de Huamanga. La evaluación del comportamiento hidráulico se realizará a este canal para el rediseño y/o mejora de su estado actual.

3.4.2. Muestra

La muestra se determina a partir de la población cuantificada para una investigación, cuando no es posible medir cada una de las entidades de población; esta muestra, se considera, es representativa de la población. Para hacer una generalización exacta de una población es necesaria una muestra totalmente representativa y, por lo tanto, la validez de la generalización depende de la validez y tamaño de la muestra (Tamayo, 2007). En este trabajo de investigación se ha realizado un muestreo no probabilístico, por conveniencia, habiendo considerado los tramos; 0+080, 5+000, 10+000, 15+000, 20+000, 25+000 y 30+000 entre la presa Cuchoquesera y el túnel Ichucruz, por lo tanto, el tipo de muestra es no probabilístico, también llamadas muestras dirigidas, subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación (Hernández et al., 2014).

3.4.2.1. Selección de la muestra

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra (Hernández et al., 2014).

Figura 3.9: Unidades de muestreo en el canal del proyecto Río Cachi tramo Cuchoquesera-Ichucruz


Fuente: OPEMAN

3.4.2.1.1. Muestreo por conveniencia Consiste en seleccionar una muestra de la población por el hecho de que sea accesible. Es decir, los individuos empleados en la investigación se seleccionan porque están fácilmente disponibles, no porque hayan sido seleccionados mediante un criterio estadístico. El muestreo por conveniencia son muestras dirigidas y son válidas en cuanto a que un determinado diseño de investigación así las requiere; sin embargo, los resultados se aplican nada más a la muestra en sí o a muestras similares en tiempo y lugar (transferencia de resultados), pero esto último con suma precaución (Hernández et al., 2014).

En este trabajo de investigación la muestra es elegida a mi propio juicio (investigador) bajo la consideración de las preguntas y su respectiva valoración que se hace en la Tabla 3.1 y se trata de un muestreo no probabilístico o muestreo no aleatorio, debido a que se escogió el canal del proyecto especial Río Cachi para la evaluación del comportamiento hidráulico.

Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones del investigador o de un grupo de investigadores y (Hernández et al., 2014), desde luego, las muestra seleccionada obedecen a los criterios establecidos en la Tabla 3.1.

A partir de la Tabla 3.1 se elige la muestra de acuerdo a la valoración efectuada para cada de los ríos. Se han calificado los ríos según el orden de preferencias positiva o negativa indicado por cada pregunta, dando 3 a la “mejor” y 1 a la “peor”. Finalmente, el canal que

Tabla 3.1: Selección de la muestra (muestreo no probabilístico)

Criterios de selección (Conveniencia)	Canal en la región Ayacucho		
	Cachi	Mashinga	Pallecca
¿El canal es el más grande de la región?	3	1	2
¿Tiene la mayor demanda hídrica?	3	1	2
¿Abastece la mayor cantidad de comunidades, pueblos y ciudades?	3	1	2
¿En su mayor longitud el canal pasa por terrenos agrícolas?	2	1	3
¿Se abastece de la presa más grande de la región?	3	1	2
¿El canal genera la mayor cantidad de conflictos en los últimos años?	2	3	1
¿Canal con la mayor cantidad de datos?	2	3	1
¿Canal que abastece de agua potable a la ciudad de Ayacucho?	2	3	1
¿Canal que abastece la actividad agropecuaria en la provincia de Cangallo y Huamanga?	3	1	2
¿Rio donde está construido la mayor cantidad de estructuras hidráulicas?	3	2	1
¿Canal más próximo a la ciudad de Ayacucho?	3	1	2
¿Canal de mayor valor ambiental y turístico?	3	1	2
¿Acceso fácil para la medición y toma de datos?	3	1	2
	35	20	23

tiene mayor valoración es el canal del proyecto especial Río Cachi, con un total de 35, por lo tanto, la muestra para el presente trabajo de investigación será el canal del proyecto especial Río Cachi. Quedando el tamaño de la muestra de 1 canal (tramo Cuchoquesera – Ichucruz, canal del proyecto especial Río Cachi, Ayacucho-Perú) y representan el río de las unidades de análisis concernientes a la investigación.

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

El canal principal influye significativamente en el comportamiento hidráulico en el Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera - Ichucruz, 2021.

3.5.2. Hipótesis específicos

1. El coeficiente de rugosidad de materiales influye significativamente en el comportamiento hidráulico.
2. El estado del canal influye significativamente en el comportamiento hidráulico.

3.6. Operacionalización de variables

3.6.1. Variables

Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse (Hernández et al., 2014). Por otro lado, otros autores definen las variables como las características, rasgos, o propiedades de los elementos de la muestra o universo en estudio. La característica de las variables es que son medibles, directa o indirectamente mediante indicadores, por lo que cada elemento del conjunto tiene un valor diferente para cada una de sus variables. Existen básicamente tres variables que participan de todo proceso de investigación: Independientes, dependientes e intervinientes.

Considerando el comportamiento hidráulico como el problema a simular; las variables en el presente trabajo de investigación, se clasifican en:

Variables independientes:

Cuando desempeña el rol de causa mayoritaria, cuya magnitud o característica se relaciona con otra a la cual afectar, en el presente caso son: Canal principal, rugosidad de los materiales en canales abiertos y estado de operación de los canales abiertos.

Variables dependientes:

Cuando desempeña el rol de efecto o consecuencia, dependen de la acción (intensidad o característica) de la variable independiente. En el presente caso son: Comportamiento hidráulico y parámetro hidráulicos.

Variables intervinientes:

No son causas ni efectos pero tienen importancia en el estudio ya que podrían servir de explicación parcial a determinadas características consecuentes o porque son reguladoras del efecto de la variable independiente. Entre estas variables identificadas para la presente investigación se tienen: Uso de suelo (Territorio), cobertura de plantas y características socioeconómicas.

3.6.2. Indicadores

Al referirnos a los conceptos indicamos que estos no son observables directamente (García, 2002). Por lo tanto, se deben buscar procedimientos que permitan la medición indirecta mediante manifestaciones externas, empíricas y observables. Tales manifestaciones o expresiones reciben el nombre de indicadores. Los indicadores tienen como principal función señalar datos, procedimientos a seguir, fenómenos, situaciones específicas.

Indicador asociada a la variables independientes: Caudales, Coeficiente de Manning y Estado del canal.

Indicador asociada a la variable dependientes: Tirante del flujo y Radio hidráulico.

La tabla 3.2 en resumen muestra, la relación entre las variables e indicadores propuestos.

Tabla 3.2: Variables e Indicadores

Variables	Dimensiones	Indicadores	Medición
Canal principal	Rugosidad de los materiales	Caudales (Q)	m/s^2
		Geometría del canal	m
		Coeficiente de Manning	
	Estado actual del canal	Bueno Regular Malo	
Comportamiento hidráulico	Tirante del flujo	Tirante (y)	m
	Radio hidráulico (R)	Area mojado (A)	m^2
		Perímetro mojado (P)	m

3.7. Técnicas e instrumentos

3.7.0.1. Técnicas de recolección

En principio, se realizó la **técnica de observación** y los procedimientos administrativos para la adquisición de los datos topográficos, climáticos y otros al Gobierno Regional de Ayacucho. En correspondencia al enfoque cuantitativo de la investigación, las unidades de muestreo se corresponden con las zonas identificadas sobre el canal del proyecto especial Río Cachi, mientras las unidades de análisis son los datos que se tomado desde las unidades de muestreo, y estos son:

- Topografía del canal
- Datos de caudales

- Datos geoespaciales
- Datos de costos
- Datos ambientales
- Datos de cursos agua
- Datos socio culturales
- Zonas agrícolas

Este tipo de recolección de datos requiere a atención y importancia debida, dado que serán determinantes finalmente para el ingreso al HEC-RAS, así mismo serán útiles para la evaluación del estado de operación del canal.

3.7.1. Instrumentos

Durante la medición y recojo de datos mediante los equipos requeridos para el análisis, se utilizó principalmente la **Guía de observación**, como instrumento de investigación.

Equipos

- Estación total
- Correntómetro
- Libreta de campo
- Linnimetro
- Laptop
- Fichas de recolección de datos

Aplicaciones Utilizadas

HEC-RAS: Este software permite al usuario realizar cálculos de flujo estacionario unidimensional, flujo no estacionario unidimensional y bidimensional, cálculos de lecho móvil/transporte de sedimentos y modelado de temperatura/calidad del agua.

QGIS: Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. Para la generación de mapas y resultados raster y vector.

RStudio: Código libre y entorno de desarrollo integrado (IDE) para R. Lenguaje de programación para la validación de la hipótesis, resultados estadístico, gráficos, entre otros.

Civil3D: Es una herramienta de diseño y cálculo muy útil en el desarrollo de diseño de sitio, diseño urbanístico, carreteras, movimiento de tierras, cálculo topográfico, replanteo de información, etc.

LaTeX: Sistema de composición de textos, orientado a la creación de documentos escritos que presenten una alta calidad tipográfica. Para la generación y presentación el informe final.

3.8. Desarrollo del trabajo de tesis

Para cumplir con los objetivos de esta tesis fue necesario desarrollar el procedimiento del cálculo del flujo gradualmente variado (FGV).

3.8.1. Descripción del área de estudio

3.8.2. Antecedentes

Desde el siglo pasado¹ existían propuestas para derivar las aguas del río Cachi hacia Huamanga. A lo largo de décadas, el proyecto Cachi era un sueño de los Ayacuchanos, para dotar agua para consumo humano y para riego y materializar así su construcción, para contar con un proyecto de “gran aliento”, a la par de grandes infraestructuras de la costa. Dicho de otra manera, la obra no fue una reivindicación de las comunidades campesinas. Un debate esbozado en los ochenta cuestionó la inversión millonaria que significaba un proyecto de este tipo, a costa de una política centrada en el desarrollo comunal y en el manejo de recursos naturales en microcuencas (GESSAM, 2016).

Desde la culminación de la represa de Cuchoquesera, estructura clave del sistema, transcurrieron 20 años. A la fecha, no se culminó todas las obras previstas y las infraestructuras se encuentran deterioradas en muchos tramos.

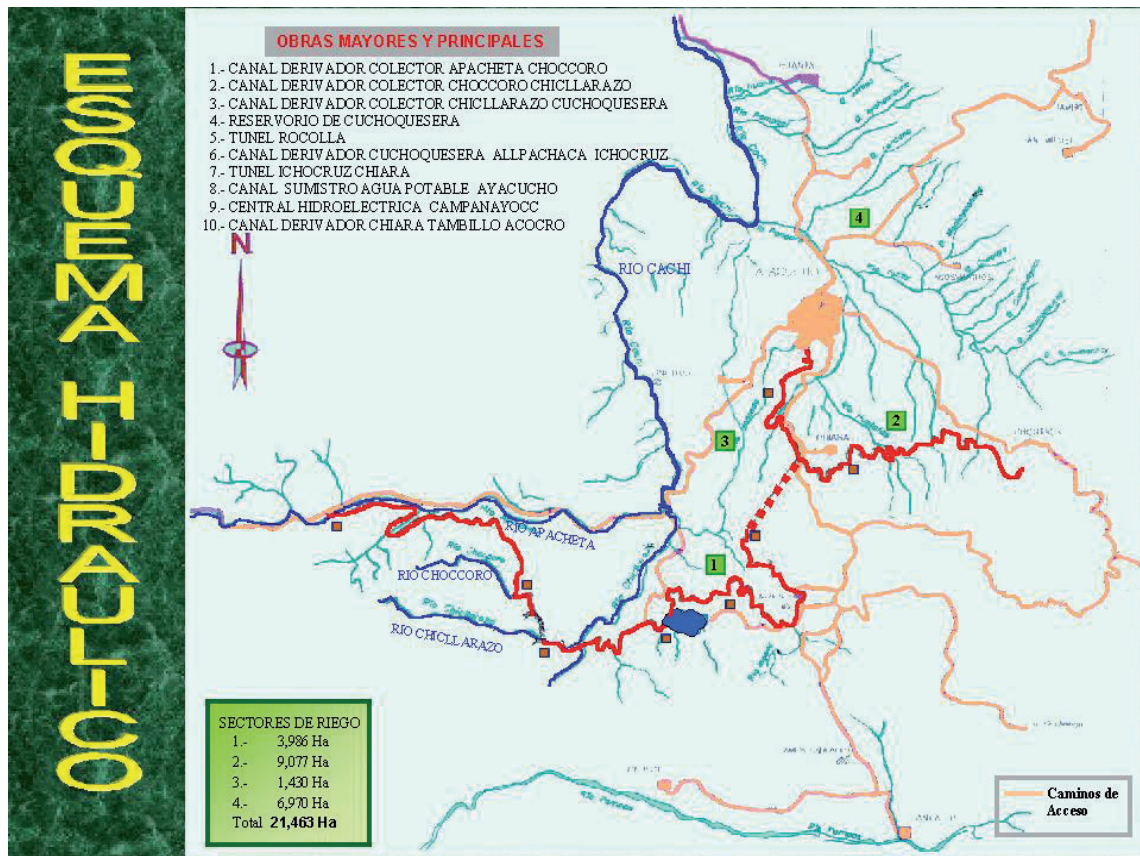
3.8.2.1. Ubicación

El proyecto Especial “Río Cachi” tiene su ámbito en las provincias de Cangallo - Huamanga - Huanta del departamento de Ayacucho. Es un proyecto de propósitos múltiples con preponderancia en los aspectos de riego, generación de energía hidroeléctrica y suministro de agua para uso doméstico e industrial de la ciudad de Ayacucho.

Es un proyecto de propósitos múltiples y con predominio en los aspectos de riego, y suministro de agua para uso doméstico e industrial a la ciudad de Ayacucho. El Sistema Hidráulico

¹Decreto de Simón Bolívar en 1824, para “disponer la irrigación de las zonas áridas circundantes a la ciudad de Ayacucho, con aguas provenientes del río Cachi”. Estado situacional del proyecto especial Río Cachi, Informe de la ALA Ayacucho, 2011.

Figura 3.10: Canal principal, Proyecto Especial Río Cachi



Fuente: Tomado de Gobierno Regional de Ayacucho (2016)

comprende la captación, almacenamiento, conducción y trasvase de las aguas de la cuenca del Río Cachi y canales laterales de distribución que se han ubicado de acuerdo a las necesidades de riego, procurando abarcar la mayor cantidad de terrenos cultivables.

Tabla 3.3: Ubicación Geográfica

Canal Cachi		
Descripción	: Valor	Unidad
Latitud Sur	: 8496865.50	m
Longitud Este	: 563025.50	m
Elevación	: 2760.70	msnm

3.8.2.1.1. Ubicación política La zona del proyecto se encuentra ubicado políticamente en el Distrito de Chuschi y Vinchos que pertenecen a la provincia de Cangallo y Huamanga en la Región Ayacucho.

De acuerdo al esquema tradicional del Proyecto Cachi, éste se desarrollaba íntegramente en la provincia de Huamanga del departamento de Ayacucho, en la Sierra Central del Perú, comprendiendo básicamente a cuatro distritos cuales son Vinchos, Santiago de Pischa, San Josa de Tiellas y Socos, aparte de los directamente beneficiados que eran Ayacucho, Carmen

Tabla 3.4: Ubicación Política

Distrito	:	Chuschi y Vinchos
Provincia	:	Cangallo y Huamanga
Región	:	Ayacucho
Localidad	:	Presa Cuchoquesera

Alto y San Juan Bautista, que comprenden la ciudad misma y sus alrededores.

Figura 3.11: Mapa de ubicación nacional y regional

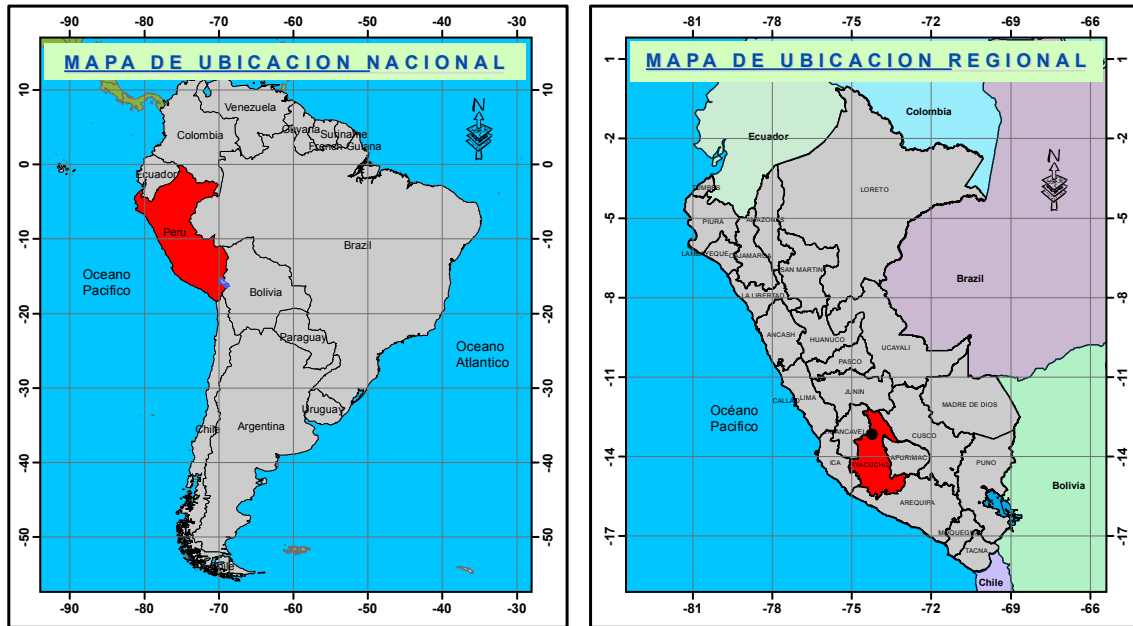
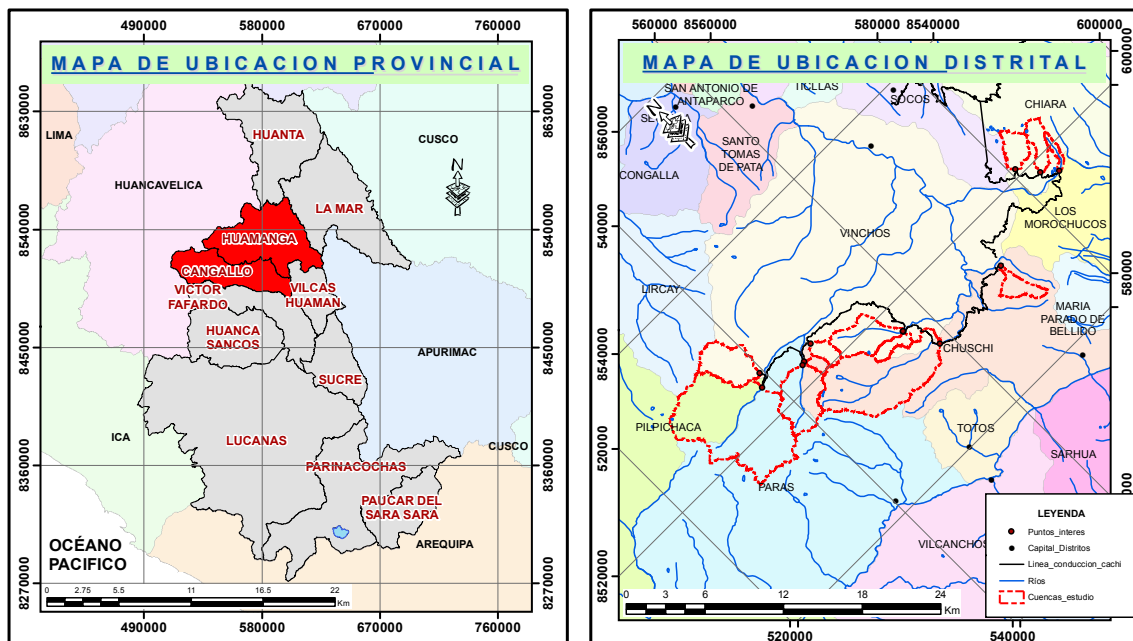


Figura 3.12: Mapa de ubicación provincial y distrital



3.8.2.1.2. Ubicación cartográfica

Tabla 3.5: Ubicación Cartográfica

Projected Coordinate System	: <i>WGS_1984_UTM_Zone_18S</i>
Projection	: <i>Transverse_Mercator</i>
Geographic Coordinate System	: <i>GCS_WGS_1984</i>
Datum	: <i>D_WGS_1984</i>
Prime Meridian	: <i>Greenwich</i>

3.8.2.2. Accesibilidad

Las principales vías de comunicación terrestre de Lima hasta Huamanga - Ayacucho, lo constituye la Panamericana Sur y la carretera de penetración que toma un desvío al Oeste, a la altura de la localidad de San Clemente; a través de la Vía asfaltada hasta Huamanga Vía Libertadores y de ahí se accede por una carretera asfaltada al cruce Vinchos de 35 Km, dando un total de 610 Km, el tiempo recorrido es de aproximadamente de 2.0 horas. en el Cuadro 3.6 se muestra la vía de acceso a Huamanga (Plaza de Armas) y a la zona del Proyecto.

Tabla 3.6: Rutas de Acceso al Proyecto

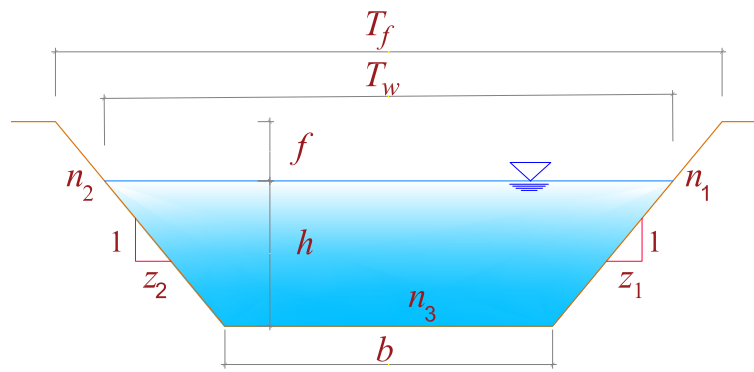
De	A	Distancia (km)	Medio de Transporte	Tiempo (Hr)	Vías de Acceso
Lima	Cruce San Clemente	260	Terrestre	3	Panamericana Sur-Asfaltado
Cruce San Clemente	Huamanga	315	Terrestre	5	Asfaltado
Huamanga	Desvió Rosaspata	40	Terrestre	1.3	Asfaltado
Desvió Rosaspata	Presa Cuchoquesera	21	Terrestre	0.7	Trocha Carrozable

3.8.3. Descripción del canal

La capacidad de conducción del canal principal Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera-Ichucruz es variable de $10.3m^3/s$. a $7.0m^3/s$ de sección trapezoidal revestido con $C.S.fc = 175Kg/cm^2 [e = 10cm.]$, existiendo tramos de canal construidos con mampostería de piedra y conducto rectangular cubierto en zonas puntuales

3.8.3.1. Obras de arte especiales

- Túnel Roculla de 1,000.00 ml. [*]
- Falso túnel de 77.49 ml.
- Sifón Satíca de 319.475 ml [*]

Figura 3.13: Sección trapezoidal


Fuente: Elaboración propia

- Colector Satica de 2,356.463 ml.
- Rápida Ichocruz de 49.8 ml.

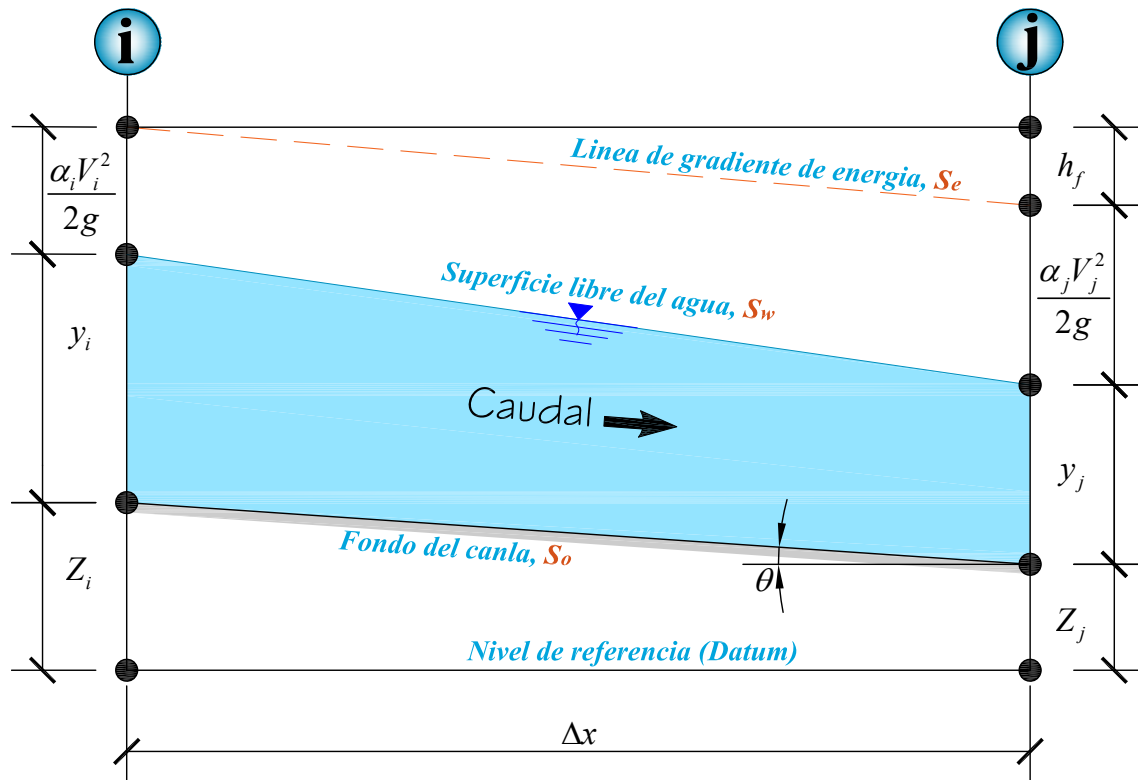
3.8.4. Cálculo del flujo gradualmente variado

Para aplicaciones en hidráulica de canales abiertos, es necesario calcular las condiciones de flujo a superficie libre. Esto referido al cálculo del perfil de la superficie del agua, que son definidos por las elevaciones de la superficie del agua a lo largo del canal para un caudal determinado. Las elevaciones de la superficie del agua se requieren para la planificación, diseño y operación de canales abiertos para evaluar los efectos de varios trabajos de ingeniería y modificaciones de canales. Aquí se presentará con detalle los métodos para calcular el flujo gradualmente variado mediante el método del paso estándar. Los cálculos en el HEC-RAS, incluyen el computo mediante análisis matricial.

3.8.4.1. Método del paso estándar

El objetivo es determinar la profundidad del flujo en ubicaciones específicas, a lo largo del canal, para tal fin se puede utilizar el procedimiento descrito en esta sección. De acuerdo con Chow (1959), este método se denomina el método del paso estándar ya que este nombre ha sido ampliamente utilizado. El programa de computadora muy popular HEC-RAS (Originalmente llamado HEC-2), desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU., se basa en este método.

De acuerdo a la Figura 3.14, se conoce el tirante del flujo, y_1 , para una para un caudal específico, Q , en un canal, dado en la sección 1 (distancia x_1); y se quiere determinar el tirante del flujo a la distancia, x_2 (sección 2). Supongamos que se conocen los valores del coeficiente de altura de velocidad y α , en las secciones 1 y 2. Como se conoce y_1 , podemos determinar la velocidad del flujo, V_1 , en la sección 1 para el caudal, Q , a partir de la ecuación de continuidad. Por lo tanto, la altura total, H , en la sección 1 es.

