



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**  
**MENCIÓN: HIDRÁULICA**



**ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE  
PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA  
HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL  
DISTRITO DE COASA 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**  
**JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL  
MENCIÓN: HIDRÁULICA**

JULIACA – PERÚ  
2024



**UNIVERSIDAD ANDINA  
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL  
MENCIÓN: HIDRAÚLICA**

**ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE  
PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA  
HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL  
DISTRITO DE COASA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

**JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

**MENCIÓN: HIDRAÚLICA**

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :

  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

MIEMBRO DEL JURADO :

  
Dr. LÉONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DEL JURADO :

  
Dr. RONALD MADERA TERÁN

ASESOR DE TESIS :

  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P51



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**ESCUELA DE POSGRADO**



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 531-2024-D-EPG-UANCV/J**

Juliaca, 12 de diciembre del 2024

**VISTOS:**

El expediente N° 2024-013961 presentado por el (a) Bachiller, **JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO**, quien solicita nominación de jurados y Fecha y hora de sustentación de tesis, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez".

**CONSIDERANDO:**

Que, el (a) Bachiller. **JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO**, con número de DNI. **42872461** y con número de matrícula **1610101451**, ha solicitado asignación de jurados, Fecha y hora de sustentación de la tesis titulado: **ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** Mención: **HIDRÁULICA** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez;

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 18° del Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, **COMITÉ DE INVESTIGACIÓN;**

Que, mediante Resolución N° 1188-2024-USA-EPG/UANCV SE APRUEBA Y AUTORIZA LA EJECUCION DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACION y con Resolución N° 1721-2024-USA-EPG/UANCV, se APRUEBA Y AUTORIZA EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) titulado: **ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51;**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos en su artículo 28° **DE LA SUSTENTACIÓN.**

Y estando, la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y el Director de la Escuela de Posgrado mediante acta de sorteo de jurado, con registro N° 00037 de fecha 11 de diciembre del 2024 se nomina jurados.

Que, conforme al artículo 66° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que *la Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación científica original de actualidad y de alto valor científico;*

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el artículo 76° del Estatuto Universitario;

**SE RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR APTO** para la sustentación presencial del informe final de la investigación (BORRADOR DE TESIS), del (la) Bach: **JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**, Mención: **HIDRÁULICA**, en virtud de los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO. - NOMINAR JURADOS** para la sustentación presencial y defensa de la tesis a los siguientes docentes ordinarios:

Presidente	: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
Primer miembro	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Segundo miembro	: Dr. RONALD MADERA TERAN
Asesor	: Dr. ARNALDO YANA TORRES

**ARTÍCULO TERCERO. - PROGRAMAR FECHA Y HORA** de sustentación como se detalla:

Fecha	: Miércoles 18 de diciembre del 2024
Hora	: 02:00 p.m.
Lugar	: Aula N° 309 EPG-UANCV-JULIACA

**ARTÍCULO CUARTO. - el Director de la Escuela de Posgrado** queda encargado del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wenceslao Comandari-Cani  
DIRECTOR (e)



## UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



### RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01721-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 22 de octubre de 2024

#### VISTOS:

El Expediente N° 2024-012122 de fecha 30 de Setiembre de 2024, el (la) Bach. JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO, con DNI N° 42872461, código de matrícula N° 1610101451, quien solicita Revisión de Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis); INFORME N° 00696-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" del 17 de octubre de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

#### CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2024-012122 el (la) Bach. JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO, solicita la revisión y aprobación del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) titulado: ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024 Línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51, para optar el GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL, mención: HIDRÁULICA.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión FAVORABLE al Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis).

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró el asesoramiento en el Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) del ASESOR Dr. ARNALDO YANA TORRES; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según INFORME N° 00696-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

#### SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) para la REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN, titulado: ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024 presentado por el (la) Bach. JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RATIFICAR, como ASESOR al (a) Dr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO  
Dr. Leopoldo Velasco Quispe  
DIRECTOR (e)



## UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



### RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01188-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 21 de agosto de 2024

#### VISTOS:

El Expediente N° 2024-09640 de fecha 05 de agosto de 2024, el (la) Bach. JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO, con DNI N° 42872461, código de matrícula N° 1610101451, quien solicita Revisión de propuesta de Investigación; INFORME N° 00297-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación" del 15 de agosto de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

#### CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2024-09640 el (la) Bach. JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO, solicita la revisión y aprobación de la propuesta de Investigación titulado: **ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** con mención en: **HIDRÁULICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión **FAVORABLE** a la propuesta de investigación.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró la propuesta del **ASESOR MGTR. ARNALDO YANA TORRES**, quien debe estar acreditado y facultado para orientar y ayudar al asesorado en el proceso de elaboración del trabajo de investigación (Tesis) de acuerdo a la **DIRECTIVA N° 004-2019-UANCV-VRAD-OI**; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 00297-2024-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación"** en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

#### SE RESUELVE:

**ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, titulado: **ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024** presentado por el (la) Bach. JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO, en virtud de los considerandos expuestos.

**ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER**, como **ASESOR** al **MGTR. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTICULO TERCERO. - DISPONER** que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dr. Leopoldo Mercedes Coronel Curi  
DIRECTOR (a)



## ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO Y DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
3	<a href="http://ugelpuno.edu.pe">ugelpuno.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.usmp.edu.pe">repositorio.usmp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	1%



## Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
<b>ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024</b>	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	42872461
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0009-9893-3055">https://orcid.org/0009-0009-9893-3055</a>
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	RONALD MADERA TERÁN
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	02429150
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	<b>Tecnología de la Construcción – P51</b>
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/bfxcn7C77QscT6ZUA">https://maps.app.goo.gl/bfxcn7C77QscT6ZUA</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Ingeniería Civil</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a> <b>Ingeniería de la construcción</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO, identificado con DNI Nro. 42872461, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
Programa de Segunda Especialidad,
Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN: HIDRÁULICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada: ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 30 de enero del 2025

[Handwritten signature of the advisor]

Firma del Asesor (obligatoria)

[Handwritten signature of the student]

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

A Dios por lo que soy y he logrado y sobre todo porque  
está presente en todo momento y circunstancia.



## AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA..... i

AGRADECIMIENTO..... ii

ÍNDICE DE CONTENIDOS..... iii

ÍNDICE DE TABLAS..... vi

ÍNDICE DE FIGURAS..... vii

RESUMEN..... xi

ABSTRACT..... xii

INTRODUCCIÓN..... xiii

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática..... 14

1.2 Planteamiento del problema..... 15

    1.2.1 Problema general..... 15

    1.2.2 Problemas específicos..... 15

1.3 Justificación de la investigación..... 15

    1.3.1 Justificación técnica..... 15

    1.3.2 Justificación económica..... 16

    1.3.3 Justificación social..... 16

    1.3.4 Justificación ambiental..... 17

1.4 Objetivos..... 17

    1.4.1 Objetivo general..... 17

    1.4.2 Objetivos específicos..... 17

1.5 Importancia y alcance de la investigación..... 18

1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación..... 19

    1.6.1 Limitaciones..... 19

    1.6.2 Delimitación..... 19

1.7 Hipótesis..... 20

    1.7.1 Hipótesis general..... 20



- 1.7.2 Hipótesis específicas. .... 20
- 1.8 Variables e indicadores ..... 20
  - 1.8.1 Variable independiente ..... 20
  - 1.8.2 Variable dependiente ..... 21
- 1.9 Operacionalización de variables ..... 21

**CAPITULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

- 2.1 Antecedentes de la investigación. .... 23
  - 2.1.1 Antecedentes internacionales ..... 23
  - 2.1.2 Antecedente nacional..... 27
  - 2.1.3 Antecedente local ..... 30
- 2.2 Bases teóricas..... 30
  - 2.2.1 Régimen de flujo ..... 30
  - 2.2.2 Flujo critico..... 35
  - 2.2.3 Flujo subcrítico..... 35
  - 2.2.4 Flujo supercrítico..... 36
  - 2.2.5 Dimensiones de modelos numéricos..... 37
  - 2.2.6 Ecuación de energía ..... 39
  - 2.2.7 Ecuación de cantidad de movimiento ..... 40
  - 2.2.8 Ecuación de continuidad ..... 41
  - 2.2.9 Diseño hidráulico de canales ..... 43
  - 2.2.10 Cálculo de flujo uniforme..... 44
  - 2.2.11 HEC-RAS..... 46
  - 2.2.12 H-Canales..... 47
  - 2.2.13 Modelamiento hidráulico ..... 48
  - 2.2.14 Diseño hidráulico de obras de arte..... 49
- 2.3 Marco conceptual ..... 54

**CAPITULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

- 3.1 Enfoque de investigación..... 59



- 3.2 Método de investigación ..... 59
- 3.3 Tipo de investigación..... 59
- 3.4 Nivel de Investigación..... 60
- 3.5 Diseño de investigación..... 60
- 3.6 Población y muestra ..... 60
  - 3.6.1 Población ..... 60
  - 3.6.2 Muestra..... 60
  - 3.6.3 Muestreo..... 61
  - 3.6.4 Unidad de análisis..... 61
  - 3.6.5 Procedimiento ..... 62
  - 3.6.6 Técnicas e instrumentos de investigación ..... 62
- 3.7 Procesamiento y análisis de datos ..... 63
  - 3.7.1 Desarrollo de la investigación ..... 63
- 3.8 Validación y de instrumentos y confiabilidad ..... 64
  - 3.8.1 Validación de instrumentos ..... 64
  - 3.8.2 Confiabilidad de instrumentos ..... 64

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- 4.1 Resultados obtenidos ..... 65
  - 4.1.1 Características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales ..... 65
  - 4.1.2 La modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para mejorar su comportamiento..... 76
  - 4.1.3 Las secciones de maxima eficiencia hidráulico y mejorar la situación del canal de riego ..... 90
- 4.2 Discusión..... 121
- CONCLUSIONES ..... 123**
- RECOMENDACIONES..... 124**
- REFERENCIAS ..... 125**
- ANEXOS ..... 129**



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	22
<b>Tabla 2</b> Resumen de las técnicas e instrumentos.....	62
<b>Tabla 3</b> Parámetros hidráulicos .....	66
<b>Tabla 4</b> Velocidad tramo 3+500 – 3+400 .....	66
<b>Tabla 5</b> Velocidad tramo 3+400 – 3+300 .....	66
<b>Tabla 6</b> Velocidad tramo 3+300 – 3+200 .....	67
<b>Tabla 7</b> Velocidad tramo 3+200 – 3+100 .....	67
<b>Tabla 8</b> Velocidad tramo 3+100 – 3+000 .....	67
<b>Tabla 9</b> Velocidad tramo 3+000 – 2+900 .....	69
<b>Tabla 10</b> Velocidad tramo 2+900 – 2+800 .....	69
<b>Tabla 11</b> Velocidad tramo 2+800 – 2+700 .....	70
<b>Tabla 12</b> Velocidad tramo 2+700 – 2+600 .....	70
<b>Tabla 13</b> Velocidad tramo 2+600 – 2+500 .....	71
<b>Tabla 14</b> Velocidad tramo 2+500 – 2+400 .....	72
<b>Tabla 15</b> Velocidad tramo 2+400 – 2+300 .....	73
<b>Tabla 16</b> Velocidad tramo 2+300 – 2+200 .....	73
<b>Tabla 17</b> Velocidad tramo 2+200 – 2+100 .....	74
<b>Tabla 18</b> Velocidad tramo 2+100 – 2+000 .....	74
<b>Tabla 19</b> Resultados por secciones – Tramo 1 .....	113
<b>Tabla 20</b> Resultados por secciones – Tramo 2.....	115
<b>Tabla 21</b> Resultados por secciones – Tramo 3.....	117



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Régimen de flujo.....	34
Figura 2 Modelo dimensional.....	39
Figura 3 Diagrama de flujo de proceso de ensayos.....	63
Figura 4 Datos geométricos del tramo 1, 3+500 – 3+000.....	68
Figura 5 Datos geométricos del tramo 2, 3+000 – 2+500.....	71
Figura 6 Datos geométricos del tramo 3, 2+500 – 2+000.....	75
Figura 8 Programa HEC-RAS 6.5.....	76
Figura 9 Diseño de canal 3+500km hasta 2+000km.....	76
Figura 10 Diseño de sección transversal 3+500km.....	77
Figura 11 Sección transversal 3+500km.....	78
Figura 12 Vista de perfil de la sección transversal 3+500km.....	78
Figura 13 Relación elevación y caudal de la sección transversal 3+500km.....	79
Figura 14 Resultados de la sección transversal 3+500km.....	79
Figura 15 Vista X ,Y, Z sección transversal 3+500 km.....	80
Figura 16 Diseño de sección transversal 3+000km.....	80
Figura 17 Sección transversal 3+000km.....	81
Figura 18 Vista de perfil de la sección transversal 3+000km.....	81
Figura 19 Relación elevación y caudal de la sección transversal 3+000km.....	82
Figura 20 Resultados de la sección transversal 3+000km.....	82
Figura 21 Vista X ,Y, Z sección transversal 3+000 km.....	83
Figura 22 Diseño de sección transversal 2+500km.....	83
Figura 23 Sección transversal 2+500km.....	84
Figura 24 Vista de perfil de la sección transversal 2+500km.....	84
Figura 25 Relación elevación y caudal de la sección transversal 2+500km.....	85
Figura 26 Resultados de la sección transversal 2+500km.....	85



Figura 27 Vista X ,Y, Z sección transversal 2+500 km .....	86
Figura 28 Diseño de sección transversal 2+000km .....	86
Figura 29 Sección transversal 2+000km .....	87
Figura 30 Vista de perfil de la sección transversal 2+000km .....	87
Figura 31 Relación elevación y caudal de la sección transversal 2+000km .....	88
Figura 32 Resultados de la sección transversal 2+000km .....	88
Figura 33 Resultados de la sección transversal 2+000km .....	89
Figura 34 Vista X ,Y, Z sección transversal 2+000 km .....	89
Figura 35 Sección transversal de maxima eficiencia hidráulica del tramo 1, 3+500 – 3+000 .....	90
Figura 36 Sección transversal de maxima eficiencia hidráulica del tramo 2, 3+000 – 2+500 .....	91
Figura 37 Sección transversal de maxima eficiencia hidráulica del tramo 3, 2+500 – 2+000 .....	92
Figura 38 Inicio de la sección rectangular 3+500 .....	93
Figura 39 Final de la sección rectangular 2+000.....	93
Figura 40 Esquema se la sección rectangular interpolada .....	94
Figura 41 Sección transversal 3+500.....	94
Figura 42 Sección transversal 3+480 – 3+010 .....	95
Figura 43 Sección transversal 3+000.....	95
Figura 44 Sección transversal 2+990.....	96
Figura 45 Sección transversal 2+980.....	96
Figura 46 Sección transversal 2+920.....	97
Figura 47 Sección transversal 2+900.....	97
Figura 48 Sección transversal 2+850.....	98
Figura 49 Sección transversal 2+820.....	98
Figura 50 Sección transversal 2+780.....	99
Figura 51 Sección transversal 2+740.....	99



Figura 52 Sección transversal 2+710.....	100
Figura 53 Sección transversal 2+660.....	100
Figura 54 Sección transversal 2+640.....	101
Figura 55 Sección transversal 2+580.....	101
Figura 56 Sección transversal 2+570.....	102
Figura 57 Sección transversal 2+550.....	102
Figura 58 Sección transversal 2+530.....	103
Figura 59 Sección transversal 2+500.....	103
Figura 60 Sección transversal 2+490.....	104
Figura 61 Sección transversal 2+480.....	104
Figura 62 Sección transversal 2+470.....	105
Figura 63 Sección transversal 2+410.....	105
Figura 64 Sección transversal 2+390.....	106
Figura 65 Sección transversal 2+340.....	106
Figura 66 Sección transversal 2+310.....	107
Figura 67 Sección transversal 2+270.....	107
Figura 68 Sección transversal 2+230.....	108
Figura 69 Sección transversal 2+220.....	108
Figura 70 Sección transversal 2+150.....	109
Figura 71 Sección transversal 2+130.....	109
Figura 72 Sección transversal 2+070.....	110
Figura 73 Sección transversal 2+060.....	110
Figura 74 Sección transversal 2+040.....	111
Figura 75 Sección transversal 2+020.....	111
Figura 76 Sección transversal 2+010.....	112
Figura 77 Sección transversal 2+000.....	112
Figura 77 Perspectiva de canal de riego, Tramo 1.....	119
Figura 77 Perspectiva de canal de riego, Tramo 2.....	119



Figura 77 Perspectiva de canal de riego, Tramo 3.....	120
Figura 77 Perspectiva general de canal de riego en 3D, 3+500 hasta 2+000 .....	120



## RESUMEN

El presente estudio denominado "Análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyectos del distrito de Coasa 2024", en el que la finalidad es realizar el análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyectos del distrito de Coasa. La metodología en la que se basa cuenta con una investigación aplicada tanto cuantitativa como descriptiva sería la forma más eficaz de lograr el objetivo, haciéndose una determinación previa del tipo de perfil que podría estar presente en cada porción del canal, se validó el diseño utilizando el programa HCanales de acuerdo con las normas establecidas por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, además, se realizó una modelación hidráulica con el software HEC-RAS. Los resultados de la modelación mostraron que HEC-RAS tuvo una gran influencia en el diseño del segmento del canal de riego que fue evaluado, lo que resultó en el logro de la mayor eficiencia hidráulica posible, por lo tanto, es apropiado para estudiar y observar el comportamiento del perfil de flujo porque se ajusta a los requisitos. El estudio concluye que las características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales son las mismas en medidas de tirante, talud, coeficiente de rugosidad y pendiente, la única variación es en el ancho de la solera y velocidad; se considera que se prevea su velocidad erosiva, por ser un tipo de flujo subcrítico; mediante el software HEC-RAS, se hizo el modelado por cada sección; 3+500, 3+000, 2+500, 2+000, cada una con tu sección de diseño, perfil de diseño, velocidades y por último la sección modelada general en 3D. Finalmente, la sección de máxima eficiencia hidráulica fue calculada con ayuda del software HCanales considerando los mimos caudales de diseño para el cálculo de la máxima eficiencia la sección del canal de riego deberá de ser rectangular donde ya no se considera el talud.

**Palabras clave:** Eficiencia Hidráulica, Software HCanales, Software HEC-RAS, Diseño de Canales.



## ABSTRACT

The present study called "Design analysis of irrigation channels using a program to improve maximum hydraulic efficiency in projects of the Coasa district 2024", in which the purpose is to carry out the design analysis of irrigation channels using a program to improve maximum hydraulic efficiency in projects of the Coasa district. The methodology on which it is based has both quantitative and descriptive applied research would be the most effective way to achieve the objective, making a prior determination of the type of profile that could be present in each portion of the channel, the design was validated using the HCanales program in accordance with the standards established by the Bureau of Reclamation of the United States, in addition, hydraulic modeling was carried out with the HEC-RAS software. The results of the modeling showed that HEC-RAS had a great influence on the design of the segment of the irrigation channel that was evaluated, resulting in the achievement of the highest possible hydraulic efficiency, therefore, it is appropriate to study and observe the behavior of the flow profile because it meets the requirements. The study concludes that the geometric characteristics and hydraulic parameters for the design of channels are the same in terms of depth, slope, roughness coefficient and gradient, the only variation is in the width of the bed and speed; it is considered that its erosive speed is foreseen, since it is a type of subcritical flow; using the HEC-RAS software, the modeling was done for each section; 3+500, 3+000, 2+500, 2+000, each with its design section, design profile, speeds and finally the general modeled section in 3D. Finally, the section of maximum hydraulic efficiency was calculated with the help of the HCanales software considering the same design flows for the calculation of maximum efficiency the section of the irrigation channel must be rectangular where the slope is no longer considered.

**Keywords:** Hydraulic Efficiency, HCanales Software, HEC-RAS Software, Channel Design.



## INTRODUCCIÓN

Se observará en el análisis que se lleva a cabo en este estudio que el software HEC-RAS es capaz de modelar el flujo del canal de una manera eficaz, dado que las secciones del canal y la superficie del canal se introducen de la manera correcta. Durante el proceso de evaluación de los resultados, se descubrió que las propiedades hidráulicas derivadas del modelo del software HEC-RAS son comparables a las del modelo elaborado por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos.

