



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIDAD DE INVESTIGACION

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ID. N° 103600994

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se la realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento de INFORME FINAL DE TESIS cuyo título es:

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL CANAL DE CONDUCCIÓN REYES
DEL KM 12+633.39 AL KM 13+333.39, CON EL MODELO
NUMÉRICO HEC-RAS 4.1.0, PARA MEJORAR SU EFICIENCIA
HIDRÁULICA, EN EL DISTRITO DE TAMBO, PROVINCIA DE
HUAYTARÁ, HUANCVELICA-2021**

presentado por:

TAMBRA GUERRA, LEONEL IVAN

Bachiller del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería Civil. El resultado obtenido es de **10% de similitud**, por el cual se otorga el calificativo de **APROBADO**, según el Reglamento para la evaluación de la Originalidad de los documentos de investigación.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIDAD DE INVESTIGACION


Dra. EDITH ISABEL GUERRA LANDA
DIRECTORA

DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Ica, 19 de octubre de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería Civil



Título de Investigación:

“Diseño y simulación del Canal de conducción Reyes del km 12+633.39 al km 13+333.39, con el modelo numérico Hec-Ras 4.1.0, para mejorar su eficiencia hidráulica, en el distrito de Tambo, provincia de Huaytará, Huancavelica-2021”

Línea de Investigación:

Recursos hídricos, Riesgo de desastres y Cambio climático

Autor

BACH. LEONEL IVAN TAMBRA GUERRA

Ica, Perú

2023

DEDICATORIA

A mis padres, que su sacrificio, lucha y perseverancia, no fueron en vano, y hoy ven que todo ese esfuerzo está dando frutos, y que este paso que se está dando, es un peldaño más, para alcanzar las metas propuestas

Gracias mamá.

Gracias papá.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a los docentes de mi querida casa de estudios “LA F.I.C.”, que desde un principio supieron forjarnos, la perseverancia y el empuje para poder alcanzar los objetivos trazados, y en segundo lugar el apoyo familiar que fueron el sustento moral, durante la etapa universitaria a nunca rendirme pese a las adversidades.

Gracias.

INDICE

DEDICATORIAS	ii
INDICE	iii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Identificación de problemas	2
1.1.1 Problema General	2
1.1.2 Problemas específicos	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis y variables de la investigación	2
1.3.1 Hipótesis	2
1.3.1.1 Hipótesis general	2
1.3.1.2 Hipótesis específicas	2
CAPITULO II: ESTRATEGIA METODOLÓGICA	5
2.1 Tipo, nivel y diseño de investigación	5
2.1.1 Tipo de investigación	5
2.1.2 Nivel de investigación	5
2.1.3 Diseño de Investigación	5
2.1.4 Población y muestra	5
2.1.4.1 Población de estudio	5
2.1.4.2 Muestra	5
2.1.5 Criterios de Inclusión y Exclusión	5
2.1.5.1 Criterios de Inclusión	5
2.1.5.2 Criterios de Exclusión	5
2.1.6 Técnicas de recolección de datos	6
2.1.7 Instrumentos de recolección de datos	6
2.1.8 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos	6
2.1.9 Procedimientos	6
CAPITULO III: RESULTADOS	8
3.1 Desarrollo de la Investigación	8
3.1.1 Información de la zona a investigar	8
3.1.1.1 Aspecto Socio Económico	8

3.1.1.2	Accesibilidad	8
3.1.1.3	Fisiografía y Climatología	10
3.1.1.4	Geomorfología, Geología y Geotecnia	10
3.1.1.5	Topografía y Cartografía	11
3.2	Presentación de los Resultados	12
3.2.1	Situación actual del Sistema de Riego	12
3.2.1.1	Disponibilidad de agua	13
a)	Toma de Captación	13
b)	Canal de Conducción	13
c)	Métodos aplicados para la Verificación del Caudal	13
d)	Determinación del coeficiente de rugosidad	13
e)	Caudal real	13
f)	Eficiencia del canal	13
3.2.1.2	Verificación de parámetros en la longitud total del tramo	25
3.2.2	Propuesta técnica de mejoramiento	35
3.2.2.1	Metodología de diseño	35
3.2.2.2	Sección de Máxima Eficiencia Hidráulica	35
3.2.2.3	Alternativa de diseño 1	37
3.2.2.4	Alternativa de diseño 2	42
	CAPITULO IV: DISCUSIÓN	44
4.1	Interpretación y Discusión de Resultados	44
4.2	Comprobación de Hipótesis	45
4.2.1	Contrastación de Hipótesis General	45
4.2.2	Contrastación de Hipótesis Específicas	45
	CAPITULO V: CONCLUSIONES	46
5.1	Conclusiones	46
	CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	47
6.1	Recomendaciones	47
	CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
	ANEXOS	51
•	Panel fotográfico	59
•	Planos	60

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Resumen de las Técnicas e Instrumentos a Implementar	7
Tabla II: Acceso a la zona de estudio	9
Tabla III: Cuadro de característica climáticas	10
Tabla IV: Criterios y valores numéricos para la ecuación de Cowan	16
Tabla V: Valores numéricos de Cowan para el canal de conducción Reyes	18
Tabla VI: Valores de “n” según Scobey	18
Tabla VII: Determinación del Factor de Corrección FC	19
Tabla VIII: Velocidad promedio en el primer tramo	21
Tabla IX: Resumen de resultados	22
Tabla X: Resumen de resultados con Hcanales	26
Tabla XI: Resumen de resultados con HEC-RAS 4.1.0 Canal de tierra	34
Tabla XII: Resumen de resultados HEC-RAS 4.1.0 Canal de concreto	40
Tabla 13: Secciones Hidráulicas del Canal	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tramo Ica – Ramadilla	9
Figura 2. Tramo Ramadilla – Tambo	10
Figura 3. Captación en el Río Tambo, progresiva 0+000	13
Figura 4. Vista del tramo de canal entubado con PVC 12”	14
Figura 5. Inicio del tramo del canal con pendiente fuerte	14
Figura 6. Poblador señalando un tramo rocoso donde se producen infiltraciones	14
Figura 7. Vista de nuevas áreas de cultivo a incorporar con el proyecto	15
Figura 8. Vista de un tramo recto del canal de tierra	16
Figura 9. Vista de un tramo irregular del canal de tierra	17
Figura 10. Vista de un tramo obstruido con pendiente fuerte	17
Figura 11. Midiendo el tiempo de recorrido. Método del flotador	20
Figura 12. Obtención de tirantes en el canal	21
Figura 13. Cálculo del caudal en Hcanales	22
Figura 14. Velocidades máximas recomendadas para canales de tierra	24
Figura 15. Velocidades máximas según Krochin	24
Figura 16. Esquema del perfil longitudinal del canal	25
Figura 17. Tramo I del canal con pendiente 0.00365 m/m	25
Figura 18. Tramo II del canal con pendiente 0.22295	26
Figura 19. Simulación en HEC-RAS 4.1.0 del canal de tierra existente	26
Figura 20. Esquema de ubicación de secciones en HEC-RAS 4.1.0	27
Figura 21. Esquema de la sección 0 del canal para el HEC-RAS 4.1.0	27
Figura 22. Ingreso de datos geométricos del canal de tierra.	28
Figura 23. Ingreso de datos de flujo para modelar el canal de tierra	28
Figura 24. Ingreso de caudal de simulación $Q=0.04$ m ³ /seg	29
Figura 25. Ingreso de condiciones de borde	29
Figura 26. Análisis del flujo en régimen de flujo mixto	29
Figura 27. Sección 2 en la progresiva 13+333.39 Aguas arriba.	30
Figura 28. Sección 1 en la progresiva 13+213.39.	30
Figura 29. Sección 0 en la progresiva 13+333.39 Aguas abajo.	31
Figura 30. Mensajes de advertencia en HEC-RAS.	31
Figura 31. Interpolación de secciones transversales a cada 0.30 m en el canal.	32
Figura 32. Tirante normal por encima del crítico en la sección 2. Aguas arriba.	32
Figura 33. Tirante normal coincide con el crítico en la sección 1.	33
Figura 34. Tirante normal por debajo del crítico en la sección 0. Aguas abajo.	33
Figura 35. Salida de datos sin mensajes de error en la sección 2, aguas arriba.	34

Figura 36. Sección de máxima eficiencia para el primer tramo $S=0.00365(m/m)$.	35
Figura 37. Sección de máxima eficiencia para el segundo tramo $S=0.22295(m/m)$.	36
Figura 38. Esquema de la sección transversal para el tramo I, $S=0.00365(m/m)$	37
Figura 39. Esquema de la sección transversal para el tramo II, $S=0.22295(m/m)$	37
Figura 40. Esquema de la longitud de transición para el cambio de sección	38
Figura 41. Esquema del perfil para ingreso de secciones al HEC-RAS	38
Figura 42. Sección 3 aguas arriba de 0.40×0.35 y pendiente 0.00365 m/m	38
Figura 43. Sección 2, 0.40×0.35 y pendiente 0.00365 m/m	39
Figura 44. Sección 1, 0.20×0.35 y pendiente 0.22295 m/m	39
Figura 45. Sección 0 Aguas abajo, 0.20×0.35 y pendiente 0.22295 m/m	39
Figura 46. Esquema de la rápida a diseñar	40
Figura 47. Dimensiones finales de la rápida y poza disipadora de energía	41
Figura 48. Alternativa 2 con tuberías de PVC, $S = 0.00365 \text{ m/m}$	42
Figura 49. Alternativa 2 con tuberías de PVC, $S = 0.22295 \text{ m/m}$	42
Figura 50. Resalto hidráulico en la alternativa con tuberías de PVC	43

RESUMEN

La investigación responde a la problemática de la comunidad agrícola del Anexo Reyes, que requiere mejorar la conducción del agua en el canal Reyes, entre las progresivas 12+633.39 a 13+333.39, ubicado en el distrito de Tambo, provincia de Huaytará, Huancavelica.

Como principal objetivo se evaluó la conducción del flujo en el tramo, verificando su ineficiencia. La hipótesis principal afirma que optimizando el diseño y simulando el canal se asegura el mejoramiento de su eficiencia hidráulica. La investigación es del tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, empleando procedimientos de campo para obtener datos del canal y métodos de cálculo para su evaluación. El nivel es descriptivo y correlacional, describiendo características físicas y cinéticas del canal.

La muestra de estudio es el tramo mencionado que abastece a 116 Ha. de cultivo. Las técnicas e instrumentos de recolección de datos son: observación, recopilación documental, modelamiento y evaluación de resultados. El análisis inicial demostró una eficiencia de 66.67% al conducir solamente 0.04 m³/seg. La simulación con HEC-RAS 4.1.0 permitió ajustar el modelo con datos de campo representando el comportamiento de flujo observado. Con este modelo se propuso mejoras al canal con sección rectangular de máxima eficiencia hidráulica y revestimiento de concreto, garantizando el funcionamiento hidráulico al 100%, para un caudal disponible de 0.06 m³/seg. confirmando la hipótesis. Se propuso adicionalmente la alternativa de uso de tuberías de PVC Clase 10 de 400 y 200 mm, siendo ambas propuestas viables desde el punto de vista hidráulico.

Palabras Clave: Evaluación hidráulica, diseño, eficiencia hidráulica

ABSTRACT

The investigation responds to the problem of the agricultural community of the Reyes Annex, which requires improving the conduction of water in the Reyes channel, between the progressive 12 + 633.39 to 13 + 333.39, located in the district of Tambo, province of Huaytará, Huancavelica. The main objective was to evaluate the conduction of the flow in the section, verifying its inefficiency. The main hypothesis affirms that optimizing the design and simulating the channel ensures the improvement of its hydraulic efficiency. The research is of the applied type, with a quantitative approach, using field procedures to obtain channel data and calculation methods for its evaluation. The level is descriptive and correlational, describing physical and kinetic characteristics of the channel.

The study sample is the section mentioned that supplies 116 hectares of crops. The data collection techniques and instruments are: observation, documentary compilation, modeling and evaluation of results. The initial analysis showed an efficiency of 66.67% when driving only 0.04 m³/sec. The simulation with HEC-RAS 4.1.0 allowed to fit the model with field data representing the observed flow behavior. With this model, improvements to the channel with a rectangular section of maximum hydraulic efficiency and concrete lining were proposed, guaranteeing 100% hydraulic operation, for an available flow of 0.06 m³/sec. confirming the hypothesis. Additionally, the alternative of using PVC Class 10 pipes of 400 and 200 mm was proposed, both proposals being viable from the hydraulic point of view.

Keywords: Hydraulic evaluation, design, hydraulic efficiency

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En esta investigación se desarrolla la evaluación hidráulica del tramo comprendido entre las progresivas 12+633.39 a 13+333.39 del canal de irrigación Tambo - Reyes, con el propósito de establecer los problemas que tienen relación directa con la conducción del flujo y las causas que la generan aplicando la simulación hidráulica mediante el uso del modelo numérico HEC-RAS 4.1.0. Este canal fue construido por los años 1950 a iniciativa de los propios productores agropecuarios en vista de la necesidad de mejorar el desarrollo de la actividad agrícola, las constantes sequías fueron los limitantes que no permitieron mejorar los rendimientos e incrementar la frontera agrícola, ello conllevó a la construcción de la infraestructura del canal. Posteriormente los efectos de los fenómenos naturales como las intensas precipitaciones pluviales, desastres naturales (terremoto del 15 de agosto del 2007), deficiente mantenimiento originó el deterioro de la infraestructura.

El tramo en estudio se ubica en las cercanías del centro poblado Reyes, en el distrito de Tambo, en la provincia de Huaytará, del departamento de Ayacucho. El canal principal tiene una longitud total de 13.33 km, dentro del cual se encuentra el tramo que presenta deficiencias. La infraestructura del canal es mixta siendo en parte de concreto, de tierra y de tuberías. Recibe agua del Río Tambo, el cual tiene un caudal estimado de 10 m³/seg en épocas de estiaje. Actualmente el canal toma 0.14 m³/seg, y durante su recorrido deja agua en reservorios ubicados a la altura del centro poblado tambo y del centro poblado Reyes, de manera que a partir de la progresiva 12+613.39, el caudal remanente llega a 60 lps presentando, desde allí, problemas de filtración lo que significa pérdidas de agua y baja eficiencia.

En tal sentido, la investigación sustenta su importancia en el impacto que el aporte técnico implique para el aspecto económico de la población agrícola beneficiaria, al garantizar la eficiencia hidráulica para que el canal conduzca agua a los cultivos con la mínima cantidad de pérdidas. Esto permitirá incorporar aproximadamente 50 hectáreas de riego a las actuales 116 que están en uso.

El canal actual reduce la eficiencia en el riego porque conduce un menor caudal que el esperado, debido a que a partir del tramo 12+633.69 al 13+333.39, donde la sección transversal en suelo natural, no es uniforme, presentando variedad de pendientes, filtrando agua en algunos puntos donde el suelo es muy pedregoso, mostrando desbordes en algunos puntos críticos y erosión en un sector de pendiente fuerte. Asimismo, su capacidad de conducción también se ha visto afectada por material de arrastre que se deposita en su interior en épocas de lluvia y por el crecimiento de vegetación, generando altos costos de mantenimiento.

Considerando esta problemática expuesta, se hace necesario evaluar del punto de vista hidráulico el funcionamiento del canal, que proporcione información que sirva para tomar decisión en una

propuesta de solución adecuada, para mejorar la infraestructura de ese sector. Dicho esto, se concluye que existe un mal aprovechamiento de los recursos hídricos debido a que el canal actual no es eficiente.

1.1 Identificación de problemas

1.1.1 Problema General

¿De qué manera el diseño y simulación del canal de conducción Reyes del Km 12+633.39 al Km 13+333.39, con el modelo numérico HEC-RAS 4.1.0, influye en mejorar su eficiencia hidráulica, en el distrito de Tambo, provincia de Huaytará, Huancavelica?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿De qué manera la evaluación hidráulica influye en la determinación de la eficiencia actual del canal?
- b) ¿De qué manera influye la simulación hidráulica en la mejora de la eficiencia hidráulica del canal?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar el diseño y simulación del canal de conducción Reyes del Km 12+633.39 al Km 13+333.39, con el modelo numérico HEC-RAS 4.1.0, para mejorar su eficiencia hidráulica, en el distrito de Tambo, provincia de Huaytará, Huancavelica.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el diseño del canal con máxima eficiencia hidráulica.
- b) Simular el canal para evaluar la efectividad del diseño hidráulico.

1.3 Hipótesis y variables de la investigación

1.3.1 Hipótesis

1.3.1.1 Hipótesis general

El diseño y simulación del canal de conducción Reyes del Km 12+633.39 al Km 13+333.39, con el modelo numérico HEC-RAS 4.1.0, influye para mejorar su eficiencia hidráulica, en el distrito de Tambo, provincia de Huaytará, Huancavelica.

1.3.1.2 Hipótesis específicas

- a) El diseño del canal influye en el mejoramiento de la eficiencia hidráulica del canal.
- b) La simulación del canal influye en el mejoramiento de la eficiencia hidráulica.