Figura 3.14: Cálculo de la profundidad entee dos secciones


Fuente: Elaboración propia

$$H_1 = z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \quad (3.23)$$

Es conocida. De acuerdo con la ecuación de la energía, la altura total en la sección 2 es

$$H_2 = H_1 - h_f \quad (3.24)$$

Donde h_f = pérdidas de carga (suma de las pérdidas por fricción y forma) entre las secciones 1 y 2. Sustituyendo la expresión por h_f de la ecuación (2.14) en la ecuación (3.24) se obtiene:

$$H_2 = H_1 - \frac{1}{2} (S_{f_1} + S_{f_1}) (x_2 - x_1) \quad (3.25)$$

Sustituyendo en la ecuación (3.25) una expresión para H_2 (similar a la de H_1 en la ecuación (3.23)) y transponiendo todos los términos al lado izquierdo, obtenemos

$$y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2} S_{f_2} (x_2 - x_1) + z_2 - H_1 + \frac{1}{2} S_{f_1} (x_2 - x_1) = 0 \quad (3.26)$$

En esta ecuación, A_2 y S_{f_2} son funciones de y_2 y todas las demás cantidades se conocen o ya

se calcularon en la sección 1. Por lo tanto, y_2 se puede determinar resolviendo la siguiente ecuación algebraica no lineal

$$F(y_2) = y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2}S_{f_2}(x_2 - x_1) + z_2 - H_1 + \frac{1}{2}S_{f_1}(x_2 - x_1) = 0 \quad (3.27)$$

La ecuación 3.27 puede resolverse para y_2 mediante un procedimiento de prueba y error, o utilizando los métodos de Newton-Raphson o de bisección. Henderson (1996) y Chaudhry (2008) utilizaron el método de Newton-Raphson para resolver la ecuación de la energía. Subramanya Subramanya (2013) usó el método de Newton-Raphson para resolver y_2 en canales rectangulares anchos; Paine (1992) utilizó para secciones trapezoidales y Rhodes (1995) para secciones generales. El uso del método de Newton-Raphson se discutirá en esta sección. Para este método, necesitamos una expresión para dF/dy_2 . Esta expresión se puede obtener derivando la ecuación (3.27) con respecto a y_2 , es decir,

$$\frac{dF}{dy_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2}{gA_2^3} \frac{dA_2}{dy_2} + \frac{1}{2}(x_2 - x_1) \frac{d}{dy_2} \left(\frac{Q^2 n^2}{C_o^2 A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \quad (3.28)$$

El último término de esta ecuación se puede evaluar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dy_2} \left(\frac{Q^2 n^2}{C_o^2 A_2^2 R_2^{4/3}} \right) &= \frac{-2Q^2 n^2}{C_o^2 A_2^3 R_2^{4/3}} \frac{dA_2}{dy_2} - \frac{4}{3} \frac{Q^2 n^2}{C_o^2 A_2^3 R_2^{4/3}} \frac{dR_2}{dy_2} \\ &= \frac{-2Q^2 n^2}{C_o^2 A_2^3 R_2^{4/3}} \frac{B_2}{A_2} - \frac{4}{3} \frac{Q^2 n^2}{C_o^2 A_2^3 R_2^{4/3}} \frac{1}{R_2} \frac{dR_2}{dy_2} \\ &= -2 \left(S_{f_2} \frac{B_2}{A_2} + \frac{2}{3} \frac{S_{f_2}}{R_2} \frac{dR_2}{dy_2} \right) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Tener en cuenta que se ha reemplazado dA_2/dy_2 por B_2 en esta ecuación. Sustituyendo la ecuación (3.29) en la ecuación (3.28), obtenemos

$$\frac{dF}{dy_2} = 1 - \frac{\alpha_2 Q^2 B_2}{gA_2^3} - (x_2 - x_1) \left(S_{f_2} \frac{B_2}{A_2} + \frac{2}{3} \frac{S_{f_2}}{R_2} \frac{dR_2}{dy_2} \right) \quad (3.30)$$

La derivada dR_2/dy_2 del último término de esta ecuación puede evaluarse como sigue.

$$\frac{dR_2}{dy_2} = \frac{d}{dy_2} \left(\frac{A_2}{P_2} \right) = \frac{1}{P_2} \frac{dA_2}{dy_2} + A_2 \frac{d}{dy_2} \left(\frac{1}{P_2} \right) = \frac{B_2}{P_2} - \frac{A_2}{P_2^2} \frac{dP_2}{dy_2} \quad (3.31)$$

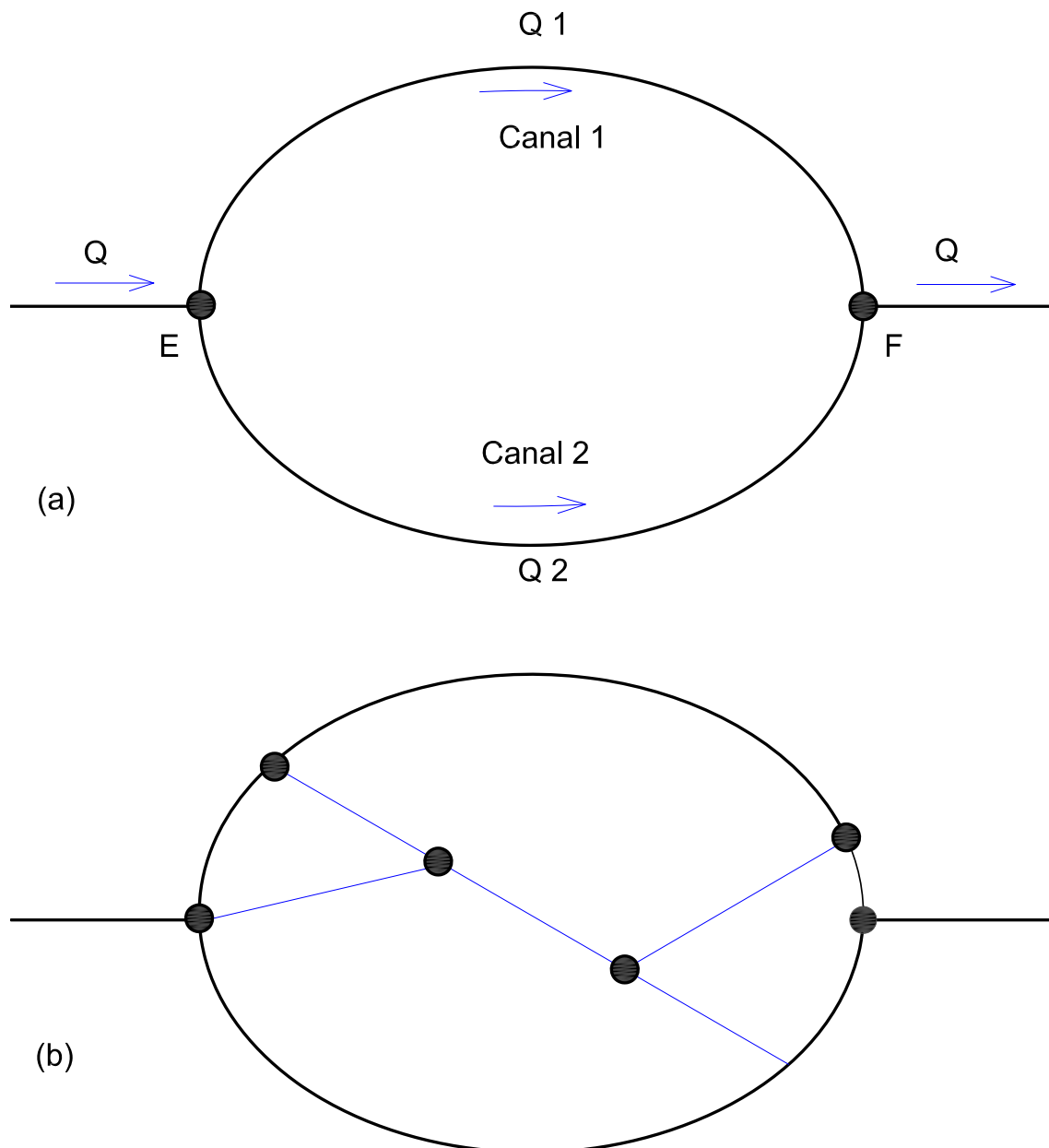
3.8.4.2. Análisis de la solución simultánea

Los procedimientos presentados en la sección anterior son válidos para un solo canal o para un sistema de dos canales en serie. Sin embargo, calcular los flujos gradualmente variados en un sistema de canales o en una red de canales (Figura 3.15) mediante estos métodos es difícil, mas no imposible.

Para ilustrar esto, consideremos el análisis de un sistema simple de canales paralelos como se muestra en la Figura 3.15a. Primero suponemos una distribución de caudal, Q_1 y Q_2 , en ambos canales para que se satisfaga la ecuación de continuidad, es decir, $Q = Q_1 + Q_2$. Luego, los perfiles de la superficie del agua se calculan en el canal 1 para Q_1 y en el canal 2 para Q_2 desde el punto de separación (punto E) hasta el punto de unión (punto F). La elevación de la línea del gradiente de energía en los tres canales en la unión E debe ser la misma para los niveles de agua calculados y las velocidades de flujo correspondientes. Esto corresponde a niveles de agua iguales en todos los canales en la unión si se desprecian las pérdidas en la unión y la diferencia en las alturas de velocidad en diferentes canales en la unión (Chaudhry, 2008). Si la elevación de la línea de gradiente de energía no es la misma, se seleccionan otros valores de Q_1 y Q_2 y se repite todo el procedimiento. Está claro que este es un proceso que requiere mucho tiempo; para una red compleja es muy difícil, mas no imposible, de aplicar.

Según Chaudhry (2008), un sistema de canales puede clasificarse como en serie, paralelo, ramificado o en red. Estos términos se toman prestados de la teoría de circuitos en ingeniería eléctrica. En un sistema en serie, el flujo de salida de un canal es flujo de entrada al siguiente y en un sistema en paralelo, los canales están conectados en un bucle de manera que el flujo se divide en el punto de separación y se combina en el punto de unión, como se muestra en la Figura 3.15a.

Se puede calcular flujos gradualmente variados en canales simples o en serie o en redes de canales directamente usando el enfoque de solución simultánea presentado en esta sección. Este enfoque utiliza el procedimiento iterativo de Newton-Raphson para la solución de un sistema de ecuaciones no lineales y calcula las condiciones de flujo en toda la red simultáneamente (Epp & Fowler, 1970). Basado en este método, Wylie (1972) presentó un algoritmo para sistemas de canales. Chaudhry y Schulte (1986) utilizaron este método para analizar sistemas que tienen dos canales paralelos; luego, Schulte y Chaudhry (1987) extendieron este concepto para su aplicación a las redes de canales. Este procedimiento de solución se presenta en esta sección. A diferencia del algoritmo presentado por Wylie (1972), las ecuaciones gobernantes son en términos de las variables comúnmente utilizadas, por calcular, tirantes de flujo y caudales. Por lo tanto, esta formulación es más fácil de entender y aplicar. Además, se presenta un procedimiento para numerar los nodos de un sistema paralelo de manera que se obtenga una matriz banda. Esto reduce el tiempo de cálculo y los requisitos

Figura 3.15: Sistema de canales en paralelo y red de canales


Fuente: Adaptado de Chaudhry (2008)

de almacenamiento y mejora la precisión de los resultados calculados.

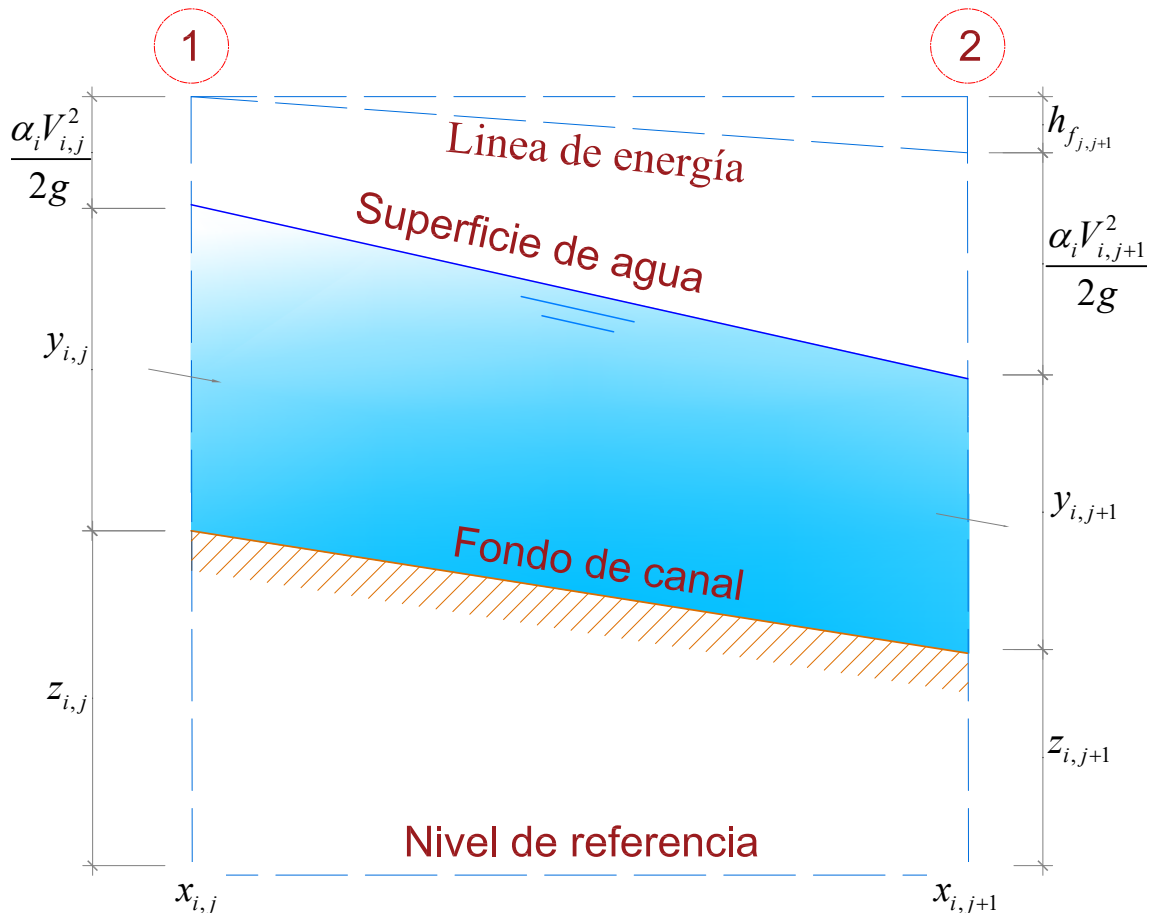
3.8.4.2.1. Ecuaciones gobernantes Se usará dos subíndices para designar variables en diferentes secciones del canal: el primer subíndice se refiere al número del canal, mientras que el segundo subíndice se refiere al número de la sección en ese canal. Por ejemplo, $y_{i,j}$ se refiere al tirante del flujo en la sección j del canal i . La única excepción a esta regla es el término de pérdida de carga, $h_{f,j,j+1}$, que implica las pérdidas entre las secciones j y $j + 1$.

Con referencia al perfil longitudinal de un canal que se muestra en la Figura 3.16, la ecuación

de energía para la longitud del canal (comúnmente denominada tramo) entre las secciones j y $j + 1$ del canal i puede escribirse como

$$z_{i,j} + y_{i,j} + \alpha_{i,j} \frac{Q_{i,j}^2}{2gA_{i,j}^2} = z_{i,j+1} + y_{i,j+1} + \alpha_{i,j+1} \frac{Q_{i,j+1}^2}{2gA_{i,j+1}^2} + h_{f,j,j+1} \quad (3.32)$$

Figura 3.16: Esquema de definición



Fuente: Adaptado de Chaudhry (2008)

Como aproximación, las pérdidas de carga entre las secciones j y $j + 1$ del canal i se pueden calcular utilizando el promedio de las pendientes de fricción en las secciones j y $j + 1$. Reemplazando la velocidad del flujo V por la descarga, Q /Área mojada A , la ecuación (3.32) se convierte en

$$z_{i,j} + y_{i,j} + \alpha_{i,j} \frac{Q_{i,j}^2}{2gA_{i,j}^2} = z_{i,j+1} + y_{i,j+1} + \alpha_{i,j+1} \frac{Q_{i,j+1}^2}{2gA_{i,j+1}^2} + \frac{1}{2} (x_{i,j+1} - x_{i,j}) \left(\frac{Q_{i,j+1}^2 n_{i,j+1}^2}{C_o^2 A_{i,j+1}^2 R_{i,j+1}^{1.333}} + \frac{Q_{i,j}^2 n_{i,j}^2}{C_o^2 A_{i,j}^2 R_{i,j}^{1.333}} \right) \quad (3.33)$$

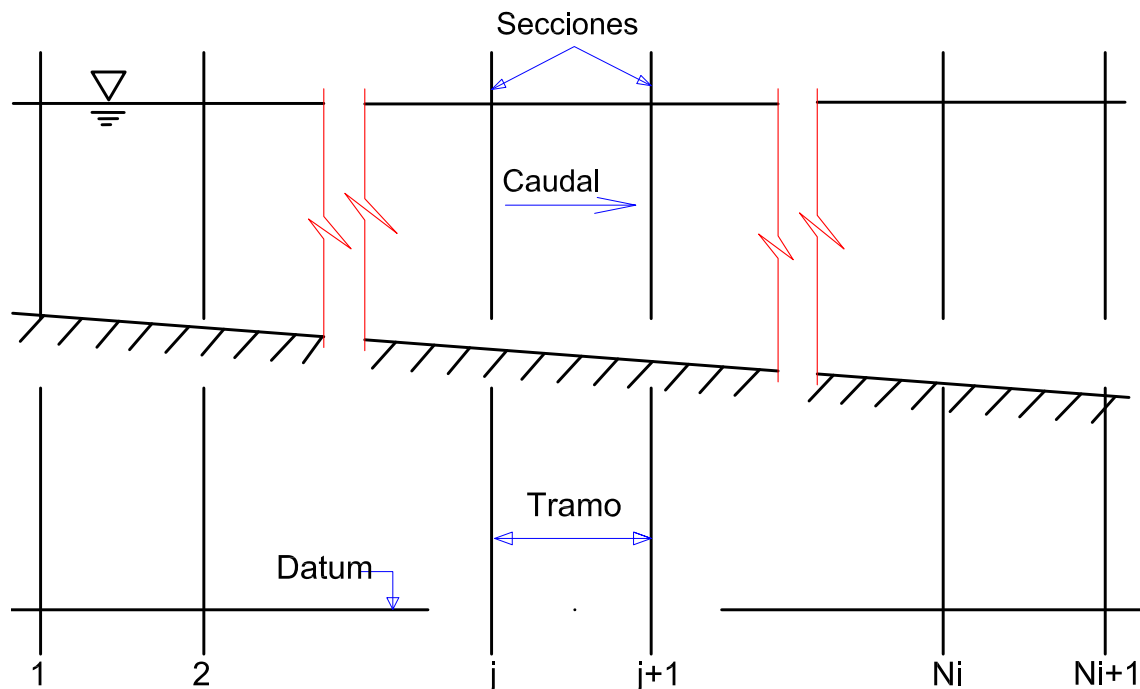
La segunda ecuación gobernante es la ecuación de continuidad.

$$Q_{i,j} = Q_{i,j+1} \quad (3.34)$$

La ecuación (3.34) es válida si no hay entrada o salida lateral entre las secciones j y $j + 1$ (Figura 3.16). Aunque esta ecuación puede parecer trivial en esta etapa, su inclusión en el sistema de ecuaciones gobernantes se vuelve importante al calcular los perfiles de la superficie del agua en sistemas de ramificación o redes de canales. Esto se hará evidente cuando analicemos más adelante el análisis de los sistemas de ramificación y las redes de canales.

3.8.4.2.2. Canales simples y en serie En un sistema de canales en serie, se conectan varios canales de manera que el flujo de salida de un canal es el flujo de entrada al siguiente. Cada canal puede tener propiedades diferentes, por ejemplo, sección transversal, Manning n , pendiente del fondo, etc. Para facilitar la comprensión del procedimiento computacional, consideramos primero un canal único y luego un sistema de canales en serie antes de estudiar el caso de las redes de canales.

Figura 3.17: Tramos del canal



Fuente: Adaptado de Chaudhry (2008)

La Figura 3.17 muestra el perfil longitudinal del canal i . El canal se subdivide en N_i tramos, donde i se refiere al número de canal. Si la primera sección tiene el número 1, entonces la última sección será $N_i + 1$. Para un solo canal, las ecuaciones de continuidad no necesitan incluirse en el sistema de ecuaciones, ya que la descarga en todas las secciones es la misma, es decir,

$$Q_{i,1} = Q_{i,2} = \dots = Q_{i,N_i+1} = Q_i \quad (3.35)$$

Los valores de α y n son generalmente los mismos en diferentes secciones de un canal en particular, aunque pueden ser diferentes para diferentes canales. Por lo tanto, usaremos solo un subíndice que representa el número de canal con estas variables. Al escribir la ecuación de energía (ecuación 3.33) para cada uno de los tramos de N_i , obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\begin{aligned} F_{i,1} &= y_{i,2} - y_{i,1} + z_{i,2} - z_{i,1} + \frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_i Q_i^2}{A_{i,2}^2} - \frac{\alpha_i Q_i^2}{A_{i,1}^2} \right) \\ &\quad + \frac{1}{2} (x_{i,2} - x_{i,1}) \left(\frac{Q_i^2 n_i^2}{C_o^2 A_{i,2}^2 R_{i,2}^{1.333}} + \frac{Q_i^2 n_i^2}{C_o^2 A_{i,1}^2 R_{i,1}^{1.333}} \right) = 0 \\ F_{i,2} &= y_{i,3} - y_{i,2} + z_{i,3} - z_{i,2} + \frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_i Q_i^2}{A_{i,3}^2} - \frac{\alpha_i Q_i^2}{A_{i,2}^2} \right) \\ &\quad + \frac{1}{2} (x_{i,3} - x_{i,2}) \left(\frac{Q_i^2 n_i^2}{C_o^2 A_{i,3}^2 R_{i,3}^{1.333}} + \frac{Q_i^2 n_i^2}{C_o^2 A_{i,2}^2 R_{i,2}^{1.333}} \right) = 0 \\ &\quad \vdots \\ F_{i,N_i} &= y_{i,N_i+1} - y_{i,N_i} + z_{i,N_i+1} - z_{i,N_i} + \frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_i Q_i^2}{A_{i,N_i+1}^2} - \frac{\alpha_i Q_i^2}{A_{i,N_i}^2} \right) \\ &\quad + \frac{1}{2} (x_{i,N_i+1} - x_{i,N_i}) \left(\frac{Q_i^2 n_i^2}{C_o^2 A_{i,N_i+1}^2 R_{i,N_i+1}^{1.333}} + \frac{Q_i^2 n_i^2}{C_o^2 A_{i,N_i}^2 R_{i,N_i}^{1.333}} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Dado que A y R son funciones de las propiedades de la sección transversal del canal y la profundidad del flujo, las ecuaciones anteriores son solo funciones del tirante. Sin embargo, tenemos N_i ecuaciones y N_{i+1} incógnitas. Por lo tanto, se necesita una ecuación más para obtener una solución única del sistema de ecuaciones. Esta ecuación adicional es proporcionada por la condición final. Para flujos subcríticos, la condición final es el tirante especificado, y_d , en el extremo aguas abajo del canal, es decir,

$$F_{i,N_i+1} = y_{i,N_i+1} - y_d = 0 \quad (3.37)$$

De manera similar, la condición final para el flujo supercrítico es el tirante del flujo especificado, y_u , en el extremo aguas arriba del canal, es decir,

$$F_{i,1} = y_{i,1} - y_u = 0 \quad (3.38)$$

Aquí se analizarán la solución de un sistema que tiene un flujo subcrítico, es decir, las ecuaciones (3.36) y (3.37) describen las condiciones de flujo en el sistema de canales. Estas ecuaciones no lineales ahora pueden resolverse simultáneamente utilizando el método de Newton-Raphson de la siguiente manera. Nuestro interés es determinar las correcciones $\Delta y_{i,j}$ tal que $y_{i,j}^{(1)} = y_{i,j}^{(0)} + \Delta y_{i,j}$, siendo la mejor estimación para el tirante del flujo en la sección (i, j) , donde $y_{i,j}^{(0)}$ ($j = 1, 2, \dots, N_{i+1}$) son las estimaciones iniciales para los tirantes del flujo (el superíndice entre paréntesis indica el número de la iteración).

Al expandir las ecuaciones (3.36) y (3.37) en series de Taylor y escribiendo el sistema de ecuaciones en forma matricial, obtenemos

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_{i,1}}{\partial y_{i,1}} & \frac{\partial F_{i,1}}{\partial y_{i,2}} & \cdots & \frac{\partial F_{i,1}}{\partial y_{i,N_{i+1}}} \\ \frac{\partial F_{i,2}}{\partial y_{i,1}} & \frac{\partial F_{i,2}}{\partial y_{i,2}} & \cdots & \frac{\partial F_{i,2}}{\partial y_{i,N_{i+1}}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial F_{i,N_{i+1}}}{\partial y_{i,1}} & \frac{\partial F_{i,N_{i+1}}}{\partial y_{i,2}} & \cdots & \frac{\partial F_{i,N_{i+1}}}{\partial y_{i,N_{i+1}}} \end{bmatrix}^{(0)} \begin{pmatrix} \Delta y_{i,1} \\ \Delta y_{i,2} \\ \vdots \\ \Delta y_{i,N_{i+1}} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} F_{i,1} \\ F_{i,2} \\ \vdots \\ F_{i,N_{i+1}} \end{pmatrix}^{(0)} \quad (3.39)$$

En esta ecuación, el superíndice 0 entre paréntesis indica que las funciones $F_{i,j}$ y sus derivadas parciales se evalúan para el tirante del flujo estimado, $y_{i,j}^{(0)}$. La matriz jacobiana (matriz de derivadas parciales) del sistema anterior tiene una característica importante. Para cada ecuación de energía, todas las derivadas parciales son cero, excepto la derivada parcial con respecto al tirante del flujo en la sección aguas abajo y con respecto al tirante en la siguiente sección. Por ejemplo, solo las derivadas parciales con respecto a $y_{i,j}$ y $y_{i,j+1}$ de la ecuación de energía para el tramo j entre la sección j y $j + 1$ no son cero. Estas derivadas parciales distintas de cero son

$$\frac{\partial F_{i,j}}{\partial y_{i,j+1}} = 1 - Q_i^2 \left(\frac{\alpha_i B_{i,j+1}}{g A_{i,j+1}^3} + \frac{2n_i^2 (x_{i,j+1} - x_{i,j}) dR_{i,j+1}}{3C_o^2 A_{i,j+1}^2 R_{i,j+1}^{2.33} dy_{i,j+1}} + \frac{n_i^2 B_{i,j+1} (x_{i,j+1} - x_{i,j})}{C_o^2 A_{i,j+1}^3 R_{i,j+1}^{1.33}} \right) \quad (3.40)$$

Donde el valor de dR/dy depende de la forma de la sección transversal del canal. Todas las derivadas parciales distintas de cero se encuentran cerca de la diagonal principal de la matriz jacobiana. Por lo tanto, la matriz resultante tiene bandas, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix}
 \frac{\partial F_{i,1}}{\partial y_{i,1}} & \frac{\partial F_{i,1}}{\partial y_{i,2}} & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\
 0 & \frac{\partial F_{i,2}}{\partial y_{i,2}} & \frac{\partial F_{i,2}}{\partial y_{i,3}} & 0 & \cdots & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \frac{\partial F_{i,3}}{\partial y_{i,3}} & \frac{\partial F_{i,3}}{\partial y_{i,4}} & \cdots & 0 & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial F_{k,N_i+1}}{\partial y_{k,N_i}} & \frac{\partial F_{k,N_i+1}}{\partial y_{k,N_i+1}}
 \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

Este jacobiano en particular tiene dos elementos diagonales distintos de cero y se denomina jacobiano de ancho de banda dos. La ventaja de tener una matriz con bandas de este tipo es que la memoria de la computadora requerida para almacenar sus elementos y el tiempo de cómputo requerido para invertirla se reducen significativamente. Además, la mayoría de los sistemas informáticos tienen subrutinas estándar para la inversión de matrices con bandas.

El algoritmo de solución es el siguiente: Las funciones $F_{i,j}$ (ecuación (3.36)) y las derivadas parciales del jacobiano en bandas (ecuaciones (3.40) y (3.41)) se calculan para los tirantes estimados del flujo. En lugar del jacobiano de la ecuación (3.39), el jacobiano con bandas de la ecuación (3.41), y el sistema se resuelve para las correcciones, $\Delta y_{i,j}$, ($j = 1, 2, \dots, N_{i+1}$). Entonces, los nuevos tirantes del flujo se calculan con:

$$y_{i,j}^{(1)} = y_{i,j}^{(0)} + \Delta y_{i,j} \quad (3.42)$$

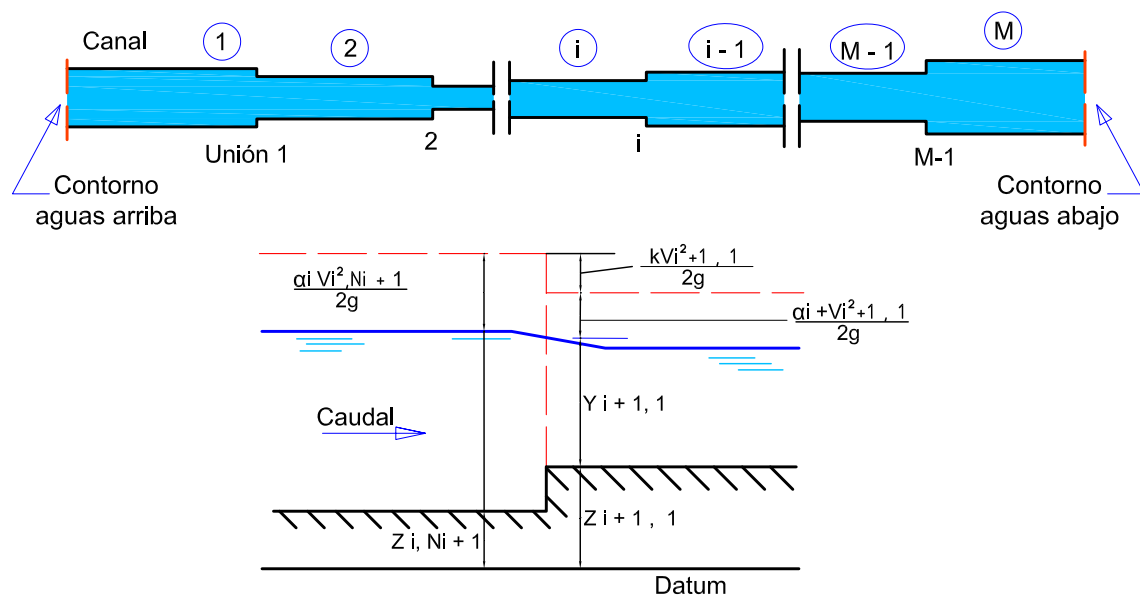
Si el valor absoluto de cada una de estas correcciones, $\Delta y_{i,j}$, es menor que una tolerancia especificada, entonces las profundidades de flujo, $y_{i,j}^{(1)}$ calculadas a partir de la ecuación (3.42) son la solución deseada. De lo contrario, $y_{i,j}^{(0)}$ se igualan a $y_{i,j}^{(1)}$, y se repite el procedimiento descrito anteriormente hasta obtener una solución aceptable. Se necesitan buenas estimaciones de los tirantes iniciales del flujo para una rápida convergencia de las iteraciones. La profundidad especificada como condición final puede especificarse como la estimación inicial de las profundidades de flujo en diferentes secciones del sistema de canales.

Analicemos ahora cómo analizar un sistema en serie que tiene M canales en serie (Figura 3.18). Primero, escribimos las ecuaciones gobernantes para todos los M canales y luego las resolvemos simultáneamente siguiendo el procedimiento anterior.

Tenemos $\sum_{i=1}^M (N_i + 1)$ secciones en M canales. Por lo tanto, necesitamos tantas ecuaciones para determinar los tirantes en estas secciones. Dado que el caudal tiene el mismo valor en todos los tramos, no lo incluimos como incógnita. Por lo tanto, no tenemos que incluir la ecuación de continuidad en las ecuaciones gobernantes.

Al escribir la ecuación de energía para todos los tramos del sistema, tendremos $\sum_{i=1}^M (N_i)$ ecuaciones. Además, hay $M - 1$ uniones de canales. Para cada una de estas uniones, también

Figura 3.18: Canales en serie



Fuente: Adaptado de Chaudhry (2008)

podemos escribir la ecuación de energía. Por ejemplo, esta ecuación para la unión del canal i e $i + 1$ es

$$z_{i, N_i+1} + y_{i, N_i+1} + \frac{V_{i, N_i+1}^2}{2g} = z_{i+1, 1} + y_{i+1, 1} + (1 + k) \frac{V_{i+1, 1}^2}{2g} \quad (3.43)$$

donde k = coeficiente de pérdidas de carga en la unión. Si las pérdidas en la unión y la diferencia en las alturas de velocidad en la unión son pequeñas, pueden despreciarse en esta ecuación

Así, las ecuaciones de energía para todos los tramos de M canales, las ecuaciones de energía para las $M - 1$ uniones de canales y la condición final proporcionan el número necesario de ecuaciones. Éstas pueden resolverse simultáneamente para determinar las profundidades en todas las secciones del sistema.

3.8.4.2.3. Redes de canales Ahora vamos a discutir cómo analizar las redes de canales (Figura 3.15). En la siguiente discusión sólo consideraremos el flujo subcrítico. Para el flujo supercrítico, surgen restricciones adicionales de las geometrías de los canales en los nodos de ramificación. Consideremos las redes de canales mostradas en la Figura 3.15. El flujo en todos los canales es subcrítico. Además de las profundidades de flujo, tampoco se conocen los caudales en los canales individuales. Por lo tanto, la ecuación de continuidad (Ecuación (3.34)) para cada alcance del canal también se incluye para obtener el número necesario de ecuaciones.