Esto implica que la influencia de la topografía y el levantamiento geométrico, además de los parámetros hidráulicos, tuvieron un papel clave en el diseño del canal de riego. Se utilizó el programa informático HEC-RAS para lograr la mayor eficiencia hidráulica posible.

Esta mejora en el diseño permitirá realizar operaciones hidráulicas en todo el canal de manera más eficaz, lo que da crédito a la afirmación de que el software HEC-RAS es un instrumento adecuado para analizar y visualizar el comportamiento del perfil de flujo dentro del canal. Como resultado, servirá de base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la ingeniería hidráulica.



# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Análisis de la situación problemática.

Cuando se trata de proyectos de irrigación, con frecuencia aparecen diversos problemas, no sólo durante las fases de diseño, sino también a lo largo de las fases de ejecución y explotación. En los últimos años, organizaciones públicas y privadas de todo el país han trabajado para mejorar y crear infraestructuras de riego. Estos proyectos se han llevado a cabo en una gran variedad de lugares. Por otro lado, un número significativo de estos esfuerzos no funcionan de acuerdo con los objetivos y metas que se han establecido, por lo que no se realizan los ajustes necesarios para reducir los costes de inversión y aumentar la eficiencia de la conducción del agua. La mayoría de los canales de riego que se construyen en el país tienen tendencia a deteriorarse rápidamente, volviéndose ineficaces e incluso quedando fuera de servicio. Es imprescindible determinar y evaluar el nivel de eficiencia de la conducción examinando el comportamiento tanto de los tramos como de la estructura lineal para solucionar este problema y aumentar la eficiencia de los canales de riego. Esto permitirá mejorar la eficiencia de los canales de riego. Es necesario extraer de este análisis datos sustanciales relativos a sus



características hidráulicas y a todos los componentes de flujo libre. Esto puede lograrse realizando simulaciones que tengan en cuenta tanto los flujos permanentes como los no permanentes.

## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 Problema general

¿Como realizar el análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyectos del distrito de Coasa 2024?

### 1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales?
2. ¿Cuál es la modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para conocer su comportamiento?
3. ¿Cuáles son las secciones de máxima eficiencia hidráulica y mejorar la situación del canal de riego?

## 1.3 Justificación de la investigación.

### 1.3.1 Justificación técnica

El diseño eficiente y preciso de canales de riego es fundamental para garantizar la distribución adecuada del agua en sistemas agrícolas. Utilizar el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) permite modelar el flujo de agua en canales con alta precisión, considerando variables complejas como el perfil del terreno, las características hidráulicas del flujo y las condiciones de contorno. Este software proporciona una herramienta robusta para simular diferentes escenarios de operación y optimizar el diseño del canal, mejorando así la eficiencia del riego y reduciendo los costos



asociados con la construcción y el mantenimiento de la infraestructura. Además, HEC-RAS facilita la identificación de posibles puntos de falla y permite realizar ajustes en el diseño antes de la implementación, asegurando la sostenibilidad y la funcionalidad del sistema de riego a largo plazo.

### 1.3.2 Justificación económica

"El empleo del software HEC-RAS en el diseño de canales de riego presenta una justificación económica sólida debido a su capacidad para optimizar el uso de recursos y reducir costos. HEC-RAS permite una simulación detallada del comportamiento hidráulico de los canales, lo que facilita la identificación de diseños más eficientes y económicos. Al prever y corregir posibles problemas antes de la construcción, se minimizan los costos asociados con modificaciones y reparaciones posteriores. Además, la optimización del diseño a través de HEC-RAS puede resultar en un uso más eficiente del agua, reduciendo los costos operativos y mejorando la rentabilidad de los proyectos de riego. La inversión inicial en software y capacitación se recupera rápidamente mediante la reducción de gastos en infraestructura y mantenimiento, haciendo de HEC-RAS una herramienta económica y valiosa para el diseño de sistemas de riego."

### 1.3.3 Justificación social

"El diseño de canales de riego utilizando el software HEC-RAS tiene una justificación social significativa, ya que contribuye directamente al bienestar de las comunidades agrícolas. Al mejorar la eficiencia en la distribución del agua, se asegura un suministro hídrico más estable y equitativo, lo cual es crucial para la producción de cultivos y la seguridad alimentaria. Esto, a su vez, puede aumentar los rendimientos agrícolas y mejorar los ingresos de los agricultores, promoviendo el desarrollo económico local. Además, la capacidad de HEC-RAS para prever y mitigar riesgos de inundaciones y erosión protege las propiedades y las vidas de las personas que dependen de estos



canales. La implementación de un diseño optimizado y seguro de canales de riego fortalece la resiliencia de las comunidades frente a los desafíos climáticos, mejorando su calidad de vida y asegurando un uso sostenible de los recursos hídricos."

#### **1.3.4 Justificación ambiental**

"El uso del software HEC-RAS en el diseño de canales de riego ofrece una justificación ambiental sólida debido a su capacidad para minimizar el impacto ecológico. Este software permite realizar simulaciones precisas que optimizan el uso del agua, reduciendo el desperdicio y promoviendo prácticas de riego más sostenibles. Al diseñar canales de riego eficientes, se disminuye la extracción excesiva de agua de fuentes naturales, preservando así los ecosistemas acuáticos y manteniendo el equilibrio hídrico. Además, HEC-RAS facilita la identificación y mitigación de problemas como la erosión del suelo y la sedimentación, protegiendo la calidad del agua y los hábitats circundantes. La implementación de diseños de riego ambientalmente conscientes contribuye a la conservación de los recursos naturales y a la promoción de la biodiversidad, asegurando que las prácticas agrícolas sean sostenibles a largo plazo."

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar el análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyectos del distrito de Coasa 2024.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Determinar las características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales.
2. Realizar la modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para conocer su comportamiento.



3. Determinar las secciones de máxima eficiencia hidráulica y mejorar la situación del canal de riego.

## 1.5 Importancia y alcance de la investigación

El diseño de canales de riego con el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) es fundamental para el desarrollo de sistemas de riego eficientes y sostenibles. HEC-RAS es una herramienta de modelado hidráulico avanzada que permite a los ingenieros y planificadores simular el flujo de agua en canales de riego con un alto grado de precisión. Su importancia radica en la capacidad de analizar y optimizar el diseño de canales, considerando una variedad de variables como el perfil del terreno, las características del flujo de agua y las condiciones de contorno. Esto no solo garantiza una distribución eficiente del agua, sino que también minimiza los costos de construcción y mantenimiento al identificar posibles problemas y soluciones antes de la implementación. Además, los alcances del uso de HEC-RAS en el diseño de canales de riego son vastos. Este software permite evaluar diferentes escenarios y estrategias de gestión del agua, lo que es crucial en regiones donde el recurso hídrico es limitado y debe ser utilizado de manera óptima. HEC-RAS facilita la creación de modelos detallados que pueden prever el comportamiento del canal bajo diversas condiciones, como cambios en el caudal, eventos climáticos extremos y crecimiento de vegetación. Esto ayuda a diseñar canales más resilientes y adaptables, capaces de enfrentar los desafíos del cambio climático y la variabilidad hídrica. Además, los alcances del uso de HEC-RAS en el diseño de canales de riego son vastos. Este software permite evaluar diferentes escenarios y estrategias de gestión del agua, lo que es crucial en regiones donde el recurso hídrico es limitado y debe ser utilizado de manera óptima. HEC-RAS facilita la creación de modelos detallados que pueden prever el comportamiento del canal bajo diversas condiciones, como cambios en el caudal, eventos climáticos extremos y crecimiento de vegetación. Esto ayuda a diseñar canales más resilientes y adaptables, capaces de enfrentar los desafíos



del cambio climático y la variabilidad hídrica. Ambientalmente, HEC-RAS promueve prácticas de riego sostenibles al minimizar el impacto ecológico de los sistemas de riego. Al optimizar el uso del agua y reducir el desperdicio, se preservan los recursos naturales y se protege la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos. La capacidad del software para simular y mitigar problemas como la erosión del suelo y la sedimentación contribuye a mantener la calidad del agua y la integridad de los hábitats naturales.

## **1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación**

### **1.6.1 Limitaciones**

Aunque el software HEC-RAS es una herramienta poderosa y ampliamente utilizada para el diseño de canales de riego, presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. Una de las principales limitaciones es la necesidad de datos de entrada precisos y detallados. Para que HEC-RAS pueda proporcionar resultados confiables, se requiere información precisa sobre el perfil del terreno, las características hidráulicas del flujo y las condiciones de contorno. La obtención de estos datos puede ser costosa y laboriosa, especialmente en áreas extensas o de difícil acceso. Además, la calidad y la disponibilidad de los datos pueden variar significativamente, lo que puede afectar la precisión de los modelos y las simulaciones. Otra limitación es la complejidad del software y la necesidad de un conocimiento especializado para su uso efectivo. HEC-RAS requiere una curva de aprendizaje significativa, y los usuarios deben estar bien capacitados en hidráulica e hidrología, así como en el uso del software. Esto puede ser una barrera para pequeños proyectos o para organizaciones con recursos.

### **1.6.2 Delimitación**

Este estudio se centrará en el análisis y diseño de canales de riego utilizando el software HEC-RAS para mejorar la eficiencia hidráulica en proyectos específicos del Distrito de Coasa durante el año 2024. La investigación abarcará la recopilación de datos



topográficos e hidrológicos, la simulación de distintos escenarios de flujo, y la evaluación de la eficiencia de diseño en términos de distribución de agua y minimización de pérdidas. Se excluyen otros distritos y años de estudio, así como el análisis de impactos ambientales y sociales, enfocándose únicamente en los aspectos técnicos e hidráulicos dentro del contexto delimitado.

## **1.7 Hipótesis.**

### **1.7.1 Hipótesis general**

El análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyecto del distrito de Coasa 2024, cambiara con el tipo de programa a emplearse.

### **1.7.2 Hipótesis específicas.**

1. Las características geométricas y parámetro hidráulicos para el diseño de canales, van a variar por el cambio de dimensiones de cada dato.
2. La modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para conocer su comportamiento, va a ser variado con respecto al tipo de sección en la que se diseño es canal.
3. Las secciones de máxima eficiencia hidráulica la situación del canal de riego, en su mayoría deberían de ser rectangulares por el tipo de resultados que nos indican son mejores que un diseño de sección trapezoidal.

## **1.8 Variables e indicadores**

### **1.8.1 Variable independiente**

Software HEC-RAS



## **Indicadores:**

- Trazo preliminar
- Pendiente longitudinal
- Sección transversal
- Velocidad horizontal
- Caudal
- Coeficiente de Manning

## **1.8.2 Variable dependiente**

### **Diseño de canal**

#### **Indicadores:**

- Sección hidráulica
- Tirantes normales
- Tirantes críticos
- Curva de energía
- Resalto hidráulico
- Curvas de remanso

## **1.9 Operacionalización de variables**



**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
<b>Independiente</b>			
Software HEC-RAS	Está diseñado para. el programa puede realizar cálculos unidimensionales de flujo estacionario, unidimensionales y bidimensionales de flujo no estacionario.	Características físicas y mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Trazo preliminar</li> <li>-Pendiente longitudinal</li> <li>-Sección transversal</li> <li>-Velocidad horizontal</li> <li>-Caudal</li> <li>- Coeficiente de Manning</li> </ul>
<b>Dependiente</b>			
Diseño de canal	El diseño de caudal se refiere al proceso de determinar el caudal de agua que un sistema de ingeniería, como un canal, tubería, o una estructura hidráulica, debe ser capaz de manejar. Este diseño considera varios factores, incluyendo las condiciones climáticas, la topografía, el uso del suelo, y los datos históricos de caudales.	H-canales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sección hidráulica</li> <li>- Tirante normal</li> <li>- Tirante critico</li> <li>- Curva de energía</li> <li>- Resalto hidráulico</li> <li>- Curvas de remanso</li> </ul>



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Shahverdi et al. (2023). En su investigación titulada "Diseño de estrategias de operación de estructuras de canales". Las estrategias de operación simples hacen que los usuarios sean capaces de regular compuertas estándar, como compuertas de sobrealimentación y compuertas de subalimentación. Para operaciones complicadas, se debe utilizar un algoritmo de control, casi siempre realizado mediante la programación del algoritmo de control dentro de un software de programación y acoplándolo con un simulador de canal. En esta investigación, se diseñó una nueva estrategia de operación para regular las estructuras de agua en línea en el canal Alborz en la provincia de Mazandaran (Irán). Las estrategias de operación simples hacen que los usuarios sean capaces de regular compuertas estándar, como compuertas de sobrealimentación y compuertas de subalimentación. Para operaciones complicadas, se debe utilizar un algoritmo de control, casi siempre realizado mediante la programación del algoritmo de control dentro de un software de programación y acoplándolo con un simulador de canal.



En esta investigación, se diseñó una nueva estrategia de operación para regular las estructuras de agua en línea en el canal de Alborz en la provincia de Mazandaran (Irán). Para ello, se codificó el controlador derivativo integral proporcional clásico en la condición de contorno de las reglas, siendo llamado por HEC-RAS durante la simulación del canal. El modelo HEC-RAS del canal se preparó diseñando un controlador para cada compuerta en línea para regular la profundidad del agua aguas arriba. Se utilizaron indicadores de rendimiento e índices estadísticos para la evaluación. Los resultados de la calibración de las ganancias del controlador indicaron que  $k_p$  es 5, 4,5, 3,5 y 5 para regular las compuertas 1-4, respectivamente. También se calibraron las ganancias  $k_i$  y  $k_d$ . Los resultados mostraron que el modelo diseñado puede simular simultáneamente el canal y regular las compuertas con éxito, obteniendo errores de profundidad máximos y promedio de 7,5% y alrededor de 1%, que son bastante aceptables. La adecuación fue de 1 en casi todos los casos y la eficiencia fue superior a 0,97 con una distribución equitativa.

Según Patamanska y Grancharova (2018). En su investigación titulada "Evaluación de la eficiencia de entrega de agua en canales de riego bajo la estrategia de gestión existente utilizando un modelo hidráulico", La gestión de la distribución de agua en los canales de riego tiene como objetivo la implementación oportuna y en la cantidad necesaria de suministros de agua a las áreas irrigadas sin derrames excesivos, es decir, con una pérdida de transporte reducida y un uso adecuado del agua para el riego de los cultivos. Este artículo analizó la práctica de gestión existente de la distribución de agua en el canal de riego con vistas a la eficiencia. El estudio se llevó a cabo para un canal de riego principal existente. La pérdida de agua operativa se evaluó mediante un enfoque cuantitativo indirecto. El modelo de simulación hidráulica del canal de riego se creó utilizando el software hidráulico HEC-RAS. En el modelo se tuvieron en cuenta los cambios en las condiciones hidráulicas debido a las estructuras existentes a lo largo del curso del canal. La pérdida operativa de agua se determinó mediante simulación con el modelo HEC-RAS en condiciones de estado estable. El modelo se utilizó para estudiar la influencia de las



condiciones operativas en el tamaño de la pérdida. Los resultados obtenidos muestran la influencia de la práctica de gestión de la distribución de agua y las condiciones de operación y mantenimiento del canal en la magnitud de la pérdida operativa.

Según Owino et al. (2023). En su investigación titulada " Modelado de la capacidad óptima de conducción de agua por canales para el sistema de irrigación de Ahero utilizando el sistema de análisis de ríos del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-RAS)", El riego desempeña un papel fundamental en la consecución de la seguridad alimentaria, tal como se prevé en el plan de desarrollo de Kenia, la Agenda de los Cuatro Grandes. Sin embargo, el rendimiento de cualquier sistema de riego por canales abiertos depende de la eficiencia de su conducción, entre otros factores. Para superar los desafíos con la conducción de agua de riego en el plan de riego de Ahero, se utilizó un modelo del Sistema de análisis de ríos del Centro de ingeniería hidrológica (HEC-RAS) para simular las características del flujo en la sección final de la red de canales, que abarca una longitud total de 2,6 km. El estudio también consistió en una revisión comparativa de una estimación del requerimiento de agua para el arroz mediante un modelo FAO-CROPWAT. La estimación manual de la capacidad del canal en su estado sin mantenimiento reveló una capacidad de descarga de 0,228 m<sup>3</sup>/s, que fue significativamente inferior a la estimación del requerimiento mínimo de demanda de agua para el cultivo de 0,3166 m<sup>3</sup>/s (un déficit de agua del 28%). Las características simuladas proyectaron una capacidad de flujo óptima de 0,583 m<sup>3</sup>/s. El estudio recomienda el mantenimiento del canal (nivelación de las ondulaciones del lecho, dragado y revestimiento liso de hormigón) para alcanzar la capacidad de flujo óptima en el extremo final de la red.

Según Owino, (2023). En su estudio "Simulación de la eficiencia de conducción por canales para el esquema de riego ahero utilizando el modelo HEC-RAS", El riego desempeña un papel fundamental para abordar la seguridad alimentaria, tal como se prevé en uno de los seis pilares clave (agricultura) del modelo económico del gobierno de Kenia.



La estrategia del gobierno, entre otras cosas, busca garantizar que las actividades agrícolas se basen en la tecnología para mejorar la productividad y la rentabilidad, al tiempo que se minimiza el costo de producción. Sin embargo, el sistema de riego de Ahero, establecido en 1969, experimenta problemas con la eficiencia de conducción del canal, debido a años de funcionamiento con prácticas de mantenimiento imprecisas. Además, el rendimiento de cualquier sistema de riego de canal abierto es una función de su eficiencia de conducción del canal, entre otros factores, lo que requiere la determinación de la misma. Para superar los desafíos con la conducción de agua de riego en el sistema de riego de Ahero, el estudio actual tuvo como objetivo simular las eficiencias de conducción de la red de canales del sistema de riego de Ahero para informar sobre prácticas de mantenimiento efectivas. El modelo del Sistema de análisis de ríos del Centro de ingeniería hidrológica (HEC-RAS) se utilizó para simular las características de conducción del canal en la sección final de la red de canales, que cubre una longitud total de 2,6 km para informar sobre prácticas de mantenimiento mejoradas. Los datos de geometría, caudal y velocidad obtenidos de la red del sistema se utilizaron para simular diferentes escenarios de caudal y determinar el escenario de caudal óptimo para la red de canales. Se realizó una calibración antes de la aplicación del software HEC-RAS con los datos de profundidad simulados frente a los reales, lo que arrojó un valor  $R^2$  significativo de 0,857. El estudio también estimó el requerimiento de agua para el cultivo de arroz utilizando el modelo FAO-CROPWAT para determinar cualquier déficit de caudal en la sección final del sistema. La capacidad medida del canal en su estado sin mantenimiento reveló una capacidad de descarga de 0,228 m<sup>3</sup>/s, que fue significativamente inferior a la estimación mínima del requerimiento de agua para el cultivo de aproximadamente 0,38 m<sup>3</sup>/s (un déficit de agua del 40% dentro de la red de canales). Una comparación con la capacidad de caudal del diseño original del canal (0,45 m<sup>3</sup>/s) también sugirió una caída del 49% en la capacidad de transporte debido al deterioro y la degradación. Las simulaciones de la red sugieren que la sección transversal trapezoidal revestida de hormigón del canal tenía una capacidad de transporte segura en toda la red de canales estudiada. En consecuencia, este estudio



recomienda la mejora del canal (nivelación de las ondulaciones del lecho, dragado y revestimiento de hormigón liso) para alcanzar la capacidad de flujo óptima en el extremo final de la red.