1.4 Antecedentes de investigación

1.4.1 Antecedentes internacionales

J. Tovar, M. Fierro y V. Achury [1] que en 2019 mencionan que el sistema de riego de 49 km de canales, en el distrito de riego El Juncal, en Palermo, Colombia, se planteó el diseño de canales trapezoidales para subsanar 3.247 ml de daños observados en el sistema, para mejorar la conducción de agua, empleando la observación, encuesta y metodologías de diseño, concluyendo que debe reforzarse las secciones de canal con concreto reforzado de 15 cm de espesor, asegurando una máxima eficiencia hidráulica y mejor distribución del agua para riego según su normativa nacional, para un período de 25 años

J. Torres y J. Vivas [2] en 2018 manifestaron que, en la ciudad de Bogotá, Colombia, existe una confluencia de tres canales los cuales tienen un riesgo potencial de desbordamiento por encontrarse en zona urbana, frente a una posible inundación el objetivo es evaluar el funcionamiento para establecer mejoras que permitan reducir el riesgo de inundación mediante la modelación hidráulica. Concluyendo que es necesario mejorar la secciones transversales y altura de los canales y aplicando una modelación hidráulica sobre la propuesta técnica se comprobó un buen balance y eficiencia hidráulica.

En 2015, J. Blandón y J. Monzón [3] mencionan que el canal del distrito 6 que atraviesa la ciudad de Managua, en Nicaragua, presenta estancamientos que generan vectores de enfermedades tropicales. El objetivo es determinar las características físicas y cinéticas del canal para modelarlo mediante HEC-RAS 4.1 y analizar el comportamiento del flujo. Se concluyó que se requiere de una sección rectangular de 4.65 x 2.32 m de ancho por alto con borde libre de 1m para una pendiente de 0.0044 y 59.36 m³/s, evitando el riesgo de inundación para periodos de retorno mayores a 50 años, asegurando un buen funcionamiento hidráulico.

1.4.2 Antecedentes nacionales

En 2020, J. Asalde [4] sobre un canal de riego en el distrito de Salas, Lambayeque, plantea un diseño con máxima eficiencia hidráulica que al modelarse demostró la influencia de aplicar el software HEC-RAS en el funcionamiento del canal. Como conclusión el diseño apoyado en la modelación hidráulica con Hec – Ras influye en la conducción del flujo.

J. Manay [5] en 2019, describió los procedimientos para la modelación del flujo a superficie libre del canal Taymi en Lambayeque. Su objetivo fue analizar las medidas de caudales y las muestras de agua tomadas a diferentes profundidades y concluyó que

las características hidráulicas obtenidas del modelo hecho en HEC-RAS son muy similares a un modelo hecho en HCANALES.

1.4.3 Antecedentes locales

En el contexto local, E. Julián y J. Chuquiyaui [6] en 2021 plantearon como objetivo la simulación del canal Checchehua-Casa Blanca en Tambo, Huancavelica. Durante el análisis visual identificaron deterioros y desbordes en parte del canal entubado, proponiendo una nueva sección. Como conclusión resaltan que la propuesta técnica elimina el riesgo de desbordes, manteniendo las pendientes originales con rugosidad 0.014 para concreto nuevo.

1.5 Contenido de capítulos

En el Capítulo I, Introducción, se describe la situación problemática, antecedentes relacionados con la propia investigación y los objetivos a obtener.

En el Capítulo II, Estrategia Metodológica, se desarrolla de la investigación y los elementos utilizados en la misma, detallando procedimientos y contexto de la investigación, diseño, universo y muestra, instrumentos de medición, procedimiento, etc.

En el Capítulo III, Resultados, contiene los datos obtenidos, incluyendo tablas, gráficos y fotografías, modelos estadísticos y/o programas utilizados en la investigación.

En el Capítulo IV, Discusión, se analizan, comparan e interpretan los resultados, en correspondencia con las bases teóricas establecidas, los criterios del autor y los de otros autores. Haciendo hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio.

En el Capítulo V, Conclusiones, se hace referencia a los resultados concretos obtenidos en el desarrollo de la investigación que han sido presentados.

En el Capítulo VI, Recomendaciones, se presentan sugerencias acerca de las posibilidades de aplicación práctica de los resultados y realización de otras investigaciones, relacionadas con las conclusiones.

CAPITULO II: ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1 Tipo, nivel y diseño de investigación

2.1.1 Tipo de investigación

La investigación reúne las condiciones de una investigación aplicada. Ya que se apoya en informaciones y busca utilizar los conocimientos que se adquieren mediante su desarrollo a favor de la sociedad.

2.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación de la presente tesis es *descriptivo – explicativo*. En referencia al primer nivel señalado, se concibe como la acción de interpretar mediante palabras las peculiaridades de situaciones, fenómenos, sucesos, objetos, personas y otros seres vivientes, de forma que quien revise o entienda la investigación, los evoque en la mente.

Con referencia al nivel explicativo, es un procedimiento que supera a la descripción simple de un objeto.

2.1.3 Diseño de investigación

La investigación es *no experimental*. Ya que se observan fenómenos ya realizados, de tal manera que no son provocados intencionalmente por el investigador y esta situación puede ser indirecta, porque se recaudan datos en un solo acto de medición. En estas investigaciones las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

2.1.4 Población y Muestra

2.1.4.1 Población de estudio

La población objetivo será la localidad de Reyes que tiene una población beneficiada de 30 agricultores.

2.1.4.2 Muestra de estudio

Canal de conducción Reyes del Km 12+633.39 al Km 13+333.39, localidad de Reyes, distrito de Tambo, provincia de Huaytará, Huancavelica.

2.1.5 Criterios de Inclusión y Exclusión

2.1.5.1 Criterios de Inclusión:

- ✓ Evaluación Hidráulica.
- ✓ Simulación Hidráulica.

2.1.5.2 Criterios de Exclusión:

- ✓ Análisis Sísmico.
- ✓ Estudio Geotécnico.

✓ Diseño Estructural y diseño de Obras de Arte.

2.1.6 Técnicas de Recolección de Datos

Las principales técnicas que se ha empleado en la investigación son: Observación de campo no experimental y recopilación de información temática.

2.1.7 Instrumentos de recolección de datos

Son aquellos materiales o elementos que nos accede permiten aplicar las técnicas, como serían fichas de registro de datos de campo, instrumentos para la toma y medición de muestras, imágenes, textos, fotografías, reuniones, videos, documentos, etc.

2.1.8 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos

Las técnicas de procesamiento serán: Recolección de datos, Procesamiento de información, presentación y divulgación de resultados. En cuanto al análisis se realizará un análisis cuantitativo de acuerdo a los parámetros técnicos de las normas vigentes y su interpretación de manera objetiva.

2.1.9 Procedimientos

La secuencia metodológica será estructurada en tres etapas, las cuales son:

- 1) Etapa preliminar de gabinete, búsqueda y recopilación de datos catastrales, de las condiciones actuales, población, entre otros; procesar, evaluar analizar la información temática preliminar, relacionada con el ámbito de influencia del estudio.
- 2) Etapa de campo, tiene como propósito evaluar los peligros, vulnerabilidades y riesgos de la zona del proyecto, como también su área de influencia, desarrollando las siguientes actividades: Reconocimiento de campo de toda el área de influencia del proyecto y la recopilación de información complementaria a través de un estudio topográfico de reconocimiento mediante el uso de un equipo topográfico y apoyándose del Google Earth, para obtener las características geométricas del canal y el tipo de material con el que se encuentra revestido.
- 3) Etapa final de gabinete, son las tareas de procesar la información obtenida de las etapas anteriores, se obtendrá los planos topográficos, las secciones transversales cada 20m de tramo de irrigación, se realizará la evaluación y simulación hidráulica aplicando el criterio de máxima eficiencia hidráulica y modelo numérico HEC-RAS 4.1.0; para así cumplir con los objetivos planteados, realizar la parte metodológica, lograr la verificación de las hipótesis presentadas y llegar finalmente a contrastar la hipótesis, plantear las conclusiones y recomendaciones respecto al proyecto de investigación.

En el caso de la presente tesis.

TABLA I

RESUMEN DE LAS TÉCNICAS E INSTRUMENTOS A IMPLEMENTAR

Procedimientos	Técnicas	Instrumentos
Verificación <i>in situ</i>	Observación directa, entrevista	Equipo Fotográfico Formatos
Verificación en oficina	Recopilación de documentos, cuestionarios	Formatos especializados,
Cálculos y modelación hidráulica	Modelamiento prospectivo	Software Hcanales y Hec-Ras
Análisis de resultados	Análisis Comparativo	Fichas y tablas específicas

Fuente: Elaborado por el tesista

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1 Desarrollo de la Investigación

3.1.1 Información de la zona a investigar

3.1.1.1 Aspecto Socio Económico

En el ámbito del proyecto, se realiza una agricultura de secano, es decir se aprovecha las precipitaciones pluviales que se registran en la zona entre los meses de noviembre a abril, conllevando a que se obtengan rendimientos deficientes en una campaña al año. Asimismo, existen áreas eriazas potencialmente agrícolas que pueden incorporarse a la agricultura de riego.

Los problemas de baja producción agrícola en la zona de desarrollo del Proyecto se deben principalmente a la escasez de agua para riego por la falta de infraestructura y a la aplicación de baja tecnología productiva aplicada en la fase de producción de sus cultivos, lo cual genera los bajos rendimientos de los cultivos en las zonas agrícolas del centro poblado de Tambo y anexo de San Antonio de Reyes. Los recursos de los campesinos son escasos debido a su economía de subsistencia orientada principalmente al autoconsumo.

Según el III Censo Nacional Agropecuario (III CNA) [7] de 1994 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, el distrito de Tambo posee una superficie agrícola total de 2880.67 Ha, distribuidas en 835.70 ha de cultivos transitorios, 1395.15 ha en barbecho, 351.97 ha en descanso y 297.85 ha no trabajadas.

En el área de influencia se encuentra también el anexo de San Antonio de Reyes, que cuenta con un área agrícola de 106.50 Ha. La superficie instalada de acuerdo a la campaña 2011 – 2012, en el distrito de Tambo y anexo de San Antonio de Reyes es de 116.00 Ha, y se registra en el mes de diciembre. Siendo los principales cultivos el maíz, papa, trigo, cebada, arveja, entre otros. Los cuales son comercializados en los principales mercados de Ica.

3.1.1.2 Accesibilidad

La vía de acceso al Anexo San Antonio de Reyes y a la capital del distrito de Tambo, teniendo como referencia Ica, principal mercado económico es como sigue:

Partiendo de Ica - Los Molinos vía carretera departamental ruta PE-110 por una vía asfaltada en buen estado de conservación. Desde allí se prosigue pasando por los centros poblados Huamani, Ramadilla, Tambillos, Ayavi hasta llegar a Tambo, a través de la carretera departamental afirmada en regular estado de conservación.

Desde Tambo hasta la zona de investigación, mediante una trocha carrozable entre regular y mal estado de conservación.

TABLA II
ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO

Tramo de ruta	Longitud en km	Tipo de vía	Estado de conservación
Ica - Los Molinos	14.00	Asfaltada	Bueno
Los Molinos - Tambo	102.30	Afirmada	Regular
Tambo - Reyes	9.50	Trocha	Malo

Fuente: Mapas viales por rutas nacionales - MTC [8]



Fig. 1: Tramo Ica – Ramadilla
Fuente: Mapa Vial Ica - MTC [9]

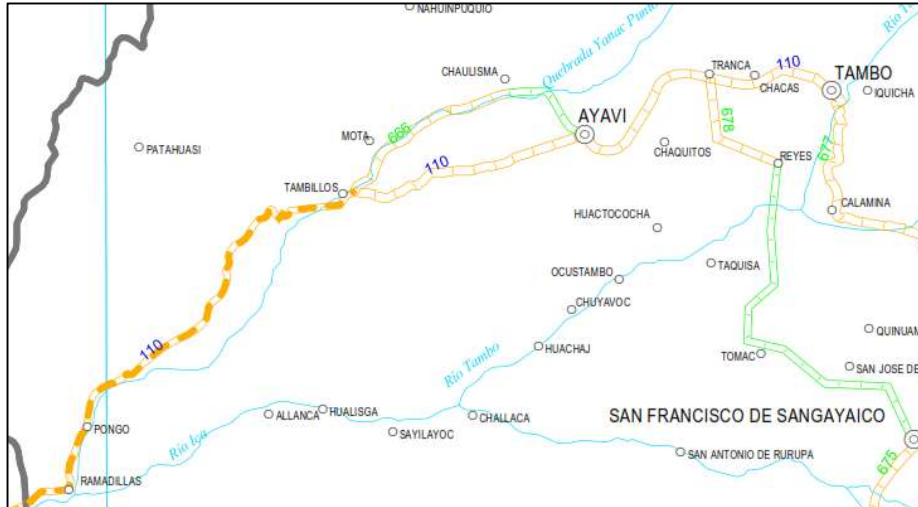


Fig. 2: Tramo Ramadilla - Tambo
 Fuente: Mapa Vial Huancavelica - MTC [10]

3.1.1.3. Fisiografía y Climatología

El distrito de Tambo - Anexo San Antonio de Reyes posee una amplia extensión accidentada, propia de la serranía, existiendo llanos, quebradas, abismos, etc., en los que se registran un sin número de microclimas que van desde el clima caluroso del temple, hasta el fuerte frío de la Región Janca, lugares en que se ubican el anexo de Reyes, caseríos y estancias que forman parte de la comprensión del distrito.

Estos extremos de profundidad y altitud hacen que el distrito goce de una rica y variada flora y fauna. Por su ubicación equidistante, registra un clima agradable propio de una altura intermedia entre ambos extremos que llega a los 3,565 m.s.n.m.

TABLA III

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Características Climáticas	Valores
Temperatura Máxima media anual	15.4 °C
Temperatura Mínima media anual	2.8 °C
Precipitación total anual	829.6 mm/año

Fuente: IGP. [11]

3.1.1.4 Geomorfología, Geología y Geotecnia

El Área del proyecto es muy común con otras zonas de la Región, encontrándose similitud en cuanto a la clasificación de los suelos, aspectos topográficos o geomorfología y en genera/ a su formación. También se puede observar algunas terrazas fluviales debido a la presencia de quebradas con cursos de aguas permanentes.

Geomorfología:

Presenta una Geomorfología de terreno ondulado, con algunos espacios accidentados, pudiéndose encontrar lugares tendientes a planos, los ubicados en las faldas de algunas colinas, las que se encuentran cubiertas por vegetación.

Geología:

La litología del área está formada por horizonte sedimentario bien definido, correspondiente al tipo de arcillas. Este horizonte arcilloso se encuentra ínter estratificado con un estrato inicial conformado por suelos orgánicos, se presentan generalmente con grosores que varían entre el delgado y el medianamente delgado. Las Arcillas correspondientes al terciario (capas rojas) y cuyos afloramientos se pueden observar en el área del proyecto, se presentan de un color rojizo o morado, siendo muy plásticos, impermeables y mecánicamente poco resistentes.

3.1.1.5 Topografía y Cartografía

Los trabajos de topografía para la verificación del trazo del canal se desarrollaron, con la siguiente metodología general:

- a) Reconocimiento del terreno. - Se recorrió la zona, anotándose todos los detalles que influyen en la conformación del canal existente, como eje existente, eje probable para mejoras en el canal.
- b) Levantamiento topográfico. - Se ha utilizado el método de la poligonal abierta para el levantamiento longitudinal del canal. Para la pendiente se utilizó un nivel óptico tomando datos a cada 20 metros, ida y vuelta para la posterior corrección de cotas.
- c) Las secciones transversales. - Se han realizado de acuerdo al terreno, el espaciamiento de la toma de datos entre secciones ha dependido de la variación de la sección del canal. El espaciamiento mínimo es a cada a cada 20 m.
- d) Dibujo de planos y geometría del canal
 - Dibujo de planos para terrenos con pendiente transversal mayor a 25%, escala de 1:500.
 - Dibujo de planos para terrenos con pendiente transversal menor a 25%, escalas de 1:1000 a 1:2000.
 - Radios mínimos: El cambio brusco de dirección en el eje del canal se substituyó por una curva cuyo radio no exceda al mínimo recomendado por el Manual de la ANA, “Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico” [12] dado que al trazar curvas con radios mayores al mínimo no representa ahorro de energía cinética y la curva no será hidráulicamente más eficiente, siendo más costoso al darle un mayor desarrollo.

- e) Rasante del canal. – Para establecer el perfil longitudinal del nuevo trazo propuesto se han utilizado las siguientes escalas: Escala horizontal 1:1000 y escala vertical 1:100, ya que normalmente la relación entre la escala horizontal y vertical es de 1 a 10.

En el diseño de la rasante se ha considerado los puntos donde existen tomas para el riego. La pendiente de la rasante final, se ha ajustado en lo posible a la pendiente promedio del canal original. El plano final del perfil longitudinal del canal, presenta la siguiente información:

- Progresiva
- Pendiente
- Cota de rasante y Cota de terreno
- Corte y Relleno
- Tipo de suelo
- Ubicación de las obras de arte
- Cuadro de Elementos de curva

Para los trabajos de gabinete para el procesamiento de los datos topográficos se tomó en cuenta las siguientes herramientas:

- El procesamiento de datos se efectuó en hoja de cálculo (EXCEL)
- Para procesar las curvas de nivel, perfiles y secciones transversales se utilizó el software AutoCAD Civil 3D.
- Los planos se elaboraron según las escalas indicadas.