Escribamos la ecuación de energía (Ecuaciones (3.36)) y la ecuación de continuidad (Ecuación

ción (3.34)) para N_i tramos del canal i . El sistema de ecuaciones resultante es

$$\begin{aligned}
 F_{i,1} &= y_{i,2} - y_{i,1} + z_{i,2} - z_{i,1} + \frac{\alpha_i}{2g} \left(\frac{Q_{i,2}^2}{A_{i,2}^2} - \frac{Q_{i,1}^2}{A_{i,1}^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_{i,2} - x_{i,1}) \left(\frac{Q_{i,2}^2 n_{i,2}^2}{C_o^2 A_{i,2}^2 R_{i,2}^{1.333}} + \frac{Q_{i,1}^2 n_{i,1}^2}{C_o^2 A_{i,1}^2 R_{i,1}^{1.333}} \right) = 0 \\
 F_{i,2} &= Q_{i,2} - Q_{i,1} = 0 \\
 F_{i,3} &= y_{i,3} - y_{i,2} + z_{i,3} - z_{i,2} + \frac{\alpha_i}{2g} \left(\frac{Q_{i,3}^2}{A_{i,3}^2} - \frac{Q_{i,2}^2}{A_{i,2}^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_{i,3} - x_{i,2}) \left(\frac{Q_{i,3}^2 n_{i,3}^2}{C_o^2 A_{i,3}^2 R_{i,3}^{1.333}} + \frac{Q_{i,2}^2 n_{i,2}^2}{C_o^2 A_{i,2}^2 R_{i,2}^{1.333}} \right) = 0 \\
 F_{i,4} &= Q_{i,3} - Q_{i,2} = 0 \\
 &\quad \vdots \\
 F_{i,2N_i-1} &= y_{i,N_i+1} - y_{i,N_i} + z_{i,N_i+1} - z_{i,N_i} + \frac{\alpha_i}{2g} \left(\frac{Q_{i,N_i+1}^2}{A_{i,N_i+1}^2} - \frac{Q_{i,N_i}^2}{A_{i,N_i}^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_{i,N_i+1} - x_{i,N_i}) \left(\frac{Q_{i,N_i+1}^2 n_{i,N_i+1}^2}{C_o^2 A_{i,3}^2 R_{i,3}^{1.333}} + \frac{Q_{i,N_i}^2 n_{i,N_i}^2}{C_o^2 A_{i,N_i}^2 R_{i,N_i}^{1.333}} \right) = 0 \\
 F_{i,2N_i} &= Q_{i,N_i+1} - Q_{i,N_i} = 0
 \end{aligned} \tag{3.44}$$

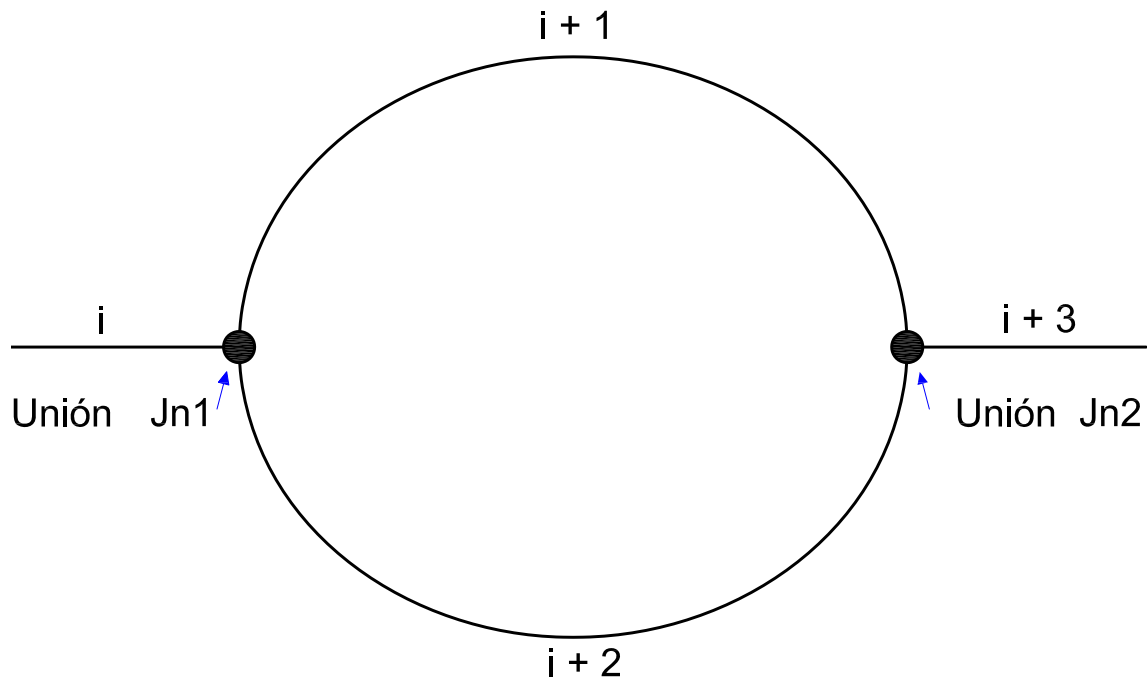
Consideremos el tipo más simple de red que tiene dos canales paralelos, como se muestra en la Figura 3.19. Escribiendo las ecuaciones de energía y continuidad para los tres canales restantes, $i + 1$, $i + 2$, e $i + 3$, de este sistema de la misma manera que las Ecuaciones (3.44) se obtiene un total de $2(N_i + N_{i+1} + N_{i+2} + N_{i+3})$ ecuaciones (aquí los subíndices se refieren al número de canal). Como el tirante del flujo y la tasa de caudal son las dos incógnitas para cada sección, tenemos $2(N_i + N_{i+1} + N_{i+2} + N_{i+3} + 4)$ incógnitas. Por lo tanto, necesitamos ocho ecuaciones adicionales para una solución única. Dos de estas ecuaciones vienen dadas por las condiciones finales. Estas condiciones finales para los flujos subcríticos son los tirantes consignados, y_d , y la caudal especificado, Q_d , en el extremo aguas abajo del canal $i + 3$, es decir,

$$\begin{aligned}
 F_{i+3,2N_{i+3}+1} &= y_{i+3,N_{i+3}+1} - y_d = 0 \\
 F_{i+3,2N_{i+3}+2} &= Q_{i+3,N_{i+3}+1} - Q_d = 0
 \end{aligned} \tag{3.45}$$

Además, las ecuaciones de energía en la unión de los canales i , $i + 1$, e $i + 2$ proporcionan

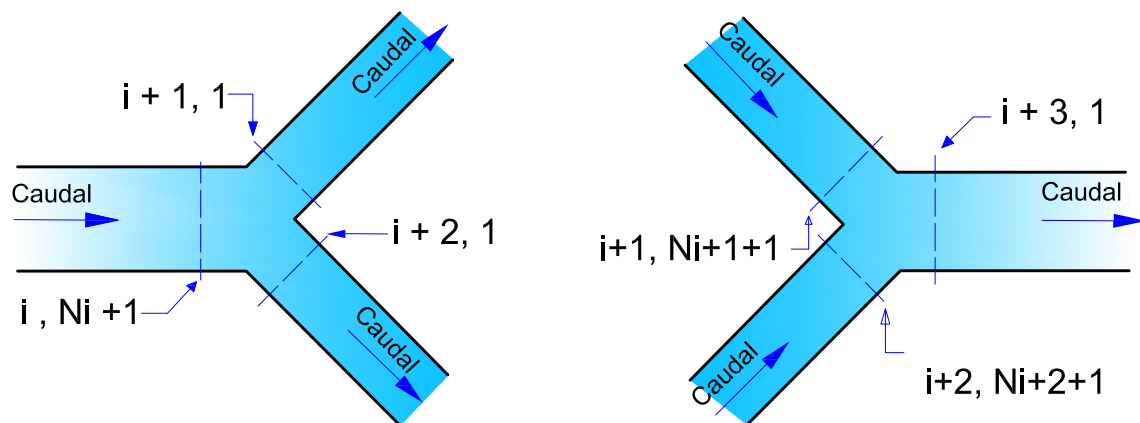
tres ecuaciones. Del mismo modo, se dispone de tres ecuaciones en la unión de los canales $i + 1$, $i + 2$ e $i + 3$ (véase la Figura 3.20).

Figura 3.19: Sistema de canales paralelos



Fuente: Adaptado de Chaudhry (2008)

Figura 3.20: Uniones de canales



Fuente: Adaptado de Chaudhry (2008)

Suponiendo que no hay caudal lateral, la ecuación de continuidad y las dos ecuaciones de energía en la unión, jn_1 , de los canales i , $i + 1$ e $i + 2$ (Figura 3.20a) se pueden escribir como

$$F_{jn_1,1} = Q_{i,N_i+1} - Q_{i+1,1} - Q_{i+2,1} = 0 \quad (3.46)$$

$$F_{jn_1,2} = z_{i,N_i+1} + y_{i,N_i+1} + \frac{Q_{i,N_i+1}^2}{2gA_{i,N_i+1}^2} - z_{i+1,1} - y_{i+1,1} - (1+k) \frac{Q_{i+1,1}^2}{2gA_{i+1,1}^2} = 0 \quad (3.47)$$

$$F_{jn_1,3} = z_{i,N_i+1} + y_{i,N_i+1} + \frac{Q_{i,N_i+1}^2}{2gA_{i,N_i+1}^2} - z_{i+2,1} - y_{i+2,1} - (1+k) \frac{Q_{i+2,1}^2}{2gA_{i+2,1}^2} = 0 \quad (3.48)$$

Donde el subíndice jn_1 identifica la unión aguas arriba. Las pérdidas en la unión y las diferencias en las cabezas de velocidad en la unión pueden despreciarse si son pequeñas. De manera similar, las siguientes tres ecuaciones están disponibles en la unión aguas abajo (Figura 3.20b), en las que usamos el subíndice jn_2 para indicar los valores de la unión.

$$F_{jn_2,1} = Q_{i+3,1} - Q_{i+1,N_{i+1}+1} - Q_{i+2,N_{i+2}+1} = 0 \quad (3.49)$$

$$F_{jn_2,2} = z_{i+1,N_{i+1}+1} + y_{i+1,N_{i+1}+1} + \frac{Q_{i+1,N_{i+1}+1}^2}{2gA_{i+1,N_{i+1}+1}^2} - z_{i+3,i} - y_{i+3,1} - (1+k) \frac{Q_{i+3,1}^2}{2gA_{i+3,1}^2} = 0 \quad (3.50)$$

$$F_{jn_2,3} = z_{i+2,N_{i+2}+1} + y_{i+2,N_{i+2}+1} + \frac{Q_{i+2,N_{i+2}+1}^2}{2gA_{i+2,N_{i+2}+1}^2} - z_{i+3,i} - y_{i+3,1} - (1+k) \frac{Q_{i+3,1}^2}{2gA_{i+3,1}^2} = 0 \quad (3.51)$$

Para redes complejas (Fig. 3.15b), las ecuaciones. 6-58 a 6-60 o Ecs. 6-61 a 6-63 se incluyen para la bifurcación de tres canales; y ecuación 6-54 se incluye para una unión en serie de dos canales.

Ahora, el sistema de ecuaciones se resuelve simultáneamente de la siguiente manera. Primero estimamos $y_{l,j}^{(0)}$ así como $Q_{l,j}^{(0)}$, ($l = i, i+1, \dots, i+3$; $j = 1, 2, \dots, N_i+1$). Se puede asumir valores iniciales razonables para los tirantes del flujo estableciendo todos ellos iguales a la profundidad aguas abajo especificada como la condición final. Es deseable satisfacer la continuidad en cada nodo eligiendo estimaciones de descarga apropiadas, así como las respectivas direcciones de flujo. Sin embargo, se obtiene una solución correcta incluso si las estimaciones iniciales no satisfacen la condición de continuidad, aunque la convergencia en este caso es más lenta. Para tener en cuenta el flujo inverso, es decir, la dirección del flujo opuesta a la supuesta, la ecuación de energía se puede escribir como

$$F_{i,k} = y_{i,j+1} - y_{i,j} + z_{i,j+1} - z_{i,j} + \frac{\alpha_i}{2g} \left(\frac{Q_{i,j+1} |Q_{i,j+1}|}{A_{i,j+1}^2} - \frac{Q_{i,j} |Q_{i,j}|}{A_{i,j}^2} \right) + \frac{1}{2} (x_{i,j+1} - x_{i,j}) \left(\frac{Q_{i,j+1}^2 n_{i,j+1}^2}{C_o^2 A_{i,j+1}^2 R_{i,j+1}^{1.333}} + \frac{Q_{i,j}^2 n_{i,j}^2}{C_o^2 A_{i,j}^2 R_{i,j}^{1.333}} \right) = 0 \quad (3.52)$$

Donde $Q_{i,j}^2$ se sustituye por $Q_{i,j} |Q_{i,j}|$ para considerar el signo correcto para el término de pérdida de carga.

Expandiendo en serie de Taylor, un sistema matricial similar a la ecuación (3.36) se obtiene. Para cada ecuación de energía, ahora hay cuatro derivadas parciales distintas de cero, por conocer, las derivadas parciales con respecto al tirante del flujo del flujo y con respecto a la descarga en la sección en consideración, así como las derivadas parciales con respecto a las variables correspondientes para la sección adyacente. Así, para una ecuación de energía $F_{i,k}$ entre los tramos j y $j + 1$ del canal i , se obtienen las siguientes derivadas parciales distintas de cero:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{i,k}}{\partial y_{i,j}} &= -1 + Q_{i,j}^2 \left(\frac{\alpha_i B_{i,j}}{g A_{i,j}^3} - \frac{2n_i^2 (x_{i,j+1} - x_{i,j})}{3C_o^2 A_{i,j}^2 R_{i,j}^{2.333}} \frac{dR_{i,j}}{dy_{i,j}} - \frac{n_i^2 B_{i,j} (x_{i,j+1} - x_{i,j})}{C_o^2 A_{i,j}^3 R_{i,j}^{1.333}} \right) = 0 \\ \frac{\partial F_{i,k}}{\partial Q_{i,j}} &= 2Q_{i,j} \left(-\frac{\alpha_i}{2g A_{i,j}^2} + \frac{n_i^2 (x_{i,j+1} - x_{i,j})}{2C_o^2 A_{i,j}^2 R_{i,j}^{1.333}} \right) = 0 \\ \frac{\partial F_{i,k}}{\partial y_{i,j+1}} &= -1 + Q_{i,j+1}^2 \left(\frac{\alpha_i B_{i,j+1}}{g A_{i,j+1}^3} - \frac{2n_i^2 (x_{i,j+1} - x_{i,j})}{3C_o^2 A_{i,j+1}^2 R_{i,j+1}^{2.333}} \frac{dR_{i,j+1}}{dy_{i,j+1}} - \frac{n_i^2 B_{i,j+1} (x_{i,j+1} - x_{i,j})}{C_o^2 A_{i,j+1}^3 R_{i,j+1}^{1.333}} \right) = 0 \\ \frac{\partial F_{i,k}}{\partial Q_{i,j+1}} &= 2Q_{i,j+1} \left(-\frac{\alpha_i}{2g A_{i,j+1}^2} + \frac{n_i^2 (x_{i,j+1} - x_{i,j})}{2C_o^2 A_{i,j+1}^2 R_{i,j+1}^{1.333}} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.53)$$

En el que el subíndice k se refiere al número de la ecuación, y su valor no es idéntico al de j . De manera similar, las derivadas parciales distintas de cero para cualquier ecuación de continuidad $F_{i,k+1}$ son aquellas con respecto a las descargas de las secciones adyacentes, es decir,

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{i,k+1}}{\partial Q_{i,j}} &= -1 \\ \frac{\partial F_{i,k+1}}{\partial Q_{i,j+1}} &= 1 \end{aligned} \quad (3.54)$$

Se pueden escribir ecuaciones similares para los tres canales restantes. Las derivadas parcia-

les en las uniones son (los valores entre paréntesis se aplican si se desprecian las pérdidas y la diferencia en las cabezas de velocidad en la unión):

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial F_{jn}}{\partial y_{i,j}} &= -1 + \frac{Q_{i,j}^2 B_{i,j}}{gA_{i,j}^3} & (or = -1) \\
 \frac{\partial F_{jn}}{\partial y_{i,j+1}} &= 1 - \frac{(1+k) Q_{i+1,1}^2 B_{i+1,1}}{gA_{i+1,1}^3} & (or = -1) \\
 \frac{\partial F_{jn}}{\partial Q_{i,j}} &= -\frac{Q_{i,j}}{gA_{i,j}^2} & (or = 0) \\
 \frac{\partial F_{jn}}{\partial Q_{i+1,1}} &= \frac{(1+k) Q_{i+1,1}}{gA_{i+1,1}^2} & (or = 0)
 \end{aligned} \tag{3.55}$$

Las ecuaciones anteriores se escriben asumiendo la dirección del flujo de la sección (i, j) a la sección $(i + 1, 1)$. Si las ecuaciones para una red de canales se arreglan arbitrariamente, entonces todos los elementos distintos de cero de la matriz jacobiana pueden no estar necesariamente en o cerca de la diagonal principal como en el caso de un sistema en serie. Esto da como resultado mayores requisitos de almacenamiento, mayor tiempo de computadora y, muy probablemente, menor precisión. Para la red de canales paralelos que se muestra en la Figura 3.19, estas limitaciones pueden evitarse organizando las ecuaciones gobernantes como se analiza en los párrafos siguientes.

Para cada tramo del canal i , las ecuaciones de energía y continuidad se escriben consecutivamente desde el tramo 1 hasta el tramo $N_i + 1$. Luego, las ecuaciones (3.46) a (3.48), es decir, $F_{jn_1,k}$, ($k = 1, 2, 3$) están escritos para la unión aguas arriba. Se escribe la ecuación de energía entre los tramos 1 y 2 del canal $i + 1$, seguida de la ecuación de energía entre los tramos 1 y 2 del canal $i + 2$. Luego, se escribe la ecuación de continuidad entre los tramos 1 y 2 del canal $i + 1$, seguida de la ecuación de continuidad entre los tramos 1 y 2 del canal $i + 2$.

Estas cuatro ecuaciones se repiten en la misma secuencia alterna para los tramos restantes de los canales paralelos, $i + 1$ y $i + 2$. Para tener tal sistema de numeración, es necesario que el número de secciones en cada uno de los canales paralelos sea el mismo. A continuación, las ecuaciones (3.49) a (3.51) están escritos para la unión aguas abajo, jn_2 . Finalmente, las ecuaciones de energía y continuidad para el canal $i + 3$ se escriben de manera similar a las del canal i . Si las ecuaciones gobernantes se organizan de esta manera, entonces el jacobiano resultante tiene bandas con un ancho de banda de siete. El resto del algoritmo de solución es idéntico al descrito anteriormente. Para un sistema de canales paralelos con M canales paralelos, esta disposición de ecuaciones da como resultado un jacobiano de ancho de banda $3M + 1$.

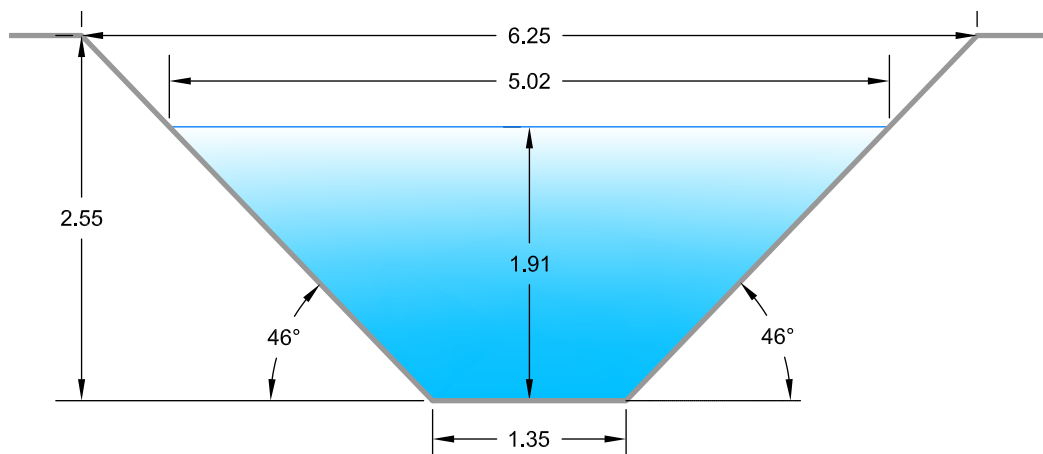
Sin embargo, para redes de canales complejas, no se dispone de ningún procedimiento generalizado para organizar las ecuaciones de gobierno para producir una matriz jacobiana de ancho de banda mínimo. Esto se debe a que el sistema es asimétrico. Sin embargo, al numerar manualmente cada canal y cada nodo desde el extremo ascendente hasta el extremo descendente de manera semisistemática, se puede obtener una matriz de bandas de pequeño ancho de banda. Sin embargo, puede no tener el ancho de banda mínimo. Hay varios procedimientos disponibles para reducir el ancho de banda de las matrices no simétricas (). Sin embargo, generalmente son muy complejos y el esfuerzo requerido para aplicarlos excede el tiempo necesario y el almacenamiento requerido para la solución de un jacobiano no minimizado.

Capítulo IV: Resultados

4.1. Canal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz

El sistema hidráulico Cachi es un proyecto de largo aliento, que actualmente impulsa el desarrollo agropecuario de la zona de influencia del proyecto en las provincias de Huamanga, Cangallo y Huanta. Este proyecto es de propósito múltiple y es la más importante de la Región Ayacucho.

Figura 4.21: Canal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz

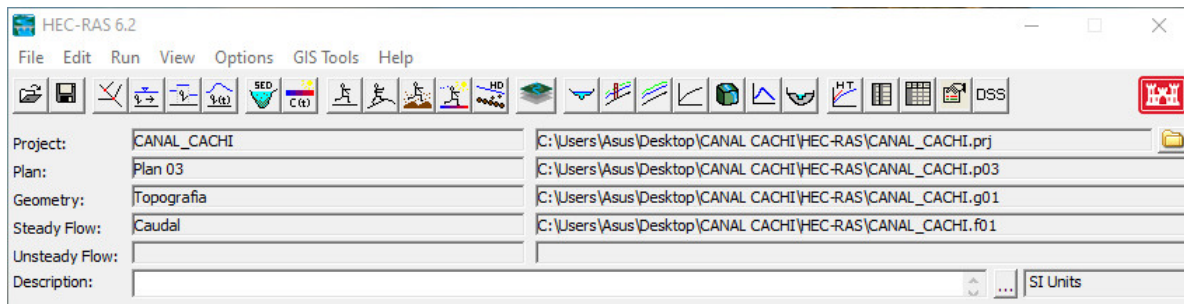


Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se presentan en este trabajo de investigación, corresponden a la simulación del comportamiento hidráulico del canal principal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz. Las dimensiones geométricas de este tramo de canal se muestran en la Figura 4.21.

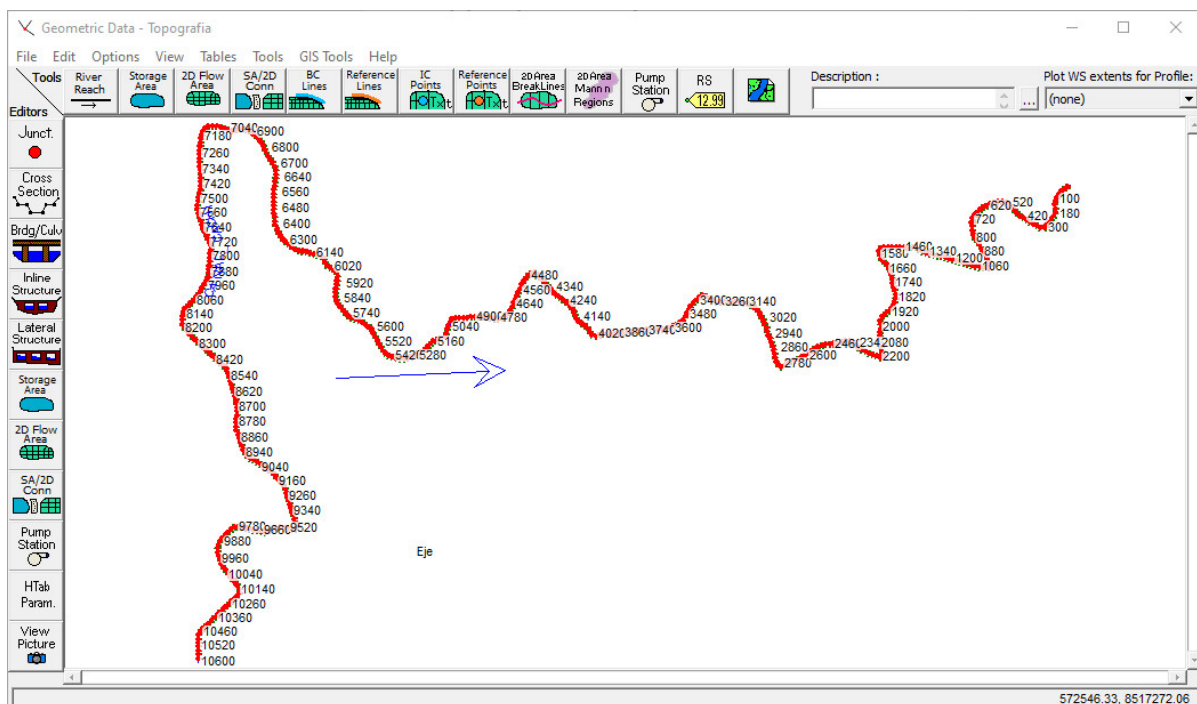
4.2. Análisis de resultados

La simulación del comportamiento hidráulico del Canal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz se ha realizado con el software, que es un paquete integrado de análisis hidráulico, programa en que el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario (GUI). El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme, gradualmente variado, etc.

Figura 4.22: Interfaz principal del programa HEC-RAS


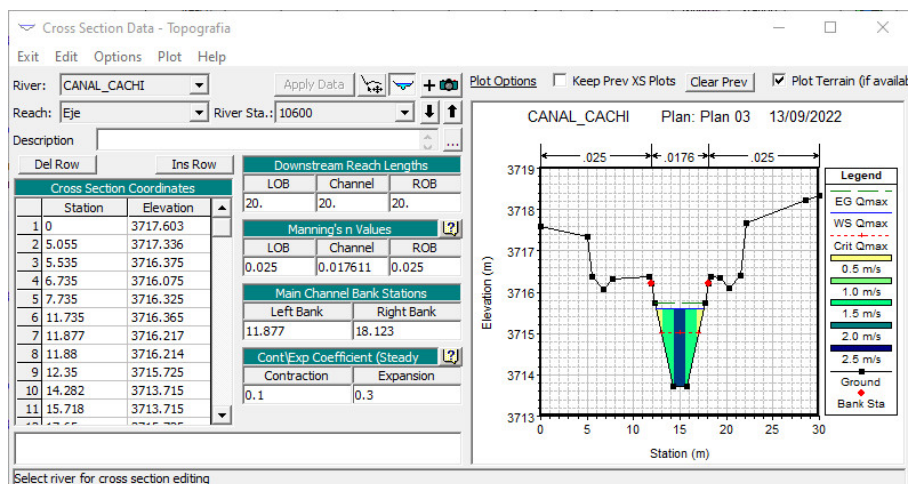
Fuente: Elaboración propia

A través del menú *Edit/Geometric Data* se introduce los datos geométricos del canal. En este caso todos los datos topográficos del canal se ha importado desde el Civil 3D como las coordenadas de la sección transversal, longitud de tramo a tramo, tanto del banco central como de los bancos de inundación, además en esta opción se introducen los coeficientes de rugosidad de Manning y los limites del banco central, como se puede ver en las Figuras 4.23 y 4.24.

Figura 4.23: Datos geométricos del canal


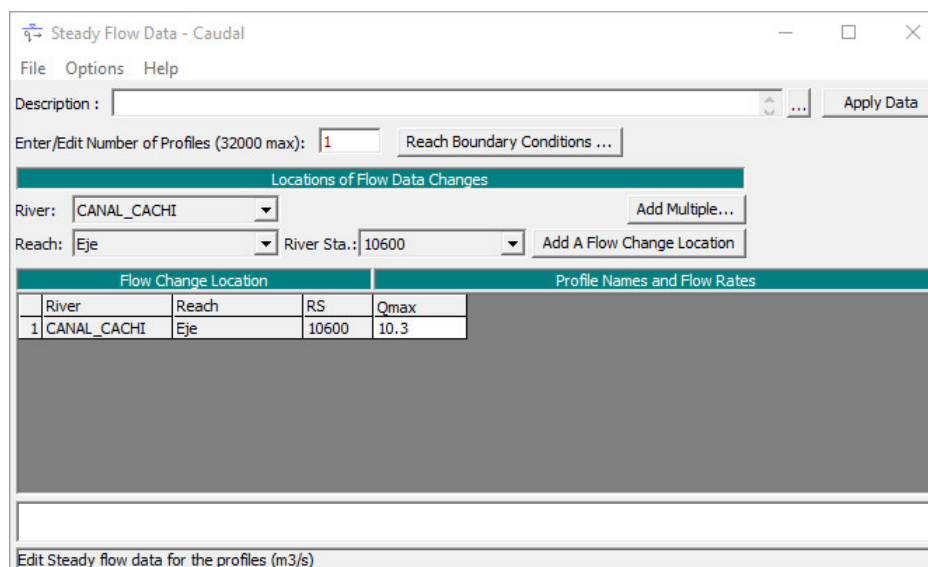
Fuente: Elaboración propia

Luego mediante el menú *Edit/Steady Flow Data* se introducen los datos hidráulicos (flujo permanente) y se puede especificar varios perfiles para distintos caudales (*Enter/Edit Number of Profiles*) y en esta misma ventana se definen las condiciones de contorno (*Reach Boundary Conditions*) que pueden ser de 4 tipos Nivel de agua conocido (Known W.S.), Calado crítico (Critical Depth), Calado normal (Normal Depth) y Curva de descargar (Ra-

Figura 4.24: Datos de la sección transversal


Fuente: Elaboración propia

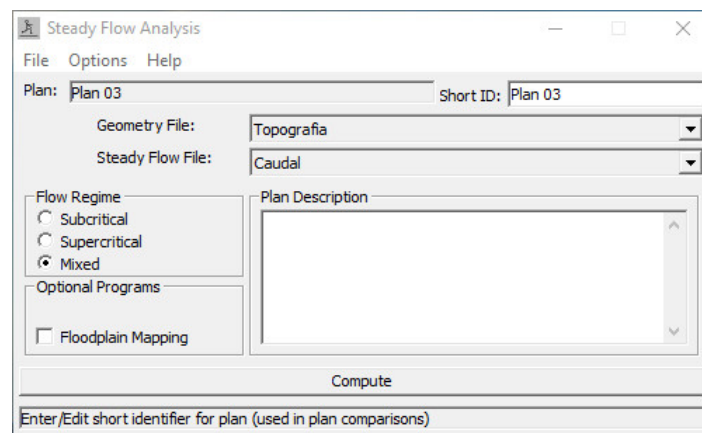
ting Curve) como se puede observar en la Figura 4.25. Las condiciones de borde se pueden introducirse condiciones para todos los perfiles a la vez o uno a uno.

Figura 4.25: Datos del flujo permanente


Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para realizar la simulación del comportamiento hidráulico del Canal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz es necesario crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos. Usando el menú *Run/Steady Flow Analysis* se crea el plan y se escoge el régimen del flujo que puede ser (Subcrítico, Supercrítico o Mixto). Se recomienda usar la opción “Mixed”, pero debemos tener en cuenta que esta opción exige condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo como se aprecia en la Figura 4.26. Ejecutamos la simulación seleccionando “Compute”.