Según Mehta et al. (2020). En su estudio "Diseño de canal estable del río Tapi utilizando HEC-RAS para la región de Surat". El diseño de un canal estable desempeña un papel importante en la investigación de la restauración de los ríos. Dado que las tasas de transporte de sedimentos son muy variables en los ríos observados, los métodos de diseño de canales deben estudiar una amplia gama de relaciones de transporte para definir las condiciones de estabilidad. El objetivo del estudio es diseñar un canal estable para el tramo del río Tapi ubicado entre el puente Sardar y el puente Magdalla utilizando un software hidrodinámico. El diseño de un canal estable se ha llevado a cabo utilizando el método Copeland, que es parte del software del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (HEC-RAS). En el presente análisis, se comparan las secciones existentes con las secciones de diseño para la inundación de 2006 con una magnitud de 9,09 cusecs (25 760 cumecs). Para el propósito del estudio, se seleccionó el tramo del río Tapi con 31 secciones transversales. Se recolectaron y analizaron muestras de material del lecho del tramo de estudio para determinar el tamaño de grano real. Este documento presenta un paso de diseño detallado de la sección transversal utilizando el método Copeland, que incluye la aproximación del canal aguas arriba como trapezoidal. Los resultados indican que el modelo predice adecuadamente la forma del banco y las dimensiones significativas de los canales estables.

## 2.1.2 Antecedente nacional

Según Espejo y Zabaleta (2021). En su investigación titulada "Modelamiento numérico para mejorar la eficiencia de funcionamiento de las pozas disipadoras en ríos de alta pendiente: Caso de estudio Bocatoma San Pedro - Ayacucho". Se recopiló información



del estudio de caso como parte del enfoque utilizado. Esta información se comparó con los resultados obtenidos a partir de los modelos utilizados en los programas HEC-RAS e IBER. De forma similar, se crearon cinco tomas con balsas de dispersión con diferentes pendientes: 0%, 1,52%, 3,04%, 4,56% y 6,08%. Para simular estos diseños, se utilizó el software IBER y los resultados se exportaron a Excel. Para verificar la exactitud de los modelos numéricos, se realizó un análisis de sensibilidad. Además, como consecuencia de ello, se llevó a cabo una comparación de los valores energéticos aguas abajo de las distintas balsas propuestas. Como resultado de los resultados de la investigación, se concluyó que la balsa disipadora con una pendiente del 3,04% es la más adecuada para el río San Pedro. Esto se debe a que pierde un treinta por ciento más de energía que la balsa horizontal y reduce la velocidad en unos cuatro comas nueve por ciento en comparación con la balsa con una pendiente del seis coma ocho por ciento.

Según Quispe y Valeriano (2018), en su investigación "Modelamiento hidráulico de la quebrada Patacancha en el tramo urbano y arqueológico del distrito de Ollantaytambo (Dpto. Cusco), aplicando modelos 1d (Hec-ras) y 2d (Iber)". Se basa en la información recogida sobre el terreno, incluidos los datos meteorológicos y topográficos, y se lleva a cabo mediante la utilización de programas de modelización hidráulica en una (1D) y dos (2D) dimensiones, como HEC-RAS (1D) e IBER (2D). Para construir el modelo se utiliza la información recopilada sobre el terreno. Esta información incluye datos meteorológicos, datos topográficos, factor de rugosidad del cauce, cubierta vegetal y otros elementos que se consideren pertinentes. Gracias a ello, los modelos pueden aproximarse más a la realidad, lo que en última instancia conduce a la obtención de resultados más precisos y eficaces. Durante el año 2015 se llevaron a cabo trabajos de campo, que incluyeron diversas actividades como recopilación de información, inventario de infraestructuras existentes, levantamientos topográficos, cartografía de la cubierta vegetal y entrevistas a vecinos de la zona sobre hechos acaecidos, entre otras. Para cubrir la zona urbana y arqueológica de la región de Ollantaytambo, se eligió un trozo de 3,600 kilómetros para



que sea representativo. Este tramo se extiende desde la desembocadura de la quebrada Patacancha hasta el río Vilcanota. De acuerdo a los hallazgos del análisis, el modelo que se generó utilizando IBER (2D) presenta una mayor área de inundación que la modelación que se realizó con HEC-RAS (1D) para el tramo en cuestión, así como para caudales asociados a periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, bajo las mismas circunstancias hidráulica. Del mismo modo, demuestra un mayor ajuste a la realidad de los acontecimientos ocurridos en el pasado. A pesar de que los resultados obtenidos son alentadores, se necesitan más datos de campo (mediciones de caudal) para evaluar la eficacia de ambos modelos con mayor precisión. Esto se debe a que los procesos de flujo en la zona de investigación en cuestión son bastante complejos.

Según Asalde, (2020), en su investigación "Diseño de 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", Al no existir una metodología o norma que oriente la construcción de canales y especifique el comportamiento de las secciones y estructura a lo largo de su recorrido, los sistemas de riego del país están plagados de importantes problemas de diseño. Estos problemas se desarrollan como consecuencia de la falta de una metodología o norma. El uso de software especializado para el análisis de modelos se vería obstaculizado como resultado de esto. Desde el kilómetro 0+000 hasta el kilómetro 3+085 en el distrito de Salas, ubicado en la región Lambayeque, el objetivo principal de esta tesis es determinar cómo la utilización del software HEC-RAS afecta el diseño del canal de riego que tenga la mayor eficiencia hidráulica posible. Para lograr el objetivo, se llevó a cabo una investigación aplicada cuantitativa y descriptiva. El proceso comenzó con un análisis del caudal, que consistió en calcular el módulo de riego correspondiente al intervalo del proyecto y cartografiar tres pendientes a lo largo del eje longitudinal del canal. A continuación, se representaron en cada sección la curva de energía, la pendiente normal, la pendiente crítica, el remanso hidráulico y las curvas de remanso. Esto permitió identificar el tipo de perfil que puede estar presente en cada segmento individual del canal; A



continuación, se verificó el diseño con la ayuda del programa HCANALES, y se hizo de acuerdo con las normas establecidas por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos. Adicionalmente, se realizó una modelación hidráulica utilizando el programa HEC-RAS, lo que finalmente permitió concluir que HEC-RAS reconoció la influencia en el diseño del segmento del canal de riego que fue evaluado, obteniendo así la mayor eficiencia hidráulica posible. Como resultado, este software es apropiado para realizar investigaciones y visualizar el comportamiento.

### **2.1.3 Antecedente local**

Con respecto al título de la investigación no se encontraron referencias locales sobre modelamiento con el software HEC-RAS.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Régimen de flujo**

El régimen de flujo se refiere a las características y comportamiento del movimiento del agua dentro de un canal, río, o sistema hidráulico. Este régimen puede clasificarse principalmente en dos categorías: flujo laminar y flujo turbulento. En un flujo laminar, las partículas de agua se mueven en capas paralelas, con mínima mezcla entre ellas, y ocurre a bajas velocidades. Por otro lado, el flujo turbulento se caracteriza por movimientos erráticos y caóticos, con alta mezcla y vorticidad, y ocurre a altas velocidades. El régimen de flujo es influenciado por factores como la pendiente del canal, la rugosidad del lecho, la viscosidad del agua y la velocidad del flujo. El número de Reynolds, que es una cantidad adimensional que relaciona las fuerzas de inercia en el flujo con las fuerzas viscosas, es el que establece la transición entre ambos regímenes. Comprender y evaluar el régimen de flujo es esencial en el proceso de diseño y evaluación de sistemas hidráulicos. Esto se debe a que el régimen de flujo tiene un impacto en la capacidad del sistema para transportar sedimentos, la erosión del lecho y las paredes del canal, y la eficiencia



hidráulica del sistema. Además, en la ingeniería de ríos y en la gestión de recursos hídricos, el régimen de flujo tiene implicaciones directas en la predicción de inundaciones, la gestión de caudales ecológicos y la evaluación de los impactos ambientales (Ccama y Turpo, 2021).

## **Flujo permanente**

El flujo permanente es un concepto en la hidráulica y la ingeniería de fluidos y la presión, permanecen constantes en el tiempo en cualquier punto del sistema. En otras palabras, aunque el flujo puede variar de un punto a otro a lo largo del canal, tubo o río, esas variaciones no cambian con el tiempo. Esta condición se contrasta con el flujo no permanente, donde las características del flujo cambian con el tiempo. El flujo permanente es una suposición común en muchos análisis y diseños hidráulicos debido a su simplicidad, ya que permite el uso de ecuaciones y principios más manejables, como la ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad. En un contexto de flujo permanente, los ingenieros pueden predecir con mayor precisión el comportamiento del sistema bajo condiciones de operación normales. Sin embargo, es importante reconocer que esta es una simplificación, y en muchos sistemas reales, especialmente en aquellos sujetos a eventos transitorios como tormentas o aperturas y cierres de válvulas, el flujo no será verdaderamente permanente. Aun así, el concepto de flujo permanente proporciona una base fundamental para la planificación y diseño de infraestructuras hidráulicas, tales como acueductos, redes de distribución de agua, sistemas de alcantarillado y canales de riego, donde las condiciones se asumen estables y predecibles para facilitar los cálculos y asegurar la eficiencia y seguridad del sistema. (Rattia, 2014).

## **Flujo no permanente**

El flujo no permanente, también conocido como flujo transitorio o no estacionario, se refiere a una condición en la cual las características del flujo, tales como la velocidad, el caudal, y la presión, cambian con el tiempo en cualquier punto del sistema. A diferencia



del flujo permanente, donde estas variables son constantes en el tiempo, el flujo no permanente refleja situaciones dinámicas en las que el flujo puede variar debido a diversos factores, como cambios en las condiciones de entrada o salida, variaciones en el uso o demanda, o eventos externos como tormentas o fallos mecánicos. Este tipo de flujo es común en sistemas hidráulicos y de ingeniería de fluidos donde las condiciones operativas están sujetas a cambios abruptos o graduales, como en el caso de redes de distribución de agua potable, sistemas de alcantarillado, y canales de riego. (Rattia, 2014).

El análisis del flujo no permanente es más complejo que el del flujo permanente, ya que requiere el uso de ecuaciones diferenciales parciales y técnicas numéricas avanzadas para modelar y predecir cómo las variables del flujo evolucionan con el tiempo. Por ejemplo, la ecuación de Saint-Venant, que describe el flujo no permanente en canales abiertos, es fundamental para entender fenómenos como las ondas de inundación y las mareas en los ríos. Además, en tuberías y sistemas cerrados, el fenómeno de golpe de ariete, que resulta de cambios rápidos en la velocidad del flujo, es una manifestación típica del flujo no permanente y puede causar daños significativos si no se gestiona adecuadamente. La comprensión y el manejo del flujo no permanente son esenciales para diseñar sistemas resilientes y eficientes, capaces de adaptarse y responder a las variaciones temporales en las condiciones de operación, asegurando así la seguridad y la fiabilidad a largo plazo de las infraestructuras hidráulicas. (Rattia, 2014).

## **Flujo no permanente**

El flujo uniforme es un concepto en hidráulica que se refiere a una condición en la cual las características del flujo, como la velocidad, el caudal y la profundidad del agua, permanecen constantes a lo largo de una longitud específica de un canal o conducto. Esto significa que, en un tramo de flujo uniforme, no hay cambios en la energía del flujo debido a la pendiente del canal o la resistencia del lecho. El flujo uniforme se establece cuando la fuerza impulsora del flujo (generalmente la pendiente del canal) está equilibrada con las fuerzas resistivas (como la fricción con el lecho del canal). Esta condición es idealizada y



a menudo asumida en el diseño y análisis de sistemas de canales abiertos, donde facilita la aplicación de ecuaciones simplificadas, como la fórmula de Manning, para determinar variables clave del flujo. (Merma y Urupi, 2018).

En la práctica, el flujo uniforme es una aproximación útil, aunque en muchos sistemas reales puede no ser estrictamente alcanzado debido a variaciones en la topografía del canal, cambios en la rugosidad del lecho, o fluctuaciones en el caudal. Sin embargo, en tramos suficientemente largos y rectos de un canal con condiciones relativamente constantes, el flujo puede aproximarse lo suficientemente bien a un estado uniforme para permitir análisis precisos y diseño efectivo. El concepto de flujo uniforme es fundamental en la ingeniería de ríos y canales, ya que permite a los ingenieros calcular la capacidad de transporte de sedimentos, la profundidad del flujo y la velocidad de manera más directa y con menor complejidad. Este conocimiento es crucial para el diseño de infraestructuras hidráulicas, como canales de riego, drenajes urbanos y obras de control de inundaciones, donde mantener un flujo uniforme puede ayudar a asegurar la eficiencia operativa y la estabilidad del sistema a largo plazo (Merma y Urupi, 2018).

## **Flujo variado**

El flujo variado es un concepto en la hidráulica y la ingeniería de fluidos que se refiere a una condición en la que las características del flujo, como la velocidad, el caudal y la profundidad, cambian a lo largo de la longitud de un canal o conducto. A diferencia del flujo uniforme, donde estas variables permanecen constantes, el flujo variado puede ser causado por cambios en la pendiente del canal, variaciones en la sección transversal, alteraciones en la rugosidad del lecho, o la presencia de obstáculos y estructuras como puentes, compuertas y presas. Este tipo de flujo se divide en flujo variado gradualmente y flujo variado rápidamente Sanchez y Hernan (2019).

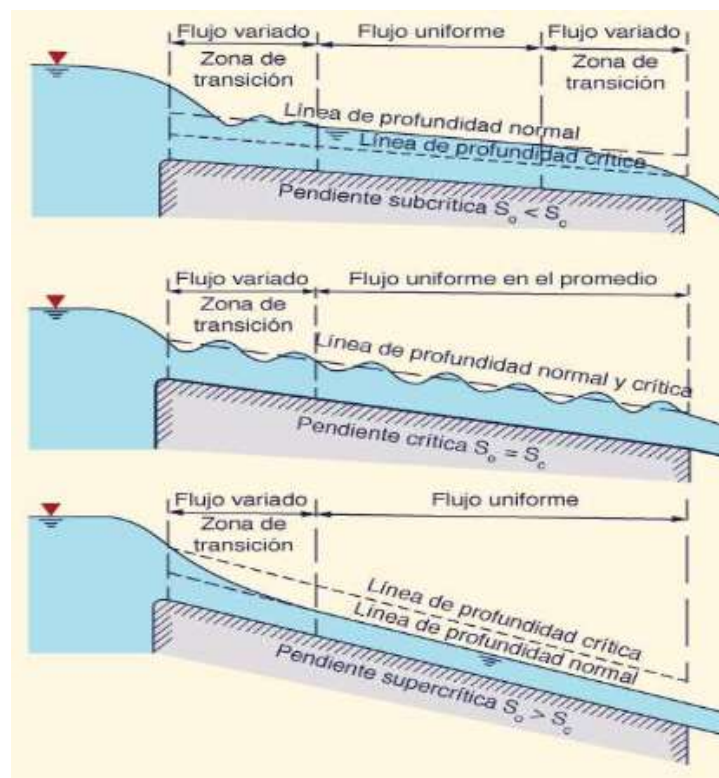
El flujo variado gradualmente se refiere a situaciones donde las características del flujo cambian lentamente a lo largo de una distancia considerable. Ejemplos típicos incluyen el flujo en canales abiertos con pendientes suaves y cambios progresivos en la

sección transversal. abruptos y significativos en las características del flujo en distancias cortas, como en los saltos hidráulicos, donde la energía cinética del flujo se disipa rápidamente en forma de turbulencia y ondas de choque (Sanchez S. & Hernan, 2019).

El análisis del flujo variado es más complejo que el del flujo uniforme y requiere una comprensión detallada de las interacciones entre las fuerzas hidráulicas y las características geométricas del canal. Las ecuaciones de Saint-Venant, que describen el flujo no permanente en canales abiertos, son fundamentales para modelar el flujo variado y prever cómo las variaciones en la pendiente, la rugosidad y otras condiciones afectan el comportamiento del flujo. Este conocimiento es crucial para el diseño y la gestión de infraestructuras hidráulicas, como sistemas de riego, drenaje urbano, canales de navegación y obras de control de inundaciones. Un análisis adecuado del flujo variado permite a los ingenieros diseñar sistemas que pueden manejar eficientemente las fluctuaciones en las condiciones de flujo, minimizando el riesgo de erosión, sedimentación y daños estructurales (Sanchez S. & Hernan, 2019).

**Figura 1**

*Régimen de flujo*





## 2.2.2 Flujo crítico

El flujo crítico en hidráulica se refiere a una condición específica en la cual el flujo de agua en un conducto alcanza velocidades máximas bajo ciertas circunstancias geométricas y de flujo. Este fenómeno ocurre cuando la velocidad del agua alcanza la velocidad crítica, que es aquella en la cual la energía cinética del flujo es suficiente para superar la resistencia proporcionada por la fricción y otros factores de pérdida de energía. En términos prácticos, el flujo crítico se observa en canales y tuberías donde el agua fluye de manera uniforme y estable, sin aceleraciones ni deceleraciones significativas.

Para calcular el flujo crítico en un conducto, se utiliza la ecuación de Manning-Strickler o la ecuación de Chézy, que relacionan la velocidad crítica del flujo con parámetros como la pendiente del canal, la rugosidad del lecho y el radio hidráulico. Estos cálculos son fundamentales en el diseño de infraestructuras hidráulicas, como presas, canales de riego, sistemas de alcantarillado y tuberías de conducción de agua, ya que permiten determinar las dimensiones y capacidades necesarias para manejar el flujo de agua de manera eficiente y segura.

El flujo crítico también tiene implicaciones en la ingeniería de ríos y la gestión de inundaciones, donde comprender cómo y cuándo se alcanza este estado es crucial para evaluar los riesgos de erosión y sedimentación. Además, en la hidrología y la hidráulica fluvial, el estudio del flujo crítico ayuda a los científicos y gestores a entender mejor los patrones de flujo y la dinámica de los sistemas fluviales, proporcionando información valiosa para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la protección de los ecosistemas acuáticos.

## 2.2.3 Flujo subcrítico

El flujo subcrítico en hidráulica se refiere a una condición en la cual la velocidad del agua en un conducto es menor que la velocidad crítica necesaria para mantener un flujo estable y uniforme. En términos simples, esto significa que la energía cinética del flujo no



es suficiente para superar las pérdidas de energía causadas por la fricción y otros factores resistivos en el sistema. El flujo subcrítico se caracteriza por velocidades relativamente bajas y es típicamente observado en situaciones donde el agua fluye suavemente sin turbulencias significativas ni cambios bruscos en la profundidad del agua o la velocidad del flujo.

El análisis del flujo subcrítico es fundamental en la hidráulica y la ingeniería de fluidos, ya que proporciona información crucial sobre cómo el agua se comporta en diferentes tipos de conductos, canales y ríos. Este tipo de flujo se puede calcular utilizando ecuaciones y modelos hidráulicos que tienen en cuenta parámetros como la pendiente del canal, la rugosidad del lecho, el caudal de agua y el perfil de la sección transversal del conducto. Estos cálculos son esenciales para el diseño eficiente de infraestructuras hidráulicas, como sistemas de alcantarillado, canales de riego, y redes de drenaje, asegurando que el flujo de agua se maneje de manera segura y efectiva.

En la práctica, el flujo subcrítico también juega un papel crucial en la gestión de riesgos de inundaciones y la protección de infraestructuras críticas contra eventos extremos. Comprender cómo y cuándo se produce este tipo de flujo permite a los ingenieros y gestores anticipar y mitigar posibles problemas, como la erosión del lecho del canal, la sedimentación y la acumulación de escombros, que podrían afectar negativamente la operación y la seguridad de los sistemas hidráulicos.

#### **2.2.4 Flujo supercrítico**

El flujo supercrítico en hidráulica se refiere a una condición en la cual la velocidad del agua en un conducto es mayor que la velocidad crítica necesaria para mantener un flujo estable y uniforme. En términos simples, esto significa que la energía cinética del flujo es suficiente para superar las pérdidas de energía debido a la fricción y otros factores resistivos en el sistema, permitiendo que el agua fluya a velocidades más altas sin que se formen olas o turbulencias significativas. El flujo supercrítico se observa típicamente en



canales y ríos donde el agua fluye rápidamente, con un perfil de flujo que se caracteriza por una superficie libre relativamente plana y un flujo uniforme en la sección transversal del canal (Chow 2016).