3.2. Presentación de los Resultados

3.2.1 Situación actual del Sistema de Riego

El canal de riego en estudio tiene una antigüedad de 71 años aproximadamente, fue construido por los propios agricultores de la zona ante la necesidad de mejorar la productividad agrícola. Las sequías constantes limitaron su rendimiento y el incremento de la frontera agrícola. Agregado a ello fenómenos naturales como las intensas lluvias, desastres naturales (terremoto del 15 de agosto del 2007) y la deficiente e inoportuna programación de mantenimiento originaron el deterioro de la infraestructura.

El canal tiene diversas secciones transversales, en parte con secciones de concreto rectangular de 0.60 m de base por 0.5 m de alto; de tubos PVC Ø 12” y de tierra en suelo natural; la condición actual en la que se encuentra explica la baja eficiencia de conducción y las filtraciones, situación que afecta el desarrollo de la actividad agrícola.

3.2.1.1 Disponibilidad de Agua

El agua disponible que circula por el canal principal desde el río Tambo es aproximadamente 10 m³/seg. No obstante, en el camino deja agua para dos reservorios nocturnos. El caudal que toma el tramo en estudio es de 60 l/s o 0.06 m³/seg.

a) Toma de Captación

El canal principal del todo el sistema de riego toma su caudal directamente del Río Tambo, conduciendo 10 m³/seg el cual se encuentra en mal estado como se aprecia en la imagen.



Fig. 3: Captación en el Río Tambo, progresiva 0+000.

b) Canal de Conducción

En la actualidad los usuarios del Anexo Reyes riegan sus parcelas mediante este canal a partir de las progresivas 12+633.39 a 13+333.39, siendo este tramo de sección irregular por ser de tierra, sobre terreno natural, el cual presenta zonas bastante pedregosas en varios tramos de su recorrido que es justamente donde se producen las pérdidas por filtración. La pendiente es moderada.

A partir de la progresiva 12+713.39 presenta una fuerte pendiente, hasta el final del tramo.



Fig. 4: *Vista del tramo del canal entubado con PVC 12”*



Fig. 5: *Inicio del tramo del canal con pendiente fuerte.*



Fig. 6: *Poblador señalando un tramo rocoso donde se producen infiltraciones*



Fig. 7: *Vista de nuevas áreas de cultivo a incorporar con el proyecto*

c) Métodos aplicados para la verificación del caudal

Primero se determinó el caudal que circula por el tramo de estudio, para saber si es concordante con el caudal de 0.06 m³/seg que es lo que está previsto. Esto nos permitirá determinar el porcentaje de eficiencia actual. Para ello se aplicaron dos procedimientos:

- El caudal se determinó mediante la ecuación de Manning usando un área de sección promedio, para ello se determinó primero el valor de “n” correspondiente a las características del canal, mediante los criterios de Cowan [13] y Scobey [14].
- El caudal se determinó mediante aforo según recomendaciones del MINAGRI [15], midiendo directamente la velocidad en el canal con el método del flotador y utilizando una sección transversal promedio para obtener el área.

d) Determinación del coeficiente de rugosidad

Para determinar el valor más óptimo se hizo un análisis visual a lo largo del canal, y se analizó la rugosidad tomando en cuenta los criterios de Cowan [13] y los de Scobey [14].

Según Cowan [13] para determinar “n” cuando los cauces son irregulares, como en este caso, se aplica su modelo definido por:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

Los valores a adoptar en esta ecuación se toman de la siguiente tabla de acuerdo a las condiciones del canal:

TABLA IV
CRITERIOS Y VALORES NUMÉRICOS PARA LA ECUACIÓN DE COWAN

Condición del cauce		Valores	
Material considerado	Tierra		0.020
	Corte en roca	n_0	0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave		0.000
	Menor	n_1	0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variación de la sección transversal	Gradual		0.000
	Ocasionalmente alternante	n_2	0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015
Efecto de las obstrucciones	Insignificante		0.000
	Menor	n_3	0.005
	Apreciable		0.010
	Severo		0.020
Vegetación	Baja		0.005 - 0.010
	Media	n_4	0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 1.000
Cantidad de meandros	Menor		1.000
	Apreciable	m_5	1.150
	Severa		1.300

Fuente: A. Rocha, Tuberías y Canalizaciones. UNI – 2007 [16]



Fig. 8: Vista de un tramo recto del canal de tierra



Fig. 9: *Vista de un tramo irregular del canal de tierra*

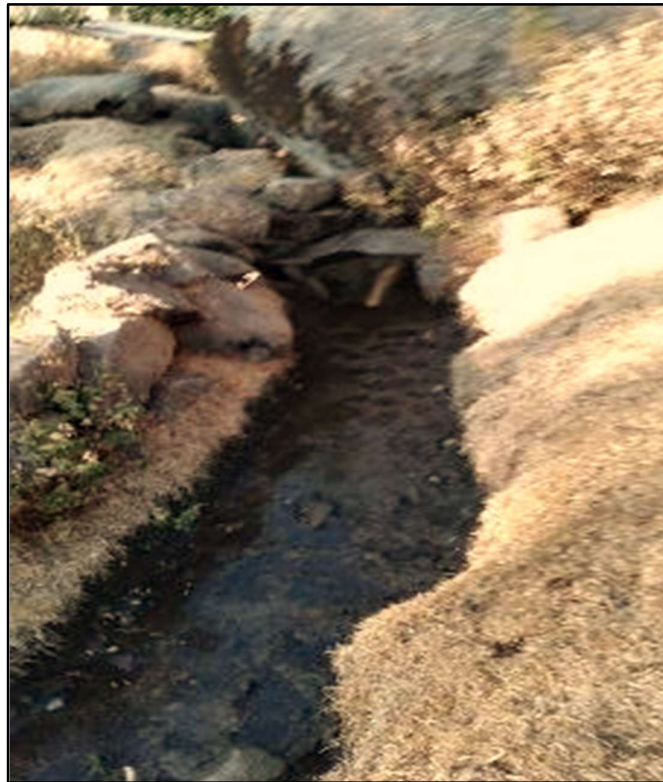


Fig. 10: *Vista de un tramo obstruido con pendiente fuerte*

De acuerdo a esto, según lo observado en campo de las características del canal de conducción Reyes se tiene:

TABLA V
VALORES NUMÉRICOS DE COWAN PARA EL CANAL DE CONDUCCIÓN REYES

Condición del cauce		Valores	
Material considerado	Grava gruesa	n_0	0.020
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
Variación de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
Efecto de las obstrucciones	Apreciable	n_3	0.010
Vegetación	Baja	n_4	0.010
Cantidad de meandros	Menor	m_5	1.000

Por lo tanto, el valor de “n” que se adopta según Cowan es:

$$n = (0.020 + 0.000 + 0.000 + 0.010 + 0.010) \times 1.000$$

$$n = 0.04$$

Scobey [12] plantea definir el valor de “n” tomando en cuenta las condiciones del cauce, que define según la siguiente tabla:

TABLA VI
VALORES DE "n" SEGÚN SCOBEEY

Condiciones del cauce	Valor “n” recomendado
Cauce de tierra natural limpios con buen alineamiento con o sin algo de vegetación en los taludes y gravillas dispersas en los taludes	0.025
Cauce de piedra fragmentada y erosionada de sección variable con algo de vegetación en los bordes y considerable pendiente (típico de los ríos de entrada de ceja de selva)	0.030
Cauce de grava y gravilla con variación considerable de la sección transversal con algo de vegetación en los taludes y baja pendiente. (típico de los ríos de entrada de ceja de selva)	0.035
Cauce con gran cantidad de canto rodado suelto y limpio, de sección transversal variable con o sin vegetación en los taludes (típicos de los ríos de la sierra y ceja de selva)	0.040 - 0.050
Cauce con gran crecimiento de maleza, de sección obstruida por la vegetación externa y acuática de lineamiento y sección irregular. (Típico de los ríos de la selva)	0.060 - 0.075

Fuente: INDECI [14]

De acuerdo a esto, según lo observado en campo de las características del canal de conducción Reyes se tiene: $n = 0.04$

Luego, los dos criterios son similares, por lo tanto:

$$n = 0.04$$

e) Caudal real:

• **Verificación por Manning:**

Para determinar el caudal se usamos la ecuación de Manning [17]:

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

Siendo:

Área de sección promedio (A)	: 0.112 m ² (0.40 x 0.28 m)
Perímetro mojado (P)	: 0.96 m
Pendiente del fondo (S)	: 0.365% = 0.00365
Rugosidad del cauce (n)	: 0.04 (según Cowan)

Luego:

$$Q = \frac{0.112 \times \left(\frac{0.112}{0.96}\right)^{2/3} \times 0.00365^{1/2}}{0.04}$$

$$Q = 0.04 \frac{m^3}{seg}$$

Aquí se aprecia que es menor que el caudal que debe conducir el canal (0.06 m³/seg).

• **Verificación por aforos:**

Según el MINAGRI [15] para medir los caudales de los cauces, es recomendable usar el Método del Flotador, estimando la velocidad del agua y el área promedio de la sección del canal. El caudal se determina con:

$$Q = Fc \times A \times \frac{L}{T}$$

Donde:

Q = caudal (m /s)

L = longitud del tramo (5 a 10) metros.

A = área, (m)

T = tiempo promedio (seg)

Fc = factor de corrección.

El valor de Fc se adopta según el tipo de río o canal y la profundidad del mismo, respecto a los valores de la siguiente tabla:

TABLA VII
DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN FC

Tipo de cauce	Factor de corrección FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0.8
Canal en tierra, profundidad del agua > 15 cm	0.7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canal en tierra, profundidad del agua < 15 cm	0.25 - 0.5

Fuente: MINAGRI 2015 [15]

Para este caso se toma el Factor FC = 0.7

Para realizar la verificación se tomaron tres tramos de 10 metros que sean lo más recto posible y cuya sección sea también lo más uniforme posible para hacer los aforos de caudal.

- El primer tramo se tomó a partir de la progresiva 12+343, 10 metros aguas abajo.
- El segundo tramo se tomó a partir de la progresiva 12+513, 10 metros aguas abajo.
- El tercer tramo se tomó a partir de la progresiva 12+700, 10 metros aguas abajo.

Para aplicar el método se usó una botella de plástico de 0.5 litros y se procedió a llenarlo con agua hasta la mitad. Se establecieron dos marcas (inicio aguas arriba y final aguas abajo) para señalar un tramo de 10 m. Mediante un cronómetro se midió el tiempo que recorre la botella desde el inicio hasta el final, repitiendo el proceso por lo menos 5 veces para obtener un promedio.



Fig. 11. *Midiendo el tiempo de recorrido. Método del flotador*

A lo largo de cada tramo se hizo un sondeo de profundidades respecto al fondo del canal y también del ancho para obtener un promedio.



Fig. 12. Obtención de tirantes en el canal.

Los datos de velocidad obtenidos en campo se indican en la tabla:

TABLA VIII
VELOCIDAD PROMEDIO EN EL PRIMER TRAMO

Tramo	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
I	10	22	0.7	0.318	0.02209
	10	20	0.7	0.350	0.02209
	10	19	0.7	0.368	0.02209
	10	20	0.7	0.350	0.02209
	10	22	0.7	0.318	0.02209
II	10	20	0.7	0.350	0.02209
	10	19	0.7	0.368	0.02209
	10	21	0.7	0.333	0.02209
	10	19	0.7	0.368	0.02209
	10	20	0.7	0.350	0.02209
III	10	20	0.7	0.350	0.02209
	10	22	0.7	0.318	0.02209
	10	20	0.7	0.350	0.02209
	10	19	0.7	0.368	0.02209
	10	21	0.7	0.333	0.02209
Velocidad promedio final =				0.346	

Siendo el área promedio calculada anteriormente de $A= 0.10 \text{ m}^2$ en la expresión:

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0.112 \times 0.346$$

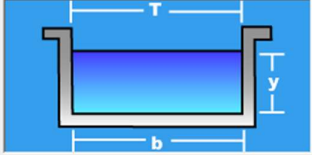
$$Q = 0.039 \text{ m}^3/\text{seg}$$

• **Verificación usando el programa Hcanales [18]:**

Considerando el área y tirante promedio obtenidos del aforo se tiene:

Lugar:	Canal de conducción Reyes	Proyecto:	Tesis
Tramo:	12+633.39 a 13+333.39	Revestimiento:	Canal de tierra

Datos:	
Tirante (y):	0.28 m
Ancho de solera (b):	.4 m
Talud (Z):	0
Coefficiente de rugosidad (n):	.04
Pendiente (S):	0.00365 m/m



Resultados:			
Caudal (Q):	0.0404 m3/s	Velocidad (v):	0.3606 m/s
Area hidráulica (A):	0.1120 m2	Perímetro (p):	0.9600 m
Radio hidráulico (R):	0.1167 m	Espejo de agua (T):	0.4000 m
Número de Froude (F):	0.2176	Energía específica (E):	0.2866 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Fig. 13. Cálculo del caudal en Hcanales

Con esto se tienen 3 resultados que en promedio son:

TABLA IX
RESUMEN DE RESULTADOS

Método de verificación	Caudal Máximo (m ³ /seg)
Fórmula de Manning y sección media	0.040
Aforo con Método del flotador y sección media	0.039
Software Hcanales	0.040
Caudal promedio (m ³ /seg) =	0.040

f) Eficiencia del canal:

De este cuadro final, se observa que el caudal promedio 0.040 m³/seg es menor que el caudal disponible de 0.06 m³/seg. Por lo tanto, la eficiencia del canal es:

$$E = \frac{0.040}{0.060} \times 100 = 66.67\%$$

Produciéndose una pérdida de agua de 33.33%.

Esto corrobora lo mencionado por Chereque [19] que la pérdida de agua (incluyendo el agua que se evapora) está alrededor del 30% en los canales de tierra.

• **Régimen de flujo:**

Según los datos del aforo, la velocidad promedio obtenida es 0.346 m/seg. Para determinar el régimen de flujo se calculó el número de Froude [20], el cual se define como el cociente entre la velocidad media y la celeridad relativa de la onda dinámica. La velocidad media se toma la calculada mediante aforo porque representa lo real medido en campo:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \times Dh}}$$

Siendo: V = Velocidad promedio (m/seg)

g = Aceleración de la gravedad (m/seg²)

Dh = profundidad hidráulica (m) = A/T

A = Área de la sección transversal del flujo (m²)

T = Ancho de la lámina libre (m)

Luego:

$$Dh = \frac{0.112}{0.4} = 0.28 \text{ m}$$

$$F_R = \frac{0.346}{\sqrt{9.81 \times 0.28}} = \frac{0.346}{1.657} = 0.2088$$

Para definir qué tipo de régimen se aplican los siguientes criterios:

- Sí $Fr = 1$, el flujo es crítico.
- Sí $Fr < 1$, el flujo es subcrítico
- Sí $Fr > 1$, el flujo es supercrítico.

Para este caso:

$$F_R = 0.2088 < 1 \rightarrow (\text{Flujo subcrítico})$$

• **Sedimentación y erosión:**

IMEFEN [17] recomienda una velocidad mínima entre 0.10 y 0.20 m/seg para un canal de aguas limpias para evitar sedimentación y crecimiento de plantas. Si la velocidad calculada es $V = 0.346$ m/seg, mayor que este rango no se producen los efectos, que se corroboran en las figuras 8 y 9. Chereque [19], también recomienda la tabla elaborada por Fortier y Scobey:

Máximas velocidades medias permitidas
según Fortier y Scobey

Material	n	Agua clara		Agua con limo coloidal	
		V m/sg	τ_0 N/m ²	V m/sg	τ_0 N/m ²
Arena fina, coloidal	0,020	0,46	1,30	0,76	3,60
Greda arenosa, no coloidal	0,020	0,53	1,77	0,76	3,60
Greda limosa, no coloidal	0,020	0,61	2,30	0,91	5,28
Limo aluvial, no coloidal	0,020	0,61	2,30	1,07	7,20
Greda común firme	0,020	0,76	3,60	1,07	7,20
Ceniza volcánica	0,020	0,76	3,60	1,07	7,20
Arcilla dura muy coloidal	0,025	1,14	12,47	1,52	22,07
Limo aluvial, coloidal	0,025	1,14	12,47	1,52	22,07
Arcilla esquistosa o capas duras	0,025	1,83	32,14	1,83	32,14
Grava fina	0,020	0,76	3,60	1,52	15,35
Greda graduada a cantos rodados	0,030	1,14	18,23	1,52	31,66
Limo graduado a cantos rodados	0,030	1,22	20,63	1,68	38,38
Grava gruesa	0,025	1,22	14,39	1,83	32,14
Cantos rodados y ripios	0,035	1,52	43,65	1,68	52,77

Fig. 14. Velocidades máximas recomendadas para canales de tierra
Fuente: W. Chereque Morán. PUCP [19]

Se identifica el material del canal como greda graduada a cantos rodados con agua clara, que corresponde a una velocidad máxima de 1.14 m/seg mayor a la velocidad calculada de 0.346 m/seg. No existe problema de erosión. ANA [12] recomienda usar el criterio de Krochin [21] para establecer la velocidad máxima permisible en canales de tierra sin revestir:

MATERIAL DE LA CAJA DEL CANAL	"n" Manning	Velocidad (m/s)		
		Agua limpia	Agua con partículas coloidales	Agua transportando arena, grava o fragmentos
Arena fina coloidal	0.020	1.45	0.75	0.45
Franco arenoso no coloidal	0.020	0.53	0.75	0.60
Franco limoso no coloidal	0.020	0.60	0.90	0.60
Limos aluviales no coloidales	0.020	0.60	1.05	0.60
Franco consistente normal	0.020	0.75	1.05	0.68
Ceniza volcánica	0.020	0.75	1.05	0.60
Arcilla consistente muy coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Limo aluvial coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Pizarra y capas duras	0.025	1.80	1.80	1.50
Grava fina	0.020	0.75	1.50	1.13
Suelo franco clasificado no coloidal	0.030	1.13	1.50	0.90
Suelo franco clasificado coloidal	0.030	1.20	1.65	1.50
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.20	1.80	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.80	1.80	1.50

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico". Ed. MIR, Moscú, 1978

Fig. 15. Velocidades máximas según Krochin
Fuente: ANA, 2010 [12]

Considerando un material de suelo franco no clasificado la velocidad recomendada es 1.13 m/seg, que tampoco supera a la calculada 0.538 m/seg.