A continuación, se presenta los resultados del presente trabajo de investigación en concor-

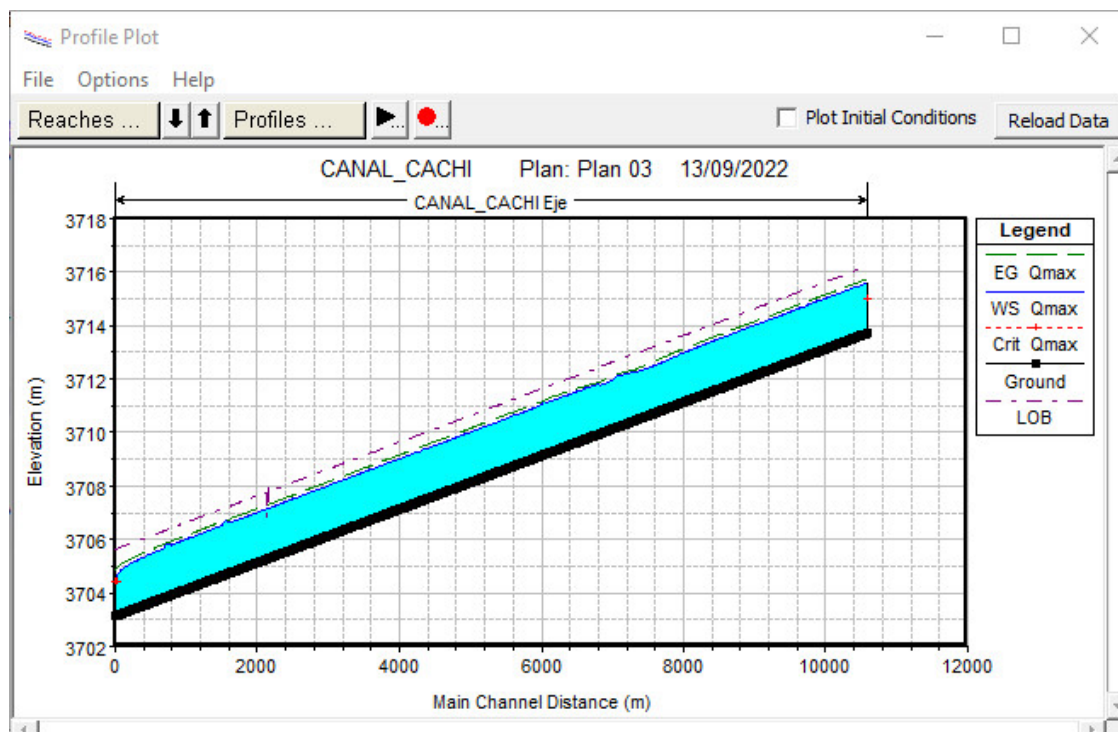
Figura 4.26: Análisis del flujo permanente


Fuente: Elaboración propia

dancia de los objetivos planteados.

4.2.1. Resultados para el objetivo general

Determinar la manera en que el canal principal influye en el comportamiento hidráulico en el Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz, 2021.

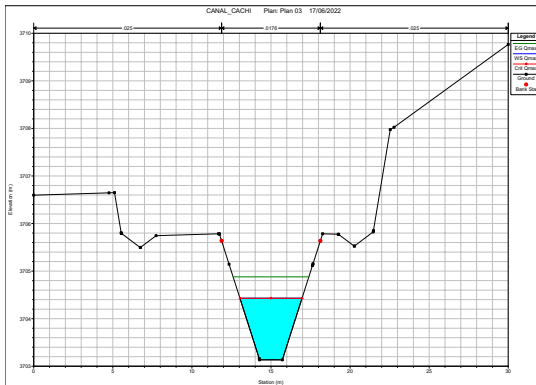
Figura 4.27: Perfil de la superficie libre del agua


Fuente: Elaboración propia

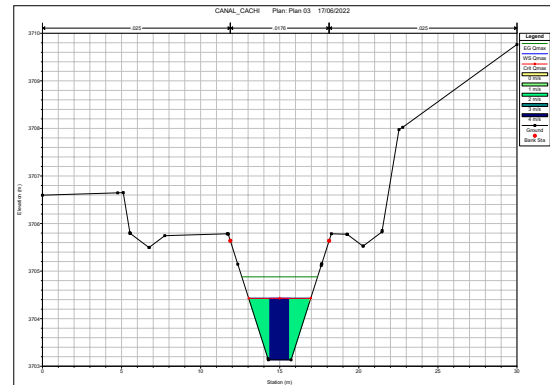
En la Figura 4.27 se muestra el perfil de la superficie libre del agua en todo el canal Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz. Una vez terminado con la simulación se pueden ver los

resultados de todos los parámetros hidráulicos sección por sección o de todo el canal. A continuación se presenta los tirantes y la distribución de velocidades de las secciones mas representativas.

Figura 4.28: Sección 0+20

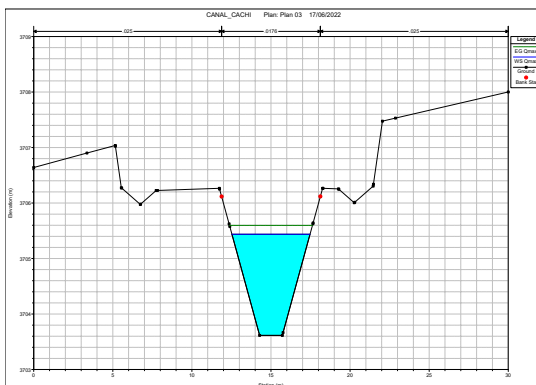


(a) Tirante en la sección

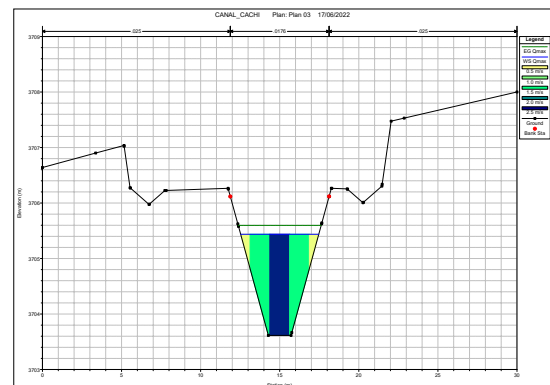


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.29: Sección 0+500

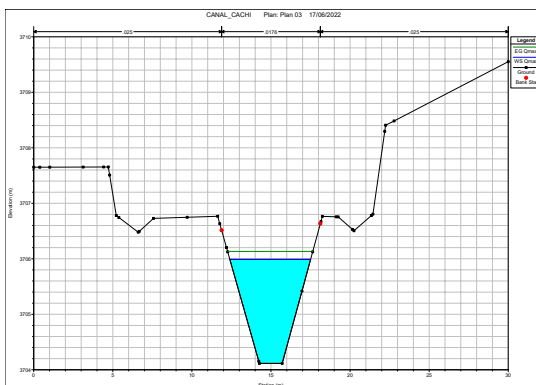


(a) Tirante en la sección

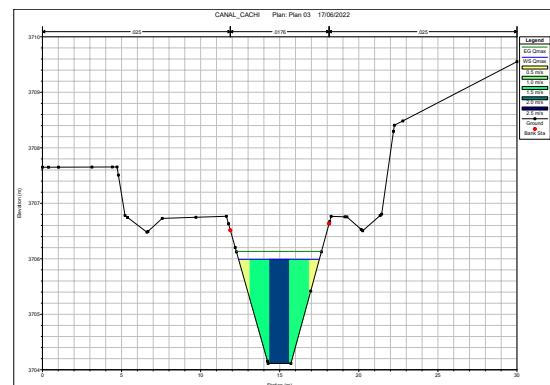


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.30: Sección 1+000

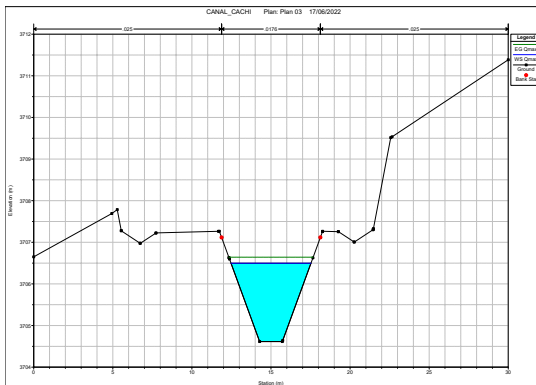


(a) Tirante en la sección

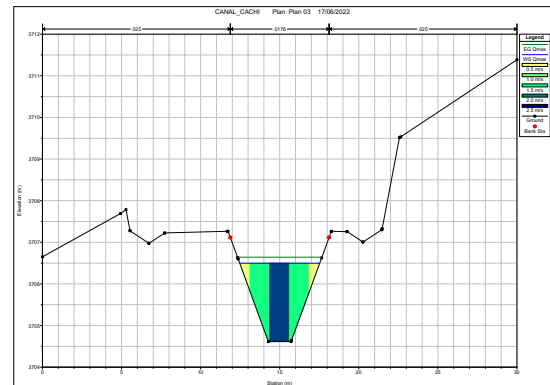


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.31: Sección 1+500

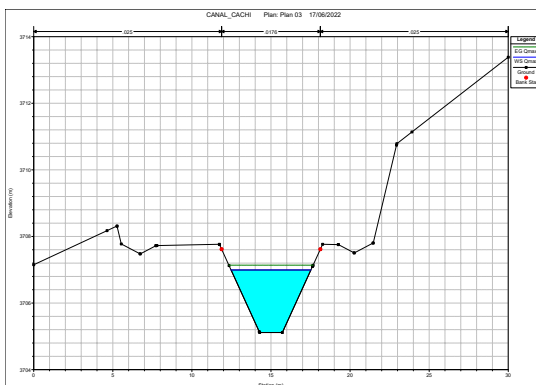


(a) Tirante en la sección

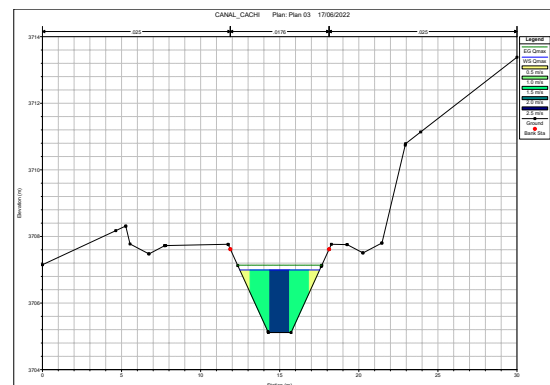


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.32: Sección 2+000

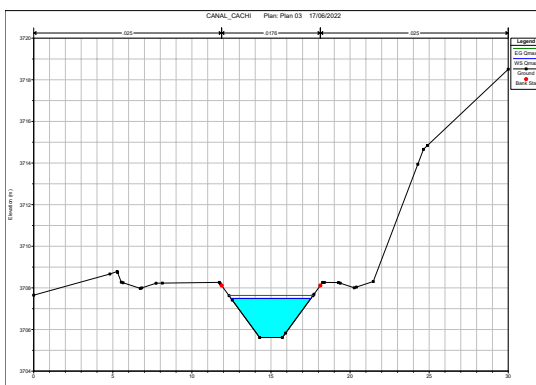


(a) Tirante en la sección

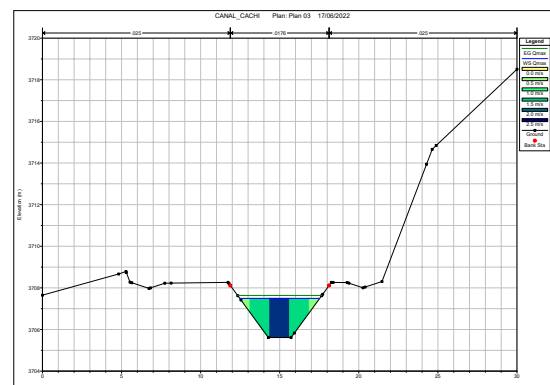


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.33: Sección 2+500

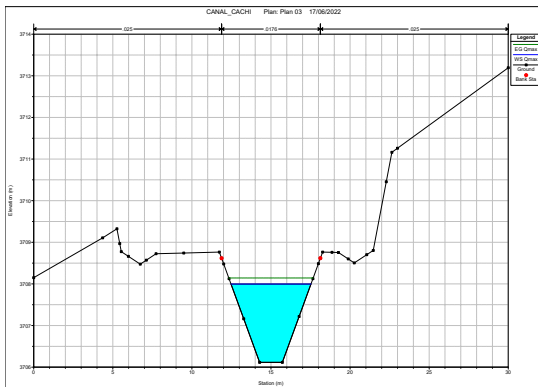


(a) Tirante en la sección

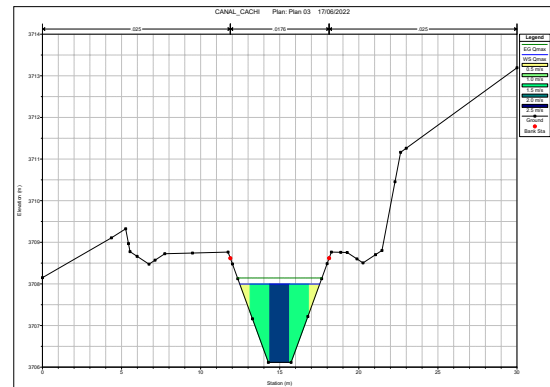


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.34: Sección 3+000

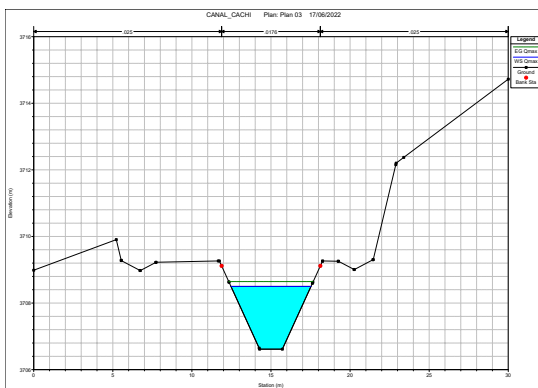


(a) Tirante en la sección

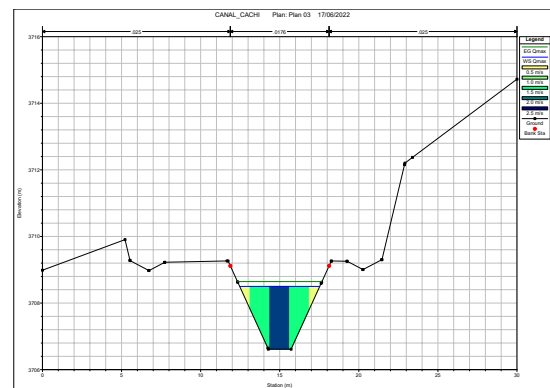


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.35: Sección 3+500

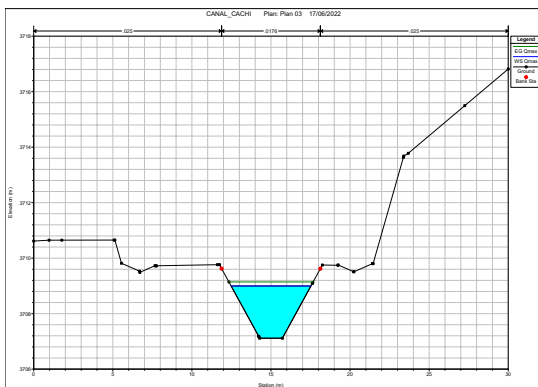


(a) Tirante en la sección

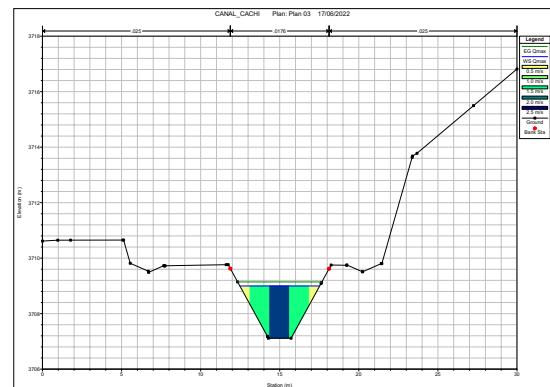


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.36: Sección 4+000

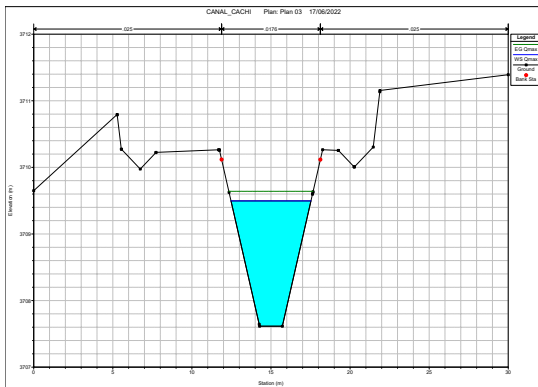


(a) Tirante en la sección

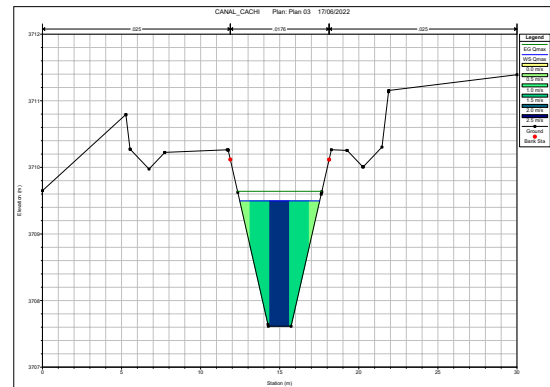


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.37: Sección 4+500

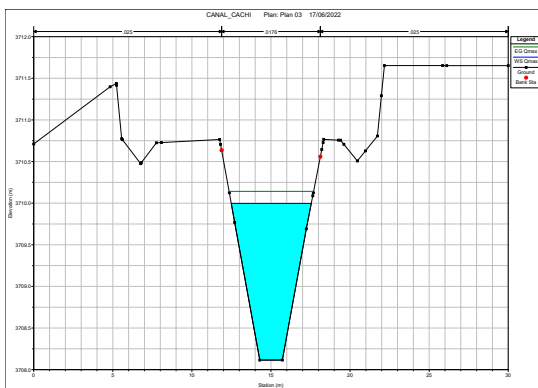


(a) Tirante en la sección

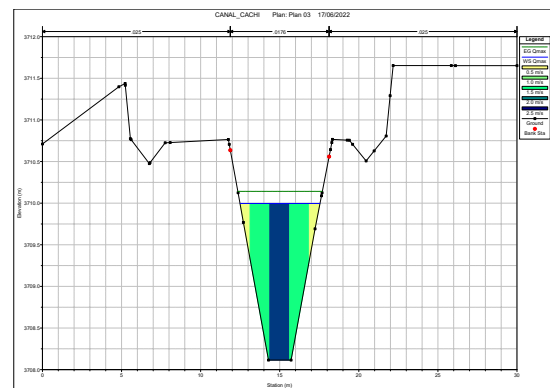


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.38: Sección 5+000

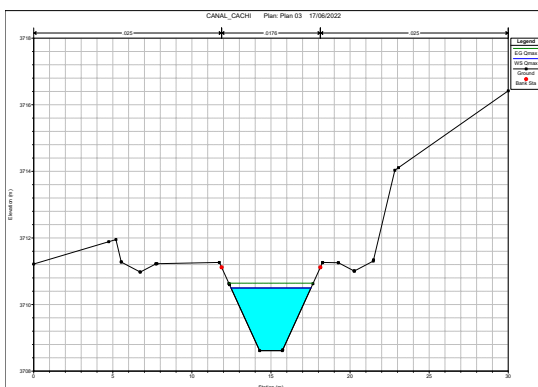


(a) Tirante en la sección

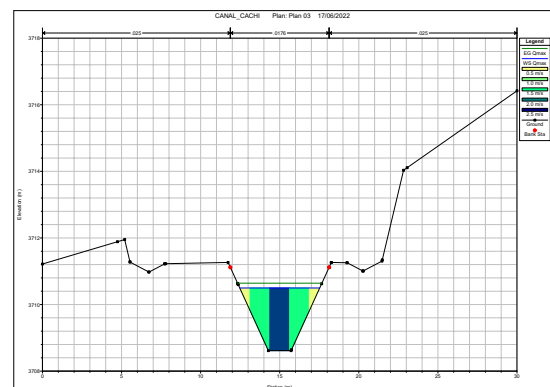


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.39: Sección 5+500

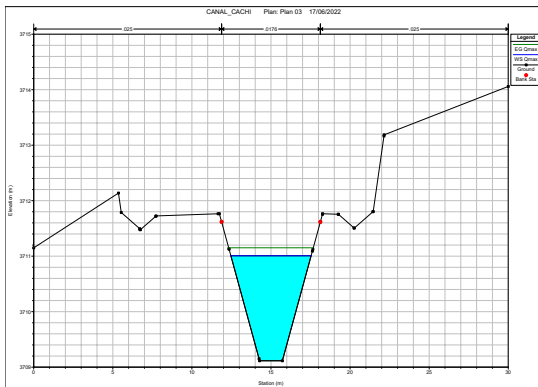


(a) Tirante en la sección

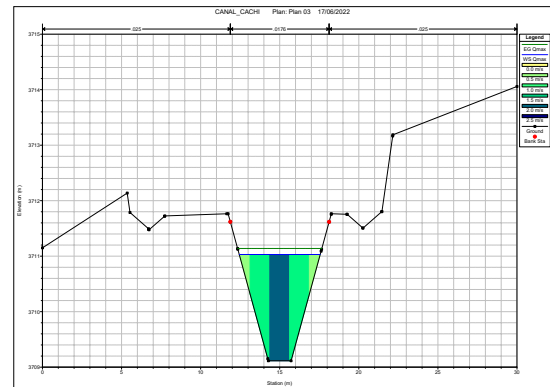


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.40: Sección 6+000

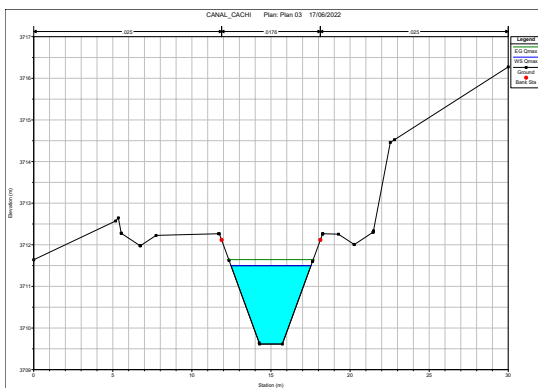


(a) Tirante en la sección

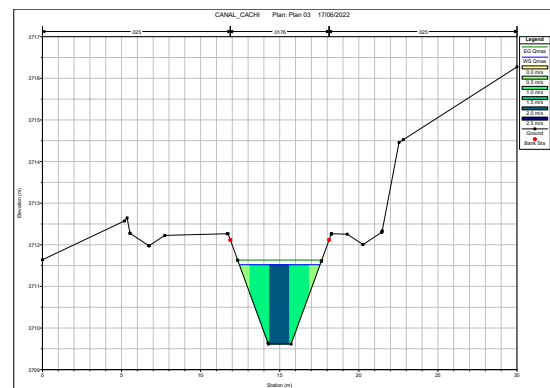


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.41: Sección 6+500

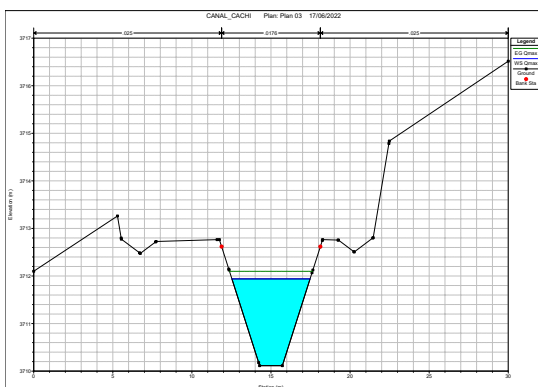


(a) Tirante en la sección

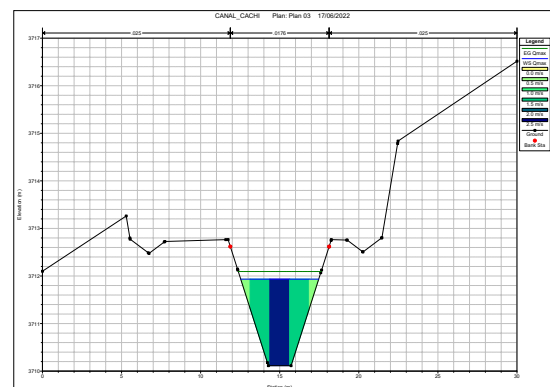


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.42: Sección 7+000

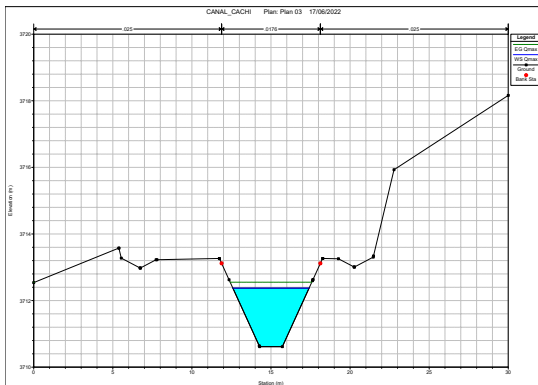


(a) Tirante en la sección

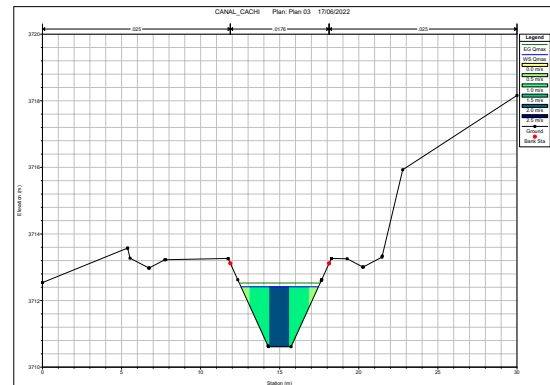


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.43: Sección 7+500

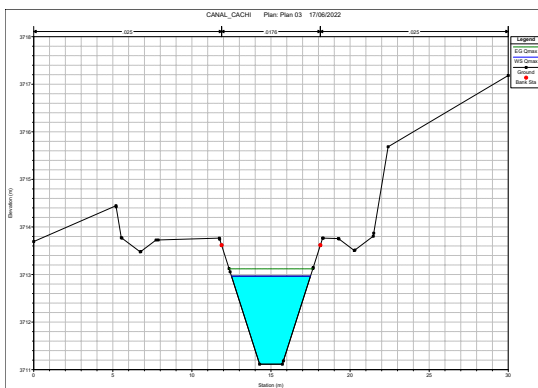


(a) Tirante en la sección

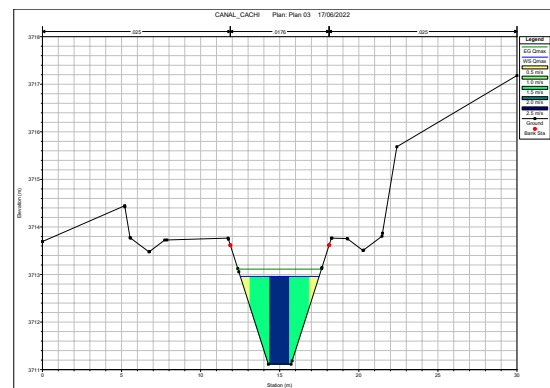


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.44: Sección 8+000

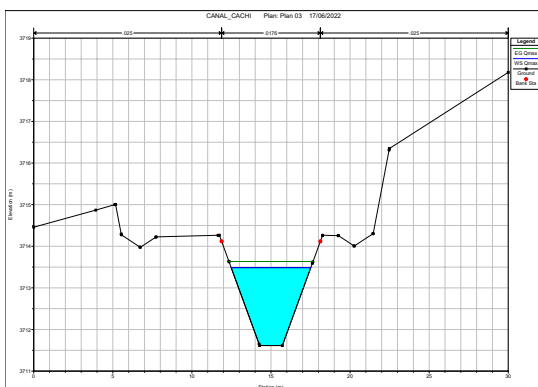


(a) Tirante en la sección

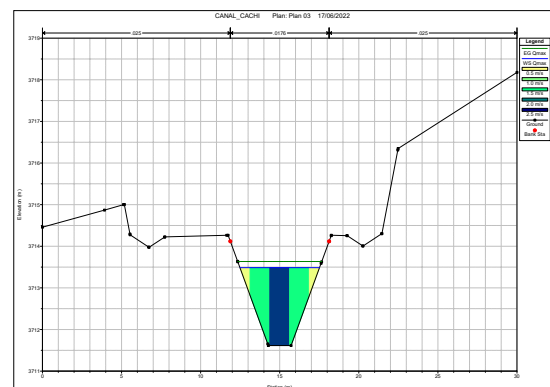


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.45: Sección 8+500

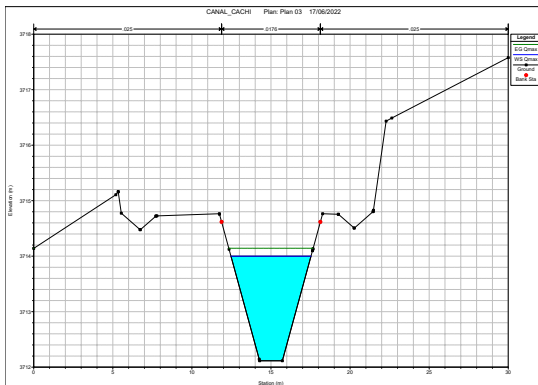


(a) Tirante en la sección

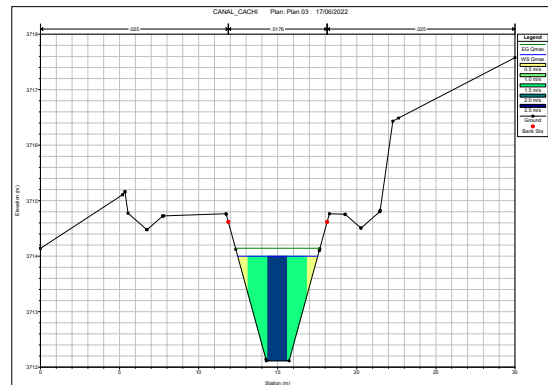


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.46: Sección 9+000

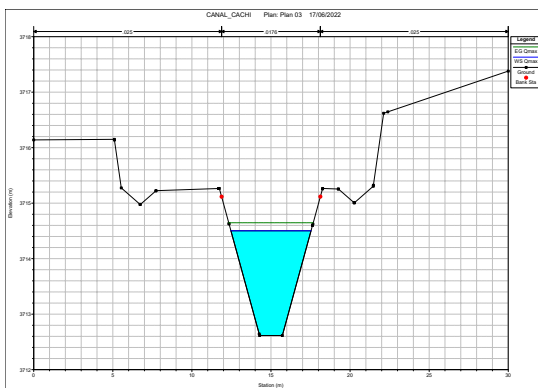


(a) Tirante en la sección

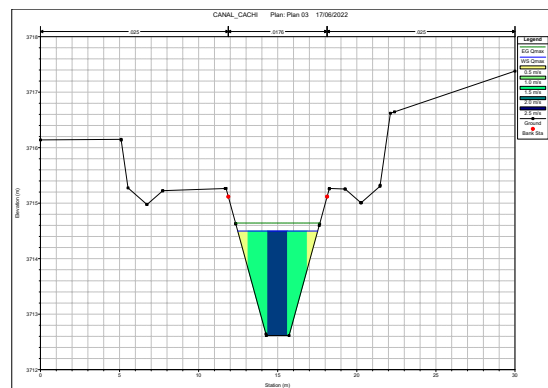


(b) Distribución de velocidad

Figura 4.47: Sección 9+500

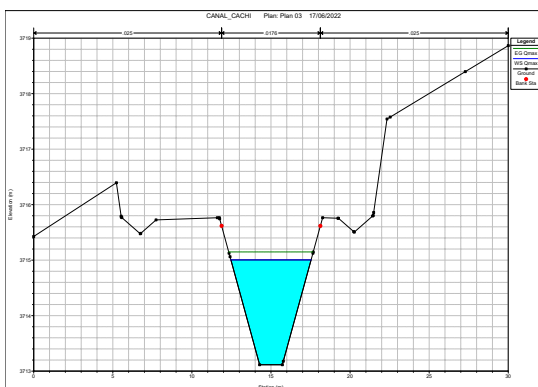


(a) Tirante en la sección

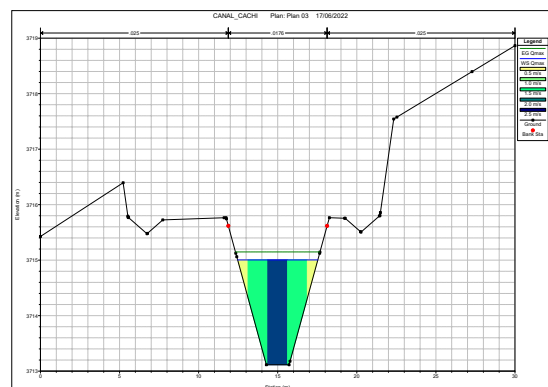


(b) Distribución de velocidad

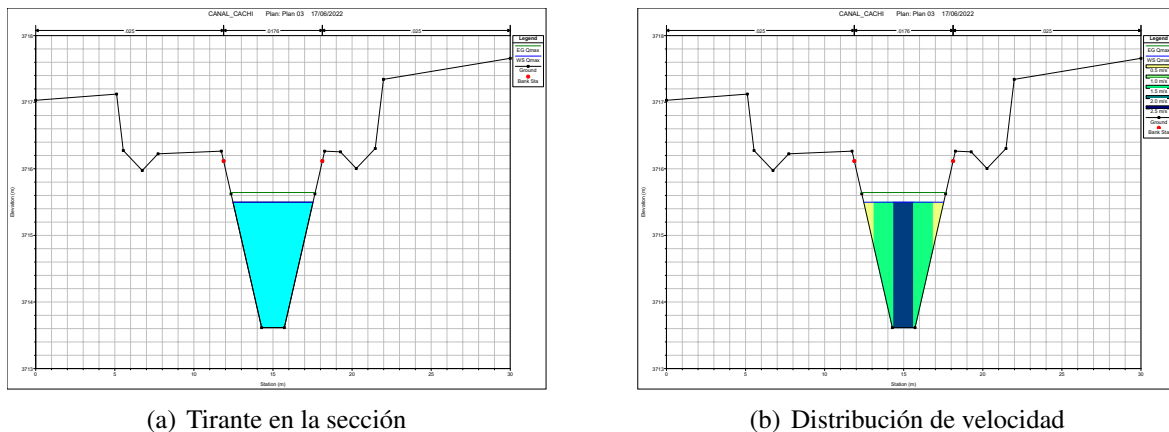
Figura 4.48: Sección 10+000



(a) Tirante en la sección



(b) Distribución de velocidad

Figura 4.49: Sección 10+500


4.2.1.1. Estado actual del canal de estudio

La infraestructura hidráulica del PERC en la actualidad de acuerdo al análisis realizado se encuentra en estado operativo desde la captación más elevada como es Churiacc y Apacheta hasta el punto de entrega Campanayoc, teniendo a su paso bocatomas, sifones, pequeñas captaciones, tomas laterales, presa, túneles, evacuadores de demasías y de emergencias

La operación y mantenimiento del sistema hidráulico en la actualidad está a cargo de la Gerencia Regional de Infraestructura, con personal profesional y técnicos que recién han iniciado a trabajar desde Agosto del 2009, no están especializados y debidamente capacitados para llevar a cabo las actividades programadas y de emergencia que pudiera presentarse a lo largo del sistema, en función al manual de operación y mantenimiento del PERC.