El análisis del flujo supercrítico es esencial en la ingeniería de fluidos y la hidráulica, ya que proporciona información crítica sobre cómo el agua se comporta bajo condiciones de alta velocidad. Este tipo de flujo se puede calcular utilizando ecuaciones y modelos hidráulicos que consideran parámetros como la pendiente del canal, la rugosidad del lecho, el caudal de agua y el perfil de la sección transversal del conducto. Estos cálculos son fundamentales para el diseño seguro y eficiente de infraestructuras hidráulicas, como presas, canales de navegación, sistemas de energía hidroeléctrica y estructuras de control de inundaciones (Chow 2016).

En la práctica, el flujo supercrítico también juega un papel importante en la gestión de riesgos naturales y la planificación del uso del agua. Comprender cómo y cuándo se produce este tipo de flujo permite a los ingenieros y gestores anticipar y mitigar posibles problemas, como la erosión del lecho del canal, el transporte de sedimentos y los impactos ambientales asociados con cambios bruscos en el flujo de agua (Chow 2016).

## 2.2.5 Dimensiones de modelos numéricos

La dimensionalidad de los modelos numéricos en la ingeniería hidráulica y de fluidos se refiere a la forma en que estos modelos representan el espacio físico y el comportamiento del flujo dentro de un sistema. Los modelos numéricos pueden ser clasificados en función de su dimensionalidad como modelos. (Manual HEC-RAS, 2014).

Los modelos unidimensionales (1D) simplifican el flujo considerando solo la variación a lo largo de una única dirección espacial, generalmente a lo largo del eje principal del canal o tubería. Estos modelos son eficaces para simular sistemas largos y estrechos, como ríos, canales y redes de tuberías, donde las variaciones en la dirección transversal y vertical son mínimas o pueden ser promediadas. Ejemplos de modelos 1D

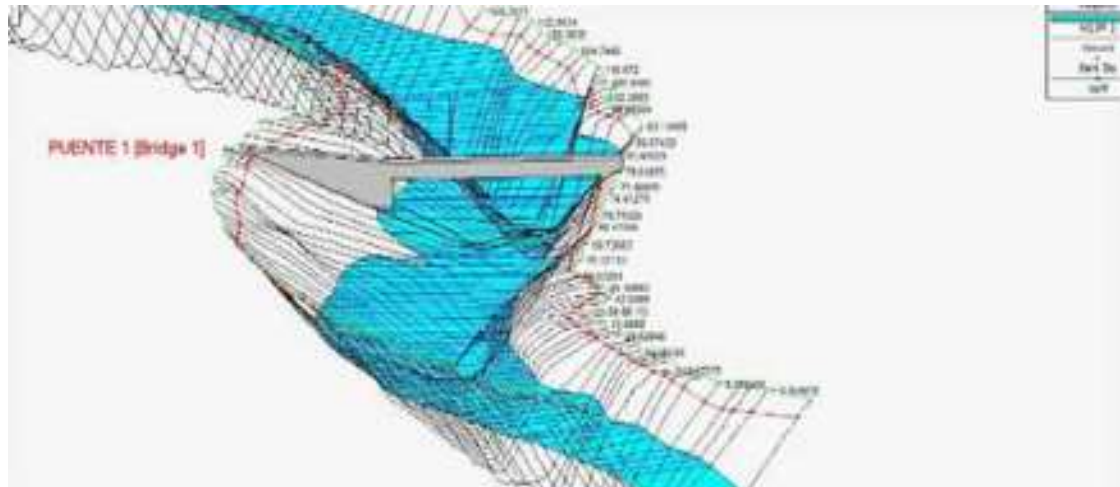


incluyen el HEC-RAS en su modo de flujo unidimensional, que se utiliza para análisis de inundaciones y diseño de canales (Manual HEC-RAS, 2014).

Los modelos bidimensionales (2D) consideran las variaciones del flujo en dos direcciones espaciales, generalmente en un plano horizontal (x-y). Estos modelos son útiles para analizar áreas donde las variaciones transversales son significativas, como en planicies de inundación, deltas de ríos, y estuarios. Los modelos 2D pueden capturar mejor los patrones complejos de flujo y las interacciones entre corrientes principales y secundarias. Ejemplos de modelos 2D incluyen el HEC-RAS en su modo 2D y el modelo Delft3D, que se utilizan para estudios de inundación, sedimentación y calidad del agua (Manual HEC-RAS, 2014).

Los modelos tridimensionales (3D) son los más complejos, ya que consideran las variaciones del flujo en las tres direcciones espaciales (x, y, z). Estos modelos son necesarios para capturar fenómenos como la estratificación térmica y salina, las corrientes verticales y las interacciones complejas en cuerpos de agua como lagos, embalses y océanos. Los modelos 3D proporcionan el mayor nivel de detalle y precisión, pero también requieren más datos, tiempo de cálculo y recursos computacionales. Ejemplos de modelos 3D incluyen el CFD (Computational Fluid Dynamics) y modelos como el MIKE 3 y el FLOW-3D (Manual HEC-RAS, 2014).

La elección de la dimensionalidad adecuada para un modelo numérico depende de los objetivos del estudio, la complejidad del sistema, la disponibilidad de datos y los recursos computacionales. Un equilibrio adecuado entre la precisión y la eficiencia computacional es esencial para obtener resultados útiles y prácticos en la ingeniería hidráulica y de fluidos (Manual HEC-RAS, 2014).

**Figura 2***Modelo dimensional*

### 2.2.6 Ecuación de energía

En el campo de la hidráulica, la ecuación de la energía es un instrumento indispensable que se utiliza con el fin de analizar el comportamiento del flujo de agua en sistemas abiertos y cerrados, algunos ejemplos de los cuales incluyen ríos, canales, tuberías y conductos. De acuerdo con el concepto de conservación de la energía, que establece que la cantidad total de energía en un sistema de flujo no cambia, esta ecuación se basa en la conservación de la energía, salvo por las pérdidas debidas a la fricción y otros factores disipativos. La ecuación de energía considera tres formas principales de energía en un flujo: la energía potencial, asociada a la altura o elevación del agua; la energía cinética, relacionada con la velocidad del flujo; y la energía de presión, que depende de la presión del agua en el sistema.

Ayudando a diseñar sistemas que sean seguros y eficientes. Por ejemplo, en la planificación de un sistema de alcantarillado, la ecuación de energía puede ayudar a asegurar que el flujo tenga suficiente energía para llegar a su destino sin riesgo de estancamiento o sobrepresión. Además, en el estudio de ríos y canales naturales, esta ecuación es crucial para entender cómo las alteraciones en el terreno, como la



construcción de puentes o la excavación de nuevos canales, afectarán el flujo y la distribución de energía a lo largo del curso de agua.

## 2.2.7 Ecuación de cantidad de movimiento

La ecuación de cantidad de movimiento, también conocida como la ecuación de Navier-Stokes en el contexto de la dinámica de fluidos, es una de las ecuaciones fundamentales que describe el comportamiento del flujo de fluidos. Esta ecuación se basa en el principio de conservación de la cantidad de movimiento (o momento lineal), que establece que el cambio en la cantidad de movimiento de un fluido en un volumen de control es igual a la suma de las fuerzas que actúan sobre el fluido dentro de ese volumen.

$$\rho(\partial_t \mathbf{v} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{f}$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad del fluido,
- $\mathbf{v}$  es el vector de velocidad del flujo,
- $t$  es el tiempo,
- $\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido,
- $\nabla^2$  es el operador Laplaciano que representa la difusión de la velocidad,
- $\mathbf{f}$  es el vector de fuerzas externas por unidad de volumen (como la gravedad).

La ecuación de cantidad de movimiento incluye términos que representan la aceleración local y convectiva del flujo, la fuerza de presión, la fuerza viscosa y cualquier fuerza externa que actúe sobre el fluido. Esta ecuación es altamente compleja y, en la mayoría de los casos, no puede resolverse de forma analítica. En su lugar, se utilizan métodos numéricos para obtener soluciones aproximadas, especialmente en aplicaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD).

El análisis de la cantidad de movimiento es fundamental en una amplia gama de aplicaciones de ingeniería y ciencias. Por ejemplo, en la ingeniería hidráulica, la ecuación



de cantidad de movimiento se utiliza para diseñar y optimizar sistemas de tuberías, canales y bombas, asegurando que el flujo sea eficiente y seguro. En la aerodinámica, esta ecuación ayuda a predecir las fuerzas y momentos que actúan sobre las superficies de los aviones, permitiendo el diseño de aeronaves que pueden volar de manera eficiente y segura. Además, en la meteorología, las ecuaciones de Navier-Stokes son esenciales para modelar el comportamiento de la atmósfera y predecir el clima y los patrones meteorológicos.

La ecuación de cantidad de movimiento, por tanto, no solo proporciona una comprensión profunda del comportamiento del flujo de fluidos, sino que también es una herramienta esencial en el diseño y análisis de sistemas en una amplia variedad de campos de la ingeniería y la ciencia.

## 2.2.8 Ecuación de continuidad

En los campos de la hidráulica y la dinámica de fluidos, la ecuación de continuidad es una idea fundamental que refleja el principio de conservación de la masa en un sistema de flujo. Según esta ecuación, el caudal volumétrico de un fluido incompresible debe permanecer constante a lo largo de un conducto cerrado o en cualquier sección transversal de un flujo abierto, lo que indica que deben cumplirse ambas condiciones. Una posible formulación de la ecuación de continuidad para un flujo incompresible es la siguiente, según las matemáticas:

$$A_1v_1=A_2v_2$$

Donde:

$A_1$  y  $A_2$  son las áreas de las secciones transversales en dos puntos diferentes a lo largo del flujo,

$v_1$  y  $v_2$  son las velocidades del flujo en esas respectivas secciones.

En una forma más general para un fluido compresible, la ecuación de continuidad se expresa como:



$$\partial t \rho + \nabla \cdot (\rho v) = 0$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad del fluido,
- $v$  es el vector de velocidad del flujo,
- $t$  es el tiempo,
- $\nabla \cdot (\rho v)$  representa la divergencia del flujo de masa

La ecuación de continuidad es esencial en muchos aspectos de la ingeniería y la ciencia, ya que proporciona una base para entender cómo los fluidos se comportan en diferentes condiciones y geometrías. En sistemas de tuberías, por ejemplo, esta ecuación permite calcular cómo cambia la velocidad del flujo cuando el diámetro de la tubería varía, ayudando a diseñar sistemas que pueden manejar el flujo de manera eficiente y segura. En canales abiertos y ríos, la ecuación de continuidad ayuda a entender cómo el caudal de agua se distribuye a lo largo del curso del río, lo cual es crucial para la gestión de recursos hídricos y la planificación de medidas de control de inundaciones.

En la ingeniería ambiental, la ecuación de continuidad se utiliza para modelar la dispersión de contaminantes en cuerpos de agua, asegurando que las estrategias de mitigación sean efectivas. En la meteorología, la ecuación es fundamental para modelar el movimiento del aire y la distribución de masas de aire en la atmósfera, lo que es clave para la previsión del tiempo y el estudio del clima.

La simplicidad y la universalidad de la ecuación de continuidad la convierten en una herramienta poderosa y versátil en el análisis y diseño de sistemas de flujo. Al garantizar que la masa se conserva en todo momento, esta ecuación permite a los ingenieros y científicos desarrollar modelos precisos y fiables para una amplia gama de aplicaciones prácticas, desde la gestión del agua y el diseño de infraestructuras hasta la previsión meteorológica y la protección ambiental.



## 2.2.9 Diseño hidráulico de canales

El diseño hidráulico de canales es un proceso esencial en la ingeniería civil y ambiental que implica la planificación y construcción de canales para el transporte eficiente y seguro de agua. Este diseño considera una variedad de factores técnicos y ambientales para garantizar que el canal cumpla con sus funciones previstas, como el riego agrícola, el control de inundaciones, el drenaje urbano, la navegación o la generación de energía hidroeléctrica. El proceso de diseño hidráulico de canales se basa en principios fundamentales de la hidráulica, la mecánica de fluidos y la ingeniería geotécnica, y se lleva a cabo en varias etapas, desde el análisis preliminar hasta el diseño detallado y la construcción.

En la etapa inicial del diseño, se realiza un estudio detallado del sitio para comprender las condiciones geológicas, topográficas y climáticas. Se recopilan datos sobre el caudal de agua, la pendiente del terreno, la rugosidad del lecho del canal y los patrones de uso del suelo en la cuenca hidrográfica. Esta información se utiliza para calcular el caudal de diseño, que es el flujo máximo de agua que el canal debe ser capaz de manejar sin desbordarse ni causar erosión. Herramientas como el software HEC-RAS pueden ser empleadas para modelar el comportamiento hidráulico del canal y prever su desempeño bajo diferentes condiciones de flujo.

El siguiente paso en el diseño hidráulico de canales implica la determinación de las dimensiones óptimas del canal, incluyendo su anchura, profundidad y pendiente longitudinal. Estas dimensiones se calculan utilizando ecuaciones hidráulicas como la fórmula de Manning, que relaciona el caudal, la pendiente y la rugosidad del canal para determinar la velocidad y la profundidad del flujo. Además, se deben considerar los materiales de construcción adecuados para el revestimiento del canal, que pueden incluir concreto, asfalto, piedra o materiales geosintéticos, dependiendo de la resistencia a la erosión requerida y el presupuesto disponible.



El diseño también debe incorporar estructuras de control y regulación del flujo, como compuertas, vertederos, y estructuras de disipación de energía, para manejar el flujo de agua de manera controlada y reducir el riesgo de daños por erosión o inundación. Además, es fundamental considerar el impacto ambiental del canal, implementando medidas para proteger la flora y fauna locales, prevenir la contaminación del agua y asegurar que el canal se integre de manera sostenible con el entorno natural.

Finalmente, el diseño hidráulico de canales incluye la elaboración de planos detallados y especificaciones técnicas que guiarán la construcción y el mantenimiento del canal. Estos documentos deben garantizar que todas las partes del canal sean construidas de acuerdo con los estándares de calidad y seguridad, y que el canal pueda operar de manera eficiente durante su vida útil prevista. La supervisión durante la construcción y la implementación de un plan de mantenimiento regular son cruciales para asegurar que el canal funcione correctamente y cumpla con sus objetivos de diseño a largo plazo.

## 2.2.10 Cálculo de flujo uniforme

El cálculo de flujo uniforme es un proceso fundamental en la hidráulica de canales y ríos, utilizado para determinar las características del flujo en condiciones donde la profundidad, la velocidad y el caudal del agua permanecen constantes a lo largo de un tramo del canal. Este tipo de flujo se asume cuando las fuerzas impulsoras, como la pendiente del canal y la energía del flujo, están equilibradas por las fuerzas resistivas, como la fricción del lecho del canal. El cálculo del flujo uniforme es crucial para el diseño y análisis de sistemas de canales de riego, drenajes, alcantarillados y otros tipos de conductos abiertos, ya que permite predecir cómo se comportará el flujo bajo condiciones estables.

Uno de los métodos más comunes para calcular el flujo uniforme es utilizando la fórmula de Manning, que relaciona el caudal del flujo ( $Q$ ), la pendiente del canal ( $S$ ), la



rugosidad del lecho del canal ( $n$ ), y el área hidráulica ( $A$ ) con el radio hidráulico ( $R$ ). La fórmula de Manning se expresa como:

$$Q=1/n(AR^{2/3}S^{1/2})$$

Donde:

- $Q$  es el caudal del flujo,
- $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning, que depende del material y la condición del lecho del canal,
- $A$  es el área de la sección transversal del flujo.
- $R$  es el radio hidráulico, definido como el área de la sección transversal dividida por el perímetro mojado.
- $S$  es la pendiente del canal.

Para aplicar la fórmula de Manning, es necesario conocer o estimar el coeficiente de rugosidad, que varía según el tipo de material del lecho (como tierra, grava, concreto o vegetación), así como las características geométricas del canal. Una vez determinados estos valores, se puede resolver la ecuación para encontrar el caudal, la velocidad del flujo o la profundidad del agua.

El cálculo del flujo uniforme también implica la verificación de que las condiciones del flujo realmente se mantienen uniformes a lo largo del tramo del canal. Esto significa que las pérdidas de energía por fricción deben ser exactamente compensadas por la energía proporcionada por la pendiente del canal. Si hay variaciones significativas en la profundidad o la velocidad del flujo, puede ser necesario ajustar el diseño del canal o considerar un análisis más detallado que incluya flujo variado.

El cálculo de flujo uniforme es esencial no solo para el diseño de nuevos canales, sino también para la evaluación y mantenimiento de canales existentes. Al proporcionar una base para entender cómo el agua se moverá en el sistema, este cálculo ayuda a asegurar que los canales funcionen eficientemente y cumplan con sus objetivos de manejo del agua, ya sea para riego, drenaje, control de inundaciones o suministro de agua potable.



Además, una correcta aplicación del cálculo de flujo uniforme contribuye a la sostenibilidad y la durabilidad de las infraestructuras hidráulicas, minimizando los riesgos de erosión, sedimentación y otros problemas que pueden afectar el rendimiento del sistema.

## 2.2.11 HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para la modelización y simulación de sistemas fluviales y la gestión de recursos hídricos. HEC-RAS permite a los ingenieros y profesionales del agua realizar análisis complejos de flujo hidráulico en ríos y arroyos, utilizando tanto modelos unidimensionales (1D) como bidimensionales (2D). Este software es ampliamente utilizado para la planificación y diseño de infraestructuras hidráulicas, la gestión de inundaciones, la evaluación de riesgos, y estudios ambientales.

HEC-RAS se compone de varios módulos que permiten a los usuarios realizar diversos tipos de análisis. Los módulos principales incluyen el análisis de flujo permanente, el análisis de flujo no permanente, la simulación de transporte de sedimentos, y el modelado de calidad del agua. El flujo permanente se refiere a las condiciones en las que las propiedades del flujo no cambian con el tiempo, mientras que el flujo no permanente aborda situaciones en las que las condiciones del flujo varían con el tiempo. Estos módulos permiten simular una amplia gama de escenarios hidráulicos y evaluar cómo las infraestructuras y las modificaciones en el cauce del río pueden afectar el comportamiento del flujo de agua.

Una de las características más destacadas de HEC-RAS es su capacidad para integrar datos topográficos detallados, como modelos digitales del terreno (DTM) y datos geoespaciales, para crear representaciones precisas del lecho del río y sus márgenes. Esto permite a los usuarios visualizar y analizar cómo diferentes configuraciones del terreno y estructuras hidráulicas afectan el flujo del agua. Además, HEC-RAS ofrece



herramientas avanzadas de visualización y generación de informes, que facilitan la interpretación de los resultados y la comunicación de los hallazgos a los interesados y tomadores de decisiones.

## 2.2.12 H-Canales

H-Canales, también conocidos como canales hidráulicos, son conductos diseñados para transportar agua de manera eficiente en sistemas de riego, drenaje, abastecimiento urbano y otras aplicaciones hidráulicas. Estos canales están diseñados meticulosamente para optimizar el flujo de agua, minimizar la pérdida de energía y evitar problemas como la erosión y la sedimentación. El diseño de un H-Canal incluye consideraciones detalladas sobre la geometría del canal, la pendiente, la rugosidad del lecho y los materiales de construcción.

La sección transversal de un H-Canal puede variar dependiendo de su aplicación y del volumen de agua que debe transportar. Las formas más comunes incluyen secciones trapezoidales, rectangulares y triangulares. Cada una de estas formas tiene ventajas específicas en términos de capacidad de flujo, facilidad de construcción y eficiencia hidráulica. Por ejemplo, los canales trapezoidales son populares debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de agua y su estabilidad estructural, mientras que los canales rectangulares son útiles en áreas urbanas donde el espacio es limitado.

El diseño hidráulico de H-Canales requiere el uso de principios de mecánica de fluidos y ecuaciones empíricas, como la ecuación de Manning, para determinar la relación óptima entre la velocidad del flujo, la pendiente del canal y la rugosidad del lecho. Este análisis permite a los ingenieros asegurarse de que el canal pueda transportar el caudal de diseño de manera eficiente sin causar daños estructurales ni problemas ambientales. Además, el diseño debe considerar la capacidad del canal para manejar flujos máximos durante eventos extremos, como tormentas o crecidas, garantizando así la protección de las áreas circundantes y la infraestructura asociada.