3.2.1.2. Verificación de parámetros en la longitud total del tramo

Determinados los principales parámetros del canal actual, como caudal, rugosidad, ancho y altura promedio de la sección, mediante el software Hcanales de hallarán los demás parámetros como tirante normal, área hidráulica, espejo de agua, número de Froude, etc. Se analizarán para cada sección al inicio y final de cada pendiente que este tenga, de acuerdo al levantamiento topográfico:

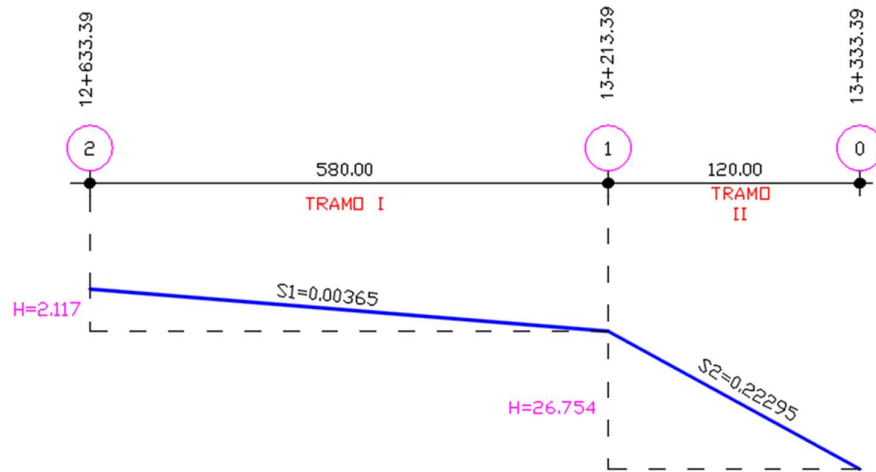


Fig. 16. Esquema del perfil longitudinal del canal

Lugar:	Canal de conducción Reyes	Proyecto:	Tesis
Tramo:	Pendiente S=0.00365	Revestimiento:	Canal de tierra

Datos:	
Caudal (Q):	0.04 m ³ /s
Ancho de solera (b):	.4 m
Talud (Z):	0
Rugosidad (n):	0.04
Pendiente (S):	0.00365 m/m

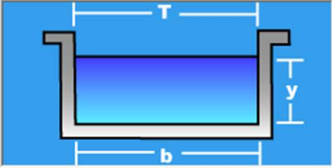
Resultados:			
Tirante normal (y):	0.2779 m	Perímetro (p):	0.9558 m
Área hidráulica (A):	0.1112 m ²	Radio hidráulico (R):	0.1163 m
Espejo de agua (T):	0.4000 m	Velocidad (v):	0.3599 m/s
Número de Froude (F):	0.2180	Energía específica (E):	0.2845 m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Fig. 17. Tramo I del canal con pendiente 0.00365 m/m

Lugar:	Canal de conducción Reyes	Proyecto:	Tesis
Tramo:	Pendiente S=0.2295	Revestimiento:	Canal de tierra

Datos:

Caudal (Q):	0.04	m ³ /s
Ancho de solera (b):	.4	m
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.04	
Pendiente (S):	0.2295	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.0632	m	Perímetro (p):	0.5264	m
Area hidráulica (A):	0.0253	m ²	Radio hidráulico (R):	0.0480	m
Espejo de agua (T):	0.4000	m	Velocidad (v):	1.5823	m/s
Número de Froude (F):	2.0096		Energía específica (E):	0.1908	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Cuidado velocidad erosiva

Fig. 18. Tramo II del canal con pendiente 0.22295 m/m

Resumiendo, del análisis hidráulico se tiene:

TABLA X
RESUMEN DE RESULTADOS CON HCANALES

Tramo	Caudal (m ³ /seg) Q	n	Pend. S (m/m)	Tirante normal (m) y	Tirante crítico (m) yc	Veloc. (m/seg) V	Flujo
I	0.040	0.04	0.00365	0.2779	0.1122	0.3599	Subcrítico
II	0.040	0.04	0.2295	0.0632	0.1122	1.5823	Supercrítico

Como se puede apreciar hay flujo supercrítico en el último tramo, lo que representa una velocidad erosiva. Es una rápida.

Luego mediante el uso del software HEC RAS 4.1.0 [22] se hizo la modelación considerando los datos calculados previamente.

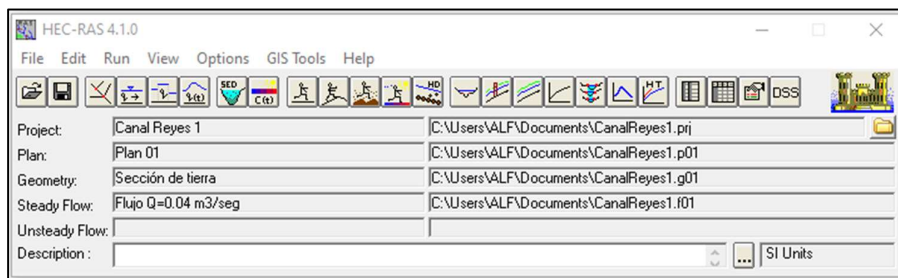


Fig. 19. Simulación en HEC RAS 4.1.0 del canal de tierra existente

Primero se traza el eje del canal utilizando el editor de datos geométricos (*Edit/Enter Geometric Data*). En este caso se introducirán tres secciones transversales: Inicio, final y una en el cambio de pendiente. (0, 1y 2)

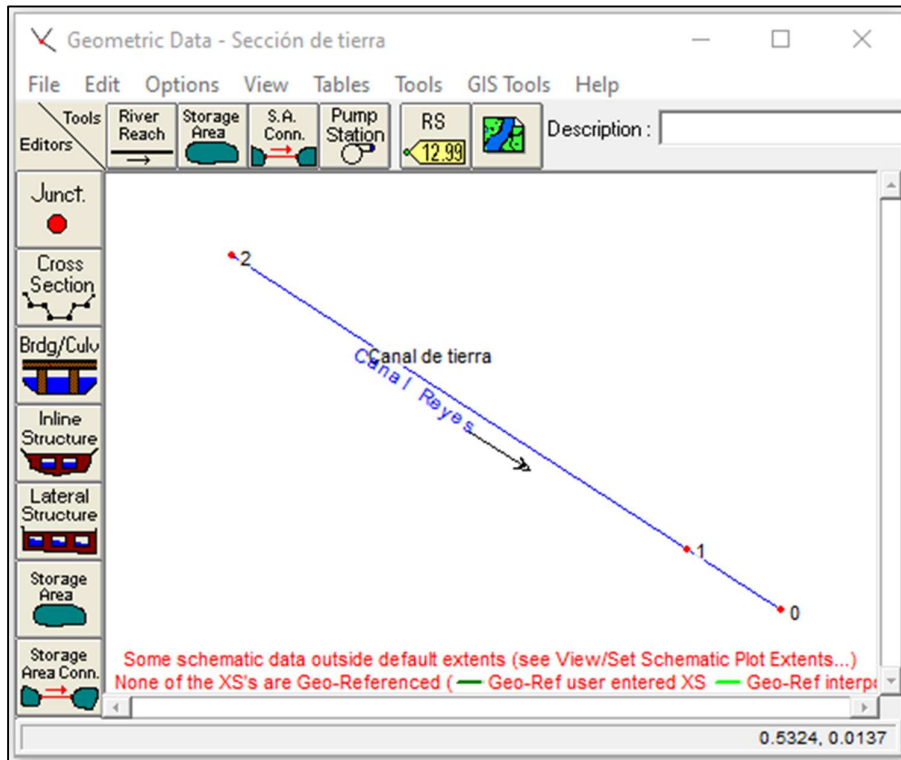


Fig. 20. Esquema de ubicación de secciones en HEC-RAS 4.1.0

Para establecer la geometría del canal es recomendable ingresar las secciones desde aguas abajo hacia aguas arriba. La sección promedio es aquella que se ha establecido mediante el aforo de caudal. El tirante promedio conocido y el borde libre medidos en campo se van a tomar en cuenta para construir la sección transversal de ingreso.

Los datos de rugosidad se ingresan en cada sección transversal y la pendiente entre sección y sección se define al asignar cotas de sus coordenadas. La sección del canal en la primera sección aguas abajo (eje cero según la figura 16) sería:

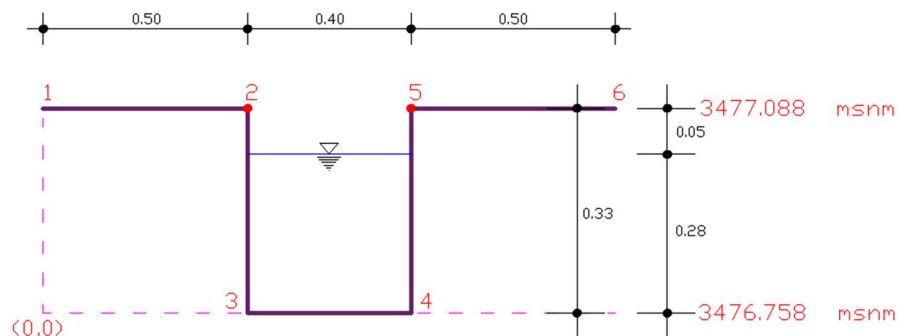


Fig. 21. Esquema de la sección 0 del canal para el HEC-RAS 4.1.0

Los datos de cada sección transversal se ingresan a través del ícono *Cross Section*, en el editor de datos geométricos (*Edit/Enter Geometric Data*) que abre la siguiente ventana para ir creando las secciones transversales.

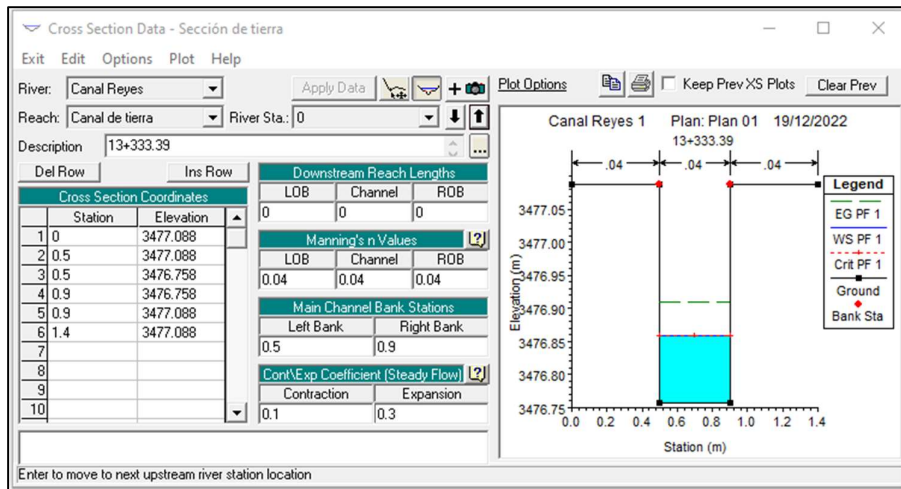


Fig. 22. Ingreso de datos geométricos del canal de tierra.

Una vez creadas las secciones transversales hay que ingresar datos de flujo mediante el menú *Edit, Steady Flow Data* para modelar flujos permanentes.

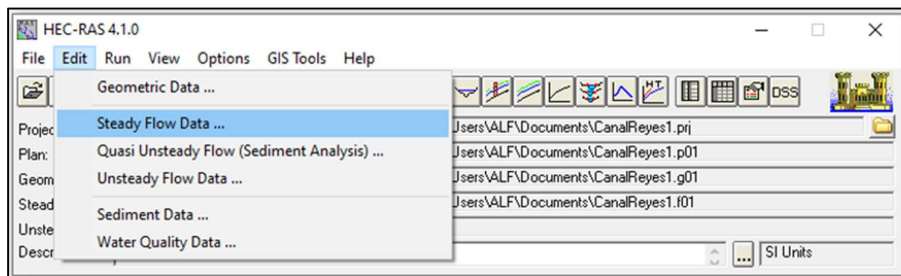


Fig. 23. Ingreso de datos de flujo para modelar el canal de tierra.

Esto abre el editor que permite ingresar dichos datos: *Steady Flow Data* (Datos de flujo permanente). En este caso, se ingresará el caudal promedio $Q=0.04$ m³/seg y tirantes y pendientes conocidas

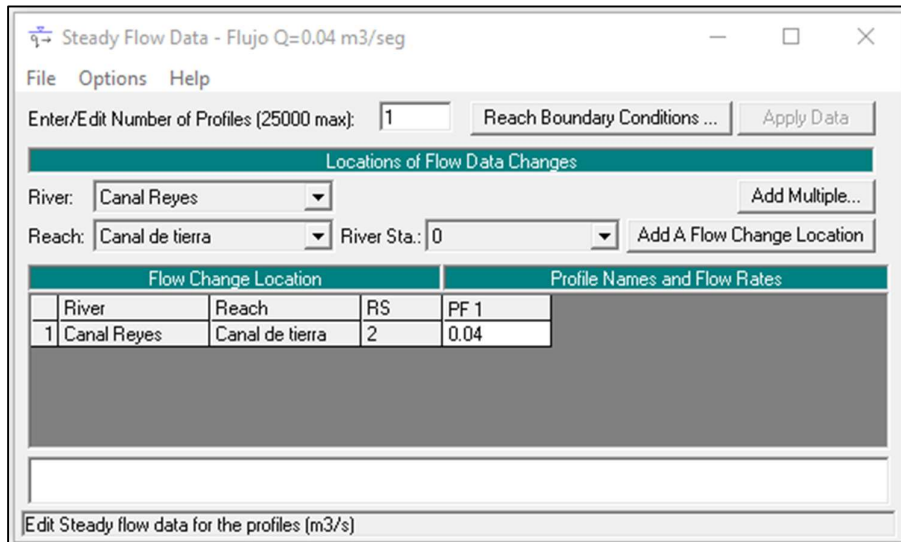


Fig. 24. Ingreso de caudal de simulación $Q=0.04 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Con el botón *Reach Boundary Conditions* (Condiciones de borde en el cauce), se ingresan datos de tirantes conocidos o pendientes conocidas según sea el caso.

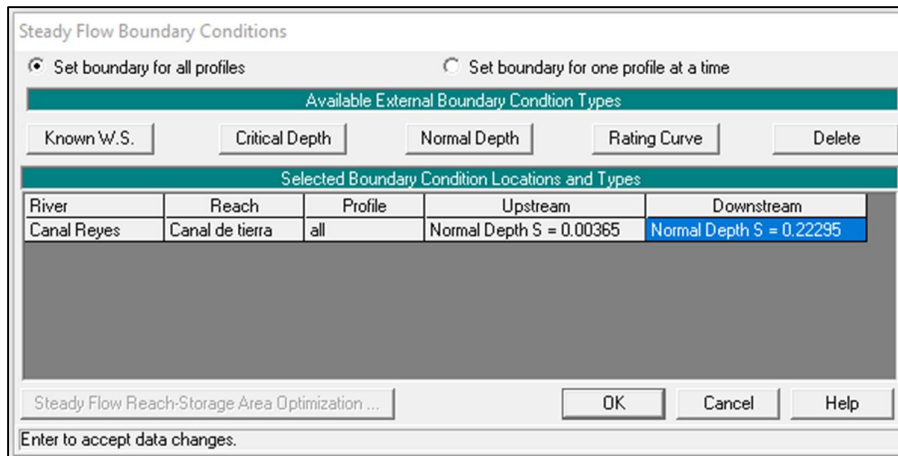


Fig. 25. Ingreso de condiciones de borde

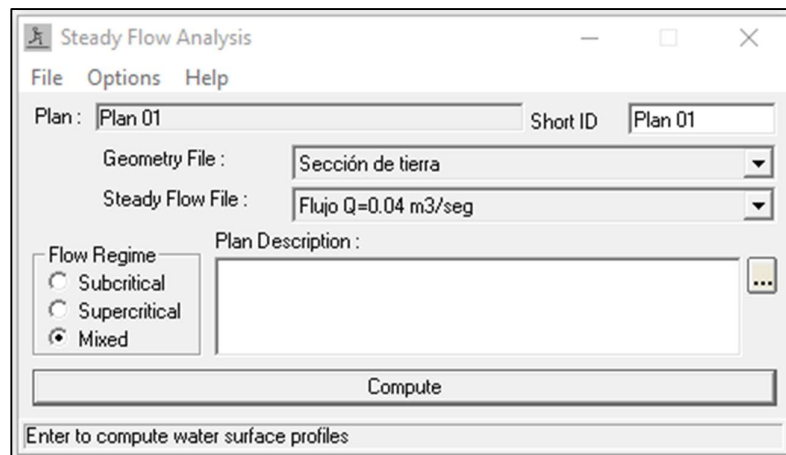


Fig. 26. Análisis del flujo en régimen de flujo mixto

Se aclara que al desconocerse el régimen de flujo que puede discurrir por todo el canal, se vio por conveniente utilizar la opción Normal Depth, ingresando las pendientes de los tramos aguas arriba y aguas abajo. Luego se corre la simulación en régimen de flujo mixto, para esta condición.