Frecuentemente año tras año se realiza la descolmatación de los desarenadores de las bocatomas Choccoro y Chiellarazo para que funcione de manera más eficiente las estructuras hidráulicas.

A través del tiempo las estructuras hidráulicas se van colmatado como los desarenadores a pesar de este tipo de eventos estas estructuras muchas siguen funcionando y captando las aguas de los ríos Choccoro y Chiellarazo sin previamente realizar la descolmatación del desarenador de las bocatomas, de esta manera se pone en riesgo el sistema hidráulico, se ha conducido el agua con material de arrastre y en suspensión que han incrementado la sedimentación en la Presa Cuchoquesera. En estas condiciones ha venido operando el sistema muchas veces.

4.2.1.1.1. Canal Tramo Cuchoquesera-Ichucruz Los riesgos frecuentes encontrados en este tramo de canal son:

- Condiciones de terreno peligrosas (laderas, nivel freático, cursos de agua, fallas geo-

lógicas)

- Ladera pendiente moderada 10°- 20°
- Suelos coluviales
- Nivel freático alto zona Satoca-Cusibamba - Llachoqmayo-Allpachaca, Jeullamayo, Lachoquaycco, Huarajoyocc. Cruza los ríos Satoca, Tambocha, Lachoqmayo, Allpachaca, Ichocruz, Achimachahuaycco y Jollarjasha.

No presenta fallas geológicas. Km. 18-26, afloramiento de roca volcánica.

Por otro lado, se tiene riesgos de:

- Exposiciones peligrosas (inundación, huayco, deslizamiento, socavación, erosión, hundimiento de terreno, explosión, colisión por tráfico, falla geológica, etc.)
- Inundación y erosión
- Cruce con los ríos Lachoqmayo, Allpachaca Jeullamayo.

El Gobierno Regional de Ayacucho - GRA, como la única Institución del Estado con presencia en los lugares más alejados del ámbito de influencia del “Proyecto Especial Río Cachi” - PERC, del cual asumió las competencias correspondientes, debe contribuir estableciendo nuevas estrategias, ejecutar actividades como obras de infraestructura hidráulica, viales, eléctricas y de instrumentación.

4.2.2. Resultados para el objetivo específico 1

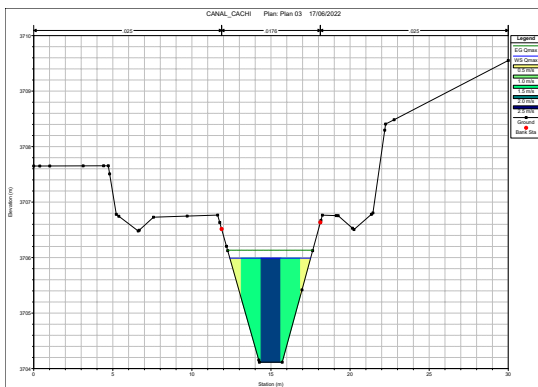
Determinar la manera en que el coeficiente de rugosidad de materiales influye en el comportamiento hidráulico.

El coeficiente de rugosidad de Manning en los canales abiertos es el parámetro más sensible, porque a un cambio de esta variable, cambiara todos los resultados de los parámetros hidráulicos en el canal como se demuestra para una misma en las Figuras

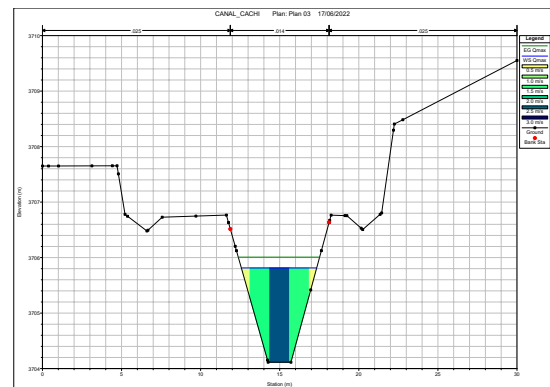
El coeficiente de rugosidad de Manning es un índice el cual determina la resistencia de un flujo en un canal. En base a los resultados obtenidos se observa que en todos los casos el tirante obtenido cambia de acuerdo a este coeficiente.

Las variaciones de los coeficientes de rugosidad se trazan para mostrar la relación del tirante con los coeficientes de rugosidad de Manning, como se muestra en la Figura 4.53. Estos resultados muestran que los coeficientes de rugosidad aumentarán cuando aumenta el tirante, es decir, que son directamente proporcionales.

Figura 4.50: Sección 1+000



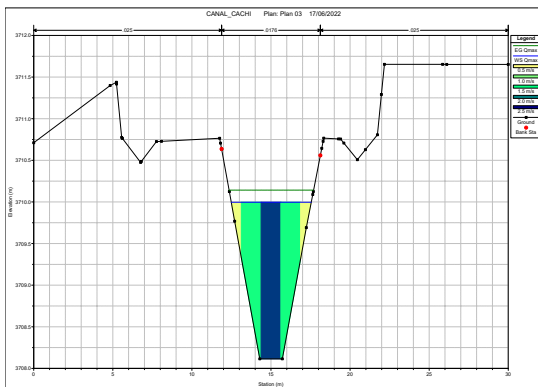
(a) Tirante para $n = 0.025, 0.016, 0.025$



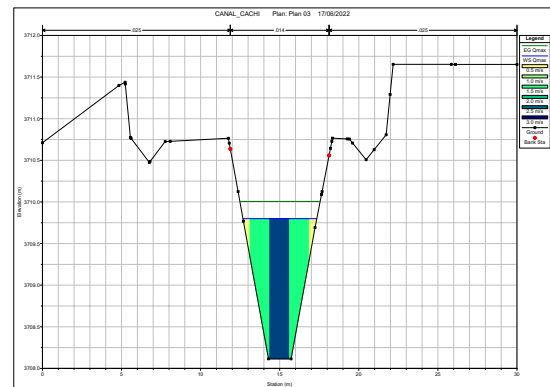
(b) Tirante para $n = 0.020, 0.015, 0.020$

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.51: Sección 5+000



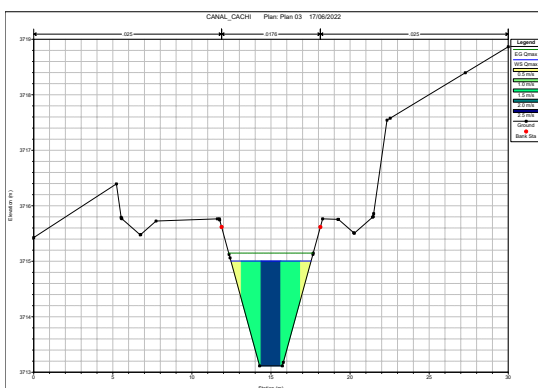
(a) Tirante para $n = 0.025, 0.016, 0.025$



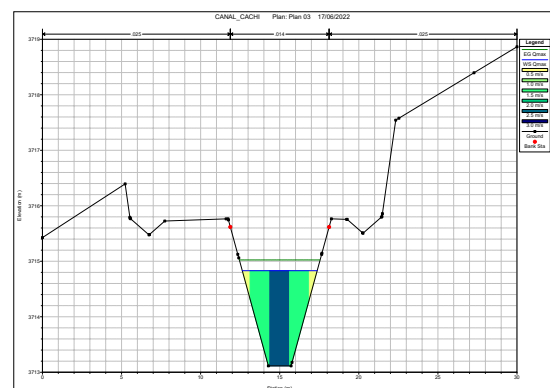
(b) Tirante para $n = 0.020, 0.015, 0.020$

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.52: Sección 10+000

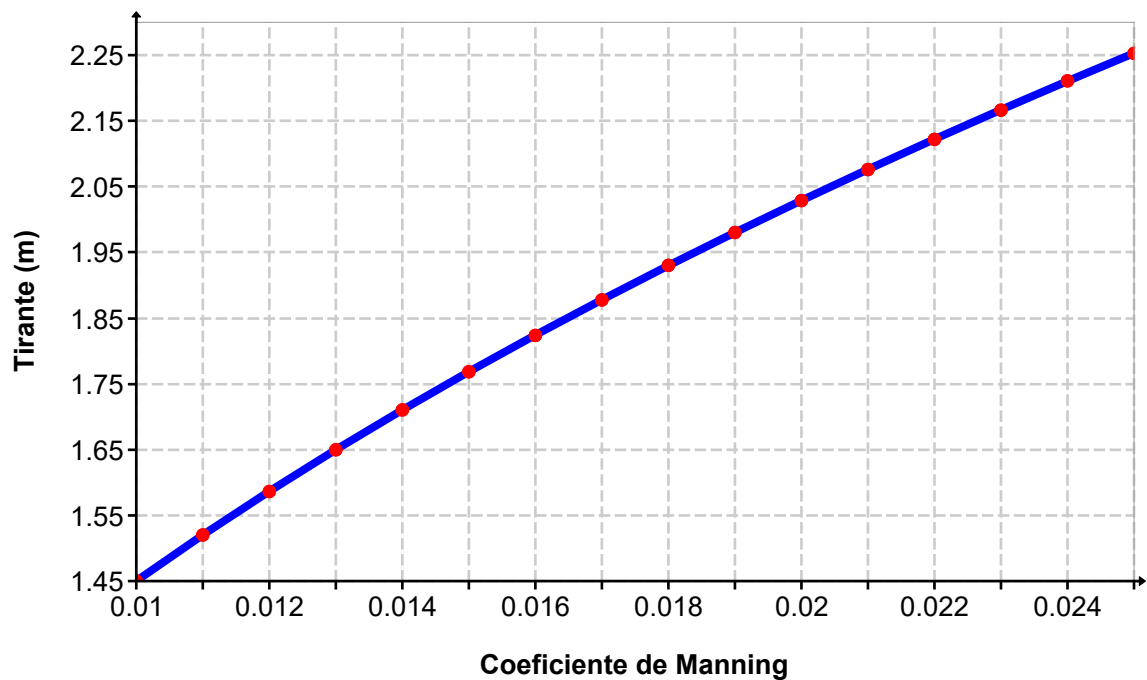


(a) Tirante para $n = 0.025, 0.016, 0.025$

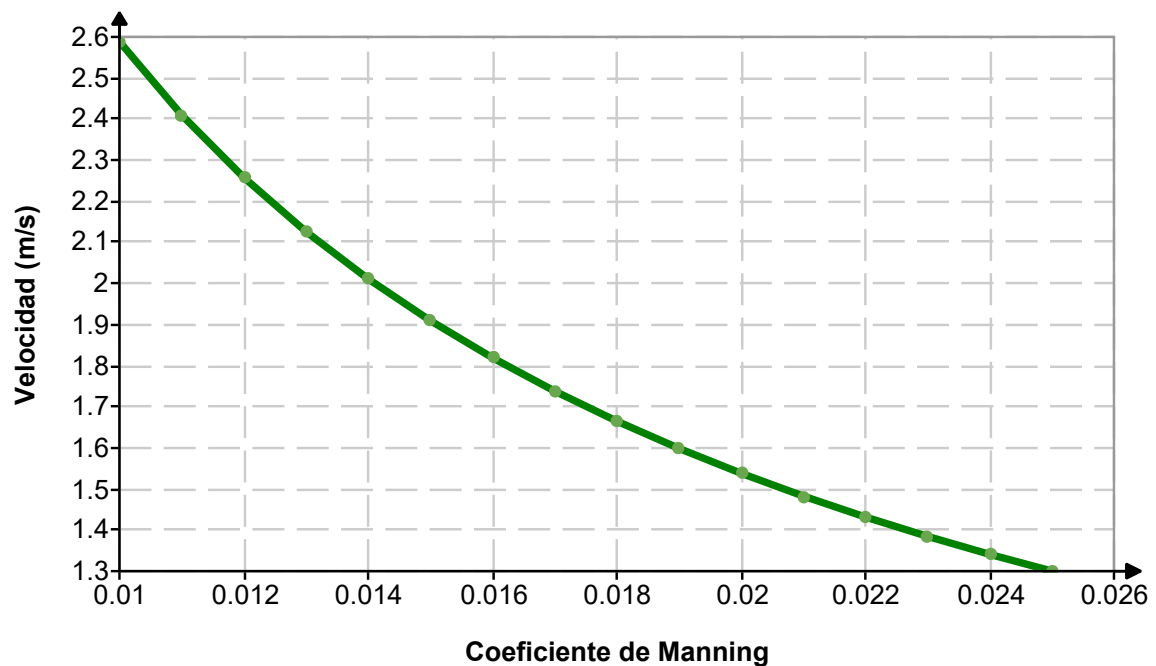


(b) Tirante para $n = 0.020, 0.015, 0.020$

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.53: Variación del coeficiente de rugosidad de Manning con el tirante


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.54: Variación del coeficiente de rugosidad de Manning con la velocidad


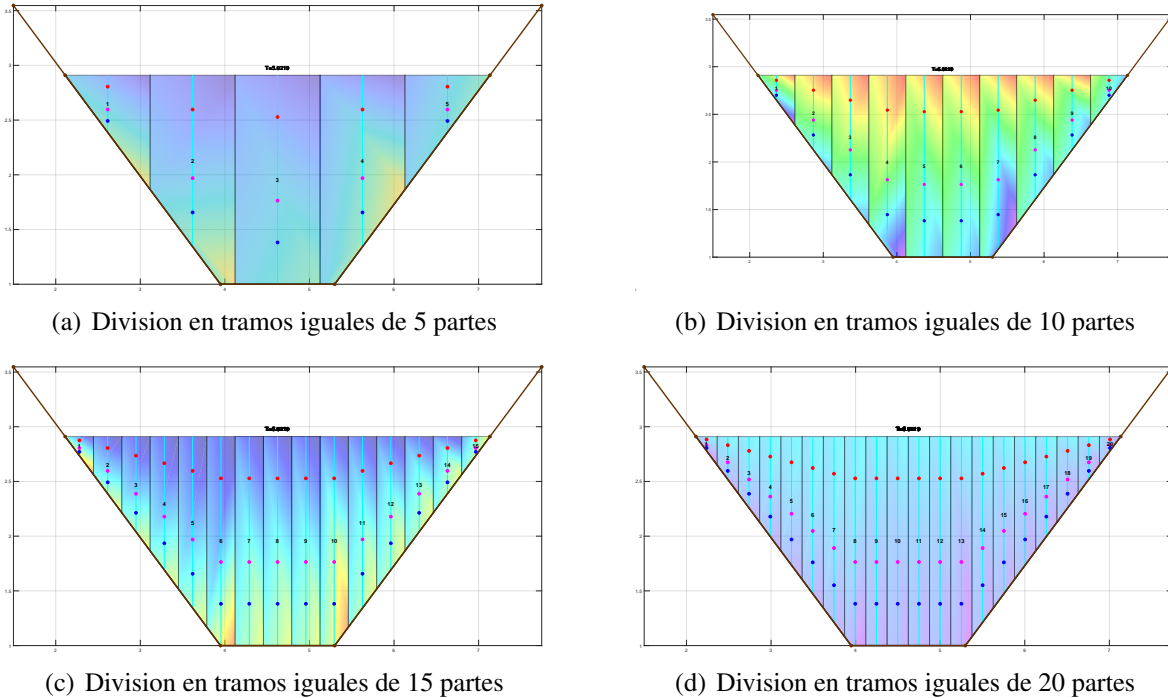
Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Medición de velocidades

Debido a las variaciones de la velocidad del flujo dentro de la sección elegida y a los efectos de facilitar las operaciones en el campo, para la determinación del caudal se ha dividido en la sección en varias subsecciones. El criterio más generalizado para establecer el ancho de

cada subsección (o la cantidad de verticales donde medir velocidades), es considerar dentro de cada subsección, como máximo, una variación del caudal del 10 % con respecto al total.

Figura 4.55: División de la sección transversal



Fuente: Elaboración propia

4.2.3.1. Método de los tres puntos

Los puntos rojos, magenta y azul representan las profundidades: $0.2h$, $0.6h$ y $0.8h$ de la profundidad en cada vertical donde se han medido las velocidades $V_{0.2}$, $V_{0.6}$ y $V_{0.8}$ con el velocímetro en un total de 10 verticales espaciados cada $0.5m$, haciendo un total de espejo de agua de $5.0219m$ del canal Cachi a la fecha del aforo. Luego se calcula la velocidad media para la sección de aforo con la ecuación (4.56).

$$\bar{V}_i = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3} \quad (4.56)$$

En la Tabla 4.7 se muestra los resultados de aforo en la sección del canal Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera – Ichucruz

La velocidad en un extremo vertical debe ajustarse como un porcentaje de la vertical adyacente, ya que no es posible medir la velocidad con precisión con el medidor de corriente cerca de un límite. Los datos de laboratorio resumidos en la siguiente tabla sugieren que la velocidad vertical media en la vecindad de una pared lisa de un canal rectangular idealizado está relacionada con la velocidad vertical media a una distancia de la pared igual a la profundidad (Vd).

Tabla 4.7: Calibración del coeficiente de Manning para la sección de aforo

Vertical	Progresiva (m)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Profundidad de (m)	Velocidad (m/seg)	Vel. Media Vertical (m/seg)	Caudal (m ³ /seg)	Pendiente S	Rugosidad n	Rugosidad n(bancos)
0	2.11	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	2.36	0.26	0.23	0.131	0.725	0.052 0.157 0.209	0.862 0.646 0.215	---	---	---	---	---
2	2.87	0.78	0.23	0.394	0.725	0.157 0.470 0.627	1.793 1.345 0.448	1.20	0.470	0.0010	0.017611	0.0176
3	3.37	1.31	0.23	0.656	0.725	0.261 0.784 1.045	2.520 1.890 0.630	1.68	1.102	0.0010	0.017611	0.0176
4	3.87	1.83	0.23	0.903	0.648	0.366 1.097 1.463	3.359 2.519 0.840	2.24	2.022	0.0010	0.017611	0.0176
5	4.37	1.91	0.23	0.959	0.502	0.382 1.146 1.528	4.146 3.110 1.037	2.76	2.651	0.0010	0.017611	0.0176
6	4.87	1.91	0.23	0.959	0.502	0.382 1.146 1.528	4.146 3.110 1.037	2.76	2.651	0.0010	0.017611	0.0176
7	5.38	1.83	0.23	0.903	0.648	0.366 1.097 1.463	3.359 2.519 0.840	2.24	2.022	0.0010	0.017611	0.0176
8	5.88	1.31	0.23	0.656	0.725	0.261 0.784 1.045	2.520 1.890 0.630	1.68	1.102	0.0010	0.017611	0.0176
9	6.38	0.78	0.23	0.394	0.725	0.157 0.470 0.627	1.793 1.345 0.448	1.20	0.470	0.0010	0.017611	0.0176
10	6.88	0.26	0.23	0.131	0.725	0.052 0.157 0.209	0.862 0.646 0.215	0.57	0.075	0.0010	0.017611	0.0176
	7.134	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
				6.085	6.649				10.302			

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Cálculo del caudal

En este trabajo de investigación se ha utilizado el método de la sección media para calcular el caudal en el canal a partir de las mediciones de velocidad con el aforador digital. La sección transversal del canal se divide en subsecciones rectangulares, como se muestra en la Figura 4.55. En el centro de cada una de estas subsecciones (llamadas verticales), se ha medido la y y la velocidad, y se determina el ancho de la franja a partir de un punto de referencia. La descarga total se puede calcular de la siguiente manera.

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n v_i a_i = \sum_{i=1}^n v_i (w_i d_i) \quad (4.57)$$

Donde:

Q = Caudal total en el canal.

q_i = Caudal en la subsección i .

v_i = Velocidad media del flujo normal a la subsección i .

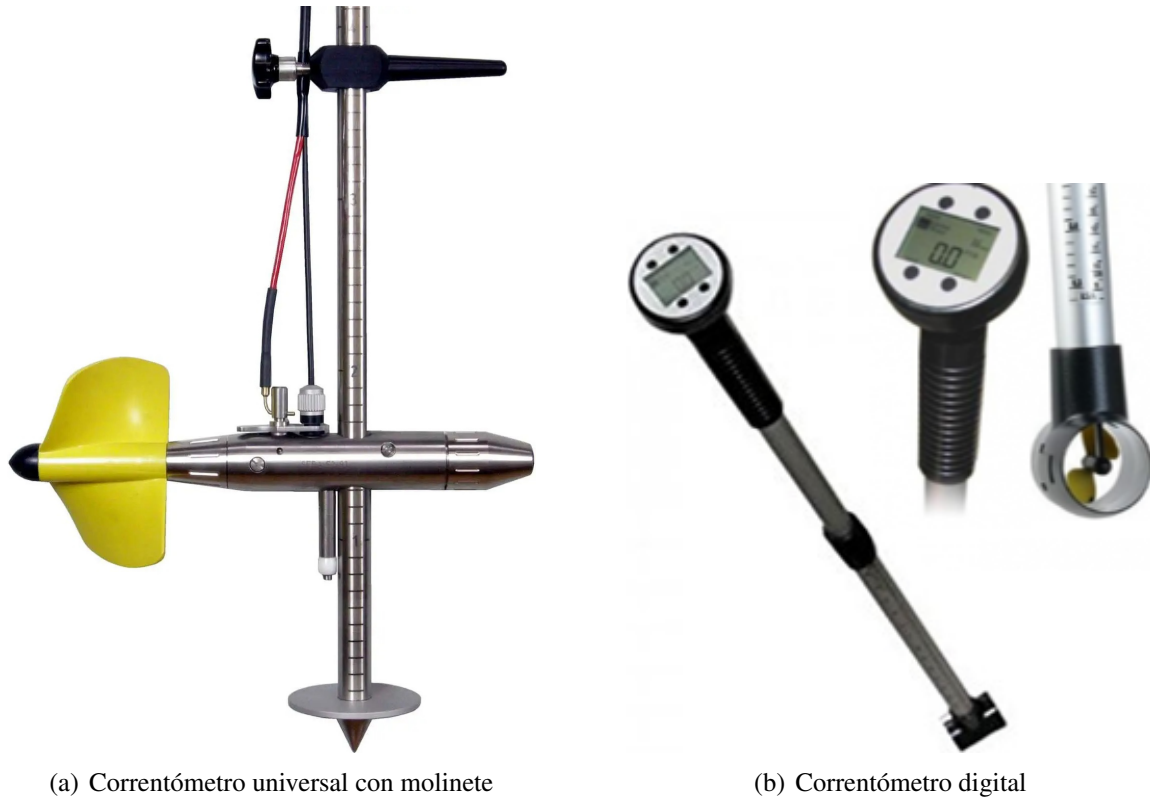
a_i = Área transversal de la subsección i .

w_i = Ancho de la subsección i .

d_i = Profundidad de la subsección i .

n = Número de subsecciones que dividen la sección transversal del canal

Figura 4.56: Correntometro



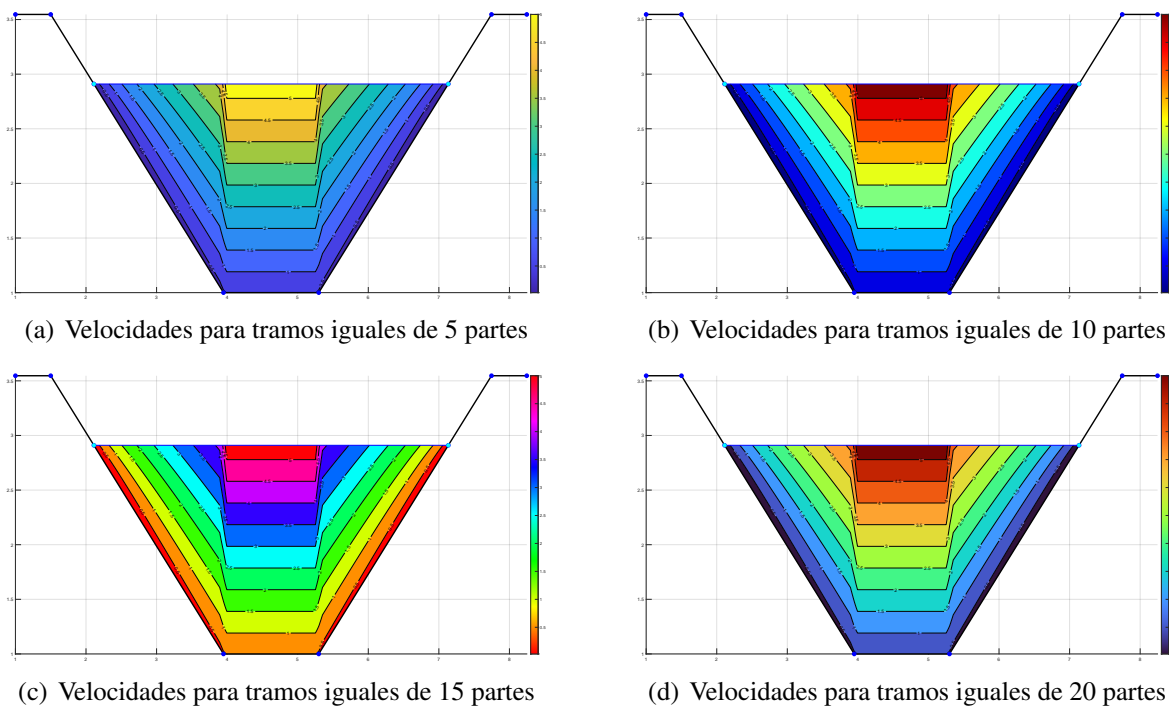
(a) Correntómetro universal con molinete

(b) Correntómetro digital

Las mediciones de las velocidades se han realizado utilizando el Correntómetro universal con molinete (Figura 4.56(a)), este correntómetro es un instrumento de velocidad del agua de alta precisión para medir flujos en canales abiertos. La sonda de velocidad del agua consta de un sensor de desplazamiento positivo de turbohélice de agua protegido junto con un mango de sonda expandible que termina en una pantalla de lectura digital. El medidor de flujo de agua incorpora un promedio de velocidad real para las mediciones de flujo más precisas. Las imágenes de las mediciones con este correntómetro se encuentra en el Anexo A.

Los caudales en los canales abiertos no se miden directamente, sino que se calcula indirectamente a partir de las mediciones de la velocidad y la profundidad del agua. Determinar la velocidad media del flujo es una actividad que requiere mucha precisión, por lo general, se realiza para establecer la curva de descarga. En este trabajo de investigación era intermitentemente necesario calibrar el coeficiente de rugosidad para la simulación hidráulica con el HEC-RAS.