H-Canales también pueden incluir estructuras adicionales como compuertas de control, vertederos, y estructuras de disipación de energía, que ayudan a gestionar el flujo de agua y a mantener la estabilidad del sistema. Estas estructuras permiten un control preciso del nivel del agua y la distribución del flujo, lo cual es crucial en sistemas de riego y en la gestión de recursos hídricos.

### **2.2.13 Modelamiento hidráulico**

Utiliza principios de la mecánica de fluidos y métodos numéricos para simular y predecir el comportamiento del agua en sistemas hidráulicos. Este proceso se lleva a cabo utilizando software especializado y se aplica en una variedad de aplicaciones, desde el diseño de infraestructuras hidráulicas hasta la gestión de riesgos de inundaciones y la evaluación del impacto ambiental.

En el modelamiento hidráulico, se construyen representaciones matemáticas y computacionales de sistemas como ríos, embalses, canales, redes de drenaje y sistemas de alcantarillado. Estos modelos capturan variables clave como la velocidad del flujo, la profundidad del agua, la presión y las interacciones con estructuras como compuertas y bombas. Los modelos pueden ser unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) o tridimensionales (3D), dependiendo de la complejidad del sistema y los detalles necesarios para la simulación precisa.

Uno de los objetivos principales del modelamiento hidráulico es prever cómo responderá un sistema hidráulico ante diferentes escenarios, como cambios en los caudales de agua debido a lluvias intensas, variaciones estacionales o modificaciones en la topografía debido a actividades humanas.

El modelamiento hidráulico también juega un papel crucial en la evaluación del impacto ambiental, permitiendo a los científicos simular cómo las modificaciones en los sistemas hidráulicos afectarán la calidad del agua, la flora y fauna locales, y los ecosistemas circundantes. Esto es especialmente importante en proyectos de desarrollo



urbano, industrial y agrícola, donde la gestión sostenible de los recursos hídricos es clave para garantizar la salud y el bienestar de las comunidades y el entorno natural.

## 2.2.14 Diseño hidráulico de obras de arte

El diseño hidráulico de obras de arte se refiere al proceso especializado de planificación, diseño y construcción de estructuras hidráulicas que cumplen funciones artísticas y funcionales en entornos urbanos y naturales. Estas obras de arte pueden incluir puentes, compuertas, presas, diques y otros tipos de estructuras que no solo facilitan el paso seguro del agua y la gestión de los recursos hídricos, sino que también añaden valor estético y cultural a su entorno.

Uno de los aspectos fundamentales del diseño hidráulico de obras de arte es asegurar que estas estructuras sean capaces de resistir las fuerzas hidráulicas a las que están expuestas, como las presiones del agua y las cargas sísmicas. Esto implica el uso de materiales resistentes y técnicas de construcción avanzadas para garantizar la durabilidad y la seguridad a largo plazo. Además, se consideran aspectos como la capacidad de manejo del caudal, la mitigación de posibles impactos ambientales y la integración armónica con el paisaje circundante.

El diseño también debe tener en cuenta factores estéticos y culturales, asegurando que la obra de arte hidráulica complemente y realce su entorno urbano o natural. Esto puede implicar la selección de formas arquitectónicas que reflejen la historia local o la cultura regional, o el uso de materiales que se integren visualmente con el paisaje circundante.

El modelamiento hidráulico juega un papel crucial en el diseño de obras de arte, permitiendo a los ingenieros simular cómo el agua interactuará con la estructura en diferentes condiciones, como caudales máximos durante las crecidas o períodos de sequía. Esto ayuda a optimizar el diseño para garantizar un rendimiento hidráulico eficiente y prever posibles problemas de operación.



## **Tomas laterales**

Las tomas laterales son estructuras hidráulicas diseñadas para captar y desviar agua de un cuerpo de agua principal, como un río o un canal, hacia canales secundarios o sistemas de distribución. Estas tomas se ubican a lo largo de los márgenes del cuerpo de agua y están diseñadas para captar el agua de manera eficiente mientras minimizan la erosión y el impacto ambiental. El diseño de las tomas laterales varía según la naturaleza del flujo de agua, la topografía del terreno y los requisitos específicos del sistema de distribución de agua.

Una característica común de las tomas laterales es la presencia de estructuras de control, como compuertas o válvulas, que regulan el flujo de agua captado hacia los canales secundarios. Estas estructuras permiten ajustar la cantidad de agua derivada según las necesidades de riego, abastecimiento urbano o industrial, y otros usos. Además, las tomas laterales suelen estar equipadas con filtros y rejillas para evitar la entrada de sedimentos y materiales flotantes, asegurando así la calidad del agua captada.

El diseño de las tomas laterales también considera aspectos como la profundidad del agua en el cuerpo principal, la velocidad del flujo, y la capacidad de manejo de caudales máximos durante períodos de crecida. Esto se logra mediante análisis hidráulicos y modelamiento que determinan las dimensiones óptimas de las estructuras de captación y los canales secundarios para garantizar un funcionamiento eficiente y duradero.

## **Transiciones**

Las transiciones en ingeniería hidráulica se refieren a las secciones de un canal, tubería o conducto donde se produce un cambio gradual en las dimensiones geométricas, la pendiente, la rugosidad o la forma del flujo. Estas transiciones son diseñadas para optimizar el rendimiento hidráulico y minimizar las pérdidas de energía durante el transporte de agua o fluidos.

Uno de los propósitos principales de las transiciones es facilitar la transición suave del flujo de un régimen a otro, por ejemplo, de un flujo supercrítico a uno subcrítico, o de



una sección con una pendiente diferente. Esto ayuda a reducir la turbulencia, la erosión y otros efectos adversos que podrían afectar la estabilidad del flujo y la estructura del conducto. Además, las transiciones son fundamentales para garantizar que el flujo de agua se mantenga dentro de límites seguros y eficientes, especialmente en sistemas hidráulicos críticos como presas, canales de riego y redes de alcantarillado.

En términos de diseño, las transiciones pueden incluir cambios graduales en la sección transversal del conducto, la curvatura de las paredes o la rugosidad del lecho. Estos cambios están calculados cuidadosamente utilizando métodos de modelado hidráulico y principios de mecánica de fluidos para asegurar que el flujo se mantenga estable y eficiente a lo largo de toda la estructura. Además, las transiciones suelen estar diseñadas con dispositivos de control, como compuertas o válvulas, que permiten ajustar el flujo de agua según las demandas operativas y las condiciones ambientales cambiantes.

## Caídas

En ingeniería hidráulica, las caídas se refieren a las estructuras diseñadas para permitir que el agua descienda verticalmente en un canal, tubería o conducto, generalmente para superar cambios en el nivel topográfico del terreno o para controlar la velocidad del flujo. Estas estructuras, también conocidas como saltos de agua o desniveles, son fundamentales en diversos tipos de infraestructuras hidráulicas, como presas, centrales hidroeléctricas, escalas de peces y sistemas de riego.

Las caídas pueden diseñarse de diferentes formas y tamaños según las necesidades específicas del proyecto y las condiciones del sitio. Por ejemplo, las caídas pueden ser simples, como un escalón o una pendiente suave, o más complejas, como vertederos con compuertas para controlar el flujo de agua. El diseño de las caídas tiene como objetivo principal minimizar la energía cinética del flujo, reduciendo así la erosión y la turbulencia que podrían dañar la estructura y el entorno circundante.

En términos de funcionamiento, las caídas permiten que el agua se mueva de manera controlada y eficiente a través de diferentes niveles de elevación. Esto es crucial



en aplicaciones como la generación de energía hidroeléctrica, donde las caídas son utilizadas para canalizar el agua desde un nivel superior (embalse) hasta una turbina, donde se convierte en energía eléctrica mediante la rotación de una turbina conectada a un generador.

Además de su función práctica, las caídas pueden tener impactos ambientales y sociales significativos. Por ejemplo, en la construcción de presas, las caídas pueden alterar el hábitat acuático y la migración de especies, lo que requiere medidas de mitigación ambiental como escalas de peces y programas de monitoreo. Asimismo, las caídas pueden ser una atracción turística importante en algunas regiones, contribuyendo al desarrollo económico local y al ecoturismo.

## **Aforador Parshall**

El aforador Parshall es un dispositivo utilizado en ingeniería hidráulica para medir el caudal de agua que fluye por un canal abierto o una tubería parcialmente llena. Consiste en una estructura con una sección convergente, una garganta y una sección divergente, diseñada específicamente para crear una contracción controlada del flujo de agua. La principal función del aforador Parshall es proporcionar mediciones precisas y confiables del caudal, utilizando principios de hidrodinámica y mecánica de fluidos para calcular la velocidad del flujo en función de la altura del agua en la garganta del dispositivo.

El diseño del aforador Parshall permite que el agua fluya libremente a través de la garganta, donde se mide la altura del agua con respecto a una escala graduada integrada en la estructura. Esta altura de agua se correlaciona directamente con el caudal de agua que pasa a través del dispositivo, según las características específicas del aforador Parshall y las ecuaciones empíricas establecidas para su calibración. Estos dispositivos son particularmente útiles en aplicaciones donde se requiere monitoreo continuo del flujo, como en sistemas de irrigación, redes de alcantarillado, estudios hidrológicos y operaciones industriales.



La precisión de las mediciones del aforador Parshall depende de varios factores, incluyendo la geometría precisa del dispositivo, la limpieza y mantenimiento adecuados, así como la correcta aplicación de las ecuaciones de calibración para convertir la altura del agua en valores de caudal. Además, su diseño modular y relativamente simple permite una instalación y mantenimiento más sencillos en comparación con otros tipos de medidores de caudal, lo que lo convierte en una opción popular en muchas aplicaciones hidráulicas y ambientales.

## **Retenciones**

Las retenciones, en el contexto de la ingeniería hidráulica, se refieren a estructuras diseñadas para controlar y regular el flujo de agua en sistemas de drenaje, canales, ríos y redes de alcantarillado. Estas estructuras son cruciales para prevenir inundaciones, controlar el nivel del agua y regular el flujo en momentos de crecida. Las retenciones pueden variar en tamaño y complejidad, desde simples compuertas manuales hasta sofisticados sistemas automatizados que responden automáticamente a cambios en las condiciones hidrológicas.

Uno de los usos más comunes de las retenciones es en la gestión de ríos y cuerpos de agua, donde se utilizan para regular el flujo durante diferentes estaciones y condiciones climáticas. Por ejemplo, las retenciones pueden abrirse para permitir el paso controlado de agua durante períodos de lluvias intensas o cerrarse para almacenar agua durante períodos secos, optimizando así el uso de recursos hídricos y protegiendo las áreas circundantes de posibles daños por inundaciones.

Además de su función principal de control de flujo, las retenciones también pueden incorporar características adicionales como sistemas de medición de caudal, dispositivos de limpieza de sedimentos y tecnología de monitoreo para asegurar su funcionamiento óptimo y mantener la integridad estructural a lo largo del tiempo. Esto es crucial no solo para la eficiencia operativa de las infraestructuras hidráulicas, sino también para la



seguridad de las comunidades y el medio ambiente que dependen de una gestión adecuada del agua.

El diseño y la ubicación estratégica de las retenciones dependen de varios factores, incluyendo la topografía del terreno, el caudal esperado, la frecuencia de inundaciones y las necesidades específicas del proyecto. Los ingenieros hidráulicos utilizan modelos matemáticos y técnicas de simulación para evaluar diferentes escenarios y determinar el diseño más efectivo y económico para cada aplicación.

En conclusión, las retenciones desempeñan un papel vital en la gestión y regulación del flujo de agua en sistemas hidráulicos, proporcionando tanto beneficios prácticos como ambientales. Su diseño y operación eficientes son fundamentales para asegurar la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de las infraestructuras hidráulicas en una variedad de entornos urbanos, rurales e industriales.

## 2.3 Marco conceptual

- a. **Caudal.** - El caudal hidráulico es un parámetro crucial en la ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos, ya que permite evaluar la capacidad de transporte de agua de un sistema y dimensionar adecuadamente infraestructuras como canales, tuberías, compuertas y presas (Llorach, 2020).
- b. **Canal de riego.** - Un canal de riego es una infraestructura hidráulica diseñada y construida para transportar agua desde una fuente, como un río, embalse, o pozo, hasta áreas agrícolas para el riego de cultivos. Los canales de riego se diseñan con una sección transversal adecuada para manejar el caudal de agua necesario, y suelen incluir sistemas de control y distribución que permiten regular el flujo y asegurar una distribución uniforme del agua a lo largo del trayecto (Llorach, 2020).
- c. **Compuerta.** - Una compuerta es un dispositivo de control hidráulico instalado en canales, presas, embalses, ríos o sistemas de alcantarillado para regular, desviar o detener el flujo de agua. Operacionalmente, una compuerta se define por su capacidad



para abrirse y cerrarse de manera controlada, permitiendo el ajuste preciso del caudal y el nivel del agua en un sistema hidráulico. (Sotil, 2019).

- d. **Desarenador.** - Un desarenador es un dispositivo o estructura hidráulica diseñada para remover partículas de arena y sedimentos suspendidos en el agua antes de que esta sea conducida a otros sistemas o instalaciones, como plantas de tratamiento, canales de riego o tuberías. Su objetivo principal es proteger el equipo y mejorar la calidad del agua reduciendo la carga de sólidos que podrían causar obstrucciones, desgaste o daños.
- e. **Diseño de canal.** - El diseño de canal es el proceso de planificación y elaboración de especificaciones técnicas para la construcción de canales destinados al transporte de agua para riego, drenaje, abastecimiento urbano, control de inundaciones, o cualquier otra aplicación hidráulica. Este proceso incluye la determinación de la forma, tamaño, pendiente, revestimiento, y otros aspectos estructurales y funcionales del canal para asegurar su eficiencia, durabilidad y sostenibilidad. (Sotil, 2019).
- f. **H-Canales.** - H-Canales, en el contexto de la ingeniería hidráulica, se refiere a canales específicamente diseñados para el transporte y la distribución de agua en sistemas de riego, drenaje, abastecimiento de agua, y otras aplicaciones hidráulicas. La "H" puede denotar "hidráulico" o "hídrico," indicando su propósito y función en la gestión de recursos hídricos (Llorach, 2020).
- g. **HEC-RAS.** - El Sistema de Análisis Fluvial del Centro de Ingeniería Hidrológica, a veces conocido como HEC-RAS, es un programa informático desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos con el fin de realizar modelizaciones y análisis hidráulicos de sistemas fluviales. Este programa permite a los ingenieros y otros profesionales del agua simular y evaluar el comportamiento del flujo de agua en ríos y canales, utilizando modelos unidimensionales (1D) y bidimensionales (2D). HEC-



RAS es una herramienta esencial para el diseño, planificación y gestión de proyectos hidráulicos. (Llorach, 2020).

- h. Pérdidas de canales.** - Las pérdidas de canales son reducciones en la cantidad de agua transportada a través de un canal debido a diversos factores, incluyendo infiltración, evaporación, filtraciones, y otras formas de desperdicio hidráulico. Estas pérdidas son importantes en la planificación y diseño de sistemas de riego, abastecimiento de agua y drenaje, ya que afectan la eficiencia y la efectividad del transporte de agua (Llorach, 2020).
- i. Resalto hidráulico.** - El resalto hidráulico es un fenómeno que ocurre en los flujos abiertos cuando el agua pasa de una condición de flujo rápido y superficial (supercrítico) a una condición de flujo lento y profundo (subcrítico). Este cambio brusco de condiciones de flujo resulta en la formación de una onda de choque, o resalto, que se caracteriza por un incremento súbito en el nivel del agua y una considerable disipación de energía (Llorach, 2020).
- j. Remanso.** - Un remanso es una zona de un curso de agua donde el flujo se encuentra temporalmente detenido o es significativamente reducido en velocidad, generalmente debido a una obstrucción, cambio en el perfil del terreno o una estructura hidráulica. En contraste con el flujo activo y rápido, el remanso se caracteriza por aguas estancadas o con movimiento lento, y puede ser creado intencionalmente en el diseño de sistemas hidráulicos para diversas aplicaciones, como la protección de estructuras, la mejora de la calidad del agua o la gestión de sedimentos. (Cedeño, 2019)
- k. Sección trapezoidal.** - Una sección trapezoidal es una forma geométrica utilizada en el diseño de canales y estructuras hidráulicas que se caracteriza por su perfil en forma de trapecio. Este diseño se emplea para optimizar el flujo de agua, maximizar la eficiencia hidráulica y facilitar la construcción y el mantenimiento de los canales. (Cedeño, 2019).



- i. Sección triangular.** - Una sección triangular es una forma geométrica utilizada en el diseño de canales y estructuras hidráulicas que tiene un perfil en forma de triángulo. Esta configuración se emplea para optimizar el flujo de agua, proporcionando un perfil eficiente en términos de capacidad de transporte y estabilidad. (Cedeño, 2019).
- m. Sección parabólica.** - Una sección parabólica es una forma geométrica utilizada en el diseño de canales y estructuras hidráulicas que tiene un perfil en forma de parábola. Esta configuración se emplea para optimizar la eficiencia hidráulica y minimizar la resistencia al flujo de agua. La forma parabólica es particularmente eficaz para mantener una distribución uniforme del flujo y reducir la erosión en los canales (Cedeño, 2019).
- n. Sección circular.** - Una sección circular es un tipo de perfil geométrico utilizado en el diseño de canales y tuberías que tiene una forma redonda, con un diámetro constante en toda su longitud. Este perfil es común en la ingeniería hidráulica y civil debido a su eficiencia en el transporte de fluidos y su capacidad para soportar presiones internas (Cedeño, 2019).
- o. Sección de máxima eficiencia.** - Una sección de máxima eficiencia es un perfil geométrico en un canal o estructura hidráulica diseñado para optimizar la capacidad de flujo y minimizar la resistencia al transporte de agua o fluidos. Este diseño busca maximizar el caudal mientras se minimizan las pérdidas de energía y se asegura una operación estable y efectiva del sistema hidráulico (Cedeño, 2019).
- p. Sección de mínima infiltración.** - Una sección de mínima infiltración es un diseño de perfil de canal o estructura hidráulica diseñado para reducir al máximo la cantidad de agua que se filtra hacia el suelo desde el canal o estructura. Este tipo de diseño se emplea en situaciones donde es crucial minimizar las pérdidas de agua por infiltración para mantener la eficiencia del sistema hidráulico, como en canales de riego, sistemas de drenaje y conducciones de agua. (Cedeño, 2019).



- q. Tirante crítico.** - El tirante crítico es un concepto hidráulico que se refiere al nivel de agua en un canal o estructura hidráulica en el cual el flujo de agua se encuentra en un estado de transición entre los regímenes de flujo subcrítico y supercrítico. En el tirante crítico, la energía específica del flujo es mínima para un caudal dado, lo que significa que el flujo tiene una velocidad crítica y una profundidad crítica (Cedeño, 2019).
- r. Tirante normal.** - El tirante normal se refiere a la profundidad del agua en un canal o estructura hidráulica cuando el flujo alcanza un estado de equilibrio estable, sin variaciones en la pendiente del canal o cambios en el caudal. En este estado, el flujo es constante y se dice que el tirante normal es el nivel de agua en el cual el flujo es uniforme y se mantiene sin variaciones significativas a lo largo del canal. (Cedeño, 2019).
- s. Vertederos.** - Un vertedero es una estructura hidráulica diseñada para controlar el flujo de agua y permitir la descarga controlada de un caudal excedente desde un embalse, represa, o canal hacia un río o sistema de drenaje. Los vertederos se utilizan comúnmente en ingeniería hidráulica para regular el nivel del agua, prevenir inundaciones, y gestionar el caudal en sistemas de almacenamiento y conducción de agua. (Cedeño, 2019).



## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Enfoque de investigación

Un enfoque de investigación cuantitativo para una tesis en ingeniería civil implica la recopilación y análisis de datos numéricos para abordar problemas específicos del campo. Este enfoque se basa en métodos estadísticos y matemáticos para medir variables, evaluar relaciones entre ellas y probar hipótesis previamente formuladas (Ccanto, 2018).