A continuación, se muestran las secciones transversales calculadas por HEC-RAS 4.1.0, luego de correr la simulación.

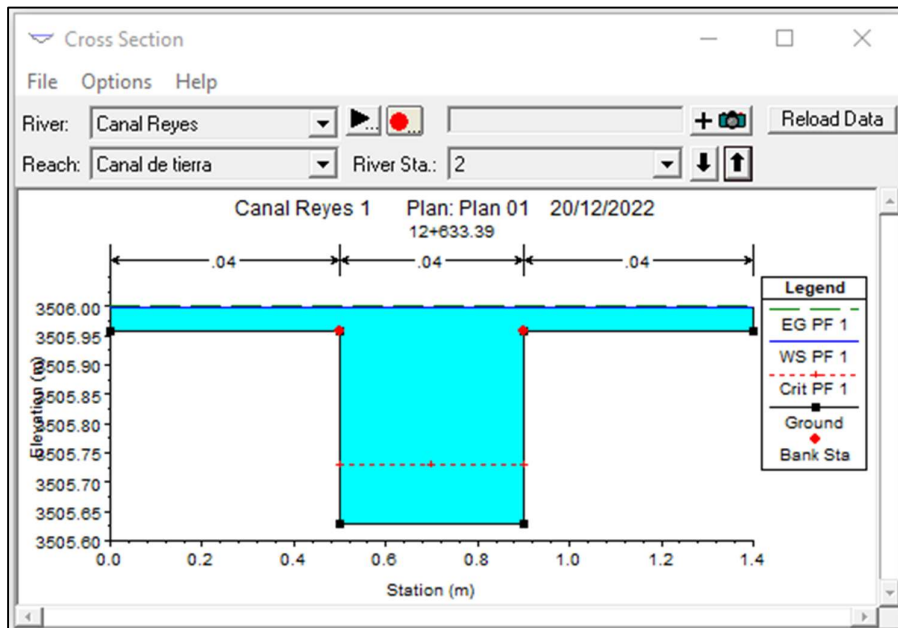


Fig. 27. Sección 2 en la progresiva 13+333.39 Aguas arriba.

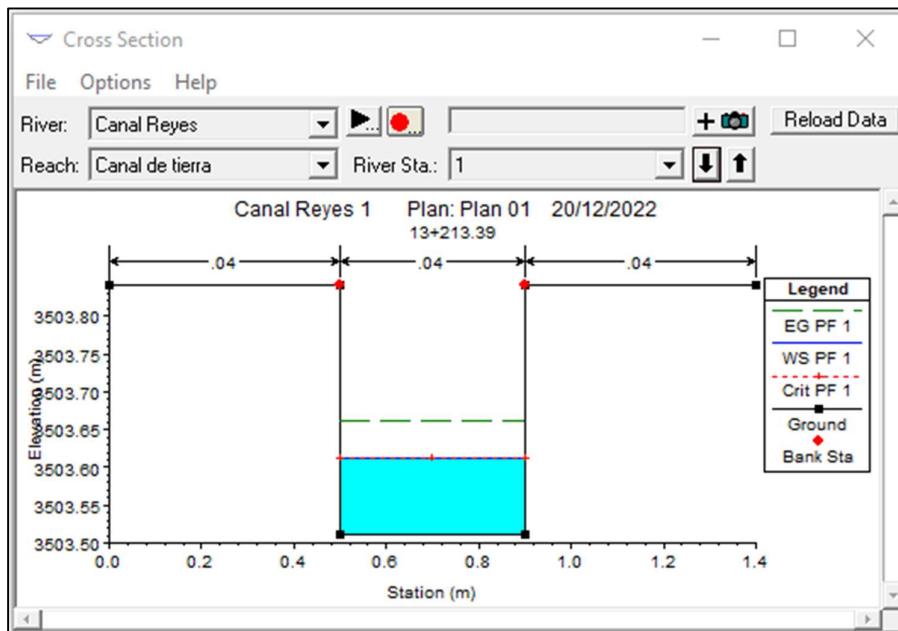


Fig. 28. Sección 1 en la progresiva 13+213.39

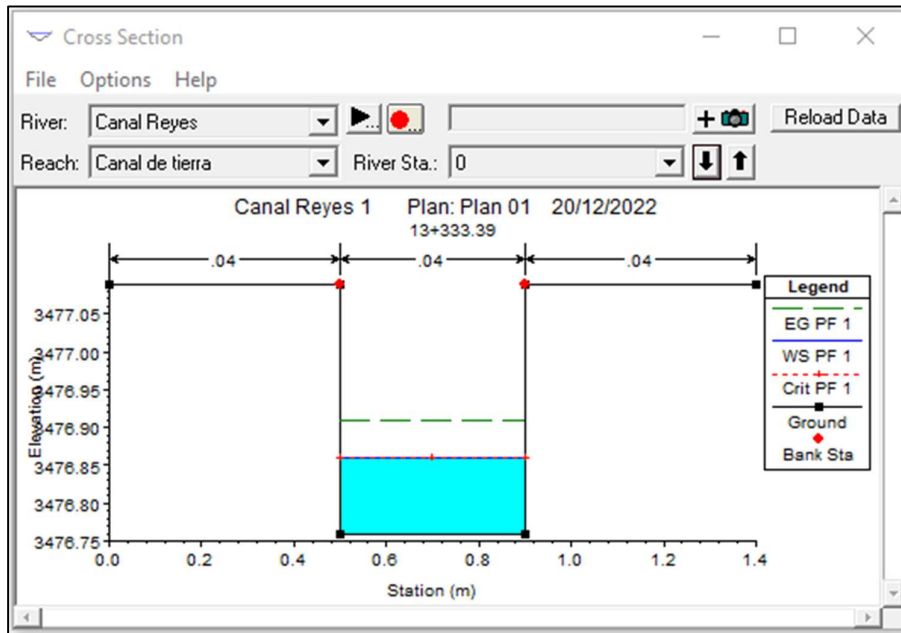


Fig. 29. Sección 0 en la progresiva 13+333.39 Aguas abajo.

Se observa que en la sección 2 aguas arriba el agua desborda al canal y en la sección 0 aguas abajo el tirante normal coincide con el crítico, que no representa el verdadero comportamiento del flujo observado. Por ejemplo, el reporte de la sección 2 advierte que no es posible balancear la ecuación de la energía debido a las pocas secciones ingresadas, recomendando poner más secciones a cada 0.30 m.

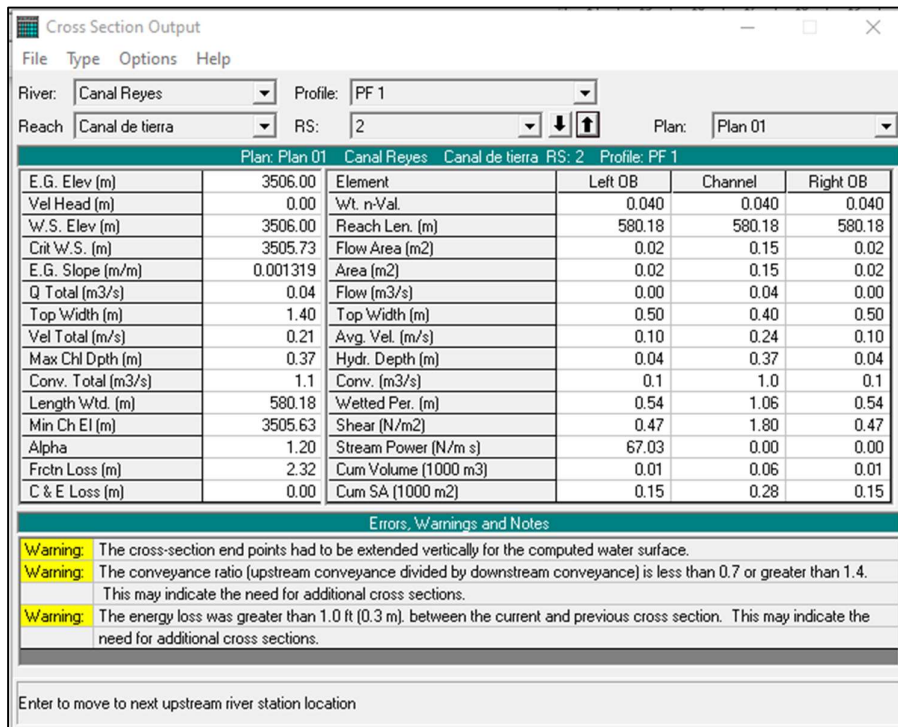


Fig. 30. Mensajes de advertencia en HEC-RAS.

Para resolver el problema se ingresaron más secciones con el editor de datos geométricos (*Geometric Data*), mediante la opción *Tools, Xs Interpolation, Within a Reach*.

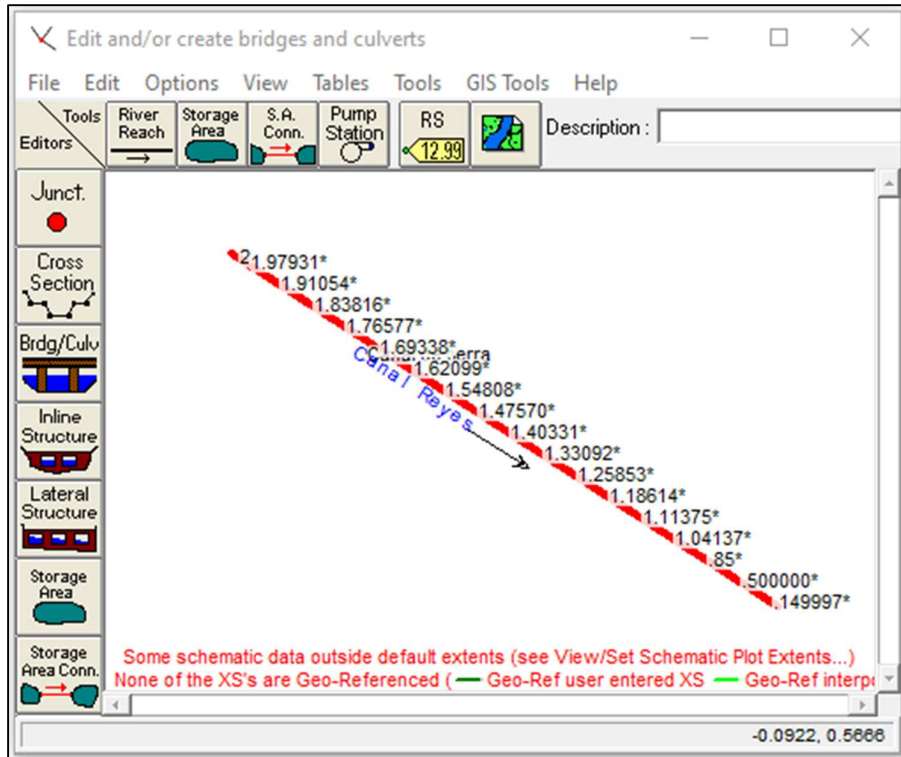


Fig. 31. Interpolación de secciones transversales a cada 0.30 m en el canal

Luego corremos la simulación nuevamente, para régimen de flujo mixto.

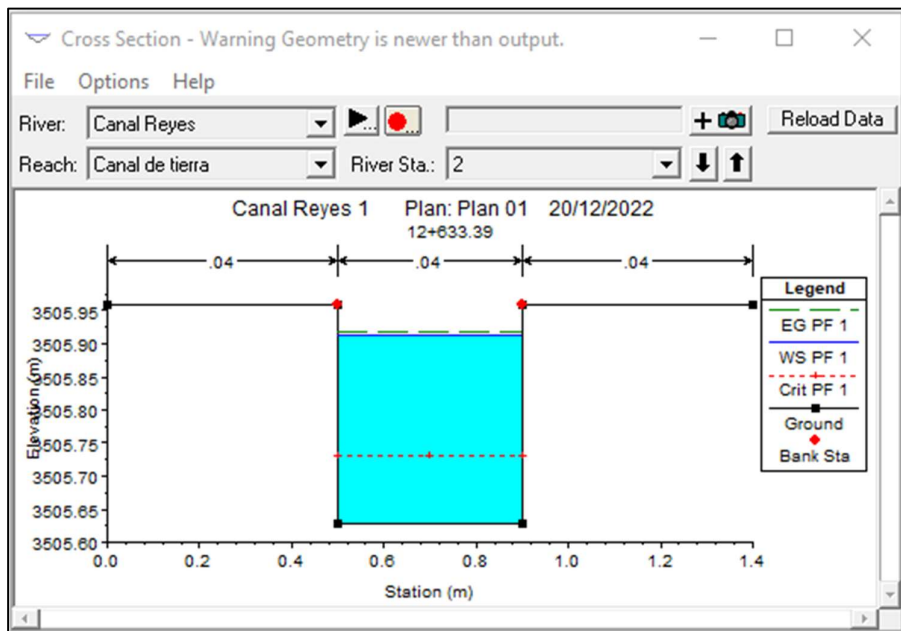


Fig. 32. Tirante normal por encima del crítico en la sección 2. Aguas arriba.

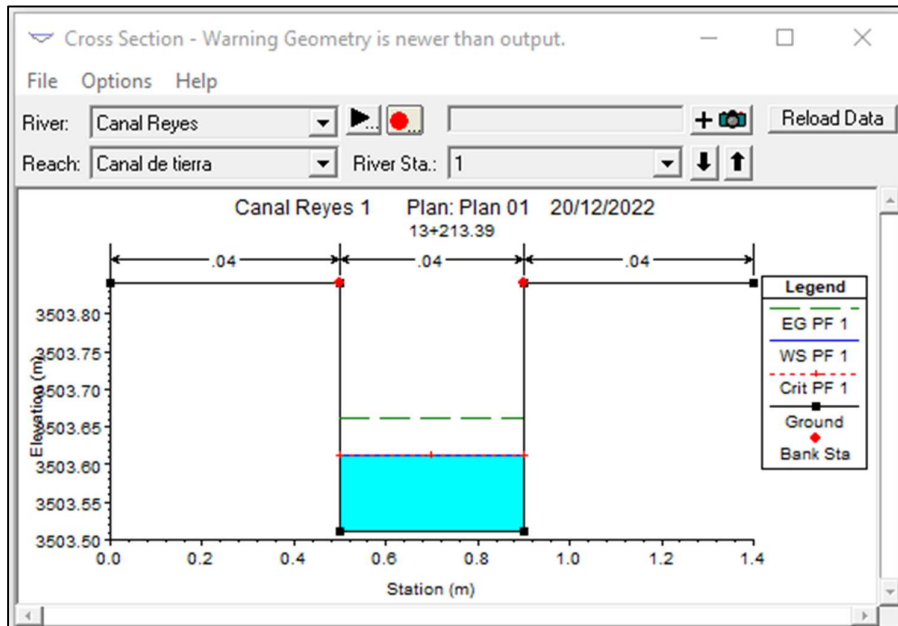


Fig. 33. Tirante normal coincide con el crítico en la sección 1.