La determinación de la rugosidad de canales existentes constituye uno de los procedimientos

Figura 4.57: Curvas de velocidad en la sección transversal de aforo


Fuente: Elaboración propia

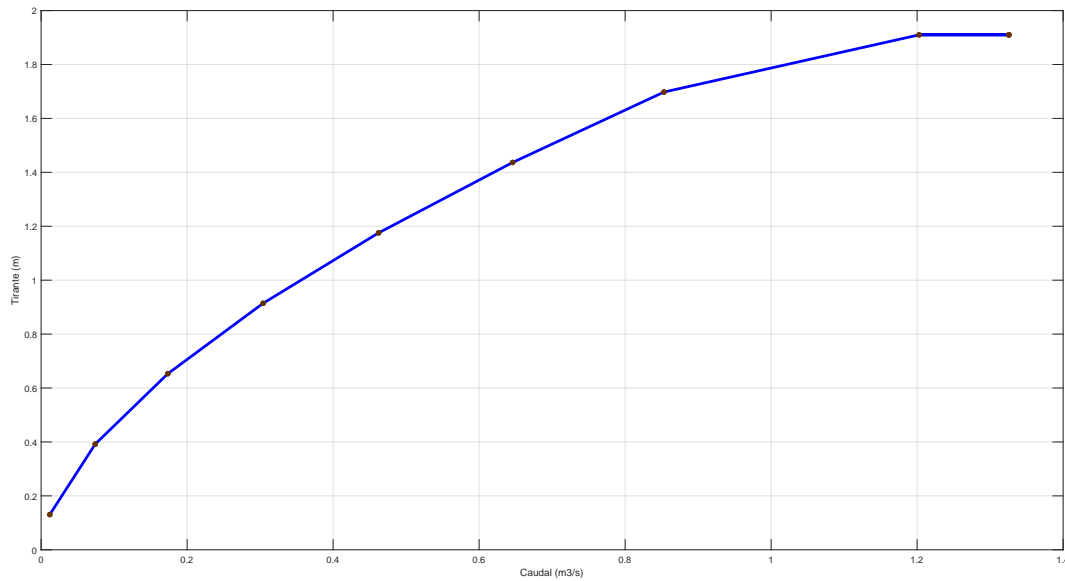
más desafiantes para el desarrollo de modelos hidráulicos para la predicción de inundaciones y el mapeo de amenazas de inundación. Por lo tanto, es fundamental calibrar y validar el coeficiente de rugosidad n de Manning como se hizo en este trabajo de investigación.

Entre los parámetros hidráulicos de los canales abiertos, la rugosidad del canal juega un papel crucial en el estudio del flujo en canales abiertos, particularmente en el modelado hidráulico. El coeficiente de rugosidad es un parámetro significativo para calibrar y validar los modelos hidrodinámicos en el caso del modelado de canales abiertos y, en particular, el mapeo de llanuras aluviales potenciales.

Por lo tanto, se debe prestar mucha atención a la calibración de la rugosidad n de Manning cuando se aplican diferentes modelos hidráulicos.

Debido a varios factores que influyen en el coeficiente de rugosidad n de Manning, la medición precisa es una tarea desafiante y exige un trabajo muy extenso. En esta investigación se ha visto la influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en el comportamiento hidráulico del canal del Proyecto Cachi, debido al cambio continuo de las condiciones del flujo y se ha establecido una relación entre los resultados medidos y el modelo HEC-RAS con respecto al coeficiente de rugosidad para estimar con la mayor precisión posible los parámetros hidráulicos y la superficie libre del agua en el canal.

El promedio del coeficiente de rugosidad de Manning para el canal del Proyecto Cachi se encuentra en 0.017611 para condiciones de flujo diferentes.

Figura 4.58: Curva de descarga


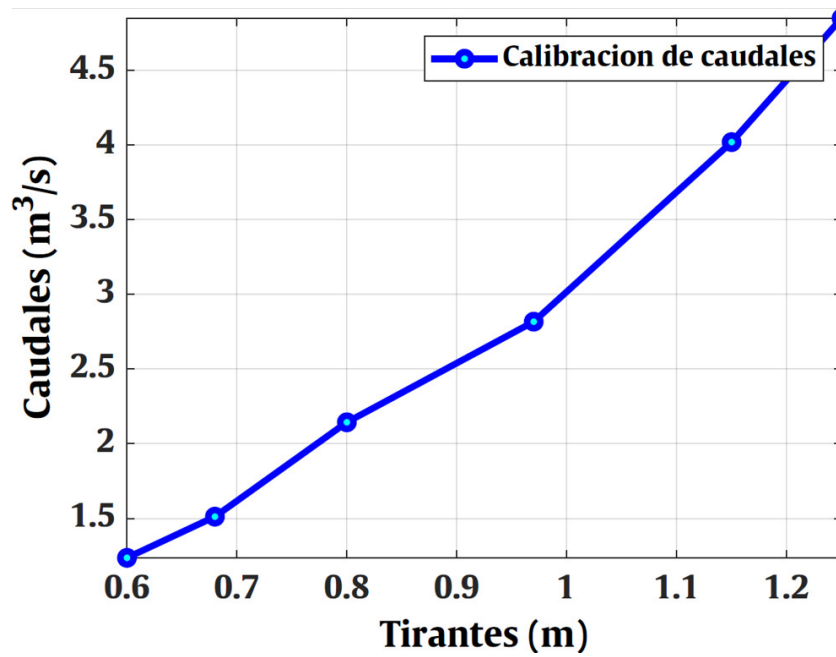
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Datos de aforo

Tirante (m)	Caudal (m³/s)
0.60	1.236
0.68	1.512
0.80	2.144
0.97	2.818
1.15	4.021
1.25	4.850

$$Q = 3.1287H^{1.8409} \quad (4.58)$$

Figura 4.59: Curva de calibración



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.60: Estación hidrométrica en el canal de salida de la presa Cuchoquesera



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.9: Valores medidos

Mira Hi (m)	Tirante H (m)	Caudal (m ³ /s)	Mira Hi (m)	Tirante H (m)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	1.400	1.010	3.182
0.050	0.040	0.007	1.450	1.050	3.395
0.100	0.070	0.025	1.500	1.080	3.613
0.150	0.110	0.052	1.550	1.120	3.838
0.200	0.140	0.089	1.600	1.150	4.069
0.250	0.180	0.133	1.650	1.190	4.306
0.300	0.220	0.187	1.700	1.230	4.550
0.350	0.250	0.248	1.750	1.260	4.800
0.400	0.290	0.317	1.800	1.300	5.050
0.450	0.320	0.394	1.850	1.330	5.320
0.500	0.360	0.478	1.900	1.370	5.580
0.550	0.400	0.570	1.950	1.410	5.860
0.600	0.430	0.669	2.000	1.440	6.140
0.650	0.470	0.775	2.050	1.480	6.420
0.700	0.500	0.888	2.100	1.510	6.710
0.750	0.540	1.009	2.150	1.550	7.010
0.800	0.580	1.136	2.200	1.590	7.310
0.850	0.610	1.270	2.250	1.620	7.620
0.900	0.650	1.411	2.300	1.660	7.940
0.950	0.680	1.559	2.350	1.690	8.260
1.000	0.720	1.713	2.400	1.730	8.580
1.050	0.760	1.874	2.450	1.770	8.920
1.100	0.790	2.041	2.500	1.800	9.250
1.150	0.830	2.215	2.550	1.840	9.600
1.200	0.870	2.396	2.600	1.870	9.950
1.250	0.900	2.583	2.650	1.910	10.300
1.300	0.940	2.776	2.700	1.950	10.660
1.350	0.970	2.976			

4.2.5. Resultados para el objetivo específico 2

Determinar la manera en que el estado del canal influye en el comportamiento hidráulico.

El segundo objetivo está centrado en el desarrollo de una propuesta de mejora del estado actual de operación del canal principal tramo Cuchoquesera-Ichucruz con la finalidad de contribuir al funcionamiento hidráulico más eficiente .

La evaluación realizada del estado de operación de canal demostró que la mala gestión de operación y mantenimiento, falta de normalización de procedimientos de trabajo y la falta de control a través de indicadores son los causantes de un funcionamiento deficiente del canal, que consecuentemente son causados por acciones antrópicas, pero sobre todo por acciones naturales. Por lo tanto, se debe realizar la operación y el mejoramiento parcial de la infraestructura hidráulica y de generación de energía eléctrica en el ámbito de influencia de la Irrigación Río Cachi. Dentro de la propuesta de mejora podemos mencionar lo siguiente:

4.2.5.1. Operación de las estructuras hidráulicas

Comprende todas aquellas actividades de operación (guardianía, apertura y cierre de compuertas, y otras) a ser realizadas durante las condiciones de avenidas y estiaje que obedecen a una programación preestablecida en función de las características propias de cada estructura hidráulica como bocatomas, Sifones, Presa, botador y partidor; Operar las tomas secundaria con el fin de garantizar el llenado del embalse Cuchoquesera.

4.2.5.2. Funcionamiento de la Central Hidroeléctrica Catalinayocc

En la actualidad esta Central Hidroeléctrica no está en funcionamiento, por lo que se debe poner en marcha esta central para la generación de energía eléctrica para todo el sistema hidráulico Cachi. La CC.HH. de Catalinayocc (culminada en su primera etapa), es parte integrante del esquema hidráulico, se encuentra ubicada a 6 Km. de la Presa Cuchoquesera, diseñada para una potencia de 1.8 MW.: tiene especial importancia por cuanto su ejecución resolverá los problemas de energía de la Presa Cuchoquesera para el funcionamiento del sistema electromecánico que regula la salida de agua del embalse.

4.2.5.3. Mejoramiento de Estructuras del Sistema Hidráulico

El mejoramiento de Estructuras del Sistema Hidráulico está referido al mejoramiento y limpieza de caja de canal, limpieza de zanjias de coronación, limpieza de alcantarillas, limpieza de deslizamientos y derrumbes, limpieza de berma interior y exterior, Limpieza de caja de canal y bermas realizado por aporte comunal, pintado de progresivas, reparación de canales principales, y reparación/cambio de juntas de dilatación.

Estas actividades son consideradas de vital importancia dado que en los meses de enero a

marzo se presentan lluvias de gran intensidad que interrumpen la libre circulación del agua por el canal principal.

4.2.5.4. Mejoramiento de Vías de acceso del Sistema Hidráulico

La Operación y el Mejoramiento de los canales requiere vías y acceso por plataforma en buenas condiciones de transitabilidad y la mayor parte requiere reestablecer dichas condiciones, las que no fueron realizadas desde la conclusión de las obras. Las actividades a ejecutarse para el mejoramiento de estas son bacheados, reposición de superficie rodadura, mejoramiento de cunetas, e incluye el pintado de progresivas.

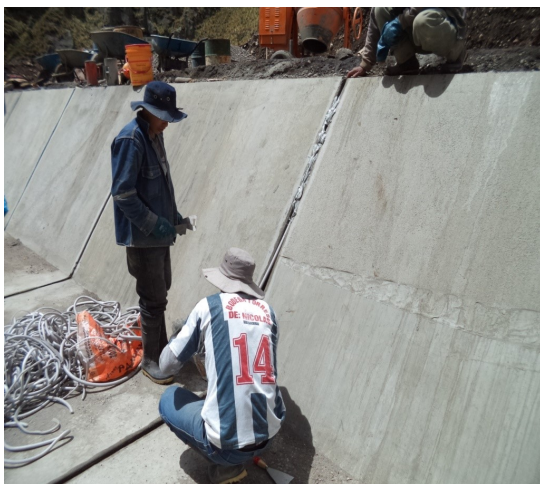
4.2.5.5. Perfilado de plataforma

El material retirado de las bermas y del mismo canal anteriormente ha sido depositado en la misma plataforma esto ha ido deteriorando la plataforma, por lo tanto, se debe limpiar la plataforma del canal y de cierto modo eliminar los baches y permitir la circulación de los vehículos y hacer que el agua proveniente de las lluvias no se acumule en la plataforma, para evitar en lo posible cualquier erosión o deterioro de plataformas de acceso y canal.

4.2.5.6. Reparaciones en el Sistema Hidráulico Cachi

Los canales en tramos con talud empinado sufren rotura de paños o estructuras, causado por derrumbes de material con piedras grandes y/o avenidas. La reparación se debe realizar con las mismas dimensiones, con concreto $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ para canal concreto armado y $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ para concreto simple; usando personal especializado, y debe incluir el pintado de las progresivas.

Figura 4.61: Trabajos de mantenimiento



(a) Cambio de juntas en canal trapezoidal



(b) Descolmatación de estructuras hidráulicas (bocatomas)

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.62: Estudio de suelos y topografía


(a) Estudio de suelo (calicata)



(b) Trabajos topográficos

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.63: Mejoramiento de estructuras hidráulicas


(a) Mejoramiento de bocatomas



(b) Encauzamiento y mejoramiento de zanjas de coronación

Fuente: Elaboración propia

4.2.5.7. Monitoreo y operaciones de las estaciones meteorológicas

Modernización y Ampliación de la Red Hidrometeorológica de la Región Ayacucho es necesario para ampliar la cobertura del sistema meteorológico y climático y así, contar con el Sistema de Alertas Tempranas en toda la región. Monitorear estaciones meteorológicas en tiempo real, en todo el ámbito de la Región de Ayacucho ayudaría en la obtención de datos hidrometeorológicos de inmediato y estas se pueden utilizar para simulaciones y pronósticos de inundaciones en el área de influencia del sistema de riego Cachi. En las estaciones se debe registrar diversos variables meteorológicas y los parámetros hidrológicos, estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas, como para estudios climáticos. En este sentido se debe implementar lo siguiente:

- Mejoramiento de las estaciones existentes

- Instalación de más estaciones meteorológicas en la región
- Capacitación de personal técnico para su operación

Figura 4.64: Mantenimiento de las estaciones hidrometeorológico



(a) Cambio de batería de 12 Voltios de la Estación Meteorológica Automática



(b) Verificación y mantenimiento de las Estaciones meteorológicas automáticas

Fuente: Elaboración propia

4.2.5.8. Implementar sistema SCADA

Se recomienda implementar el sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) para el control y monitoreo del comportamiento hidráulico de todo el sistema hidráulico Cachi. El sistema SCADA implementado para el Canal Cachi debe medir diferentes variables y enviar en tiempo real a un central de control. Con este sistema se tendría mejor conocimiento de lo que pasa el todo sistema hidráulico y se puede tomar decisiones en el momento oportuno.

4.2.5.9. Gestión Integrada de Recursos Hídricos - GIRH

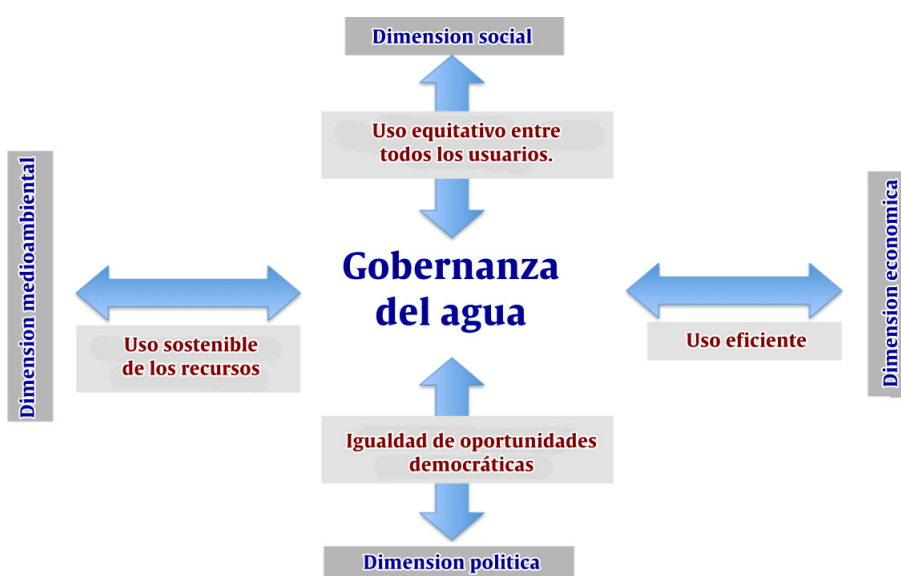
Por otro lado, a pesar de que en el Perú se ha promulgado la Ley de Recursos Hídricos y su reglamento en el año 2009 y 2010, donde se establece la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como una filosofía de “gestión” para su distribución óptima y equitativa basado en su valor social, económico y ambiental, por cuenca hidrográfica y con participación activa de la población organizada. El Gobierno Regional de Ayacucho no ha sido capaz de implementar y articular su accionar, para conducir los procesos de gestión integrada y de conservación de los recursos hídricos en la cuenca Cachi. Por esta razón, a partir de los resultados de este trabajo de investigación planteamos lo siguiente:

4.2.5.9.1. Propuesta para el Proyecto Cachi Dado que la crisis del agua a nivel de la cuenca Cachi rara vez se considera solo como un problema de escasez física de agua, sino más bien como un problema de gobernanza, la implementación adecuada de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) depende en gran medida del marco de gobernanza de

los recursos hídricos en la región Ayacucho. La gobernabilidad está fuertemente asociada con el concepto de GIRH, porque la falta de implementación de las políticas públicas afecta la toma de decisiones y la implementación de la GIRH.

La gobernanza del agua tiene dimensiones sociales, económicas, políticas y ambientales, las cuales coexisten y que directa o indirectamente afectan el uso, desarrollo y gestión de los recursos hídricos y la prestación de servicios de agua en diferentes niveles de la sociedad Ayacuchana.

Figura 4.65: Dimensión del uso del agua



Estas dimensiones de la gobernanza del agua que se muestra en la Figura 4.65, se deben abordar en la región Ayacucho de manera que permita hacer el uso eficiente, oportuno y equitativo del recurso agua en la cuenca Cachi. Estas dimensiones comprenden:

Dimensión social: Se refiere al uso equitativo de los recursos hídricos, ya que a menudo se distribuye de manera desigual en el tiempo y el espacio, entre ricos y pobres o entre asentamientos rurales y urbanos. Los servicios relacionados con el agua y la asignación de agua tienen impactos directos en las oportunidades de subsistencia de las personas y en su salud.

Dimensión económica: El agua cumple un rol fundamental en el crecimiento económico y el uso eficiente de los recursos hídricos dentro de las actividades económicas. El crecimiento económico depende en gran medida del agua y otros recursos naturales y una gobernanza eficaz puede contribuir positivamente en el ingreso per cápita de la región Ayacucho.

Dimensión política: Esta referido a las partes interesadas del agua a nivel de la cuenca, comunidades, Distritos, la ciudad de Ayacucho, incluidos los ciudadanos marginados,

como las comunidades campesinas que no cuenta con suficiente agua, las mujeres o los habitantes de barrios marginales, y su capacidad para influir y monitorear los procesos y resultados políticos y ser participantes activos en la toma de decisiones.

Dimensión ambiental: Indica el uso sostenible de los recursos hídricos y la integridad del ecosistema, como resultado de una mejor gobernanza del agua. Incluye parámetros como la calidad y cantidad de los recursos hídricos y reconoce su importancia para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Dado que la calidad del agua está disminuyendo en muchas partes del Perú debido al uso agrícola intensivo, las oportunidades de subsistencia de las personas pobres a menudo dependen directamente del acceso sostenido a recursos naturales como el agua, en particular en áreas propensas a la contaminación, las sequías y las inundaciones.

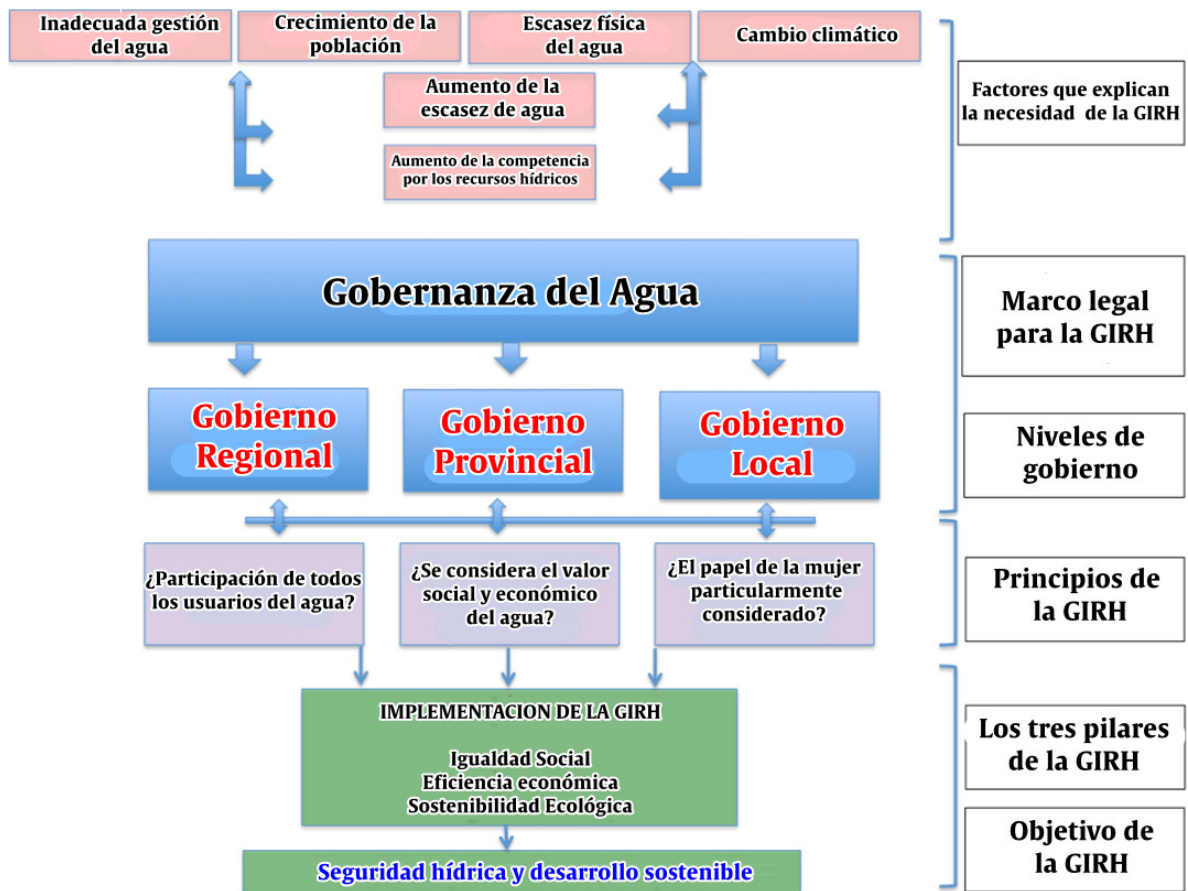
Dado que la gobernanza del agua proporciona el marco legal para todas las acciones en el sector del agua, determina el desarrollo (sostenible) de los recursos hídricos y, por lo tanto, tiene un profundo impacto en la vida de los Ayacuchanos. El papel clave de la gobernabilidad es crear un marco institucional y administrativo, donde las personas con diferentes intereses puedan cooperar pacíficamente y coordinar sus acciones sobre el recurso agua, un recurso que escasea poco a poco.

Se recomienda al Gobierno Regional de Ayacucho, así como a las municipalidades (gobiernos locales), implementar y aplicar con éxito los principios de la GIRH, en un marco de gobernanza del agua para planificar e y hacer uso sostenible del recurso agua.

En el contexto de gestión sostenible del agua, la implementación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para el proyecto Cachi solo es posible con un marco político adecuado a nivel regional, provincial y distrital, que pueda proporcionar el marco institucional para la GIRH. No solo la escasez física de agua, sino también prácticas inadecuadas de gestión del agua (por ejemplo, toma de decisiones desigual entre diferentes usuarios del agua), los impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico (incertidumbres) y el crecimiento de la población (incluida la creciente demanda de agua para una mayor producción agrícola y cambios en el comportamiento del consumidor, aumentará presión sobre los recursos de agua dulce y aumentará la competencia entre los usuarios en la cuenca del río Cachi.

Por lo tanto, la gobernanza regional del agua debe proporcionar el marco para se implemente la GIRH en todos los niveles de gobierno. Solo cuando los principios de la GIRH sean adoptados por todos los niveles, sectores y usuarios, la GIRH podrá implementarse plenamente, lo que resultará en equidad social, eficiencia económica y sostenibilidad ambiental como se ilustra en la Figura 4.66. La participación adecuada en las prácticas de gestión del agua mejora la resiliencia de las personas y, por lo tanto, aumentarán sus capacidades de adaptación a la variabilidad y el cambio climático. Por lo tanto, a través de la GIRH, se puede lograr

Figura 4.66: Esquema de la propuesta del enfoque recomendado



el objetivo general de seguridad hídrica y desarrollo sostenible. La Figura 4.66 resume la propuesta de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para el proyecto Cachi.

Capítulo V: Conclusiones

Conclusiones

De acuerdo con los objetivos establecidos en el primer capítulo y las variables de diseño analizadas en el tercer capítulo, la investigación llevada a cabo y el posterior análisis de resultados se concluye:

1. La infraestructura hidráulica canal principal Proyecto Especial Río Cachi tramo Cuchoquesera-Ichucruz se encuentra en estado operativo desde el punto de salida de la Presa Cuchoquesera hasta Ichucruz, y que todo el sistema cuenta con programas de mantenimiento preventivo, correctivo y de emergencias durante todo el año.
2. Los coeficientes de rugosidad de Manning, para el canal del Proyecto Cachi varían significativamente con la profundidad del flujo y depende de muchos factores, como la rugosidad de la superficie, la geometría de la sección transversal y el grado de las obstrucciones como se muestra en las Figuras 4.53 y 4.53.
3. El promedio del coeficiente de rugosidad de Manning para el canal del Proyecto Cachi se encuentra en 0.017611 para condiciones de flujo diferentes.
4. Para el Canal del Rio Cachi se ha identificado y analizado el estado actual de operación del canal y se ha evidenciado que el mantenimiento no es suficiente y requiere del mejoramiento a través de la modernización de todo el sistema hidráulico.
5. En los canales se pudo identificar los daños ocasionado en las estructuras de concreto y también área hidráulica en cada tramo y éstas deben ser reparados, para tener un buen mejoramiento en los tramos de cada zona.
6. Para la simulación hidráulica se utilizó el programa HEC-RAS, en régimen permanente.
7. Se presenta propuestas de mejora del canal a partir de la simulación hidráulica y estas deben ser implementadas.

8. Actualizar los estudios de la demanda, tanto para el uso integral del sistema hidráulico como en su proyección hasta el año 2025.
9. La gestión del agua para uso doméstico, industrial y agrícola debe estar integrada geográfica, cultural, social y económicamente en cuenca Cachi para seguir los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Recomendaciones

1. Considerar como un requisito indispensable para los diseños hidráulicos de canales abiertos la optimización considerando aquellas secciones de costo mínimo y que cumplan ciertas restricciones de demanda, velocidades y otros.
2. Se recomienda al Gobierno Regional de Ayacucho, implementar la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para el sistema hidráulico Cachi con la finalidad de hacer uso eficiente del recurso agua y garantizar la seguridad hídrica y el desarrollo sostenible de la Region Ayacucho.
3. Incentivar continuamente la investigación científica en el campo de la ingeniería hidráulica, generando políticas de cooperación entre las universidades y las entidades públicas y privadas, que permita un beneficio común, pues la importancia de este campo es muy importante no solamente en el campo de la construcción de obras hidráulicas, sino también en otros aspectos.
4. Se espera que los progresos en las investigaciones futuras se orienten en esta dirección para mejorar el rendimiento de los problemas relacionados con el funcionamiento hidráulico del canal del proyecto Rio Cachi y su estado de operación.
5. Se recomienda al Gobierno Regional de Ayacucho, así como a las municipalidades (gobiernos locales), implementar y aplicar con éxito los principios de la GIRH, en un marco de gobernanza del agua para planificar e y hacer uso sostenible del recurso agua.

Trabajos futuros

1. Analizar el comportamiento hidráulico del canal a partir de datos reales mediante la inteligencia artificial.

Referencias

Metodología de la investigación

- García, C. F. (2002). *La tesis y el trabajo de tesis Thesis and Dissertation Work* (Spanish Edition. De C.V.). Editorial Limusa S.A.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. d. P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edición). Mc Graw Hill.
- Tamayo, M. (2007). *Metodología de la Investigación. México: Limusa.*

Ciencias de la computación

- Bertziss, A. T. (2014). *Data structures: theory and practice*. Academic press.
- Deo, N. (2017). *Graph theory with applications to engineering and computer science*. Courier Dover Publications.

Hidraulica de canales abiertos

- Akan, A. O. (2006). *Open channel hydraulics* (Elsevier, Ed.; First). Butterworth-Heinemann.
- Chaudhry, M. H. (2008). *Open-channel flow* (Second Edition). Springer Science & Business Media.
- Chaudhry, M. H., & Schulte, A. M. (1986). Computation of steady-state, gradually varied flows in parallel channels. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 13(1), 39-45.
- Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá, CO: McGraw-Hill.
- Cruz Fernández, M. (2016). *Evaluación de la velocidad en un canal abierto mediante las ecuaciones de factor de fricción de Darcy-Weisbach, Chezy y Manning-Ayacucho-2016*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Epp, R., & Fowler, A. G. (1970). Efficient code for steady-state flows in networks. *Journal of the hydraulics division*, 96(1), 43-56.

- Espir, N. J. J., & Morales Leiva, J. A. (2015). *Evaluación de fenómenos hidráulicos en el canal Chaquin del sistema de riego del Valle de Virú primer tramo*. Universidad Privada Antenor Orrego-UPAO.
- Figueroa Lopez, R. N. (2017). *Ecuaciones de Saint-Venant para simular flujos en canales abiertos*. Universidad Nacional de Trujillo.
- González, C. I. E. (2018). *Aspectos hidráulicos en el diseño de una plataforma de gestión y monitoreo de canales de regadío - aplicación al caso de la Junta de Vigilancia primera sección del río Aconcagua*. Universidad de Chile.
- Guamán, S. V. A. (2018). *Modelación numérica y experimental de un canal rectangular abierto con diferentes tipos de vertederos* [MA. Thesis].
- Henderson, F. M. (1996). *Open channel flow*. Macmillan.
- Jan, C.-D. (2014). *Gradually-varied Flow Profiles in Open Channels: Analytical Solutions by Using Gaussian Hypergeometric Function*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35242-3>
- Jeppson, R. W. (1974). *Simulation of Steady and Unsteady Flows in Channels and Rivers* (inf. téc.). Utah State University.
- Misaico, R. G. N. (2014). *Tesis: Modelamiento hidráulico del río Lircay en el tramo de la ciudad de Ocopa*. Facultad de Ingeniería de Minas Civil, Escuela Académico Profesional Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Huancavelica.
- Paine, J. N. (1992). Open-channel flow algorithm in Newton-Raphson form. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(2), 306-319.
- Reddy, H. P., & Bhallamudi, S. M. (2004). Gradually Varied Flow Computation in Cyclic Looped Channel Networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(5), 424-431. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2004\)130:5\(424\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2004)130:5(424))
- Rhodes, D. G. (1995). Newton-Raphson solution for gradually varied flow. *Journal of Hydraulic Research*, 33(2), 213-218.
- Schulte, A., & Chaudhry, M. (1987). Gradually-varied flows in open-channel networks. *Journal of Hydraulic Research*, 25(3), 357-371.
- Sinche, C. D. L. (2018). *Comportamiento hidráulico de flujos en canales abiertos para ubicar fallas-canal de San Lorenzo-Jauja, 2017*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Subramanya, K. (2013). *Flow in open channels* (Fourth Edition). McGraw Hill Education (India) Private Limited.
- Suresh, S., & Sridharan, K. (2021). Gradually Varied Flow Computation in Structured Irrigation Networks. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.663193>
- Szymkiewicz, R., & Szymkiewicz, A. (2004). Method to solve the non-linear systems of equations for steady gradually varied flow in open channel network. *Communications*

- in Numerical Methods in Engineering*, 20(4), 299-312. <https://doi.org/10.1002/cnm.671>
- Torres, S. J. M. (2017). *Tesis: Diseño hidráulico y modelamiento en HEC-CRA del canal de concreto y de obras de arte del Proyecto Carpintero - Tramo Km 0+000 al Km 5+000*. Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Wylie, E. B. (1972). Water surface profiles in divided channels. *Journal of hydraulic research*, 10(3), 325-341.