#### 3.2 Método de investigación

Un método de investigación científico para una tesis en ingeniería civil implica un proceso sistemático que comienza con la identificación y definición clara del problema de investigación. A partir de esto, se formula una hipótesis basada en la revisión de literatura y conocimientos previos (Ccanto, 2018).

#### 3.3 Tipo de investigación

La investigación aplicada en una tesis para ingeniería civil se centra en la resolución práctica de problemas específicos mediante la aplicación de teorías y metodologías



científicas. Este tipo de investigación se orienta hacia la obtención de resultados que puedan ser directamente implementados para mejorar prácticas, procesos, o diseños en el campo de la ingeniería civil (Ccanto, 2018).

### **3.4 Nivel de Investigación**

Un nivel de investigación descriptivo en una tesis para ingeniería civil implica la observación y descripción detallada de fenómenos, procesos o estructuras sin intervenir en ellos ni manipular variables. Este tipo de investigación se enfoca en caracterizar el estado actual de una infraestructura, material, o técnica específica mediante la recopilación de datos precisos y sistemáticos (Ccanto, 2018).

### **3.5 Diseño de investigación**

El diseño no experimental de una investigación es un enfoque metodológico en el cual el investigador no manipula variables ni controla el entorno del estudio de manera directa. En lugar de eso, se observa, describe y analiza fenómenos tal como ocurren en su contexto natural (Ccanto, 2018).

### **3.6 Población y muestra**

#### **3.6.1 Población**

La población de la presente investigación vendrá a ser el canal de riego existente del distrito de Coasa, provincia de Carabaya, en el sureste del departamento de Puno.

#### **3.6.2 Muestra**

La muestra que se empleará para el estudio, será empezando en la progresiva 2+000 hasta 3+000 de canal de riego, empezando en el cercado hasta barrio las cantutas del distrito de Coasa.

**Figura 3**

*Ubicación del terreno.*



### 3.6.3 Muestreo

Sin embargo, debido al tamaño limitado del canal, el método de muestreo que se utilizará en nuestro proyecto de estudio no será probabilístico. Esta decisión se tomó por conveniencia. Se seleccionará para su reparación una porción del canal que se encuentre en un estado más precario en comparación con las demás secciones.

### 3.6.4 Unidad de análisis

En este caso concreto, la sección urbana que tiene exactamente mil metros de longitud se considera la unidad de observación que actúa como objeto de categorización para los registros que se crearon por este motivo concreto.



### 3.6.5 Procedimiento

1. Evaluación de canal de riego
2. Adquisición de información.
3. Examen de la fiabilidad de los datos.
4. Determinación de los parámetros
5. Identificación de áreas con características similares.
6. Evaluación de discrepancias y uniformidad.
7. Confirma la uniformidad y discrepancia de los datos.
8. Elección de ensayos
9. Cálculo de valores extremos.
10. Creación de representaciones gráficas

### 3.6.6 Técnicas e instrumentos de investigación.

**Tabla 2**

*Resumen de las técnicas e instrumentos*

Tesis	Técnica	Instrumento
Verificaciones de campo	• Observación	• Equipo Topográfico
	• Entrevista	• Formatos
Verificaciones de gabinete	• Recopilación documental	• Formatos especializados
	• Cuestionarios	• Formatos
Cálculos y modelación	• Modelamiento prospectivo	• Software HEC-RAS
Análisis de los resultados	• Análisis Comparativo	• Fichas y tablas específicas

## 3.7 Procesamiento y análisis de datos

### 3.7.1 Desarrollo de la investigación

FASE 01: Selección de puntos.

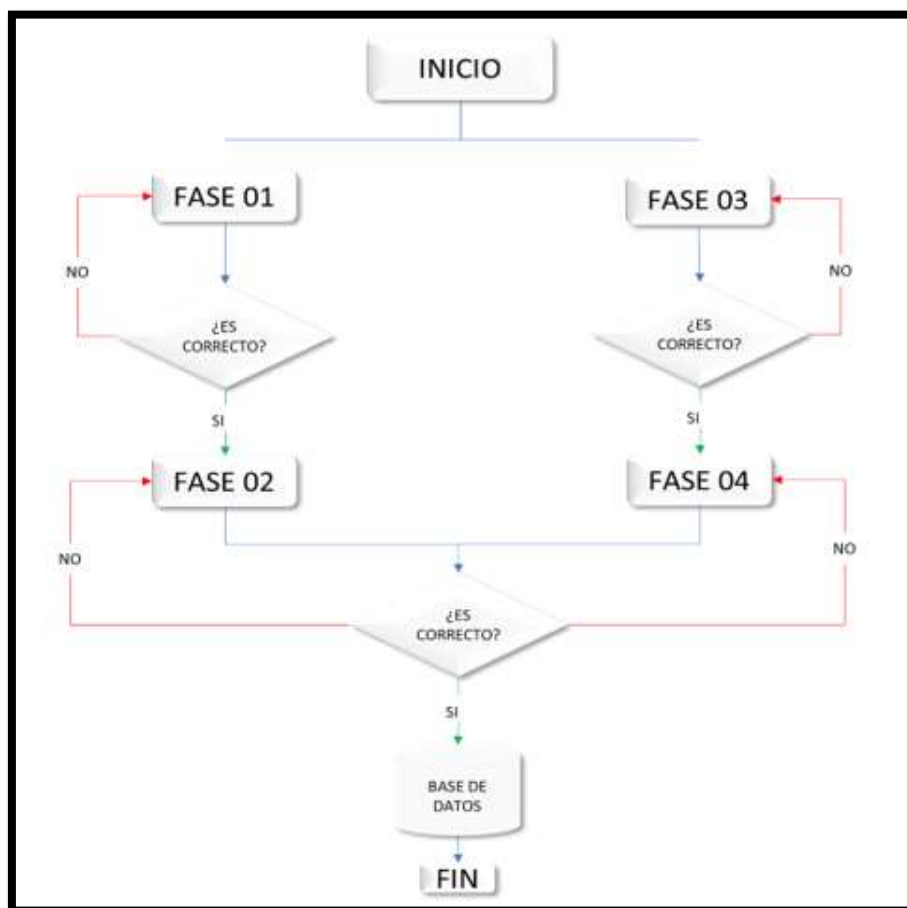
FASE 02: Desarrollo de software HEC-RAS.

FASE 03: Selección de resultados.

FASE 04: Modelamiento hidráulico.

**Figura 4**

*Diagrama de flujo de proceso de ensayos*





## **3.8 Validación y de instrumentos y confiabilidad**

### **3.8.1 Validación de instrumentos**

Con el uso de esta técnica, se puede tener la certeza de que los equipos son adecuados y que producen mediciones precisas y fiables de las variables pertinentes. En el transcurso de esta investigación, el responsable del laboratorio se encargó de realizar la validación de los instrumentos.

### **3.8.2 Confiabilidad de instrumentos**

Cuando hablamos de la fiabilidad de los instrumentos de investigación, nos referimos a la coherencia y estabilidad de las mediciones que se obtienen utilizando ese instrumento concreto. Dicho de otro modo, un instrumento se considera fiable si produce resultados coherentes y reproducibles cuando se utiliza en la misma población y en entornos comparables a los utilizados en otras situaciones. En la investigación, la fiabilidad es un componente esencial, ya que garantiza que las mediciones obtenidas son correctas y carecen de defectos causados por el azar.



## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 Resultados obtenidos

##### 4.1.1 Características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales

Para la medición lineal se utilizó el método de sección-pendiente, y se eligieron las partes del canal y de sus orillas que tenían menos vegetación para que sirvieran de puntos de medición a lo largo del proceso de medición. Se utilizaron dos lugares distintos del canal para medir secciones de diez metros de longitud.

Se registró el tiempo transcurrido desde el inicio del tramo hasta que alcanzó una distancia de diez metros cuando estaba sumergido. La actividad mencionada se realizó veinte veces, cada una con un intervalo de tiempo diferente. Con estos datos se realizaron cálculos para determinar la velocidad media. También se tendrá en cuenta el área de la pieza situada al principio y al final del tramo de diez metros.



**Tabla 3**

*Parámetros hidráulicos*

	Tramo 1 3+500 - 3+000 km	Tramo 2 3+000 - 2+500 km	Tramo 3 2+500 - 2+000 km
Tirante (y)	1	1	1
Ancho de solera (b)	4	5	6
Talud (Z)	0.5	0.75	1
Coefficiente de rugosidad (n)	0.035	0.035	0.035
Pendiente (S)	0.043	0.043	0.043

**Tramo 1 – 3+500 – 3+000**

**Tabla 4**

*Velocidad tramo 3+500 – 3+400*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	5.0755	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 5**

*Velocidad tramo 3+400 – 3+300*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	16	0.7		0.00043
10	17	0.7		0.00043
10	16	0.7		0.00043
10	18	0.7		0.00043
10	18	0.7	5.0755	0.00043
10	16	0.7		0.00043
10	17	0.7		0.00043
10	16	0.7		0.00043
10	18	0.7		0.00043
10	18	0.7		0.00043



**Tabla 6**

*Velocidad tramo 3+300 – 3+200*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	5.0755	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 7**

*Velocidad tramo 3+200 – 3+100*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	5.0755	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 8**

*Velocidad tramo 3+100 – 3+000*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	5.0755	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

### Figura 5

Datos geométricos del tramo 1, 3+500 – 3+000

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	Coasa	Proyecto:	Tesis
Tramo:	3+500 - 3+000	Revestimiento:	

**Datos:**

Tirante (y):	1	m
Ancho de solera (b):	6	m
Talud (Z):	1	
Coefficiente de rugosidad (n):	0.035	
Pendiente (S):	0.043	m/m

**Resultados:**

Caudal (Q):	35.5283	m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v):	5.0755	m/s
Área hidráulica (A):	7.0000	m <sup>2</sup>	Perímetro (p):	8.8284	m
Radio hidráulico (R):	0.7929	m	Espejo de agua (T):	8.0000	m
Número de Froude (F):	1.7324		Energía específica (E):	2.3130	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

**Cuidado velocidad erosiva**

### Análisis de datos

Los datos obtenidos con los parámetros mencionados anteriormente:

Caudal (Q)	=	35.5283	m <sup>3</sup> /s
Área hidráulica (A)	=	7.0000	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R)	=	0.7929	m
Numero de froude (F)	=	1.7324	
Velocidad (v)	=	5.0755	m/s
Perímetro (p)	=	8.8284	m
Espejo de agua (T)	=	8.0000	m
Energía especifica (E)	=	2.3130	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	=	Subcrítico	

En consecuencia, podemos hacer la observación de que la geometría de la sección transversal del canal, en su estado actual, es extremadamente comparable a la geometría que se encontró en el campo. Del mismo modo, la velocidad presenta características



comparables, lo que demuestra que es erosiva y tiene un flujo a la vez subcrítico y turbulento.

## Tramo 2 – 3+000 – 2+500

**Tabla 9**

*Velocidad tramo 3+000 – 2+900*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.9629	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 10**

*Velocidad tramo 2+900 – 2+800*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.9629	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043



**Tabla 11**

*Velocidad tramo 2+800 – 2+700*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.9629	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 12**

*Velocidad tramo 2+700 – 2+600*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.9629	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 13**

*Velocidad tramo 2+600 – 2+500*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.9629	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Figura 6**

*Datos geométricos del tramo 2, 3+000 – 2+500*

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular
\_ □ ×

---

Lugar:

Tramo:

Proyecto:

Revestimiento:

---

**Datos:**

Tirante (y):  m

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

Coefficiente de rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m

---

**Resultados:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>

Radio hidráulico (R):  m

Número de Froude (F):

Tipo de flujo:

Velocidad (v):  m/s

Perímetro (p):  m

Espejo de agua (T):  m

Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Cuidado velocidad erosiva



Caudal (Q)	=	28.5369	m <sup>3</sup> /s
Área hidráulica (A)	=	5.7500	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R)	=	0.7667	m
Numero de froude (F)	=	1.6847	
Velocidad (v)	=	4.9629	m/s
Perímetro (p)	=	7.5000	m
Espejo de agua (T)	=	6.5000	m
Energía específica (E)	=	2.2554	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	=	Subcrítico	

Con lo cual se aprecia que la geometría de la sección transversal del canal en condiciones actuales tiene mucha similitud con lo obtenido en campo. Asimismo, la velocidad también tiene similitud, encontrándose que es erosiva, con un flujo subcrítico, turbulento

### Tramo 3 – 2+500 – 2+000

**Tabla 14**

*Velocidad tramo 2+500 – 2+400*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.7665	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043



**Tabla 15**

*Velocidad tramo 2+400 – 2+300*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.7665	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 16**

*Velocidad tramo 2+300 – 2+200*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.7665	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043



**Tabla 17**

*Velocidad tramo 2+200 – 2+100*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.7665	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Tabla 18**

*Velocidad tramo 2+100 – 2+000*

Distancia (m)	Tiempo (seg)	Factor de corrección	Velocidad (m/seg)	Pendiente (m/m)
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70	4.7665	0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	17	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043
10	18	0.70		0.00043
10	16	0.70		0.00043

**Figura 7**

Datos geométricos del tramo 3, 2+500 – 2+000

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

<b>Lugar:</b> <input type="text" value="Coasa"/>	<b>Proyecto:</b> <input type="text" value="Tesis"/>
<b>Tramo:</b> <input type="text" value="2+500 - 2+000"/>	<b>Revestimiento:</b> <input type="text"/>

**Datos:**

Tirante (y):	<input type="text" value="1"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="4"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.50"/>	
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.043"/>	m/m

**Resultados:**

Caudal (Q):	<input type="text" value="21.4493"/>	m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="4.7665"/>	m/s
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="4.5000"/>	m <sup>2</sup>	Perímetro (p):	<input type="text" value="6.2361"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.7216"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="5.0000"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.6041"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="2.1580"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Cuidado velocidad erosiva

Caudal (Q)	=	21.4493	m <sup>3</sup> /s
Área hidráulica (A)	=	4.5000	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R)	=	0.7216	m
Numero de froude (F)	=	1.6041	
Velocidad (v)	=	4.7665	m/s
Perímetro (p)	=	6.2361	m
Espejo de agua (T)	=	5.0000	m
Energía especifica (E)	=	2.1580	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	=	Subcrítico	

Con lo cual se aprecia que la geometría de la sección transversal del canal en condiciones actuales tiene mucha similitud con lo obtenido en campo. Asimismo, la velocidad también tiene similitud, encontrándose que es erosiva, con un flujo subcrítico, turbulento

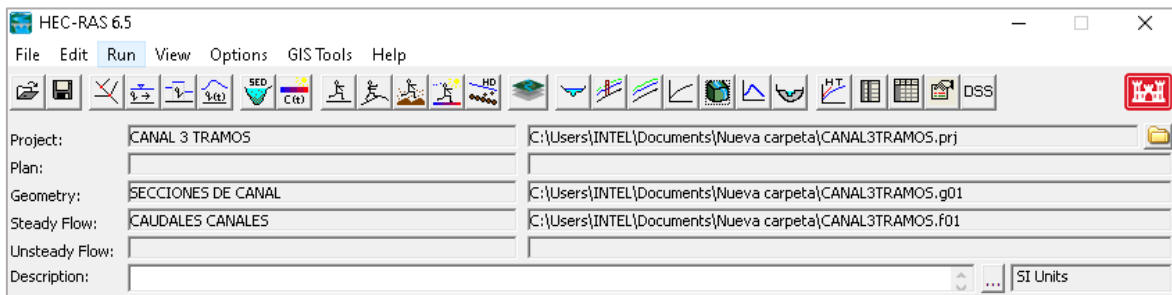
### 4.1.2 La modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para mejorar su comportamiento

Para el modelado en HEC-RAS se requirió de los siguientes parámetros:

- ✓ Longitud total del tramo urbano: 1500.00 m
- ✓ Pendiente promedio: 0.043 m/m
- ✓ Caudal tramo 1 (3+500 – 3+000): 35.5283 m<sup>3</sup>/seg
- ✓ Caudal tramo 2 (3+000 – 2+500): 28.5364 m<sup>3</sup>/seg
- ✓ Caudal tramo 3 (2+500 – 2+000): 21.4493 m<sup>3</sup>/seg
- ✓ Coeficiente de rugosidad: 0.035

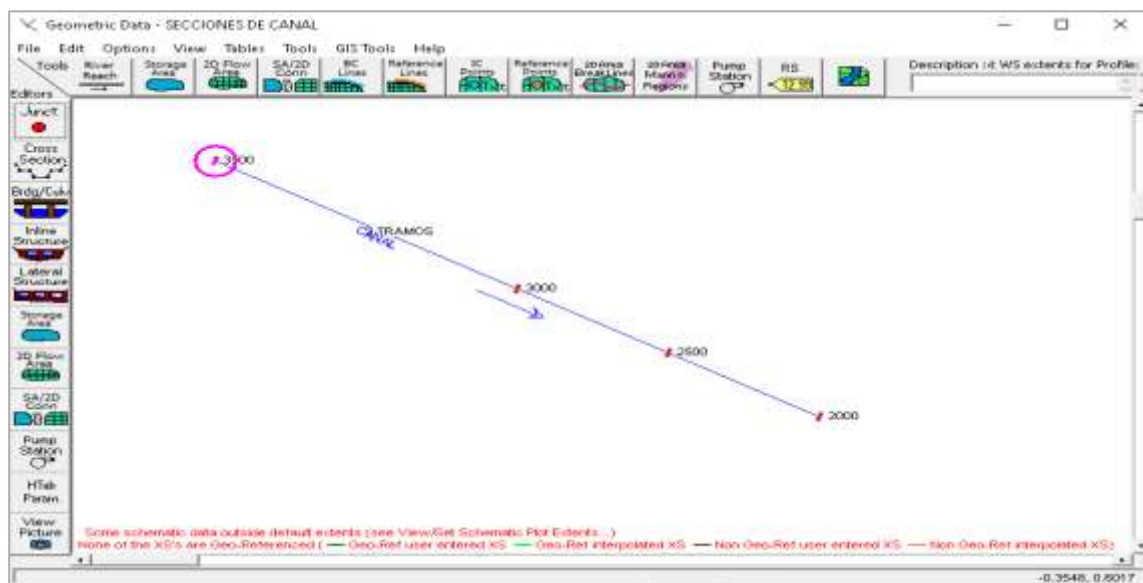
**Figura 8**

*Programa HEC-RAS 6.5*



**Figura 9**

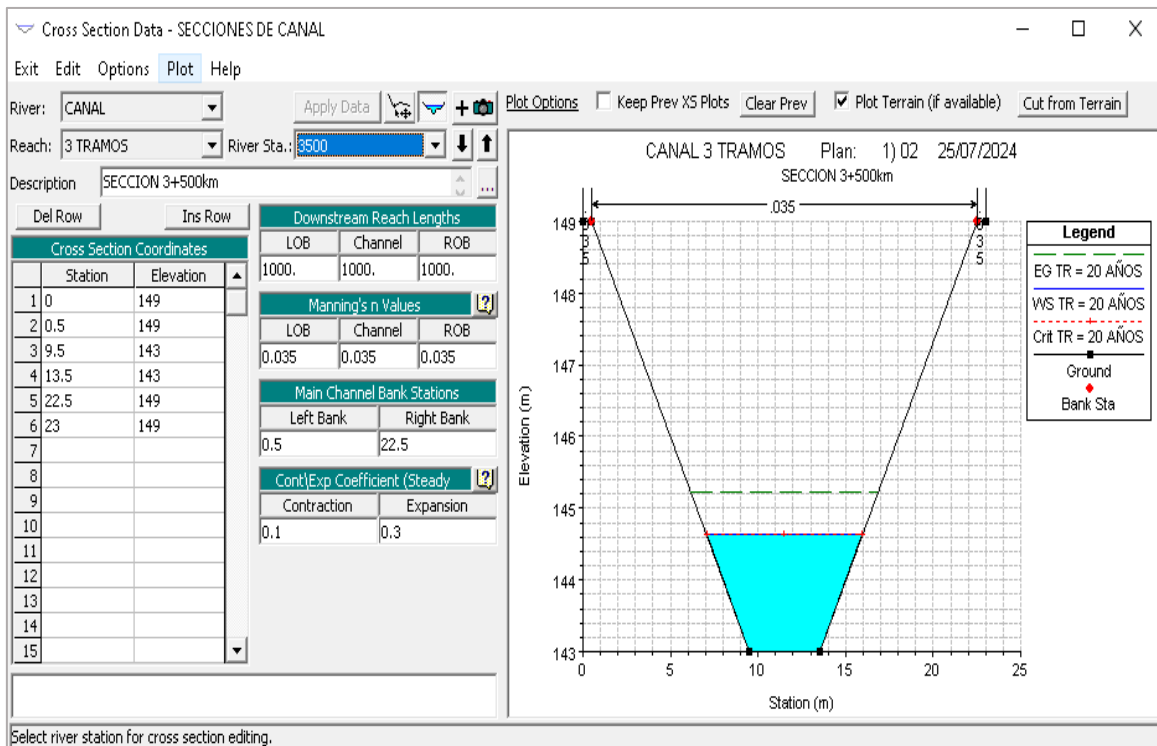
*Diseño de canal 3+500km hasta 2+000km*



Una vez definida la configuración del canal, se incorporó la geometría de las secciones transversales al diseño. Para ello, se utilizaron coordenadas específicas de la sección, considerando las condiciones particulares del entorno. La representación de estas coordenadas resultó clave para la precisión del modelo. Además, se evaluó la rugosidad del canal, un factor importante en el análisis hidráulico. Se trazaron también los límites de las estaciones, marcando las orillas del canal principal. Este proceso permitió una integración detallada y coherente de todos los elementos del diseño.