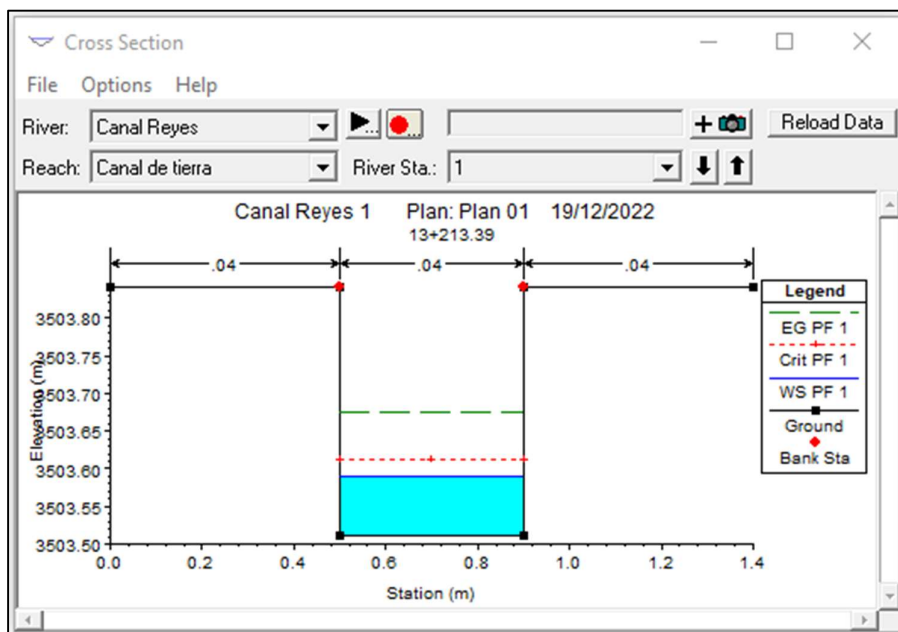


Fig. 34. Tirante normal por debajo del crítico en la sección 0. Aguas abajo.

Aquí ya se puede apreciar que el flujo es concordante con lo observado en campo. El inicio aguas arriba se mantiene como régimen subcrítico según lo observado durante el aforo, luego en la medida de que el flujo se acerca a la sección donde se produce el cambio de pendiente, este cambia a la condición de flujo crítico. Finalmente, ya en el tramo de pendiente fuerte el régimen se convierte en supercrítico, con lo cual la ecuación de la energía en el canal ha obtenido un balance óptimo al haber insertado más secciones transversales.

Incluso ya no aparecen advertencias de error en los resultados de la sección 2 aguas arriba, por ejemplo.

Plan: Plan 01 Canal Reyes Canal de tierra RS: 0 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	3476.95	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.12	Wt. n-Val.		0.040	
W.S. Elev (m)	3476.82	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	3476.86	Flow Area (m2)		0.03	
E.G. Slope (m/m)	0.220727	Area (m2)		0.03	
Q Total (m3/s)	0.04	Flow (m3/s)		0.04	
Top Width (m)	0.40	Top Width (m)		0.40	
Vel Total (m/s)	1.56	Avg. Vel. (m/s)		1.56	
Max Chl Dpth (m)	0.06	Hydr. Depth (m)		0.06	
Conv. Total (m3/s)	0.1	Conv. (m3/s)		0.1	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		0.53	
Min Ch El (m)	3476.76	Shear (N/m2)		104.96	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	67.03	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)			

Errors, Warnings and Notes

Select Profile

Fig. 35. Salida de datos sin mensajes de error en la sección 2, aguas arriba

A continuación, se muestran los datos generales del canal procesado en el HEC-RAS. Solo se muestran los datos de las secciones 0,1 y 2.

TABLA XI
RESUMEN DE RESULTADOS CON HEC RAS 4.1.0 CANAL DE TIERRA

Tramo	Sección	Caudal Q (m3/s)	Pend S (m/m)	Tirante Crítico (m)	Tirante Norma l (m)	Veloc. (m/s)	No. de Froude	Régimen de flujo
I	2	0.04	0.00365	0.100	0.280	1.00	0.21	Subcrítico
	1	0.04		0.100	0.100	1.30	1.00	Crítico
II	0	0.04	0.22295	0.100	0.060	1.56	1.97	Supercrítico

En el tramo con mayor pendiente el flujo es subcrítico siendo necesario una solución práctica para evitar la erosión en el fondo del canal ya que se consideraría como una rápida. Resumiendo:

- El caudal disponible es 0.06 m/seg
- El canal actual, de tierra, solo conduce 0.04 m3/seg.
- Las pendientes en los dos tramos producen velocidades erosivas, donde se pierde agua por filtraciones.
- La eficiencia hidráulica del canal actualmente es de 66.67%.

3.2.2 Propuesta técnica de mejoramiento

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación del canal actual es necesario mejorar su eficiencia hidráulica para que se logre conducir el 100% del caudal de agua previsto en $Q = 0.06 \text{ m}^3/\text{seg}$, siendo este el valor a adoptar para el diseño.

3.2.2.1 Metodología de diseño

Para desarrollar la propuesta técnica se seguirán la siguiente metodología:

- 1) El caudal de diseño a adoptar es $Q = 0.06 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- 2) Se elegirá una sección transversal de máxima eficiencia hidráulica de sección rectangular para el caudal de diseño.
- 3) Se mantendrán las pendientes originales en todo el tramo.
- 4) Se realizará el análisis hidráulico mediante el software HEC-RAS 4.1.0 para verificar su eficiencia.
- 5) Se evaluará el diseño de rápidas y colchones amortiguadores.

3.2.2.2 Sección de máxima eficiencia hidráulica

ANA [8] define que la máxima eficiencia hidráulica se produce cuando para la misma área y pendiente se conduce el mayor caudal posible, ésta eficiencia tiene una relación directa con el perímetro mojado mínimo. Su ecuación es:

$$\frac{b}{y} = 2 \times \text{tg} \left[\frac{\theta}{2} \right]$$

Dónde: θ = Angulo del talud respecto a la horizontal

b = Ancho del fondo del canal (m)

y = tirante (m)

Esta misma ecuación es el algoritmo de cálculo utilizado por el software Hcanales para definir la sección de máxima eficiencia hidráulica. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

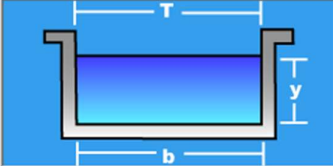
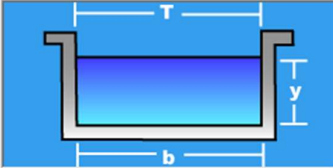
Lugar:	Canal de conducción Reyes	Proyecto:	Máxima eficiencia hidráulica
Tramo:	Tramo I S=0.00365	Revestimiento:	concreto
Datos:			
Caudal (Q):	0.06 m ³ /s		
Talud (Z):	0		
Rugosidad (n):	.014		
Pendiente (S):	0.00365 m/m		
Resultados:			
Tirante (y):	0.1845 m	Ancho de solera (b):	0.3690 m
Perímetro (p):	0.7381 m	Área hidráulica (A):	0.0681 m ²
Radio hidráulico (R):	0.0923 m	Espejo de agua (T):	0.3690 m
Velocidad (v):	0.8811 m/s	Número de Froude (F):	0.6549
Energía específica (E):	0.2241 m-Kg/Kg	Tipo de flujo:	Subcrítico

Fig. 36. Sección de máxima eficiencia para el primer tramo $S=0.00365(\text{m}/\text{m})$

Lugar:	Canal de conducción Reyes	Proyecto:	Máxima eficiencia hidráulica
Tramo:	Tramo I S=0.22295	Revestimiento:	Concreto

Datos:			
Caudal (Q):	0.06	m ³ /s	
Talud (Z):	0		
Rugosidad (n):	.014		
Pendiente (S):	0.22295	m/m	



Resultados:					
Tirante (y):	0.0853	m	Ancho de solera (b):	0.1707	m
Perímetro (p):	0.3414	m	Area hidráulica (A):	0.0146	m ²
Radio hidráulico (R):	0.0427	m	Espejo de agua (T):	0.1707	m
Velocidad (v):	4.1186	m/s	Número de Froude (F):	4.5011	
Energía específica (E):	0.9499	m·Kg/Kg	Tipo de flujo:	Supercrítico	

Fig. 37. Sección de máxima eficiencia para el segundo tramo $S=0.22295(m/m)$

Resumiendo, se tiene:

- Tramo I: Sección rectangular:
 $b = 0.3690 \cong 0.37$ m
 $y = 0.1845 \cong 0.18$ m
BL = 0.10 m (borde libre)
 $H = y + BL = 0.18 + 0.10 = 0.28$ m
- Tramo II: Sección rectangular:
 $b = 0.1707 \cong 0.17$ m
 $y = 0.0853 \cong 0.09$ m
BL = 0.10 m (borde libre)
 $H = y + BL = 0.09 + 0.10 = 0.19$ m

Entonces:

$$\text{Sección I: } b \times H = 0.37 \times 0.28 \cong 0.40 \times 0.30$$

$$\text{Sección II: } b \times H = 0.17 \times 0.19 \cong 0.20 \times 0.20$$

El borde libre se tomó de la tabla 11 del Manual de la ANA, “Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico” [8]

Como se aprecia las secciones transversales son bastante pequeñas lo que podría dificultar su proceso constructivo.

Por lo tanto, se plantean dos alternativas, la primera es usar las secciones de MHE calculadas con Hcanales y la segunda es usar tuberías cuya colocación resulta más fácil.

- Para la primera alternativa es necesario evaluar un diseño de rápidas y colchón amortiguador.

- Para la segunda es necesario calcular el diámetro de la tubería y proponer el lecho de asentamiento.

3.2.2.3 Alternativa de diseño 1

Tomando en cuenta las secciones de máxima eficiencia hidráulica obtenidas con Hcanales, el caudal de 0.06 m³/seg y rugosidad del canal n = 0.014. Las secciones para el primer y segundo tramo son:

Sección I: b x H = 0.40 x 0.30

Sección II: b x H = 0.20 x 0.20

Luego se hace el mismo proceso con HEC-RAS 4.1.0 para la modelación. Para ello se propone la sección transversal en el tramo I sería:

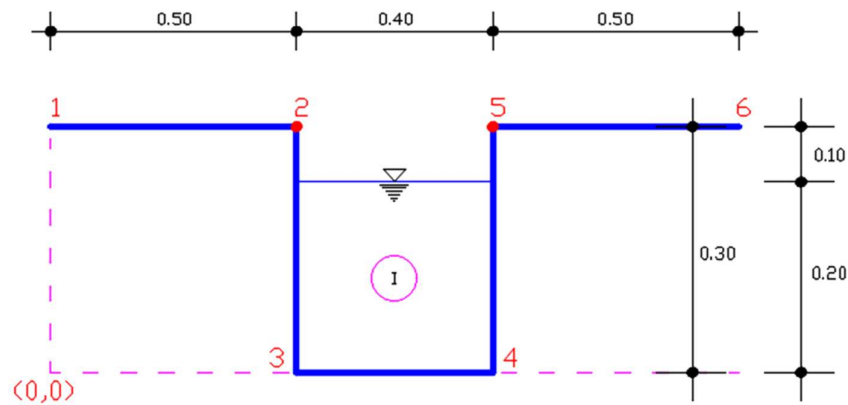


Fig. 38. Esquema de la sección transversal para el tramo I, $S=0.00365(m/m)$

Y para el tramo II sería:

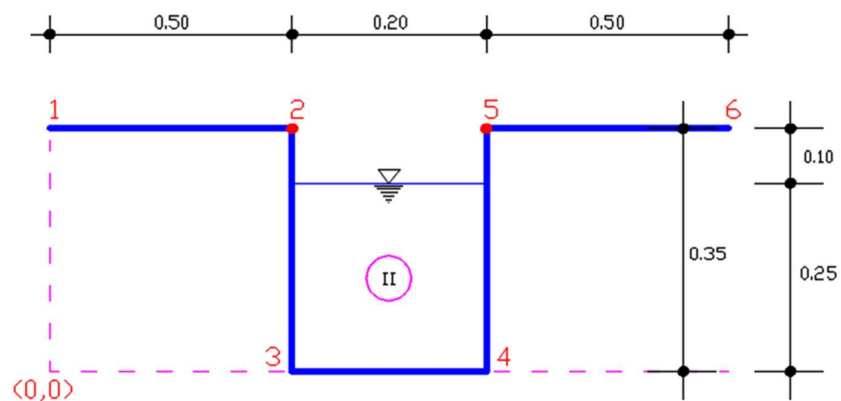


Fig. 39. Esquema de la sección transversal para el tramo II, $S=0.22295(m/m)$

Es necesario calcular una longitud de transición entre las secciones transversales I y II en el canal y evitar el cambio brusco de sección. Esta longitud se calcula con:

$$L_T = \frac{B_2 - B_1}{2 \times \text{tg}(12^\circ 30')}$$

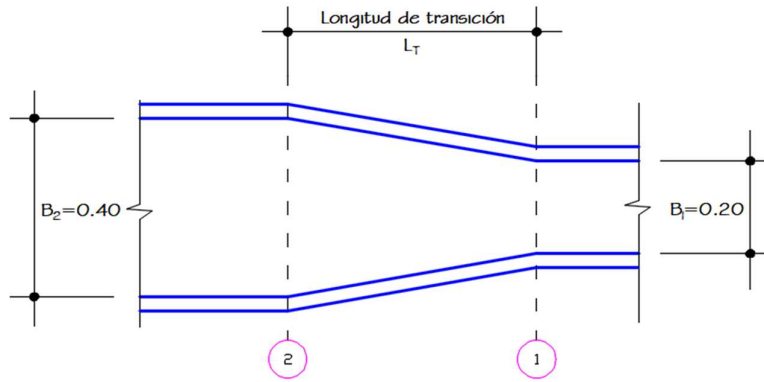


Fig. 40. Esquema de la longitud de transición para el cambio de sección

$$L_T = \frac{0.40 - 0.20}{2 \times \text{tg}(12^\circ 30')} = 0.45 \text{ m}$$

Entonces reajustamos el perfil y las secciones a ingresar en el HEC-RAS:

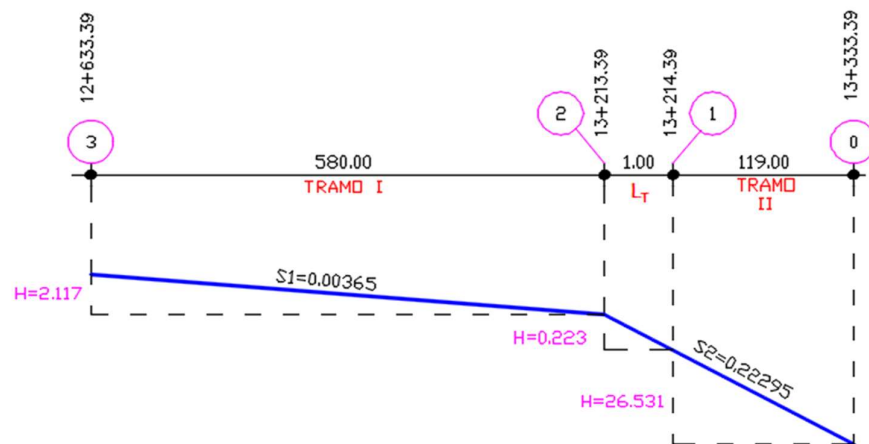


Fig. 41. Esquema del perfil para ingreso de secciones al HEC-RAS

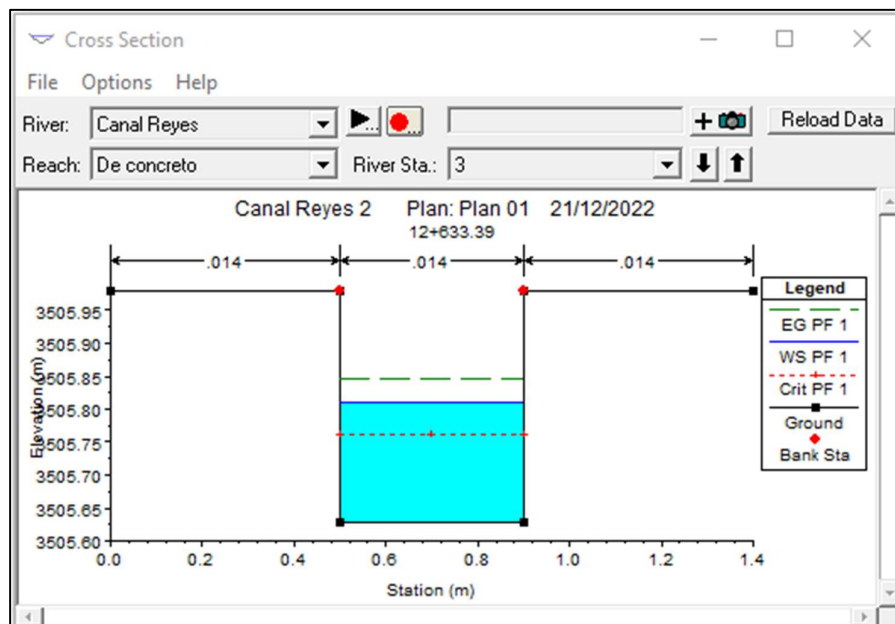


Fig. 42. Sección 3 aguas arriba de 0.40 x 0.35 y pendiente 0.00365 m/m

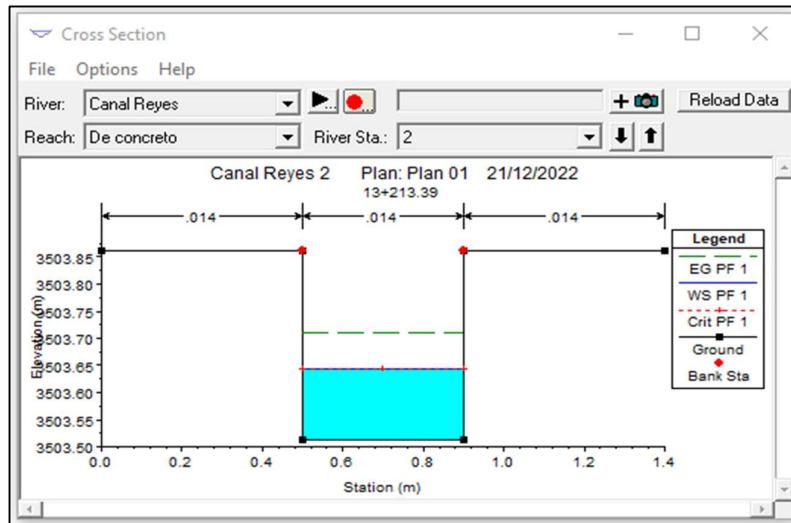


Fig. 43. Sección 2, 0.40 x 0.35 y pendiente 0.00365 m/m

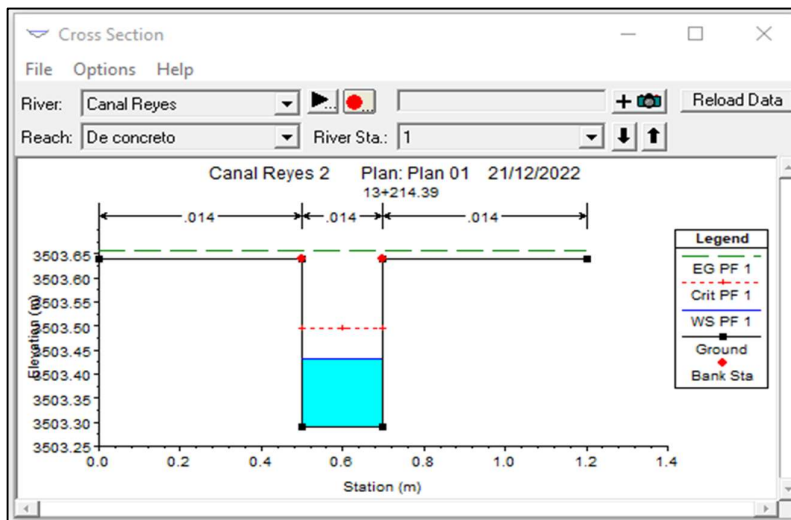


Fig. 44. Sección 1, 0.20 x 0.35 y pendiente 0.22295 m/m

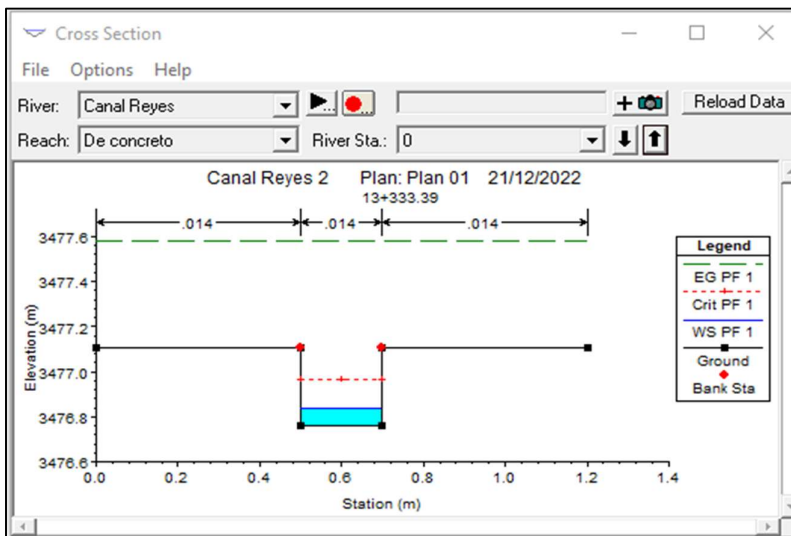


Fig. 45. Sección 0 Aguas abajo, 0.20 x 0.35 y pendiente 0.22295 m/m

Resumiendo, del análisis hidráulico se tiene:

TABLA XII
RESUMEN DE RESULTADOS CON HEC RAS 4.1.0 CANAL DE CONCRETO

Tramo	Secc.	Caudal Q (m ³ /s)	Pend S (m/m)	Tirante Crítico (m)	Tirante Normal (m)	Veloc. (m/s)	No. de Froude	Régimen de flujo
I	3	0.06	0.00365	0.130	0.180	0.83	0.62	Subcrítico
	2	0.06	0.00365	0.130	0.130	1.14	1.00	Crítico
Trans.	1	0.06	0.22295	0.210	0.140	2.10	1.77	Supercrítico
II	0	0.06	0.22295	0.210	0.080	3.81	4.34	Supercrítico

El análisis hidráulico indica que las velocidades se han distribuido mejor a lo largo del canal desde el primero al segundo tramo, aumentando significativamente en el tercero que es donde precisamente la pendiente es más pronunciada. No obstante, no indica velocidades erosivas ya que la rugosidad del concreto reduce este efecto. En este tramo habrá que hacer una evaluación para diseño de rápidas y colchón amortiguador.

Evaluación de diseño de rápida y poza disipadora de energía

Mediante el esquema siguiente se visualizarán las dimensiones a definir:

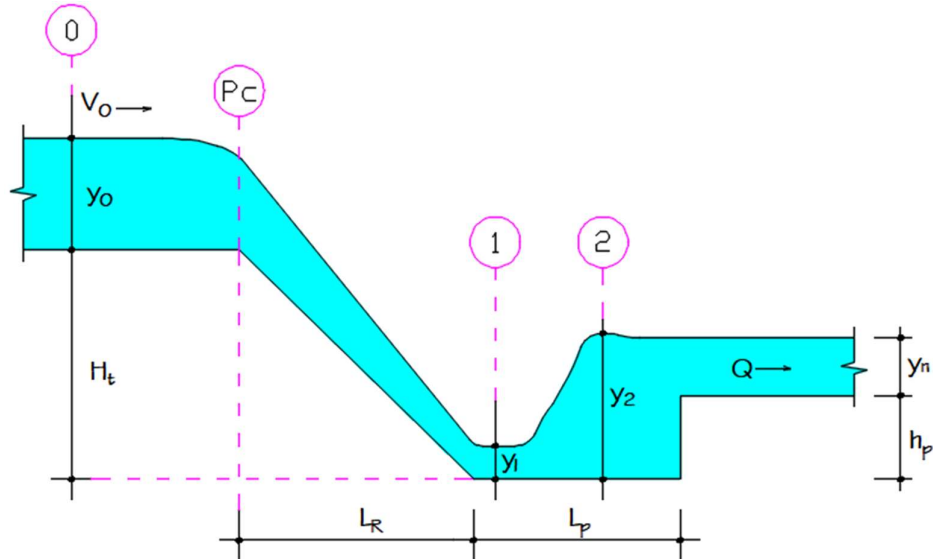


Fig. 46. Esquema de la rápida a diseñar

Para este cálculo tenemos los siguientes datos:

Con el software Hcanales obtenemos los datos en la sección de control 0:

- Caudal a conducir (Q) = 0.06 m³/seg
- Coeficiente de rugosidad (n) = 0.014 (concreto)
- Talud del canal (Z) = 0 m
- Ancho de base antes del *Punto de control* = 0.40 m

- Ancho de la base en la rápida = 0.20 m
- Ancho de la base a la salida de la poza = 0.40 m
- Pendiente antes del *Punto de control* = 0.365%
- Pendiente en la rápida = 22.295%
- Pendiente a la salida de la poza = 0.365%
- Longitud de la rápida (L_R) = 120.00 m
- Desnivel en la rápida (ΔH) = 26.754 m

$$y_1 = 0.08 \text{ m (según cálculos de HEC-RAS)}$$

Cálculo del tirante conjugado (eje 2):

$$y_2 = 0.2028 \text{ m (calculado con Hcanales)}$$

$$y_0 = 0.18 \text{ m (calculado con HEC-RAS)}$$

Profundidad del colchón:

$$h_p = 1.15 \times y_2 - y_0$$

$$h_p = 1.15 \times 0.2028 - 0.18$$

$$h_p = 0.08 \text{ m}$$

El valor es muy pequeño, se asume:

$$h_p = 0.20 \text{ m}$$

Longitud de la poza:

$$L_p = 5 \times (y_2 - y_1)$$

$$L_p = 5 \times (0.2028 - 0.08)$$

$$L_p = 0.614 \approx 0.65 \text{ m}$$

Del cálculo hidráulico se obtiene la sección estructural típica rectangular para la rápida.

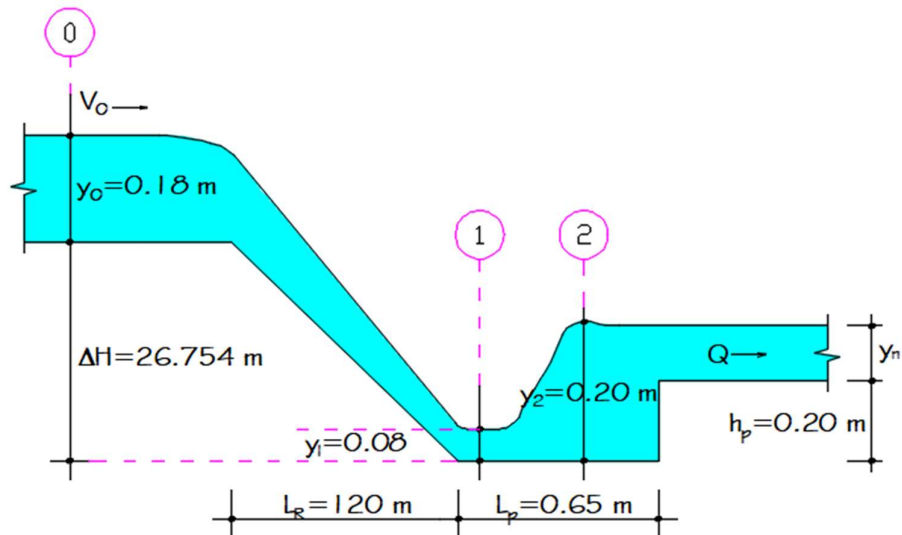



Fig. 47. Dimensiones finales de la rápida y poza disipadora de energía

3.2.2.4 Alternativa de diseño 2

Tomando en cuenta el caudal $Q = 0.06 \text{ m}^3/\text{seg}$ y rugosidad $n = 0.09$ para tuberías de PVC, se asumirá un diámetro de 0.4 m para el primer tramo y 0.20 m para la zona de rápidas.

Lugar:	Canal de conducción Reyes	Proyecto:	Alternativa 2:
Tramo:	12+633.39 a 13+333.39	Revestimiento:	PVC

Datos:	
Caudal (Q):	.06 m ³ /s
Diámetro (d):	.4 m
Rugosidad (n):	.009
Pendiente (S):	.00365 m/m




Resultados:			
Tirante normal (y):	0.1582 m	Perímetro mojado (p):	0.5441 m
Área hidráulica (A):	0.0462 m ²	Radio hidráulico (R):	0.0850 m
Espejo de agua (T):	0.3912 m	Velocidad (v):	1.2975 m/s
Número de Froude (F):	1.2049	Energía específica (E):	0.2440 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico:		

Fig. 48. Alternativa 2 con tuberías de PVC, $S = 0.00365 \text{ m/m}$

Lugar:	Canal de conducción Reyes	Proyecto:	Alternativa 2:
Tramo:	12+633.39 a 13+333.39	Revestimiento:	PVC

Datos:	
Caudal (Q):	.06 m ³ /s
Diámetro (d):	.2 m
Rugosidad (n):	.009
Pendiente (S):	.22295 m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	0.0707 m	Perímetro mojado (p):	0.2548 m
Área hidráulica (A):	0.0099 m ²	Radio hidráulico (R):	0.0390 m
Espejo de agua (T):	0.1912 m	Velocidad (v):	6.0355 m/s
Número de Froude (F):	8.4520	Energía específica (E):	1.9274 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico:		

Fig. 49. Alternativa 2 con tuberías de PVC, $S = 0.22295 \text{ m/m}$

En consecuencia la propuesta es:

- Tramo I: Pendiente $S = 0.00365 \text{ m/m}$. PVC D=400 mm Clase 10.
- Tramo II: Pendiente $S = 0.22295 \text{ m/m}$. PVC D=200 mm Clase 10.

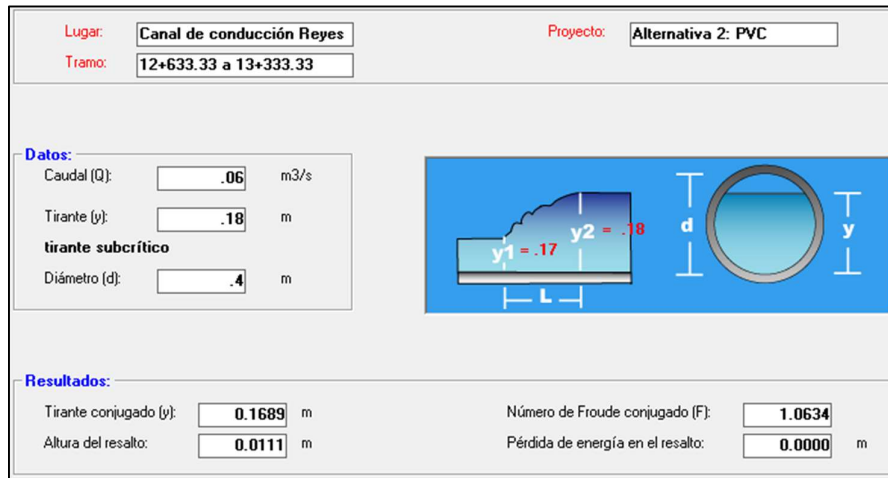


Fig. 50. Resalto hidráulico en la alternativa con tuberías de PVC

En cuanto al resalto hidráulico se verifica que su altura es pequeña y sumado al tirante no es mayor que el diámetro propuesto.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN

4.1 Interpretación y Discusión de Resultados

- Según el objetivo principal con el diseño y simulación del canal de conducción Reyes del Km 12+633.39 al Km 13+333.39, aplicando el modelo numérico HEC-RAS 4.1.0, se mejora su eficiencia hidráulica, en el distrito de Tambo, provincia de Huaytará, Huancavelica.

En ese sentido las nuevas condiciones de flujo simuladas con HEC-RAS 4.1.0 para conducir un caudal disponible de 0.06 m³/seg (ítem 3.2.2) en condiciones hidráulicas de máxima eficiencia (ítem 3.2.2.2) son las que dan sustento a la propuesta de mejora del canal de conducción Reyes (ítem 3.2.2.3) con el modelo, para mejorar su eficiencia hidráulica, tal como se indican en la Tabla XII. evitando pérdidas y mayor conducción de caudal, con lo cual se cumple con el objetivo principal.

- En relación al primer objetivo específico que es determinar el diseño del canal con máxima eficiencia hidráulica, se ha verificado que efectivamente el canal actual tiene una eficiencia de conducción de 66.67%, al haberse determinado que solamente conduce 0.04 m³/seg según se indica en la Tabla IX, frente al caudal disponible de 0.06 m³/seg, con lo cual la pérdida se encuentra en el orden del 33.33% muy similar a lo que estableció Chereque [19] para canales de tierra. Además de haberse verificado que los regímenes de flujo en los tramos de mayor pendiente son supercríticos (Tabla XI), generando velocidades erosivas.

Por ello se analizó cual sería la mejor la sección transversal que garantice una buena eficiencia hidráulica, obteniéndose dos tipos de sección, para las condiciones topográficas del canal, siendo sección I: b x H = 0.40 x 0.30m y sección II: b x H = 0.20 x 0.20m. según como se indica en el ítem 3.2.2.2 con lo cual se cumple con el primer objetivo específico.

- Finalmente, en relación al segundo objetivo específico que es simular el canal para evaluar la efectividad del diseño hidráulico, al introducir las nuevas características físicas y cinéticas de la sección propuesta al simulador hidráulico HEC-RAS 4.1.0 se verificó que al conducir un caudal máximo de Q=0.06 m³/seg se mejora la conducción del canal con velocidades mayores a las del canal de tierra (Tabla XII) por ofrecer, la sección de concreto, menor resistencia a la conducción del flujo, sin incurrir en peligros de erosión y desbordes, minimizando las pérdidas con 100% de efectividad.

Adicionalmente será necesario incluir una poza disipadora de energía al final del tramo. Con lo cual se cumple ha cumplido con el segundo objetivo específico.

4.2 Comprobación de Hipótesis

4.2.1 Contratación de Hipótesis General

- El diseño y simulación del canal de conducción Reyes del Km 12+633.39 al Km 13+333.39 con el modelo numérico HEC-RAS 4.0 influye en mejorar su eficiencia hidráulica.