Otros

- GESSAM, P. (2016). *Proyecto GESAAM: Gestión social del agua y del ambiente en Cuenca* (inf. téc.). CEPES, CODEHICA, SER, SISAY y COOPERACIÓN.
- Gobierno Regional de Ayacucho, G. (2016). *Proyecto especial "Río Cachi"* (inf. téc.). Gobierno Regional de Ayacucho. Ayacucho-Peru.

Anexo A

Panel Fotográfico

A.1. Canal Cuchoquesera-Ichucruz

Figura A.1: Canal de salida de la Presa Cuchoquesera



Figura A.2: Limpieza del canal



Figura A.3: Canal trapezoidal la compuerta de toma lateral y pase vehicular



Figura A.4: Entrada al túnel Ichocruz



Figura A.5: Inspección del canal Cachi



Figura A.6: Verificando las estructuras hidráulicas



Figura A.7: Tramo en estudio



A.2. Fotos del aforo

Figura A.8: Correntometro tipo molinete



Figura A.9: Correntometro tipo molinete



Figura A.10: Aforo en la salida del canal



Figura A.11: Aforo en la salida del canal



Figura A.12: Aforo en la entrada del túnel



Figura A.13: Aforo en la entrada del túnel



Figura A.14: Aforo en la entrada del túnel



Anexo B

Resultados de la simulación hidráulica

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: CANAL_CACHI Reach: Eje Profile: Qmax

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje	10600	Qmax	10.30	3713.71	3714.65	3715.01	3715.79	0.010011	4.74	2.17	3.23	1.85
Eje	10580	Qmax	10.30	3713.70	3715.39	3714.99	3715.59	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	10560	Qmax	10.30	3713.67	3715.37		3715.57	0.000969	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	10540	Qmax	10.30	3713.66	3715.35		3715.55	0.000970	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	10520	Qmax	10.30	3713.64	3715.33		3715.53	0.000968	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	10500	Qmax	10.30	3713.62	3715.31		3715.51	0.000968	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	10480	Qmax	10.30	3713.60	3715.29		3715.49	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	10460	Qmax	10.30	3713.57	3715.27		3715.47	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	10440	Qmax	10.30	3713.56	3715.25		3715.45	0.000965	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	10420	Qmax	10.30	3713.53	3715.23		3715.43	0.000962	1.98	5.20	4.69	0.60
Eje	10400	Qmax	10.30	3713.52	3715.21		3715.41	0.000962	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	10380	Qmax	10.30	3713.49	3715.19		3715.39	0.000961	1.98	5.20	4.69	0.60
Eje	10360	Qmax	10.30	3713.48	3715.17		3715.37	0.000960	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	10340	Qmax	10.30	3713.46	3715.15		3715.35	0.000958	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	10320	Qmax	10.30	3713.44	3715.13		3715.33	0.000957	1.98	5.21	4.70	0.60
Eje	10300	Qmax	10.30	3713.42	3715.11		3715.31	0.000956	1.98	5.21	4.70	0.60
Eje	10280	Qmax	10.30	3713.39	3715.09		3715.29	0.000951	1.97	5.22	4.70	0.60
Eje	10260	Qmax	10.30	3713.38	3715.08		3715.27	0.000950	1.97	5.22	4.70	0.60
Eje	10240	Qmax	10.30	3713.35	3715.06		3715.25	0.000948	1.97	5.22	4.71	0.60
Eje	10220	Qmax	10.30	3713.34	3715.04		3715.24	0.000947	1.97	5.23	4.71	0.60
Eje	10200	Qmax	10.30	3713.31	3715.02		3715.22	0.000946	1.97	5.23	4.71	0.60
Eje	10180	Qmax	10.30	3713.30	3715.00		3715.20	0.000945	1.97	5.23	4.71	0.60
Eje	10160	Qmax	10.30	3713.28	3714.98		3715.18	0.000938	1.96	5.24	4.72	0.59
Eje	10140	Qmax	10.30	3713.25	3714.96		3715.16	0.000936	1.96	5.25	4.71	0.59
Eje	10120	Qmax	10.30	3713.24	3714.94		3715.14	0.000937	1.96	5.25	4.72	0.59
Eje	10100	Qmax	10.30	3713.21	3714.92		3715.12	0.000931	1.96	5.26	4.72	0.59
Eje	10080	Qmax	10.30	3713.20	3714.90		3715.10	0.000931	1.96	5.26	4.72	0.59
Eje	10060	Qmax	10.30	3713.17	3714.89		3715.08	0.000927	1.95	5.27	4.72	0.59
Eje	10040	Qmax	10.30	3713.16	3714.87		3715.06	0.000925	1.95	5.27	4.73	0.59
Eje	10020	Qmax	10.30	3713.14	3714.85		3715.04	0.000921	1.95	5.28	4.73	0.59
Eje	10000	Qmax	10.30	3713.12	3714.83		3715.02	0.000919	1.95	5.29	4.73	0.59
Eje	9980	Qmax	10.30	3713.10	3714.81		3715.01	0.000913	1.94	5.30	4.74	0.59
Eje	9960	Qmax	10.30	3713.07	3714.79		3714.99	0.000909	1.94	5.31	4.74	0.59
Eje	9940	Qmax	10.30	3713.06	3714.80		3714.96	0.000788	1.82	6.33	6.93	0.55
Eje	9920	Qmax	10.30	3713.03	3714.79		3714.94	0.000711	1.73	6.94	7.38	0.52
Eje	9900	Qmax	10.30	3713.02	3714.79		3714.92	0.000630	1.64	7.55	7.74	0.49
Eje	9880	Qmax	10.30	3712.99	3714.71		3714.89	0.000903	1.93	5.61	6.11	0.58
Eje	9860	Qmax	10.30	3712.98	3714.69		3714.88	0.000895	1.92	5.66	6.19	0.58
Eje	9840	Qmax	10.30	3712.96	3714.67		3714.86	0.000909	1.94	5.52	5.94	0.59
Eje	9820	Qmax	10.30	3712.94	3714.66		3714.83	0.000871	1.90	5.83	6.42	0.57
Eje	9800	Qmax	10.30	3712.92	3714.65		3714.81	0.000786	1.81	6.43	7.02	0.54
Eje	9780	Qmax	10.30	3712.89	3714.66		3714.79	0.000633	1.64	7.59	7.76	0.49
Eje	9760	Qmax	10.30	3712.88	3714.57		3714.76	0.000926	1.95	5.60	6.18	0.59
Eje	9740	Qmax	10.30	3712.85	3714.55		3714.75	0.000973	1.99	5.21	5.22	0.60
Eje	9720	Qmax	10.30	3712.84	3714.53		3714.73	0.000975	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	9700	Qmax	10.30	3712.82	3714.51		3714.71	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.60
Eje	9680	Qmax	10.30	3712.80	3714.49		3714.69	0.000974	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	9660	Qmax	10.30	3712.78	3714.47		3714.67	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	9640	Qmax	10.30	3712.75	3714.45		3714.65	0.000970	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	9620	Qmax	10.30	3712.74	3714.43		3714.63	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	9600	Qmax	10.30	3712.71	3714.41		3714.61	0.000970	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	9580	Qmax	10.30	3712.70	3714.39		3714.59	0.000967	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	9560	Qmax	10.30	3712.68	3714.37		3714.57	0.000966	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	9540	Qmax	10.30	3712.66	3714.35		3714.55	0.000968	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	9520	Qmax	10.30	3712.64	3714.33		3714.53	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	9500	Qmax	10.30	3712.62	3714.31		3714.51	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	9480	Qmax	10.30	3712.60	3714.29		3714.49	0.000959	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	9460	Qmax	10.30	3712.57	3714.26		3714.47	0.001055	2.05	5.01	4.56	0.63
Eje	9440	Qmax	10.30	3712.56	3714.24		3714.45	0.000988	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	9420	Qmax	10.30	3712.53	3714.22		3714.43	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	9400	Qmax	10.30	3712.52	3714.20		3714.41	0.000977	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	9380	Qmax	10.30	3712.49	3714.18		3714.39	0.000974	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	9360	Qmax	10.30	3712.48	3714.16		3714.37	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	9340	Qmax	10.30	3712.46	3714.15		3714.35	0.000974	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	9320	Qmax	10.30	3712.44	3714.12		3714.33	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	9300	Qmax	10.30	3712.42	3714.11		3714.31	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	9280	Qmax	10.30	3712.39	3714.09		3714.29	0.000974	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	9260	Qmax	10.30	3712.38	3714.07		3714.27	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	9240	Qmax	10.30	3712.35	3714.05		3714.25	0.000973	1.99	5.17	4.68	0.60
Eje	9220	Qmax	10.30	3712.34	3714.03		3714.23	0.000975	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	9200	Qmax	10.30	3712.32	3714.01		3714.21	0.000973	1.99	5.17	4.68	0.60
Eje	9180	Qmax	10.30	3712.30	3713.99		3714.19	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	9160	Qmax	10.30	3712.28	3713.97		3714.17	0.000968	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	9140	Qmax	10.30	3712.25	3713.95		3714.15	0.000969	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	9120	Qmax	10.30	3712.24	3713.93		3714.13	0.000968	1.99	5.19	4.93	0.60
Eje	9100	Qmax	10.30	3712.21	3713.91		3714.11	0.000962	1.98	5.25	5.32	0.60

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: CANAL_CACHI Reach: Eje Profile: Qmax (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje	9080	Qmax	10.30	3712.20	3713.89		3714.09	0.000956	1.98	5.31	5.53	0.60
Eje	9060	Qmax	10.30	3712.17	3713.87		3714.07	0.000939	1.96	5.45	5.88	0.59
Eje	9040	Qmax	10.30	3712.16	3713.86		3714.05	0.000892	1.92	5.80	6.44	0.58
Eje	9020	Qmax	10.30	3712.14	3713.84		3714.03	0.000887	1.91	5.82	6.45	0.58
Eje	9000	Qmax	10.30	3712.11	3713.81		3714.01	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	8980	Qmax	10.30	3712.10	3713.80		3713.98	0.000905	1.93	5.78	6.43	0.58
Eje	8960	Qmax	10.30	3712.07	3713.76		3713.96	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8940	Qmax	10.30	3712.06	3713.74		3713.94	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8920	Qmax	10.30	3712.03	3713.72		3713.92	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	8900	Qmax	10.30	3712.02	3713.70		3713.90	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8880	Qmax	10.30	3712.00	3713.68		3713.88	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	8860	Qmax	10.30	3711.98	3713.66		3713.86	0.000990	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8840	Qmax	10.30	3711.96	3713.64		3713.84	0.000986	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	8820	Qmax	10.30	3711.93	3713.62		3713.82	0.000991	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8800	Qmax	10.30	3711.92	3713.60		3713.80	0.000991	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8780	Qmax	10.30	3711.89	3713.58		3713.78	0.000990	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8760	Qmax	10.30	3711.88	3713.56		3713.76	0.000991	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8740	Qmax	10.30	3711.85	3713.54		3713.74	0.000987	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8720	Qmax	10.30	3711.84	3713.52		3713.72	0.000992	2.01	5.14	4.67	0.61
Eje	8700	Qmax	10.30	3711.82	3713.50		3713.70	0.000991	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8680	Qmax	10.30	3711.79	3713.48		3713.68	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8660	Qmax	10.30	3711.78	3713.46		3713.66	0.000993	2.01	5.14	4.67	0.61
Eje	8640	Qmax	10.30	3711.75	3713.44		3713.64	0.000992	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8620	Qmax	10.30	3711.74	3713.42		3713.62	0.000992	2.01	5.14	4.67	0.61
Eje	8600	Qmax	10.30	3711.71	3713.40		3713.60	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8580	Qmax	10.30	3711.70	3713.38		3713.58	0.000994	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8560	Qmax	10.30	3711.68	3713.36		3713.56	0.000991	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	8540	Qmax	10.30	3711.66	3713.34		3713.54	0.000997	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8520	Qmax	10.30	3711.64	3713.32		3713.52	0.000995	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8500	Qmax	10.30	3711.61	3713.30		3713.50	0.000994	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8480	Qmax	10.30	3711.60	3713.28		3713.48	0.000995	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8460	Qmax	10.30	3711.57	3713.26		3713.46	0.000994	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8440	Qmax	10.30	3711.56	3713.24		3713.44	0.000996	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8420	Qmax	10.30	3711.53	3713.22		3713.42	0.000997	2.01	5.13	4.66	0.61
Eje	8400	Qmax	10.30	3711.52	3713.20		3713.40	0.000999	2.01	5.12	4.67	0.61
Eje	8380	Qmax	10.30	3711.50	3713.18		3713.38	0.000997	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	8360	Qmax	10.30	3711.48	3713.16		3713.36	0.001000	2.01	5.12	4.66	0.61
Eje	8340	Qmax	10.30	3711.46	3713.14		3713.34	0.000999	2.01	5.12	4.66	0.61
Eje	8320	Qmax	10.30	3711.43	3713.11		3713.32	0.000999	2.01	5.12	4.66	0.61
Eje	8300	Qmax	10.30	3711.42	3713.09		3713.30	0.001000	2.01	5.12	4.66	0.61
Eje	8280	Qmax	10.30	3711.39	3713.07		3713.28	0.001001	2.01	5.12	4.66	0.61
Eje	8260	Qmax	10.30	3711.38	3713.05		3713.26	0.001005	2.01	5.11	4.66	0.61
Eje	8240	Qmax	10.30	3711.36	3713.03		3713.24	0.001000	2.01	5.12	4.66	0.61
Eje	8220	Qmax	10.30	3711.34	3713.01		3713.22	0.001005	2.01	5.11	4.66	0.61
Eje	8200	Qmax	10.30	3711.32	3712.99		3713.20	0.001007	2.02	5.11	4.66	0.62
Eje	8180	Qmax	10.30	3711.29	3712.97		3713.18	0.001004	2.01	5.11	4.66	0.61
Eje	8160	Qmax	10.30	3711.28	3712.95		3713.16	0.001004	2.01	5.11	4.66	0.61
Eje	8140	Qmax	10.30	3711.25	3712.93		3713.14	0.001011	2.02	5.10	4.65	0.62
Eje	8120	Qmax	10.30	3711.24	3712.91		3713.12	0.001012	2.02	5.10	4.65	0.62
Eje	8100	Qmax	10.30	3711.22	3712.89		3713.10	0.001009	2.02	5.10	4.65	0.62
Eje	8080	Qmax	10.30	3711.20	3712.87		3713.08	0.001012	2.02	5.10	4.66	0.62
Eje	8060	Qmax	10.30	3711.18	3712.85		3713.06	0.001010	2.02	5.10	4.66	0.62
Eje	8040	Qmax	10.30	3711.16	3712.83		3713.04	0.001016	2.02	5.09	4.65	0.62
Eje	8020	Qmax	10.30	3711.14	3712.81		3713.02	0.001013	2.02	5.10	4.65	0.62
Eje	8000	Qmax	10.30	3711.11	3712.79		3713.00	0.001016	2.02	5.09	4.65	0.62
Eje	7980	Qmax	10.30	3711.10	3712.77		3712.98	0.001016	2.02	5.09	4.65	0.62
Eje	7960	Qmax	10.30	3711.07	3712.75		3712.96	0.001020	2.03	5.08	4.65	0.62
Eje	7940	Qmax	10.30	3711.06	3712.73		3712.94	0.001022	2.03	5.08	4.65	0.62
Eje	7920	Qmax	10.30	3711.03	3712.70		3712.92	0.001077	2.07	4.98	4.57	0.63
Eje	7900	Qmax	10.30	3711.02	3712.68		3712.89	0.001036	2.04	5.05	4.64	0.62
Eje	7880	Qmax	10.30	3711.00	3712.66		3712.87	0.001034	2.04	5.06	4.64	0.62
Eje	7860	Qmax	10.30	3710.98	3712.64		3712.85	0.001043	2.04	5.04	4.63	0.63
Eje	7840	Qmax	10.30	3710.96	3712.62		3712.83	0.001042	2.04	5.04	4.63	0.63
Eje	7820	Qmax	10.30	3710.93	3712.60		3712.81	0.001045	2.05	5.04	4.63	0.63
Eje	7800	Qmax	10.30	3710.92	3712.57		3712.79	0.001050	2.05	5.03	4.63	0.63
Eje	7780	Qmax	10.30	3710.89	3712.55		3712.77	0.001051	2.05	5.03	4.62	0.63
Eje	7760	Qmax	10.30	3710.88	3712.53		3712.75	0.001061	2.06	5.01	4.62	0.63
Eje	7740	Qmax	10.30	3710.86	3712.51		3712.73	0.001065	2.06	5.00	4.61	0.63
Eje	7720	Qmax	10.30	3710.84	3712.49		3712.70	0.001071	2.06	5.03	5.12	0.63
Eje	7700	Qmax	10.30	3710.82	3712.47		3712.68	0.001071	2.06	5.03	5.14	0.63
Eje	7680	Qmax	10.30	3710.79	3712.45		3712.66	0.001055	2.05	5.21	5.74	0.63
Eje	7660	Qmax	10.30	3710.78	3712.43		3712.63	0.001007	2.00	5.54	6.28	0.61
Eje	7640	Qmax	10.30	3710.75	3712.42		3712.61	0.000987	1.99	5.66	6.42	0.61
Eje	7620	Qmax	10.30	3710.74	3712.40		3712.59	0.000983	1.98	5.69	6.46	0.61
Eje	7600	Qmax	10.30	3710.71	3712.37		3712.57	0.001000	2.00	5.59	6.35	0.61
Eje	7580	Qmax	10.30	3710.70	3712.35		3712.55	0.001012	2.01	5.54	6.30	0.62

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: CANAL_CACHI Reach: Eje Profile: Qmax (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje	7560	Qmax	10.30	3710.68	3712.34		3712.52	0.000922	1.92	6.06	6.81	0.59
Eje	7540	Qmax	10.30	3710.66	3712.32		3712.51	0.000928	1.93	6.02	6.78	0.59
Eje	7520	Qmax	10.30	3710.64	3712.31		3712.48	0.000890	1.90	6.22	6.94	0.58
Eje	7500	Qmax	10.30	3710.61	3712.22		3712.46	0.001208	2.16	4.77	4.52	0.67
Eje	7480	Qmax	10.30	3710.60	3712.25		3712.41	0.000852	1.84	6.67	7.27	0.57
Eje	7460	Qmax	10.30	3710.57	3712.23		3712.39	0.000862	1.86	6.60	7.22	0.57
Eje	7440	Qmax	10.30	3710.56	3712.19		3712.38	0.000972	1.96	6.05	6.85	0.60
Eje	7420	Qmax	10.30	3710.54	3712.18		3712.35	0.000949	1.94	6.16	6.93	0.60
Eje	7400	Qmax	10.30	3710.52	3712.15		3712.34	0.001007	1.99	5.89	6.73	0.61
Eje	7380	Qmax	10.30	3710.50	3712.12		3712.32	0.001047	2.02	5.70	6.57	0.63
Eje	7360	Qmax	10.30	3710.47	3712.10		3712.30	0.001043	2.02	5.73	6.59	0.62
Eje	7340	Qmax	10.30	3710.46	3712.14		3712.25	0.000646	1.62	8.09	7.95	0.49
Eje	7320	Qmax	10.30	3710.43	3712.15		3712.23	0.000481	1.41	9.61	8.45	0.43
Eje	7300	Qmax	10.30	3710.42	3712.16		3712.22	0.000384	1.27	10.86	8.78	0.38
Eje	7280	Qmax	10.30	3710.40	3712.13		3712.21	0.000478	1.41	9.57	8.46	0.42
Eje	7260	Qmax	10.30	3710.38	3712.09		3712.20	0.000589	1.56	8.43	8.09	0.47
Eje	7240	Qmax	10.30	3710.36	3712.08		3712.18	0.000583	1.56	8.42	8.10	0.47
Eje	7220	Qmax	10.30	3710.33	3712.06		3712.17	0.000638	1.63	7.92	7.89	0.49
Eje	7200	Qmax	10.30	3710.32	3712.05		3712.16	0.000562	1.53	8.55	8.16	0.46
Eje	7180	Qmax	10.30	3710.29	3712.04		3712.14	0.000577	1.56	8.36	8.09	0.47
Eje	7160	Qmax	10.30	3710.28	3712.01		3712.13	0.000671	1.67	7.54	7.73	0.50
Eje	7140	Qmax	10.30	3710.25	3712.03		3712.11	0.000461	1.40	9.56	8.50	0.42
Eje	7120	Qmax	10.30	3710.24	3712.04		3712.09	0.000286	1.12	12.45	9.18	0.33
Eje	7100	Qmax	10.30	3710.22	3712.00		3712.08	0.000430	1.36	9.88	8.61	0.40
Eje	7080	Qmax	10.30	3710.20	3711.97		3712.07	0.000532	1.51	8.65	8.22	0.45
Eje	7060	Qmax	10.30	3710.18	3711.91		3712.05	0.000713	1.73	7.08	7.49	0.52
Eje	7040	Qmax	10.30	3710.15	3711.82		3712.03	0.001016	2.02	5.27	5.74	0.62
Eje	7020	Qmax	10.30	3710.14	3711.80		3712.01	0.001048	2.05	5.03	4.63	0.63
Eje	7000	Qmax	10.30	3710.11	3711.77		3711.99	0.001054	2.05	5.02	4.62	0.63
Eje	6980	Qmax	10.30	3710.10	3711.75		3711.97	0.001045	2.04	5.16	5.55	0.63
Eje	6960	Qmax	10.30	3710.07	3711.73		3711.94	0.001031	2.03	5.26	5.78	0.62
Eje	6940	Qmax	10.30	3710.06	3711.74		3711.91	0.000865	1.88	6.29	6.98	0.57
Eje	6920	Qmax	10.30	3710.04	3711.68		3711.89	0.001059	2.05	5.32	6.01	0.63
Eje	6900	Qmax	10.30	3710.01	3711.66		3711.87	0.001076	2.06	5.25	5.91	0.63
Eje	6880	Qmax	10.30	3710.00	3711.63		3711.85	0.001080	2.06	5.23	5.88	0.64
Eje	6860	Qmax	10.30	3709.97	3711.64		3711.81	0.000925	1.92	6.11	6.87	0.59
Eje	6840	Qmax	10.30	3709.96	3711.62		3711.79	0.000900	1.90	6.25	6.97	0.58
Eje	6820	Qmax	10.30	3709.93	3711.65		3711.76	0.000613	1.59	8.19	8.00	0.48
Eje	6800	Qmax	10.30	3709.92	3711.65		3711.74	0.000538	1.50	8.85	8.25	0.45
Eje	6780	Qmax	10.30	3709.90	3711.64		3711.73	0.000522	1.48	8.96	8.29	0.44
Eje	6760	Qmax	10.30	3709.88	3711.62		3711.72	0.000581	1.56	8.35	8.08	0.47
Eje	6740	Qmax	10.30	3709.86	3711.60		3711.71	0.000599	1.59	8.13	8.00	0.48
Eje	6720	Qmax	10.30	3709.84	3711.59		3711.70	0.000587	1.58	8.20	8.03	0.47
Eje	6700	Qmax	10.30	3709.82	3711.58		3711.68	0.000562	1.55	8.38	8.11	0.46
Eje	6680	Qmax	10.30	3709.79	3711.56		3711.67	0.000573	1.56	8.21	8.05	0.47
Eje	6660	Qmax	10.30	3709.78	3711.55		3711.66	0.000581	1.58	8.12	8.01	0.47
Eje	6640	Qmax	10.30	3709.75	3711.53		3711.65	0.000613	1.62	7.77	7.85	0.48
Eje	6620	Qmax	10.30	3709.74	3711.47		3711.63	0.000763	1.79	6.60	7.16	0.54
Eje	6600	Qmax	10.30	3709.72	3711.46		3711.61	0.000757	1.78	6.61	7.16	0.54
Eje	6580	Qmax	10.30	3709.70	3711.43		3711.60	0.000814	1.84	6.18	6.79	0.55
Eje	6560	Qmax	10.30	3709.68	3711.41		3711.58	0.000819	1.85	6.11	6.71	0.56
Eje	6540	Qmax	10.30	3709.65	3711.41		3711.56	0.000725	1.75	6.80	7.29	0.52
Eje	6520	Qmax	10.30	3709.64	3711.40		3711.54	0.000711	1.74	6.87	7.33	0.52
Eje	6500	Qmax	10.30	3709.61	3711.32		3711.52	0.000936	1.96	5.25	4.72	0.59
Eje	6480	Qmax	10.30	3709.60	3711.32		3711.49	0.000854	1.88	5.95	6.57	0.57
Eje	6460	Qmax	10.30	3709.57	3711.30		3711.48	0.000849	1.88	5.95	6.56	0.57
Eje	6440	Qmax	10.30	3709.56	3711.29		3711.45	0.000817	1.85	6.18	6.80	0.56
Eje	6420	Qmax	10.30	3709.54	3711.27		3711.43	0.000783	1.81	6.40	6.99	0.54
Eje	6400	Qmax	10.30	3709.51	3711.26		3711.42	0.000775	1.80	6.43	7.01	0.54
Eje	6380	Qmax	10.30	3709.50	3711.22		3711.40	0.000878	1.91	5.69	6.19	0.58
Eje	6360	Qmax	10.30	3709.47	3711.20		3711.38	0.000855	1.89	5.84	6.40	0.57
Eje	6340	Qmax	10.30	3709.46	3711.19		3711.36	0.000839	1.87	5.93	6.51	0.56
Eje	6320	Qmax	10.30	3709.43	3711.17		3711.35	0.000852	1.89	5.80	6.32	0.57
Eje	6300	Qmax	10.30	3709.42	3711.14		3711.33	0.000879	1.91	5.57	5.93	0.58
Eje	6280	Qmax	10.30	3709.40	3711.13		3711.31	0.000868	1.90	5.63	6.01	0.57
Eje	6260	Qmax	10.30	3709.38	3711.11		3711.29	0.000861	1.90	5.66	6.06	0.57
Eje	6240	Qmax	10.30	3709.36	3711.09		3711.27	0.000861	1.90	5.62	5.95	0.57
Eje	6220	Qmax	10.30	3709.33	3711.07		3711.26	0.000875	1.91	5.41	5.23	0.58
Eje	6200	Qmax	10.30	3709.32	3711.05		3711.24	0.000873	1.91	5.39	4.98	0.57
Eje	6180	Qmax	10.30	3709.29	3711.03		3711.22	0.000867	1.91	5.40	4.78	0.57
Eje	6160	Qmax	10.30	3709.28	3711.02		3711.20	0.000861	1.90	5.42	4.78	0.57
Eje	6140	Qmax	10.30	3709.25	3711.00		3711.18	0.000854	1.90	5.43	4.79	0.57
Eje	6120	Qmax	10.30	3709.24	3710.98		3711.17	0.000850	1.89	5.44	4.80	0.57
Eje	6100	Qmax	10.30	3709.22	3710.97		3711.15	0.000843	1.89	5.46	4.80	0.56
Eje	6080	Qmax	10.30	3709.20	3710.96		3711.13	0.000799	1.84	5.95	6.41	0.55
Eje	6060	Qmax	10.30	3709.18	3711.02		3711.08	0.000367	1.28	10.59	8.89	0.37

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: CANAL_CACHI Reach: Eje Profile: Qmax (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje	6040	Qmax	10.30	3709.15	3710.86		3711.06	0.000932	1.96	5.26	4.72	0.59
Eje	6020	Qmax	10.30	3709.14	3710.84		3711.04	0.000932	1.96	5.26	4.72	0.59
Eje	6000	Qmax	10.30	3709.11	3710.83		3711.02	0.000928	1.96	5.27	4.72	0.59
Eje	5980	Qmax	10.30	3709.10	3710.84		3710.99	0.000757	1.78	6.65	7.20	0.53
Eje	5960	Qmax	10.30	3709.08	3710.84		3710.97	0.000656	1.67	7.39	7.65	0.50
Eje	5940	Qmax	10.30	3709.06	3710.76		3710.95	0.000919	1.94	5.64	6.23	0.59
Eje	5920	Qmax	10.30	3709.04	3710.74		3710.92	0.000880	1.90	5.88	6.54	0.58
Eje	5900	Qmax	10.30	3709.01	3710.70		3710.91	0.000975	1.99	5.17	4.74	0.61
Eje	5880	Qmax	10.30	3709.00	3710.69		3710.89	0.000974	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	5860	Qmax	10.30	3708.97	3710.67		3710.87	0.000972	1.99	5.18	4.68	0.60
Eje	5840	Qmax	10.30	3708.96	3710.65		3710.85	0.000977	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	5820	Qmax	10.30	3708.93	3710.63		3710.83	0.000970	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	5800	Qmax	10.30	3708.92	3710.61		3710.81	0.000973	1.99	5.17	4.77	0.61
Eje	5780	Qmax	10.30	3708.90	3710.59		3710.79	0.000966	1.99	5.22	5.21	0.60
Eje	5760	Qmax	10.30	3708.87	3710.57		3710.77	0.000958	1.98	5.30	5.53	0.60
Eje	5740	Qmax	10.30	3708.86	3710.55		3710.75	0.000959	1.98	5.29	5.48	0.60
Eje	5720	Qmax	10.30	3708.83	3710.53		3710.73	0.000967	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	5700	Qmax	10.30	3708.82	3710.51		3710.71	0.000967	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	5680	Qmax	10.30	3708.79	3710.49		3710.69	0.000934	1.96	5.49	5.97	0.59
Eje	5660	Qmax	10.30	3708.78	3710.47		3710.67	0.000943	1.96	5.41	5.80	0.60
Eje	5640	Qmax	10.30	3708.76	3710.46		3710.65	0.000907	1.93	5.70	6.30	0.58
Eje	5620	Qmax	10.30	3708.74	3710.44		3710.63	0.000888	1.91	5.81	6.45	0.58
Eje	5600	Qmax	10.30	3708.72	3710.43		3710.61	0.000859	1.88	6.01	6.67	0.57
Eje	5580	Qmax	10.30	3708.69	3710.38		3710.58	0.000988	2.00	5.14	4.74	0.61
Eje	5560	Qmax	10.30	3708.68	3710.36		3710.56	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5540	Qmax	10.30	3708.65	3710.34		3710.54	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5520	Qmax	10.30	3708.64	3710.32		3710.52	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5500	Qmax	10.30	3708.62	3710.30		3710.50	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5480	Qmax	10.30	3708.60	3710.28		3710.48	0.000990	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5460	Qmax	10.30	3708.58	3710.26		3710.46	0.000990	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5440	Qmax	10.30	3708.55	3710.24		3710.44	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5420	Qmax	10.30	3708.54	3710.22		3710.42	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5400	Qmax	10.30	3708.51	3710.20		3710.40	0.000987	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5380	Qmax	10.30	3708.50	3710.18		3710.38	0.000987	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5360	Qmax	10.30	3708.47	3710.16		3710.36	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5340	Qmax	10.30	3708.46	3710.14		3710.34	0.000991	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5320	Qmax	10.30	3708.44	3710.12		3710.32	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5300	Qmax	10.30	3708.42	3710.10		3710.30	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5280	Qmax	10.30	3708.40	3710.08		3710.28	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5260	Qmax	10.30	3708.37	3710.06		3710.26	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5240	Qmax	10.30	3708.36	3710.04		3710.24	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	5220	Qmax	10.30	3708.33	3710.02		3710.22	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5200	Qmax	10.30	3708.32	3710.00		3710.20	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5180	Qmax	10.30	3708.29	3709.98		3710.18	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5160	Qmax	10.30	3708.28	3709.96		3710.17	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	5140	Qmax	10.30	3708.26	3709.94		3710.15	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5120	Qmax	10.30	3708.24	3709.92		3710.13	0.000987	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	5100	Qmax	10.30	3708.22	3709.90		3710.11	0.000995	2.01	5.13	4.66	0.61
Eje	5080	Qmax	10.30	3708.19	3709.88		3710.08	0.000984	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5060	Qmax	10.30	3708.18	3709.86		3710.07	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	5040	Qmax	10.30	3708.15	3709.84		3710.04	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	5020	Qmax	10.30	3708.14	3709.82		3710.03	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	5000	Qmax	10.30	3708.12	3709.80		3710.01	0.000998	2.01	5.13	4.67	0.61
Eje	4980	Qmax	10.30	3708.10	3709.78		3709.99	0.000986	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4960	Qmax	10.30	3708.08	3709.76		3709.96	0.000985	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4940	Qmax	10.30	3708.05	3709.74		3709.94	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4920	Qmax	10.30	3708.04	3709.72		3709.93	0.000983	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4900	Qmax	10.30	3708.01	3709.70		3709.91	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	4880	Qmax	10.30	3708.00	3709.68		3709.89	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4860	Qmax	10.30	3707.97	3709.66		3709.87	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4840	Qmax	10.30	3707.96	3709.64		3709.85	0.000986	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4820	Qmax	10.30	3707.94	3709.62		3709.83	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4800	Qmax	10.30	3707.92	3709.60		3709.81	0.000986	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4780	Qmax	10.30	3707.90	3709.58		3709.78	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	4760	Qmax	10.30	3707.87	3709.56		3709.77	0.000980	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	4740	Qmax	10.30	3707.86	3709.54		3709.75	0.001002	2.01	5.12	4.65	0.61
Eje	4720	Qmax	10.30	3707.83	3709.52		3709.72	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4700	Qmax	10.30	3707.82	3709.50		3709.71	0.000985	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4680	Qmax	10.30	3707.79	3709.48		3709.69	0.000987	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4660	Qmax	10.30	3707.78	3709.46		3709.67	0.000985	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4640	Qmax	10.30	3707.76	3709.44		3709.65	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	4620	Qmax	10.30	3707.74	3709.42		3709.63	0.000986	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4600	Qmax	10.30	3707.72	3709.40		3709.61	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	4580	Qmax	10.30	3707.69	3709.38		3709.59	0.000983	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4560	Qmax	10.30	3707.68	3709.36		3709.57	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	4540	Qmax	10.30	3707.65	3709.34		3709.55	0.000987	2.00	5.15	4.67	0.61