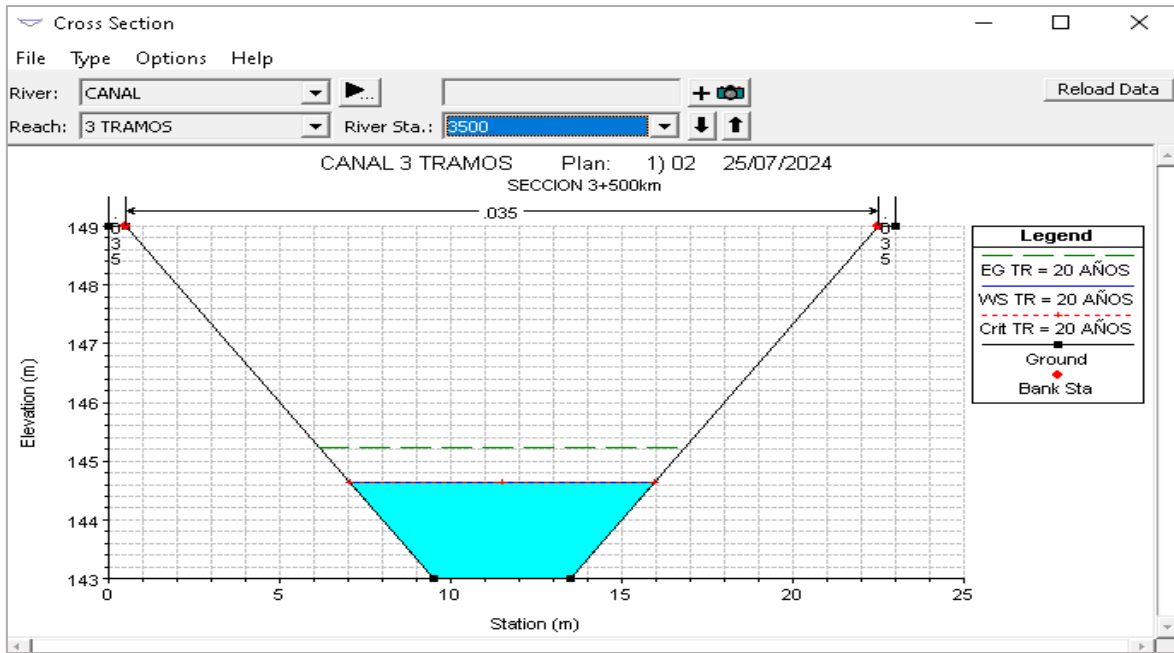
**Figura 10**

*Diseño de sección transversal 3+500km*



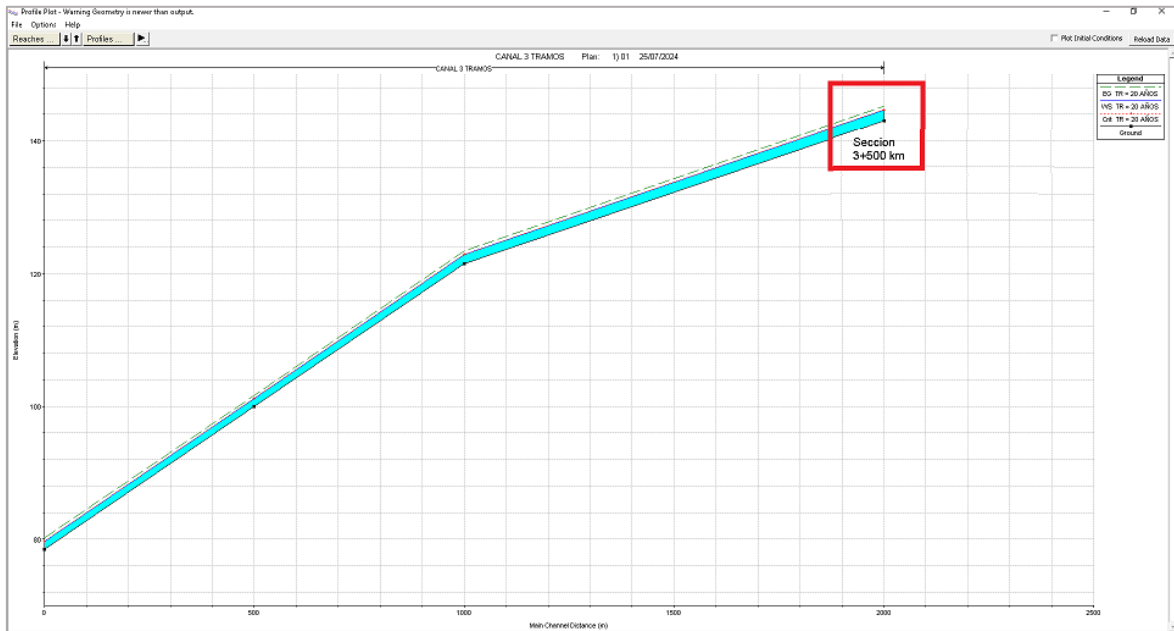
### Figura 11

Sección transversal 3+500km



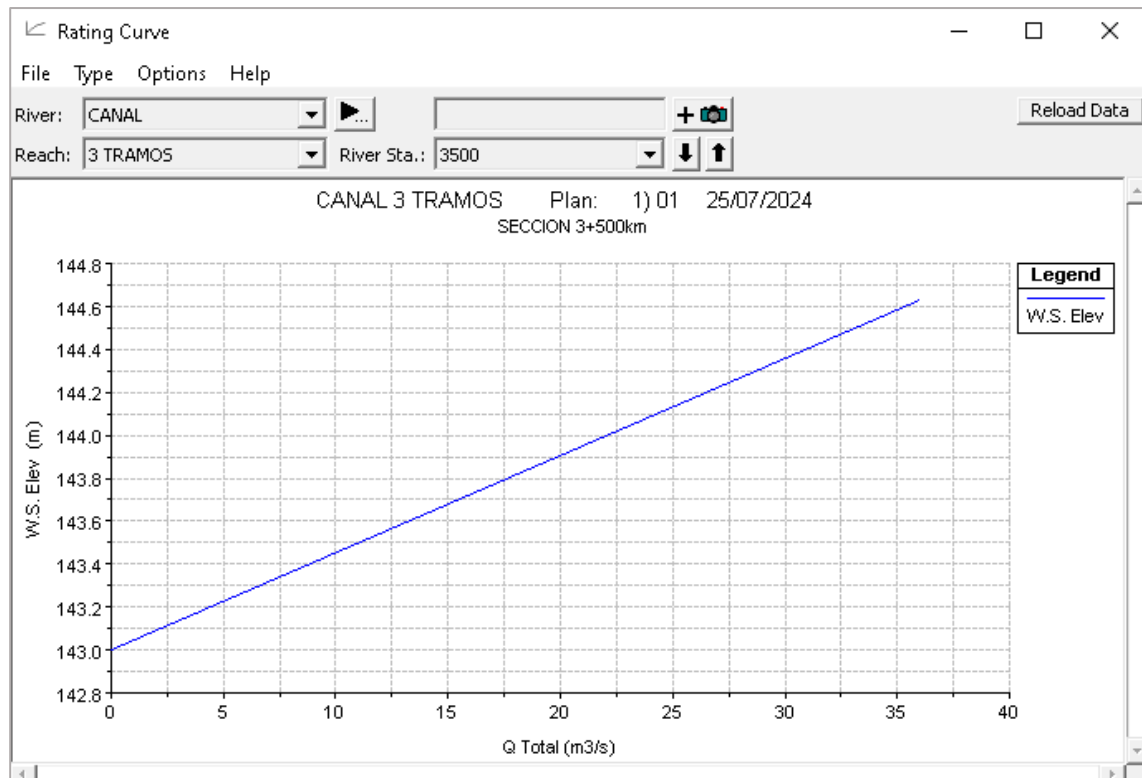
### Figura 12

Vista de perfil de la sección transversal 3+500km



**Figura 13**

*Relación elevación y caudal de la sección transversal 3+500km*



**Figura 14**

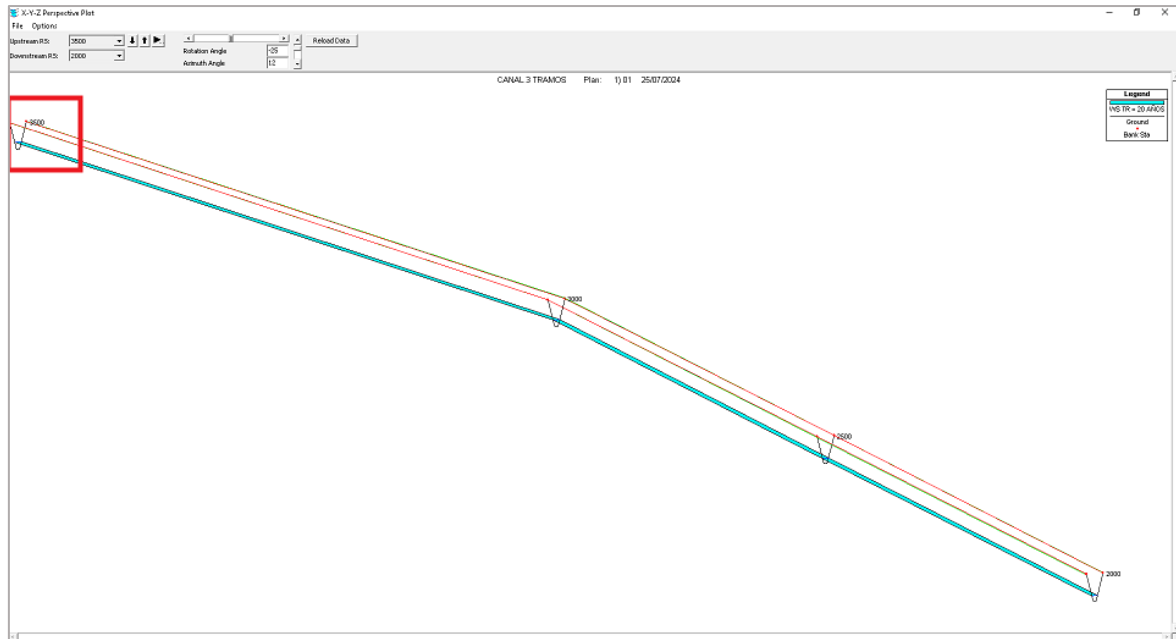
*Resultados de la sección transversal 3+500km*

Cross Section Output window showing a table of hydraulic parameters for the section 3+500km.

Plan: 01 CANAL 3 TRAMOS RS: 3500 Profile: TR = 20 AÑOS					
Element		Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	145.23				
Vel Head (m)	0.60				
W.S. Elev (m)	144.63				
Crit W.S. (m)	144.63				
E.G. Slope (m/m)	0.013243				
Q Total (m3/s)	36.00				
Top Width (m)	8.89				
Vel Total (m/s)	3.43				
Max Chl Dpth (m)	1.63				
Conv. Total (m3/s)	312.8				
Length Wtd. (m)	1000.00				
Min Ch El (m)	143.00				
Alpha	1.00				
Frctn Loss (m)	13.36				
C & E Loss (m)	0.02				
Element					
Wt. n-Val.			0.035		
Reach Len. (m)		1000.00	1000.00	1000.00	
Flow Area (m2)			10.51		
Area (m2)			10.51		
Flow (m3/s)			36.00		
Top Width (m)			8.89		
Avg. Vel. (m/s)			3.43		
Hydr. Depth (m)			1.18		
Conv. (m3/s)			312.8		
Wetted Per. (m)			9.88		
Shear (N/m2)			138.14		
Stream Power (N/m s)			473.30		
Cum Volume (1000 m3)			17.00		
Cum SA (1000 m2)			16.34		

**Figura 15**

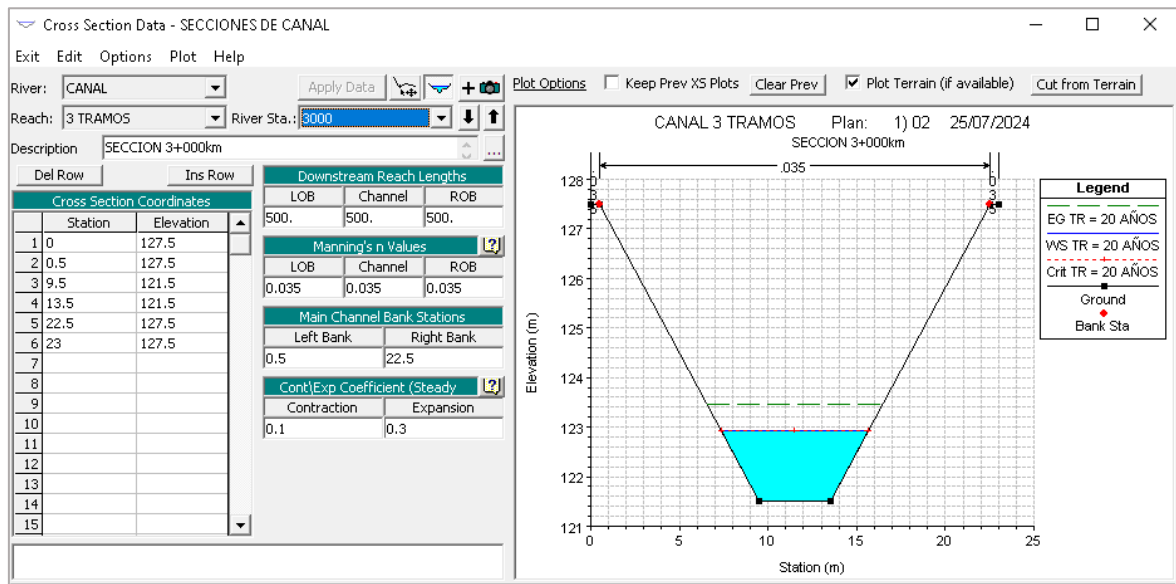
Vista X, Y, Z sección transversal 3+500 km



Sección transversal progresiva 3+500 en vista x, y, z.