Contratación:

Se puede asegurar que esta es verdadera ya que se pudo verificar que el canal en condiciones actuales tiene una eficiencia de 66.67% y solo conduce un caudal de $Q = 0.04$ m³/seg con una pérdida de 33.33%, respecto al caudal disponible $Q = 0.06$ m³/seg, luego con el diseño se logró modelar el canal con el software HEC-RAS 4.1.0 introduciendo mejoras que permiten lograr una máxima eficiencia hidráulica, es decir al 100%, proponiéndose incluso dos alternativas de solución, una con canal abierto de concreto con sección de máxima eficiencia hidráulica y otra con tuberías de PCV.

4.2.2 Contratación de Hipótesis Específicas

- La evaluación hidráulica influye en la determinación de la eficiencia actual del canal.

Contratación:

La hipótesis planteada es afirmativa, ya que al verificar los datos obtenidos del flujo en condiciones actuales con infraestructura de tierra y secciones transversales irregulares muestran un funcionamiento ineficiente, con pérdidas en el orden del 30%, con velocidades erosivas, lo que finalmente se resumen en deficiencia hidráulica al no poder conducir el 100% del caudal disponible.

- La simulación hidráulica mejora la eficiencia hidráulica del canal.

Contratación:

Esta hipótesis también es afirmativa, ya que conocidas las condiciones de flujo obtenidas de campo y simuladas en el software HEC-RAS 4.1.0 se ha logrado calibrar el modelo de manera que al introducirse cambios de mejora como secciones transversales uniformes y de máxima eficiencia hidráulica, con material de concreto y para conducir un caudal de 0.06 m³/seg, se logra un funcionamiento óptimo al 100%, reduciendo las pérdidas que se producían en el tramo.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

- 1) La evaluación hidráulica realizada en campo mediante aforo de caudal determinó que en condiciones actuales el canal solo logra conducir un caudal de 0.04 m³/seg, con una velocidad media 0.346 m/seg y un tirante máximo de 0.28 m aguas arriba.
- 2) La evaluación con el software Hcanales determinó que el comportamiento del flujo en el primer tramo del canal con pendiente de $S=0.00365$ m/m es subcrítico, llegando a una velocidad erosiva de 1.58 m/seg, lo cual indica un tratamiento de diseño de rápidas.
- 3) Con estos resultados se concluye que la eficiencia del canal en condiciones actuales es de 66.67%, ya que solo conduce 0.04 m³/seg en vez de 0.06 m³/seg, siendo el resto la pérdida que se produce en el tramo estudiado.
- 4) El uso de los mismos datos de campo en el software HEC-RAS 4.1.0 mejoró el balance de la ecuación de la energía en el canal, afinando los datos de salida que demuestran que los regímenes de flujo observados en el campo y en el software Hcanales son similares quedando el modelo calibrado para simular nuevas alternativas de diseño.
- 5) Se analizaron dos alternativas de diseño, la primera considerando canal abierto con estructura de concreto simple, la cual requiere de una poza disipadora de energía al final del tramo. Las secciones propuestas considerando máxima eficiencia hidráulica son Sección I: $b \times H = 0.40 \times 0.30$ y Sección II: $b \times H = 0.20 \times 0.20$, siendo el caudal a conducir de 0.06 m³/seg. La segunda alternativa de diseño es una propuesta de canal entubado, con las siguientes secciones circulares: Tramo I: Pendiente $S=0.00365$ m/m. PVC D=400 mm Clase 10 y Tramo II: Pendiente $S=0.22295$ m/m. PVC D=200 mm Clase 10. Ambas son viables desde el punto de vista hidráulico.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

6.1 RECOMENDACIONES

- 1) Mejorar la infraestructura del canal utilizando cualquiera de las dos alternativas propuestas.
- 2) Evaluar mediante estudio técnico económico las alternativas propuestas para la toma de decisiones.
- 3) Analizar la estabilidad de los taludes por donde recorre el canal, especialmente en los tramos con pendientes altas y la posibilidad de reforzamiento.

CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

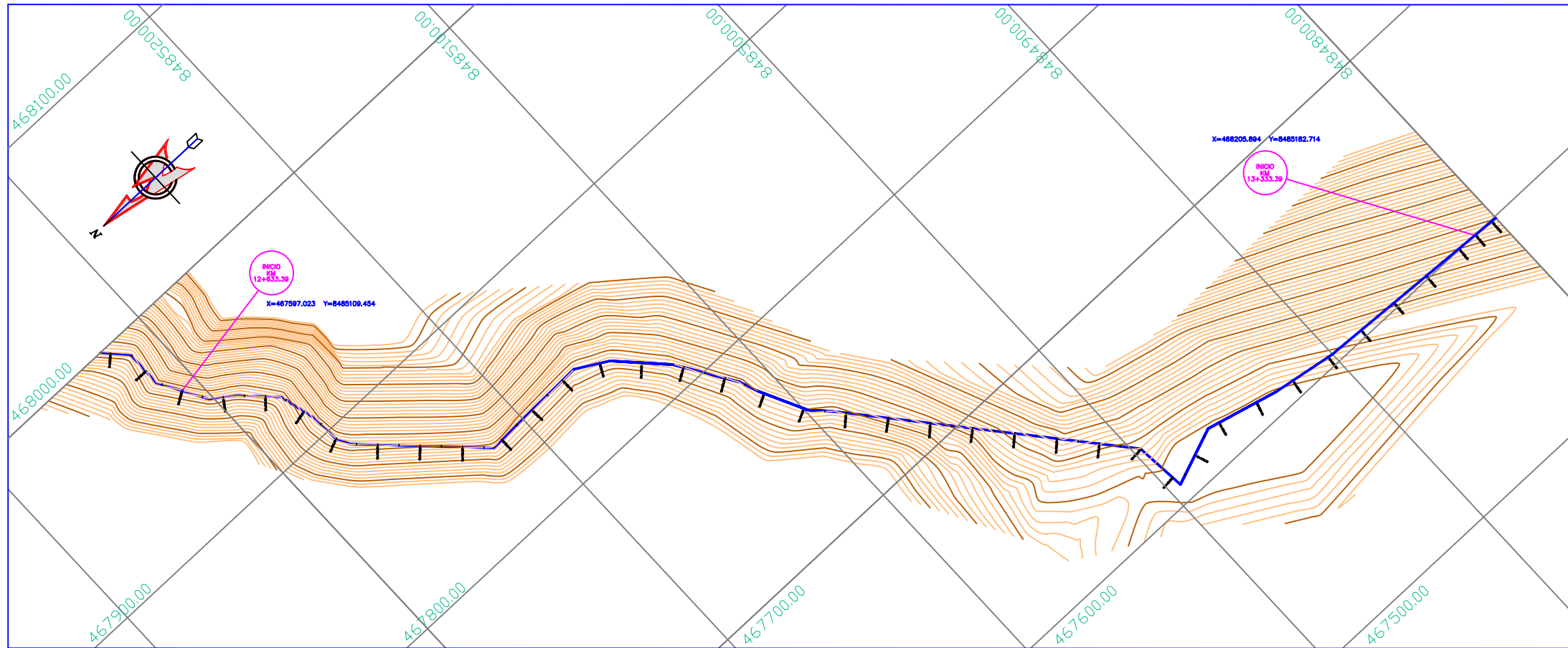
- [1] J. Tovar, M. Fierro, y V. Achury. “Análisis del estado actual de los canales pertenecientes a la zona de la asociación de usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de mediana escala el juncal ASOJUNCAL”. Tesis para optar título profesional. Universidad Cooperativa de Colombia, 2019.
- [2] J. Torres y J. Vivas. “Modelación de una estructura hidráulica de confluencia de canales urbanos. (Caso Estudio: Río Arzobispo, Bogotá D.C.)”, Tesis para optar título profesional. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2018.
- [3] J. Blandón. y J. Monzón. "Diseño de un Canal de 1Km de longitud, ubicado en el km 9.5 de la Carretera Norte, contiguo al Hotel Camino Real, del Distrito VI de la Ciudad de Managua". Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, 2015.
- [4] J. Asalde. "Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el distrito de Salas, región Lambayeque". Tesis para optar título profesional. Universidad de San Martín de Porres. Lima, 2020.
- [5] J. H. Manay. “Modelación del flujo a superficie libre en el canal Taymi km 33+000 al km 38+000, Lambayeque”. Tesis para optar título profesional. Universidad Señor de Sipán. Pimentel, 2019.
- [6] E. Julian y J. Chuquiyauri. "Análisis y Simulación del Canal Entubado Checchewa-Casa Blanca con Hec-Ras 4.1.0, para Mejorar la Eficiencia Hidráulica, Distrito de Tambo, Huancavelica". Tesis para optar título profesional. Universidad César Vallejo. Ica, 2021.
- [7] INEI. III Censo Nacional Agropecuario 1994. “Cuadro No. 23: Superficie Agrícola y sus Componentes, Bajo Riego e en Secano, según tamaño de las Unidades Agropecuarias”. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
<http://censos.inei.gob.pe/bcoCuadros/IIIcenagro.htm>
- [8] MTC. Mapas Viales por Rutas Nacionales. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapa-ruta-nacional.html
- [9] MTC. Mapas Viales. *11-Ica.pdf*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20Departamentales/11-ICA.pdf
- [10] MTC. Mapas Viales. *09-Huancavelica.pdf*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20Departamentales/09-HUANCAVELICA.pdf

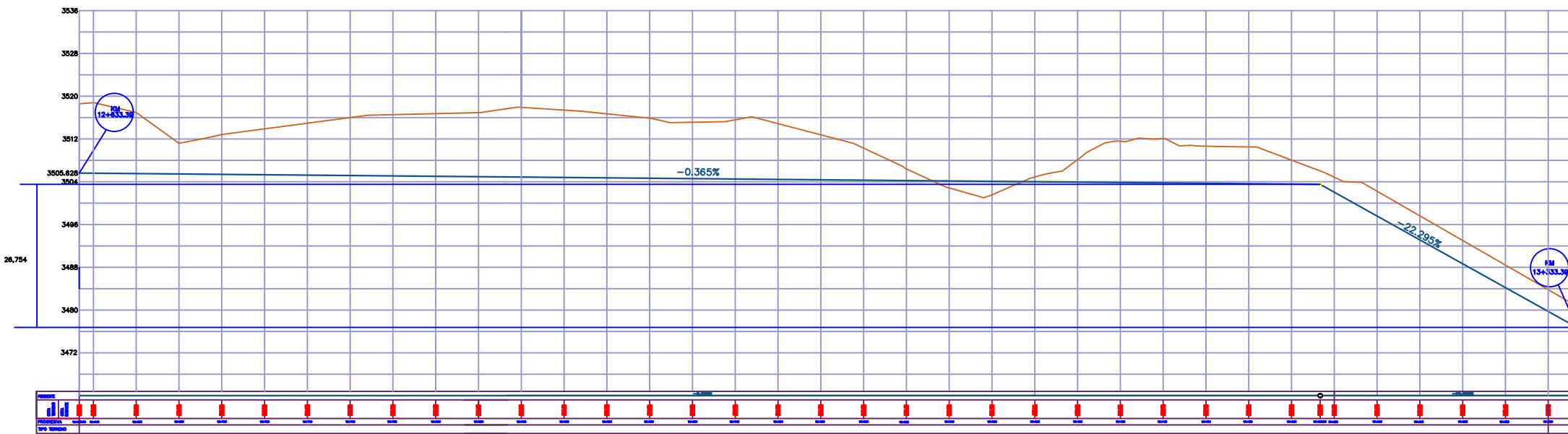
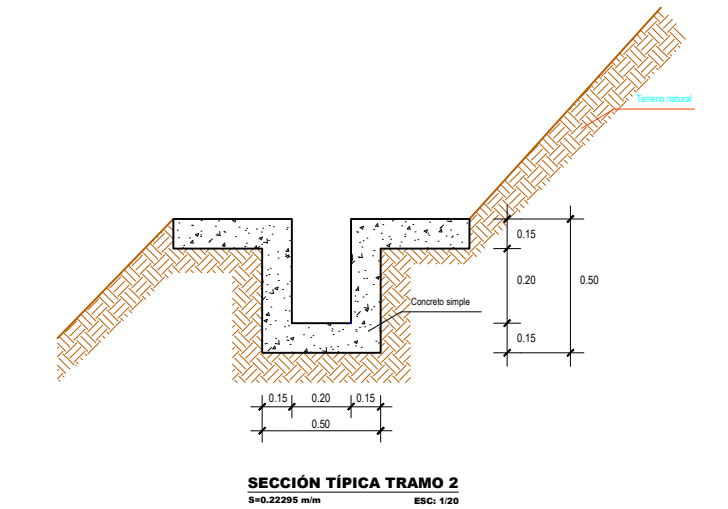
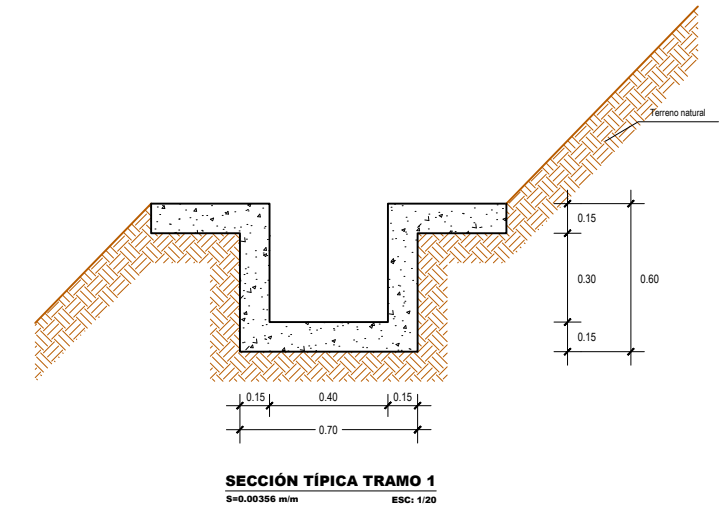
- [11] IGP. *El clima en el Perú: Huancavelica*. Instituto Geofísico del Perú.
<http://met.igp.gob.pe/clima/HTML/huancavelica.html>
- [12] ANA. “*Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*”. Autoridad Nacional del Agua. 2010
<http://www.ana.gob.pe/normatividad/criterios-de-diseno-de-obras-hidraulicas-para-la-formulacion-de-proyectos-0>
- [13] A. Díaz, E. Guevara y J. Rosales. “*Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa, sector Recuay – Carhuaz, Áncash, Perú*”. Revista Ingeniería, Vol.27, No.3, diciembre, 2020. Universidad de Carabobo, Venezuela.
<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v27n3/art07.pdf>
- [14] Municipalidad distrital de Tingo de Ponasa. “*Informe Técnico de Estudio Topográfico: conformación de dique semicompactado con material de préstamo y encauzamiento del río Ponasa, entre las prog. 0+000.00 al 0+180.00, en el caserío San Antonio, distrito Tingo de Ponasa, provincia de Picota, región San Martín*”.
<https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/MD-TINGO-DE-PONASA-2.pdf>
- [15] MINAGRI. 2015. *Manual No.5 Medición de agua*. Ministerio de Agricultura. [En línea] 2015. <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>.
- [16] A. Rocha, *Tuberías y Canalizaciones*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2007
- [17] IMEFEN. *Flujo Uniforme (2): Flujo en superficie libre*. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno el Niño. Universidad Nacional de Ingeniería.
http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/FSL/07_Flujo_uniforme.pdf
- [18] IRH. *Hcanales V.3.1 (Diseño de Estructuras Hidráulicas y Canales)*. Ingeniería de Recursos Hídricos.
<http://www.irhperu.com/programas/diseo-de-canales-y-estructuras-hidraulicas-hcanales-v30>
- [19] W. Chereque M. “*Mecánica de Fluidos 2*”. Pontificia Universidad Católica del Perú.
https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/41245/mecanica_de_fluidos_2.pdf
- [20] SerchJiménez. *Hidráulica Fácil. ¿Qué régimen tengo en un canal o río: ¿Subcrítico, Crítico o Supercrítico?* Octubre 19, 2015.
<https://www.hidraulicafacil.com/2015/10/que-regimen-tengo-en-un-canal-o-rio.html>

- [21] S. Krochin. *Diseño Hidráulico*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 1978.
<https://www.scribd.com/doc/303391452/Diseno-Hidraulico-S-Krochin>
- [22] HEC-RAS. *Hydrologic Engineering Center's - River Analysis System*. US Army Corps of Engineers.
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

ANEXOS



PLANTA
H: 1 / 1500



PERFIL LONGITUDINAL
ESC.: 1/1500

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL			
<small>TESIS:</small> "DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL CANAL DE CONDUCCIÓN REYES DEL KM 12+633.36 AL KM 13+ 333.39 CON EL MODELO NUMÉRICO HEC-RAS 4.1.0 PARA MEJORAR SU EFICIENCIA HIDRÁULICA EN EL DISTRITO DE TAMBO, PROVINCIA DE HUAYTARÁ, HUANCAMELICA			
PLANTA - PERFIL LONGITUDINAL			<small>Legenda:</small>
<small>TESISTA:</small> LEONEL IVÁN TAMBRA GUERRA	<small>FECHA:</small> MARZO-2022	<small>DPTO:</small> ICA	<small>DIST:</small> TAMBO
	<small>ESCALA:</small> INDICADA	<small>PROV:</small> PISCO	<small>C.P.:</small> ANEXO REYES
			PP-01