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: CANAL_CACHI Reach: Eje Profile: Qmax (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje	4520	Qmax	10.30	3707.64	3709.32		3709.53	0.000983	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4500	Qmax	10.30	3707.62	3709.30		3709.51	0.000980	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	4480	Qmax	10.30	3707.60	3709.28		3709.49	0.000986	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4460	Qmax	10.30	3707.58	3709.27		3709.46	0.000943	1.96	5.54	6.11	0.60
Eje	4440	Qmax	10.30	3707.55	3709.24		3709.44	0.000974	1.99	5.31	5.65	0.60
Eje	4420	Qmax	10.30	3707.54	3709.22		3709.42	0.000983	2.00	5.24	5.45	0.61
Eje	4400	Qmax	10.30	3707.51	3709.20		3709.40	0.000983	2.00	5.19	5.15	0.61
Eje	4380	Qmax	10.30	3707.50	3709.18		3709.38	0.000980	2.00	5.23	5.38	0.61
Eje	4360	Qmax	10.30	3707.47	3709.16		3709.36	0.000969	1.99	5.31	5.63	0.60
Eje	4340	Qmax	10.30	3707.46	3709.14		3709.34	0.000971	1.99	5.31	5.63	0.60
Eje	4320	Qmax	10.30	3707.44	3709.12		3709.32	0.000983	2.00	5.16	4.93	0.61
Eje	4300	Qmax	10.30	3707.42	3709.10		3709.31	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	4280	Qmax	10.30	3707.40	3709.08		3709.28	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4260	Qmax	10.30	3707.37	3709.06		3709.26	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4240	Qmax	10.30	3707.36	3709.04		3709.24	0.000980	2.00	5.22	5.34	0.61
Eje	4220	Qmax	10.30	3707.33	3709.02		3709.22	0.000975	1.99	5.24	5.41	0.61
Eje	4200	Qmax	10.30	3707.32	3709.00		3709.20	0.000972	1.99	5.32	5.67	0.60
Eje	4180	Qmax	10.30	3707.30	3708.99		3709.18	0.000963	1.98	5.39	5.83	0.60
Eje	4160	Qmax	10.30	3707.28	3708.96		3709.17	0.000987	2.00	5.15	4.91	0.61
Eje	4140	Qmax	10.30	3707.26	3708.94		3709.15	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4120	Qmax	10.30	3707.23	3708.92		3709.12	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4100	Qmax	10.30	3707.22	3708.90		3709.11	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	4080	Qmax	10.30	3707.19	3708.88		3709.08	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4060	Qmax	10.30	3707.18	3708.86		3709.07	0.000990	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	4040	Qmax	10.30	3707.16	3708.84		3709.05	0.000987	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4020	Qmax	10.30	3707.14	3708.82		3709.03	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	4000	Qmax	10.30	3707.12	3708.80		3709.01	0.000992	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	3980	Qmax	10.30	3707.09	3708.78		3708.98	0.000987	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	3960	Qmax	10.30	3707.08	3708.76		3708.97	0.000983	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	3940	Qmax	10.30	3707.05	3708.74		3708.95	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	3920	Qmax	10.30	3707.04	3708.72		3708.93	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	3900	Qmax	10.30	3707.01	3708.70		3708.91	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3880	Qmax	10.30	3707.00	3708.68		3708.89	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	3860	Qmax	10.30	3706.98	3708.66		3708.87	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3840	Qmax	10.30	3706.96	3708.64		3708.85	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	3820	Qmax	10.30	3706.94	3708.62		3708.83	0.000982	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	3800	Qmax	10.30	3706.91	3708.60		3708.81	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3780	Qmax	10.30	3706.90	3708.58		3708.79	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3760	Qmax	10.30	3706.87	3708.56		3708.77	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3740	Qmax	10.30	3706.86	3708.54		3708.75	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3720	Qmax	10.30	3706.83	3708.52		3708.73	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3700	Qmax	10.30	3706.82	3708.50		3708.71	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3680	Qmax	10.30	3706.80	3708.48		3708.69	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3660	Qmax	10.30	3706.77	3708.46		3708.67	0.000976	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	3640	Qmax	10.30	3706.76	3708.44		3708.65	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	3620	Qmax	10.30	3706.73	3708.42		3708.63	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3600	Qmax	10.30	3706.72	3708.40		3708.61	0.000980	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3580	Qmax	10.30	3706.69	3708.38		3708.59	0.000976	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	3560	Qmax	10.30	3706.68	3708.36		3708.57	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	3540	Qmax	10.30	3706.66	3708.34		3708.55	0.000975	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	3520	Qmax	10.30	3706.64	3708.32		3708.53	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3500	Qmax	10.30	3706.62	3708.30		3708.51	0.000977	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	3480	Qmax	10.30	3706.60	3708.28		3708.49	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	3460	Qmax	10.30	3706.58	3708.26		3708.47	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	3440	Qmax	10.30	3706.55	3708.24		3708.45	0.000977	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	3420	Qmax	10.30	3706.54	3708.23		3708.43	0.000977	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	3400	Qmax	10.30	3706.51	3708.21		3708.41	0.000974	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	3380	Qmax	10.30	3706.50	3708.19		3708.39	0.000975	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	3360	Qmax	10.30	3706.48	3708.17		3708.37	0.000948	1.97	5.47	5.97	0.60
Eje	3340	Qmax	10.30	3706.46	3708.16		3708.34	0.000910	1.93	5.76	6.42	0.59
Eje	3320	Qmax	10.30	3706.44	3708.12		3708.32	0.000975	1.99	5.25	5.43	0.61
Eje	3300	Qmax	10.30	3706.41	3708.10		3708.31	0.000984	2.00	5.15	4.70	0.61
Eje	3280	Qmax	10.30	3706.40	3708.08		3708.29	0.000993	2.01	5.13	4.66	0.61
Eje	3260	Qmax	10.30	3706.37	3708.06		3708.26	0.000980	2.00	5.22	5.30	0.61
Eje	3240	Qmax	10.30	3706.36	3708.04		3708.25	0.000978	1.99	5.23	5.34	0.61
Eje	3220	Qmax	10.30	3706.33	3708.02		3708.22	0.000967	1.98	5.31	5.62	0.60
Eje	3200	Qmax	10.30	3706.32	3708.00		3708.21	0.000979	1.99	5.23	5.39	0.61
Eje	3180	Qmax	10.30	3706.30	3707.98		3708.19	0.000979	2.00	5.17	4.87	0.61
Eje	3160	Qmax	10.30	3706.27	3707.96		3708.17	0.000981	2.00	5.16	4.83	0.61
Eje	3140	Qmax	10.30	3706.26	3707.94		3708.15	0.000981	2.00	5.16	4.91	0.61
Eje	3120	Qmax	10.30	3706.23	3707.92		3708.13	0.000973	1.99	5.27	5.50	0.60
Eje	3100	Qmax	10.30	3706.22	3707.91		3708.10	0.000959	1.98	5.40	5.84	0.60
Eje	3080	Qmax	10.30	3706.19	3707.89		3708.08	0.000927	1.95	5.63	6.24	0.59
Eje	3060	Qmax	10.30	3706.18	3707.87		3708.06	0.000961	1.98	5.38	5.81	0.60
Eje	3040	Qmax	10.30	3706.16	3707.84		3708.05	0.000977	1.99	5.22	5.31	0.61
Eje	3020	Qmax	10.30	3706.14	3707.82		3708.03	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: CANAL_CACHI Reach: Eje Profile: Qmax (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje	3000	Qmax	10.30	3706.12	3707.80		3708.01	0.000985	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	2980	Qmax	10.30	3706.09	3707.78		3707.99	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2960	Qmax	10.30	3706.08	3707.76		3707.97	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2940	Qmax	10.30	3706.05	3707.74		3707.95	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2920	Qmax	10.30	3706.04	3707.72		3707.93	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2900	Qmax	10.30	3706.01	3707.70		3707.91	0.000990	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	2880	Qmax	10.30	3706.00	3707.68		3707.89	0.000984	2.00	5.18	5.14	0.61
Eje	2860	Qmax	10.30	3705.98	3707.66		3707.87	0.000975	1.99	5.23	5.35	0.61
Eje	2840	Qmax	10.30	3705.96	3707.64		3707.85	0.000979	1.99	5.22	5.34	0.61
Eje	2820	Qmax	10.30	3705.94	3707.62		3707.83	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2800	Qmax	10.30	3705.91	3707.60		3707.81	0.000980	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2780	Qmax	10.30	3705.90	3707.58		3707.79	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	2760	Qmax	10.30	3705.87	3707.56		3707.77	0.000986	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	2740	Qmax	10.30	3705.86	3707.54		3707.75	0.000989	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	2720	Qmax	10.30	3705.84	3707.52		3707.73	0.001006	2.02	5.11	4.64	0.61
Eje	2700	Qmax	10.30	3705.82	3707.50		3707.71	0.000988	2.00	5.14	4.67	0.61
Eje	2680	Qmax	10.30	3705.80	3707.48		3707.69	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2660	Qmax	10.30	3705.77	3707.46		3707.67	0.000983	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	2640	Qmax	10.30	3705.76	3707.44		3707.65	0.000985	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	2620	Qmax	10.30	3705.73	3707.42		3707.63	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2600	Qmax	10.30	3705.72	3707.40		3707.61	0.000983	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	2580	Qmax	10.30	3705.69	3707.38		3707.59	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	2560	Qmax	10.30	3705.68	3707.36		3707.57	0.000984	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	2540	Qmax	10.30	3705.66	3707.34		3707.55	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2520	Qmax	10.30	3705.63	3707.32		3707.53	0.000980	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2500	Qmax	10.30	3705.62	3707.30		3707.51	0.000982	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2480	Qmax	10.30	3705.59	3707.28		3707.49	0.000983	2.00	5.15	4.68	0.61
Eje	2460	Qmax	10.30	3705.58	3707.26		3707.47	0.000980	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2440	Qmax	10.30	3705.55	3707.24		3707.45	0.000978	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2420	Qmax	10.30	3705.54	3707.22		3707.43	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2400	Qmax	10.30	3705.52	3707.20		3707.41	0.000981	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2380	Qmax	10.30	3705.50	3707.18		3707.39	0.000980	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2360	Qmax	10.30	3705.48	3707.16		3707.37	0.000985	2.00	5.15	4.67	0.61
Eje	2340	Qmax	10.30	3705.45	3707.14		3707.35	0.000977	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	2320	Qmax	10.30	3705.44	3707.12		3707.33	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	2300	Qmax	10.30	3705.41	3707.10		3707.31	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	2280	Qmax	10.30	3705.40	3707.08		3707.29	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	2260	Qmax	10.30	3705.38	3707.06		3707.27	0.000975	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	2240	Qmax	10.30	3705.36	3707.04		3707.25	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	2220	Qmax	10.30	3705.34	3707.02		3707.23	0.000976	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	2200	Qmax	10.30	3705.31	3707.00		3707.21	0.000975	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	2180	Qmax	10.30	3705.30	3706.99		3707.18	0.000921	1.95	5.29	4.78	0.59
Eje	2160	Qmax	10.30	3705.27	3706.97		3707.16	0.000874	1.94	5.32	4.79	0.58
Eje	2140	Qmax	10.30	3705.26	3706.95		3707.15	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.60
Eje	2120	Qmax	10.30	3705.23	3706.93		3707.13	0.000971	1.99	5.18	4.68	0.60
Eje	2100	Qmax	10.30	3705.22	3706.91		3707.11	0.000973	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	2080	Qmax	10.30	3705.20	3706.89		3707.09	0.000972	1.99	5.18	4.68	0.60
Eje	2060	Qmax	10.30	3705.18	3706.87		3707.07	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	2040	Qmax	10.30	3705.16	3706.85		3707.05	0.000969	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	2020	Qmax	10.30	3705.14	3706.83		3707.03	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	2000	Qmax	10.30	3705.12	3706.81		3707.01	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	1980	Qmax	10.30	3705.09	3706.79		3706.99	0.000966	1.99	5.19	4.81	0.60
Eje	1960	Qmax	10.30	3705.08	3706.77		3706.97	0.000966	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	1940	Qmax	10.30	3705.05	3706.75		3706.95	0.000961	1.98	5.20	4.69	0.60
Eje	1920	Qmax	10.30	3705.04	3706.73		3706.93	0.000961	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	1900	Qmax	10.30	3705.02	3706.71		3706.91	0.000957	1.98	5.21	4.70	0.60
Eje	1880	Qmax	10.30	3705.00	3706.69		3706.89	0.000959	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	1860	Qmax	10.30	3704.98	3706.67		3706.87	0.000953	1.98	5.21	4.70	0.60
Eje	1840	Qmax	10.30	3704.95	3706.66		3706.85	0.000949	1.97	5.22	4.71	0.60
Eje	1820	Qmax	10.30	3704.94	3706.64		3706.83	0.000949	1.97	5.22	4.71	0.60
Eje	1800	Qmax	10.30	3704.91	3706.62		3706.81	0.000949	1.97	5.22	4.70	0.60
Eje	1780	Qmax	10.30	3704.90	3706.60		3706.80	0.000946	1.97	5.23	4.71	0.60
Eje	1760	Qmax	10.30	3704.88	3706.58		3706.78	0.000944	1.97	5.23	4.71	0.60
Eje	1740	Qmax	10.30	3704.86	3706.56		3706.76	0.000943	1.97	5.23	4.71	0.60
Eje	1720	Qmax	10.30	3704.84	3706.54		3706.74	0.000937	1.96	5.25	4.72	0.59
Eje	1700	Qmax	10.30	3704.81	3706.52		3706.72	0.000937	1.96	5.25	4.71	0.59
Eje	1680	Qmax	10.30	3704.80	3706.50		3706.70	0.000937	1.96	5.25	4.71	0.59
Eje	1660	Qmax	10.30	3704.77	3706.48		3706.68	0.000931	1.96	5.26	4.72	0.59
Eje	1640	Qmax	10.30	3704.76	3706.47		3706.66	0.000913	1.94	5.46	5.78	0.59
Eje	1620	Qmax	10.30	3704.73	3706.50		3706.62	0.000620	1.62	7.75	7.83	0.48
Eje	1600	Qmax	10.30	3704.72	3706.50		3706.61	0.000552	1.54	8.34	8.11	0.46
Eje	1580	Qmax	10.30	3704.70	3706.56		3706.58	0.000108	0.70	19.53	10.01	0.20
Eje	1560	Qmax	10.30	3704.68	3706.53		3706.57	0.000246	1.05	13.29	9.39	0.31
Eje	1540	Qmax	10.30	3704.66	3706.39		3706.55	0.000785	1.81	6.43	7.03	0.54
Eje	1520	Qmax	10.30	3704.63	3706.33		3706.53	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	1500	Qmax	10.30	3704.62	3706.31		3706.51	0.000970	1.99	5.18	4.69	0.60

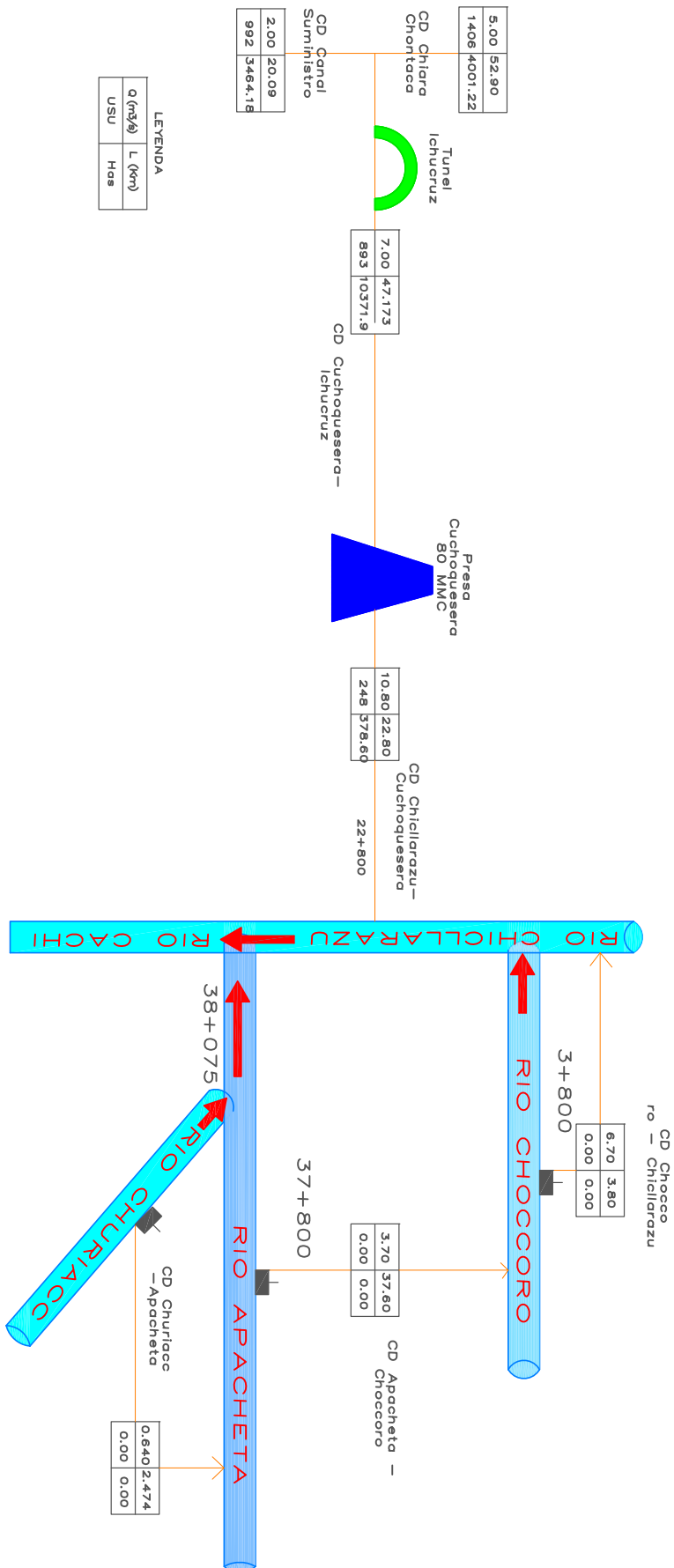
HEC-RAS Plan: Plan 03 River: CANAL_CACHI Reach: Eje Profile: Qmax (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje	1480	Qmax	10.30	3704.59	3706.29		3706.49	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	1460	Qmax	10.30	3704.58	3706.27		3706.47	0.000971	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	1440	Qmax	10.30	3704.55	3706.25		3706.45	0.000966	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	1420	Qmax	10.30	3704.54	3706.23		3706.43	0.000966	1.99	5.21	5.12	0.60
Eje	1400	Qmax	10.30	3704.52	3706.23		3706.40	0.000870	1.89	5.96	6.62	0.57
Eje	1380	Qmax	10.30	3704.50	3706.19		3706.39	0.000962	1.98	5.36	5.75	0.60
Eje	1360	Qmax	10.30	3704.48	3706.16		3706.37	0.000977	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	1340	Qmax	10.30	3704.45	3706.14		3706.35	0.000978	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	1320	Qmax	10.30	3704.44	3706.12		3706.33	0.000977	1.99	5.16	4.68	0.61
Eje	1300	Qmax	10.30	3704.41	3706.10		3706.31	0.000979	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	1280	Qmax	10.30	3704.40	3706.08		3706.29	0.000978	2.00	5.16	4.68	0.61
Eje	1260	Qmax	10.30	3704.38	3706.06		3706.27	0.000977	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	1240	Qmax	10.30	3704.36	3706.04		3706.25	0.000978	1.99	5.19	5.12	0.61
Eje	1220	Qmax	10.30	3704.34	3706.03		3706.23	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	1200	Qmax	10.30	3704.31	3706.01		3706.21	0.000973	1.99	5.17	4.68	0.61
Eje	1180	Qmax	10.30	3704.30	3705.99		3706.19	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.61
Eje	1160	Qmax	10.30	3704.27	3705.97		3706.17	0.000971	1.99	5.18	4.68	0.60
Eje	1140	Qmax	10.30	3704.26	3705.95		3706.15	0.000972	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	1120	Qmax	10.30	3704.23	3705.93		3706.13	0.000968	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	1100	Qmax	10.30	3704.22	3705.91		3706.11	0.000970	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	1080	Qmax	10.30	3704.20	3705.89		3706.09	0.000967	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	1060	Qmax	10.30	3704.18	3705.87		3706.07	0.000973	1.99	5.17	4.69	0.60
Eje	1040	Qmax	10.30	3704.16	3705.85		3706.05	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	1020	Qmax	10.30	3704.13	3705.83		3706.03	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	1000	Qmax	10.30	3704.12	3705.81		3706.01	0.000930	1.96	5.27	4.76	0.59
Eje	980	Qmax	10.30	3704.09	3705.79		3705.99	0.000967	1.99	5.19	4.69	0.60
Eje	960	Qmax	10.30	3704.08	3705.77		3705.97	0.000969	1.99	5.18	4.69	0.60
Eje	940	Qmax	10.30	3704.06	3705.75		3705.95	0.000962	1.98	5.20	4.69	0.60
Eje	920	Qmax	10.30	3704.04	3705.73		3705.93	0.000964	1.98	5.19	4.69	0.60
Eje	900	Qmax	10.30	3704.02	3705.71		3705.91	0.000959	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	880	Qmax	10.30	3703.99	3705.69		3705.89	0.000958	1.98	5.20	4.70	0.60
Eje	860	Qmax	10.30	3703.98	3705.67		3705.87	0.000956	1.98	5.21	4.70	0.60
Eje	840	Qmax	10.30	3703.95	3705.65		3705.85	0.000953	1.98	5.21	4.70	0.60
Eje	820	Qmax	10.30	3703.94	3705.63		3705.83	0.000953	1.98	5.21	4.70	0.60
Eje	800	Qmax	10.30	3703.92	3705.62		3705.81	0.000952	1.97	5.22	4.70	0.60
Eje	780	Qmax	10.30	3703.90	3705.64		3705.78	0.000718	1.74	6.99	7.43	0.52
Eje	760	Qmax	10.30	3703.88	3705.65		3705.76	0.000572	1.56	8.19	8.04	0.47
Eje	740	Qmax	10.30	3703.85	3705.65		3705.74	0.000476	1.44	9.19	8.42	0.43
Eje	720	Qmax	10.30	3703.84	3705.50		3705.71	0.001032	2.03	5.06	4.74	0.62
Eje	700	Qmax	10.30	3703.81	3705.48		3705.69	0.001029	2.03	5.07	4.64	0.62
Eje	680	Qmax	10.30	3703.80	3705.46		3705.67	0.001030	2.03	5.06	4.64	0.62
Eje	660	Qmax	10.30	3703.77	3705.44		3705.65	0.001033	2.04	5.06	4.64	0.62
Eje	640	Qmax	10.30	3703.76	3705.42		3705.63	0.001038	2.04	5.05	4.64	0.62
Eje	620	Qmax	10.30	3703.74	3705.40		3705.61	0.001042	2.04	5.04	4.63	0.62
Eje	600	Qmax	10.30	3703.72	3705.38		3705.59	0.001045	2.04	5.04	4.63	0.63
Eje	580	Qmax	10.30	3703.70	3705.36		3705.57	0.001046	2.05	5.04	4.63	0.63
Eje	560	Qmax	10.30	3703.68	3705.33		3705.55	0.001054	2.05	5.02	4.62	0.63
Eje	540	Qmax	10.30	3703.66	3705.31		3705.53	0.001058	2.05	5.01	4.62	0.63
Eje	520	Qmax	10.30	3703.63	3705.29		3705.51	0.001062	2.06	5.01	4.62	0.63
Eje	500	Qmax	10.30	3703.62	3705.27		3705.49	0.001067	2.06	5.00	4.61	0.63
Eje	480	Qmax	10.30	3703.59	3705.25		3705.46	0.001071	2.06	4.99	4.61	0.63
Eje	460	Qmax	10.30	3703.58	3705.22		3705.44	0.001076	2.07	4.98	4.61	0.63
Eje	440	Qmax	10.30	3703.56	3705.20		3705.42	0.001082	2.07	4.97	4.60	0.64
Eje	420	Qmax	10.30	3703.54	3705.18		3705.40	0.001093	2.08	4.95	4.59	0.64
Eje	400	Qmax	10.30	3703.52	3705.16		3705.38	0.001094	2.08	4.95	4.59	0.64
Eje	380	Qmax	10.30	3703.49	3705.13		3705.36	0.001102	2.09	4.94	4.59	0.64
Eje	360	Qmax	10.30	3703.48	3705.11		3705.33	0.001111	2.09	4.92	4.58	0.64
Eje	340	Qmax	10.30	3703.45	3705.09		3705.31	0.001120	2.10	4.91	4.57	0.65
Eje	320	Qmax	10.30	3703.44	3705.06		3705.29	0.001134	2.11	4.89	4.57	0.65
Eje	300	Qmax	10.30	3703.41	3705.04		3705.27	0.001144	2.12	4.87	4.56	0.65
Eje	280	Qmax	10.30	3703.40	3705.01		3705.25	0.001167	2.13	4.83	4.54	0.66
Eje	260	Qmax	10.30	3703.38	3704.99		3705.22	0.001177	2.14	4.82	4.54	0.66
Eje	240	Qmax	10.30	3703.36	3704.96		3705.20	0.001198	2.15	4.79	4.52	0.67
Eje	220	Qmax	10.30	3703.34	3704.94		3705.18	0.001213	2.16	4.76	4.51	0.67
Eje	200	Qmax	10.30	3703.31	3704.91		3705.15	0.001234	2.18	4.73	4.50	0.68
Eje	180	Qmax	10.30	3703.30	3704.88		3705.13	0.001266	2.20	4.69	4.48	0.69
Eje	160	Qmax	10.30	3703.27	3704.85		3705.10	0.001286	2.21	4.66	4.47	0.69
Eje	140	Qmax	10.30	3703.26	3704.82		3705.08	0.001325	2.24	4.61	4.45	0.70
Eje	120	Qmax	10.30	3703.24	3704.79		3705.05	0.001365	2.26	4.56	4.42	0.71
Eje	100	Qmax	10.30	3703.22	3704.76		3705.03	0.001409	2.29	4.50	4.40	0.72
Eje	80	Qmax	10.30	3703.20	3704.73		3705.00	0.001455	2.31	4.45	4.38	0.73
Eje	60	Qmax	10.30	3703.17	3704.69		3704.97	0.001522	2.35	4.37	4.34	0.75
Eje	40	Qmax	10.30	3703.16	3704.64		3704.94	0.001639	2.42	4.26	4.29	0.78
Eje	20	Qmax	10.30	3703.13	3704.43	3704.43	3704.88	0.002838	2.97	3.47	3.92	1.01

Anexo C

Planos y Láminas

ESQUEMA DEL SISTEMA HIDRAULICO MAYOR CACHI CLASE B



LEYENDA

Q (m ³ /s)	L (Km)	Hds
USU		

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
OFICINA DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

ESQUEMA DEL SISTEMA HIDRAULICO MAYOR CACHI CLASE B

PROYECTO DE:	FECHA:	REVISOR:	AUTOR:
A. A. L. T.	MAYO - 2018	MAYO - 2018	MAYO - 2018

01



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 279-2022-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la RESOLUCIÓN DECANAL N° 563-2022-FIMGC-D, siendo los veintisiete días del mes de octubre del 2022, a horas 9:00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis: presidente el Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES, Jurado - Asesor el MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO, Jurado el Mg. Ing. Edward LEON PALACIOS, Jurado el MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS, y secretario del proceso el Ing. Richar Ruben JORGE BERROCAL, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL CANAL PRINCIPAL DEL PROYECTO ESPECIAL RÍO CACHI, AYACUCHO", sustentado por el Sr. Igidio CAYLLAHUA SULLCA, Bachiller en ciencias de la Ingeniería de Civil.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de 16 (DIECISEIS).

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
presidente

MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO
jurado Asesor

Mg. Ing. Edward LEON PALACIOS
Jurado

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS
Jurado

Ing. Richar Ruben JORGE BERROCAL
Secretario del Proceso