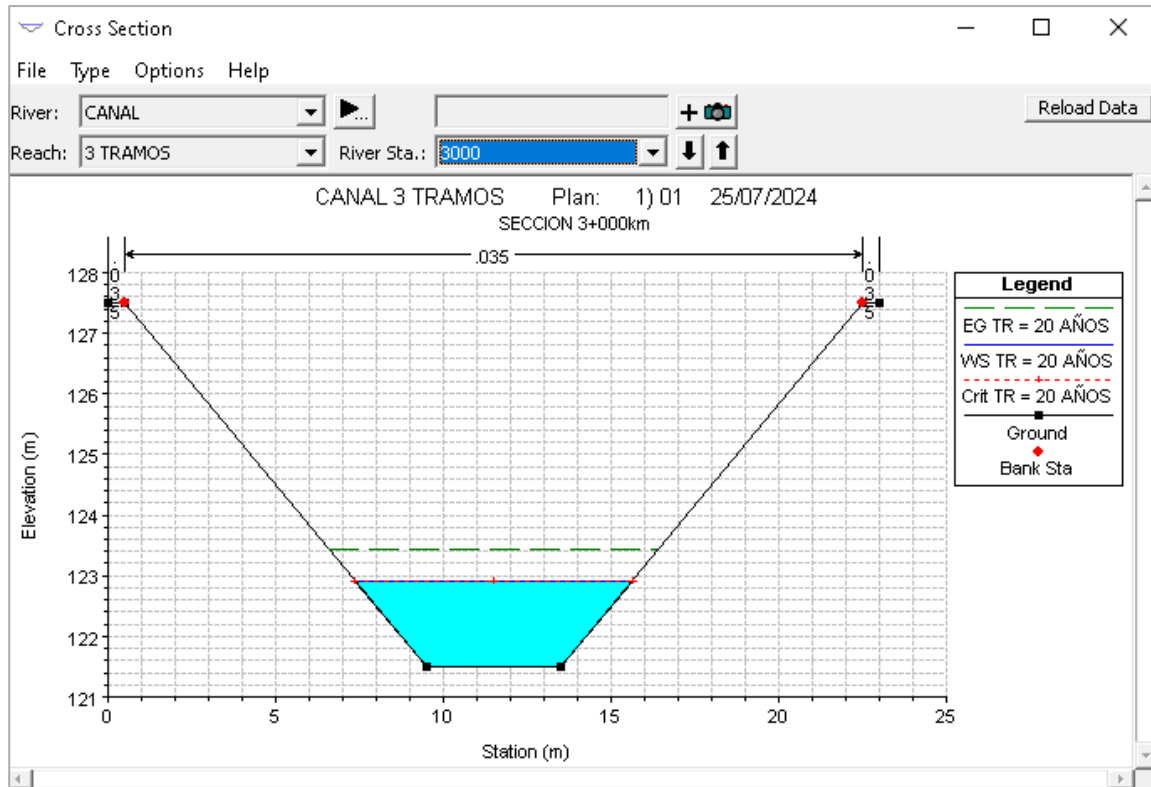
**Figura 16**

Diseño de sección transversal 3+000km



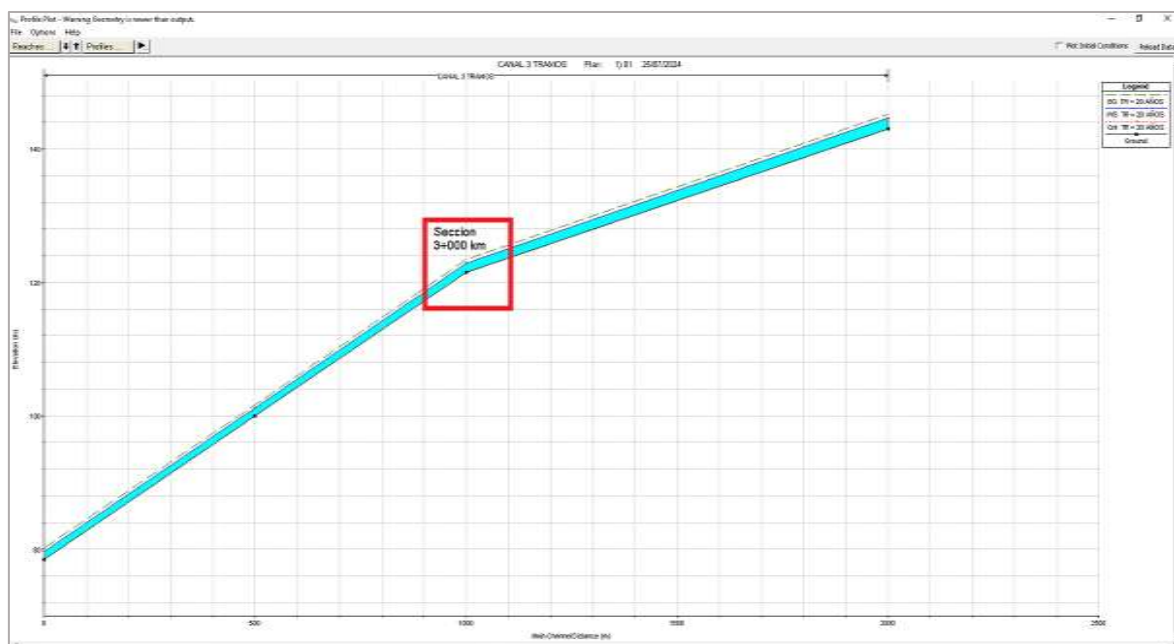
### Figura 17

Sección transversal 3+000km



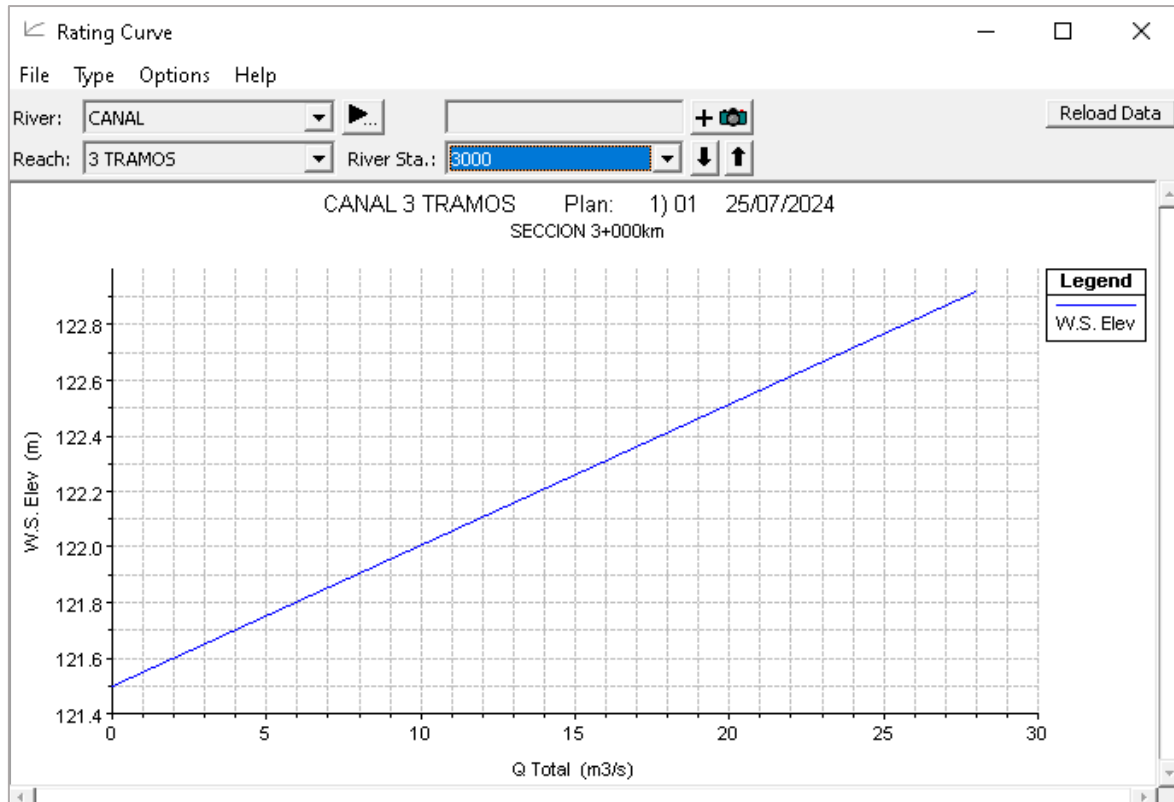
### Figura 18

Vista de perfil de la sección transversal 3+000km



**Figura 19**

*Relación elevación y caudal de la sección transversal 3+000km*



**Figura 20**

*Resultados de la sección transversal 3+000km*

Cross Section Output					
Plan: 01 CANAL 3 TRAMOS RS: 3000 Profile: TR = 20 AÑOS					
E.G. Elev (m)	123.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.53	Wt. n-Val.		0.035	
W.S. Elev (m)	122.92	Reach Len. (m)	500.00	500.00	500.00
Crit W.S. (m)	122.92	Flow Area (m2)		8.70	
E.G. Slope (m/m)	0.013516	Area (m2)		8.70	
Q Total (m3/s)	28.00	Flow (m3/s)		28.00	
Top Width (m)	8.26	Top Width (m)		8.26	
Vel Total (m/s)	3.22	Avg. Vel. (m/s)		3.22	
Max Chl Dpth (m)	1.42	Hydr. Depth (m)		1.05	
Conv. Total (m3/s)	240.8	Conv. (m3/s)		240.8	
Length Wtd. (m)	500.00	Wetted Per. (m)		9.12	
Min Ch El (m)	121.50	Shear (N/m2)		126.45	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		407.05	
Frctn Loss (m)	6.89	Cum Volume (1000 m3)		7.40	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)		7.77	

**Figura 21**

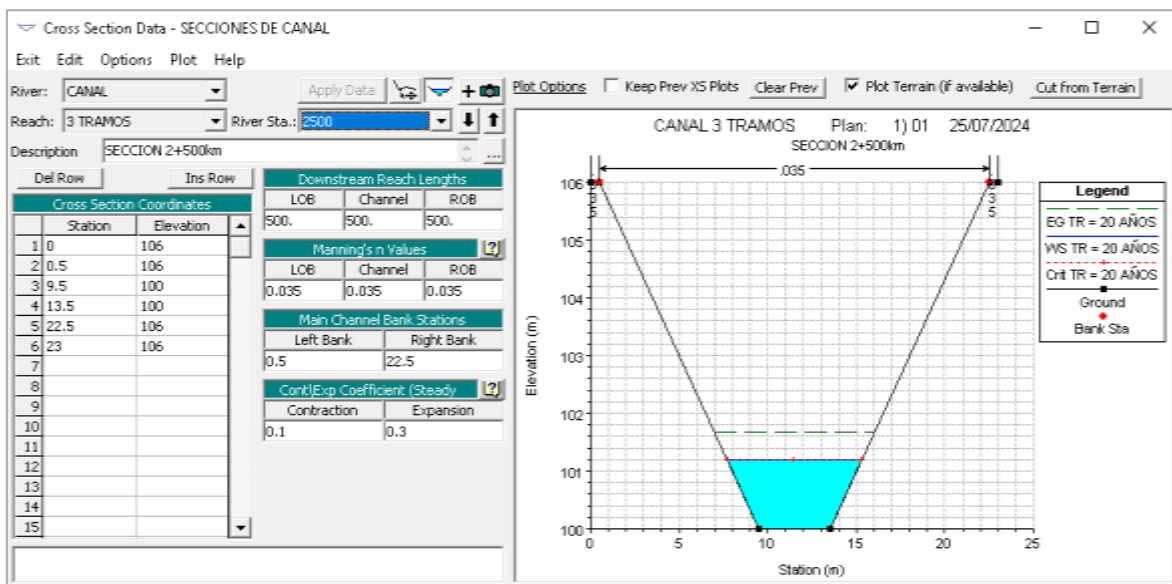
Vista X, Y, Z sección transversal 3+000 km



Sección transversal progresiva 3+000 en vista x, y, z.

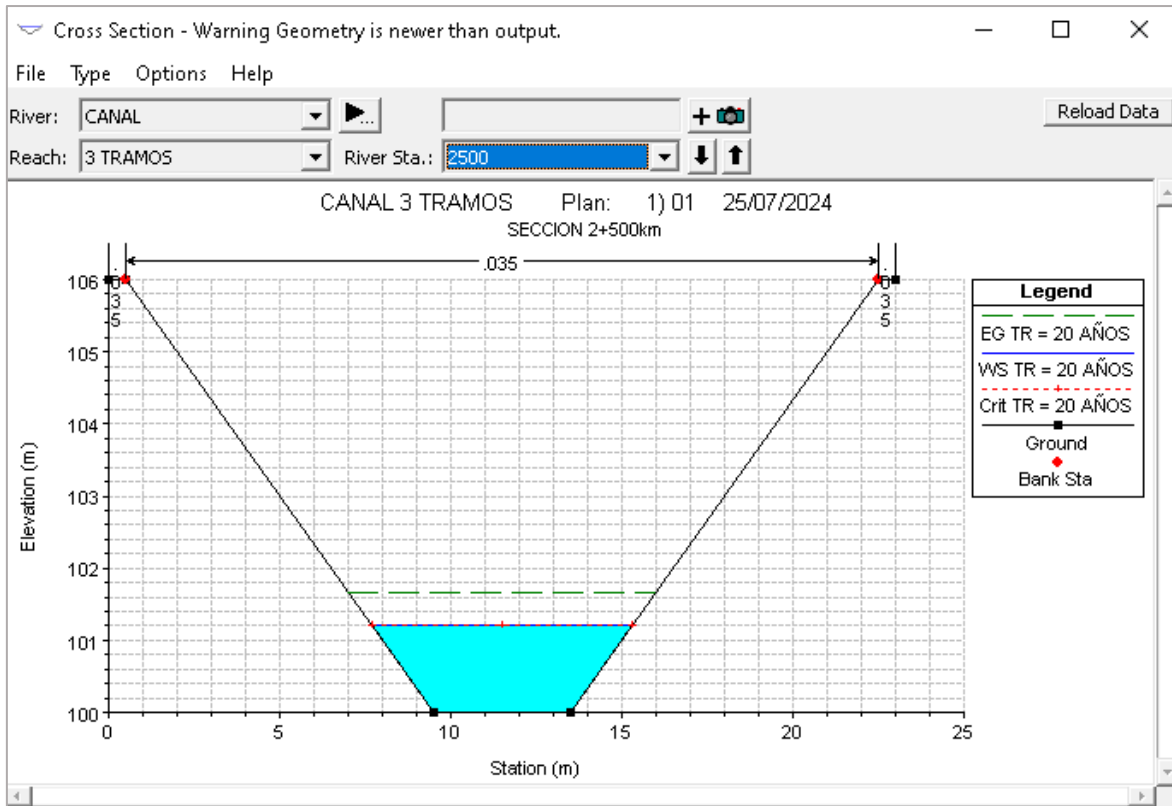
**Figura 22**

Diseño de sección transversal 2+500km



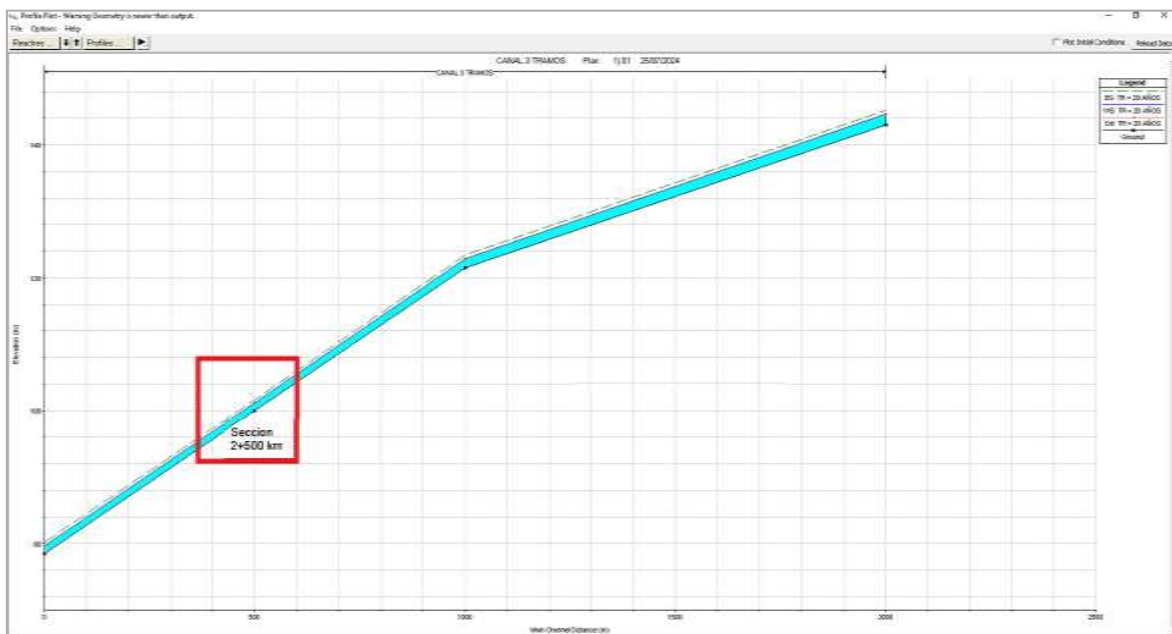
### Figura 23

Sección transversal 2+500km



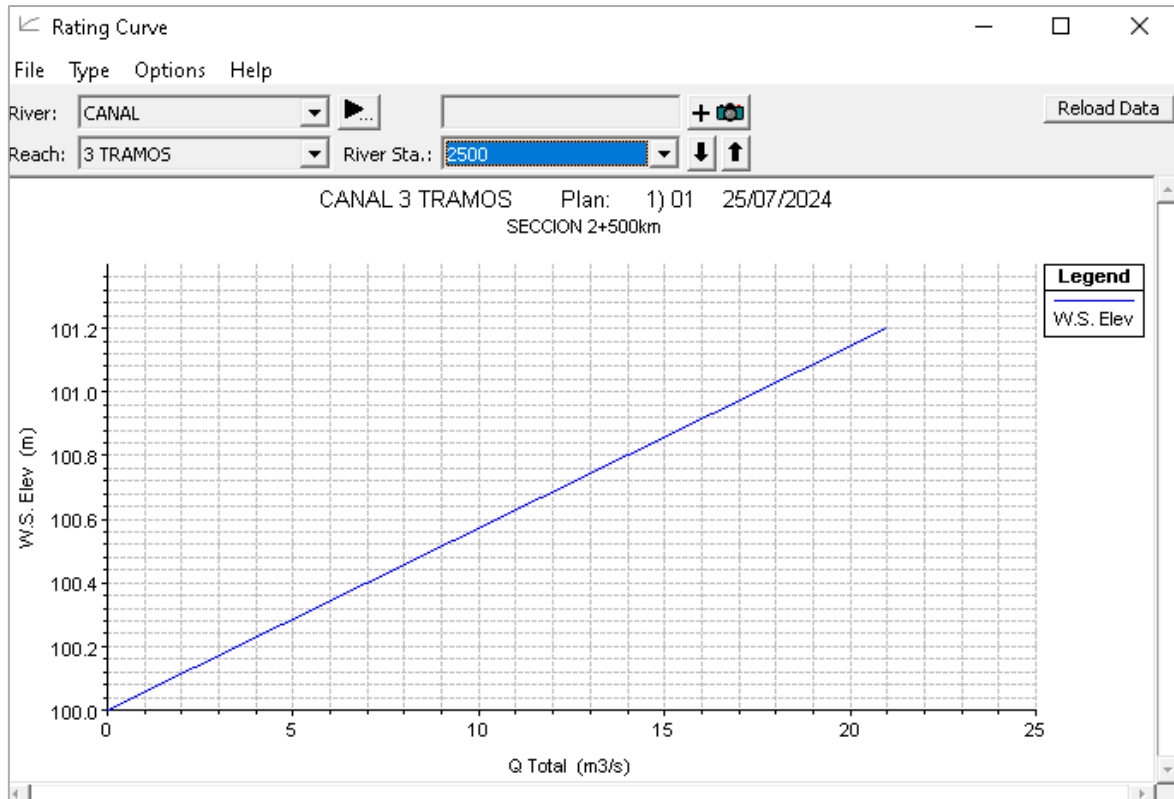
### Figura 24

Vista de perfil de la sección transversal 2+500km



**Figura 25**

*Relación elevación y caudal de la sección transversal 2+500km*



**Figura 26**

*Resultados de la sección transversal 2+500km*

The figure shows a software window titled "Cross Section Output" displaying a table of hydraulic parameters for "CANAL 3 TRAMOS" at station "2500" with a "TR = 20 AÑOS" profile. The table includes parameters such as E.G. Elev, Vel Head, W.S. Elev, Crit W.S., E.G. Slope, Q Total, Top Width, Vel Total, Max Chl Dpth, Conv. Total, Length Wtd, Min Ch El, Alpha, Frctn Loss, C & E Loss, Element, Left OB, Channel, and Right OB.

Plan: 01 CANAL 3 TRAMOS RS: 2500 Profile: TR = 20 AÑOS					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	101.66	Wt. n-Val.		0.035	
Vel Head (m)	0.46	Reach Len. (m)	500.00	500.00	500.00
W.S. Elev (m)	101.20	Flow Area (m2)		6.96	
Crit W.S. (m)	101.20	Area (m2)		6.96	
E.G. Slope (m/m)	0.014145	Flow (m3/s)		21.00	
Q Total (m3/s)	21.00	Top Width (m)		7.60	
Top Width (m)	7.60	Avg. Vel. (m/s)		3.02	
Vel Total (m/s)	3.02	Hydr. Depth (m)		0.92	
Max Chl Dpth (m)	1.20	Conv. (m3/s)		176.6	
Conv. Total (m3/s)	176.6	Wetted Per. (m)		8.33	
Length Wtd. (m)	500.00	Shear (N/m2)		115.98	
Min Ch El (m)	100.00	Stream Power (N/m s)		349.77	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)		3.48	
Frctn Loss (m)	7.07	Cum SA (1000 m2)		3.80	
C & E Loss (m)	0.00				

**Figura 27**

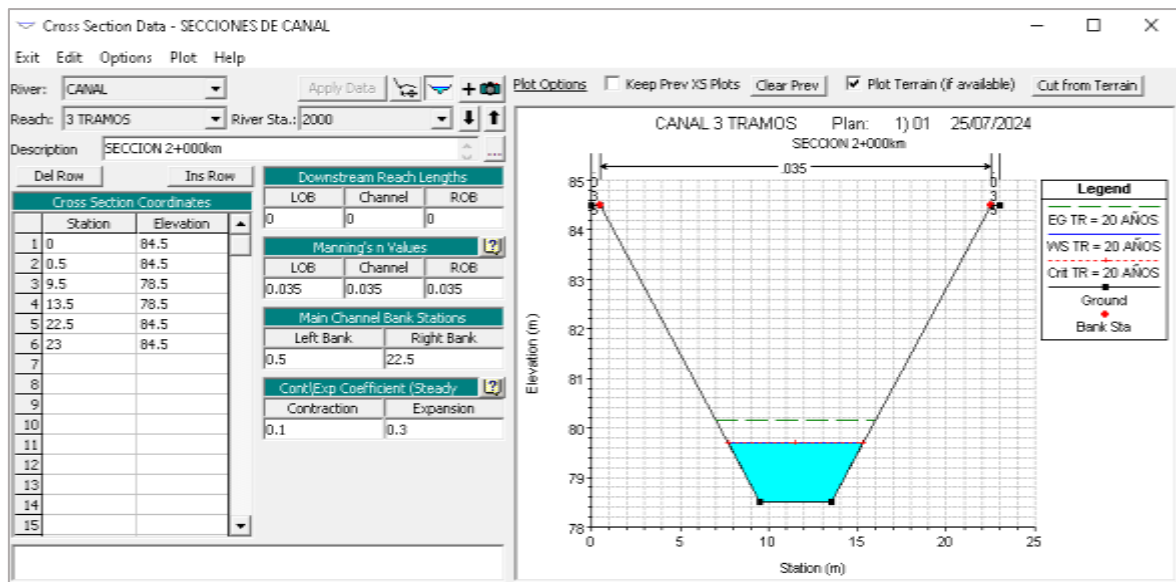
Vista X, Y, Z sección transversal 2+500 km



Sección transversal progresiva 2+500 en vista x, y, z.

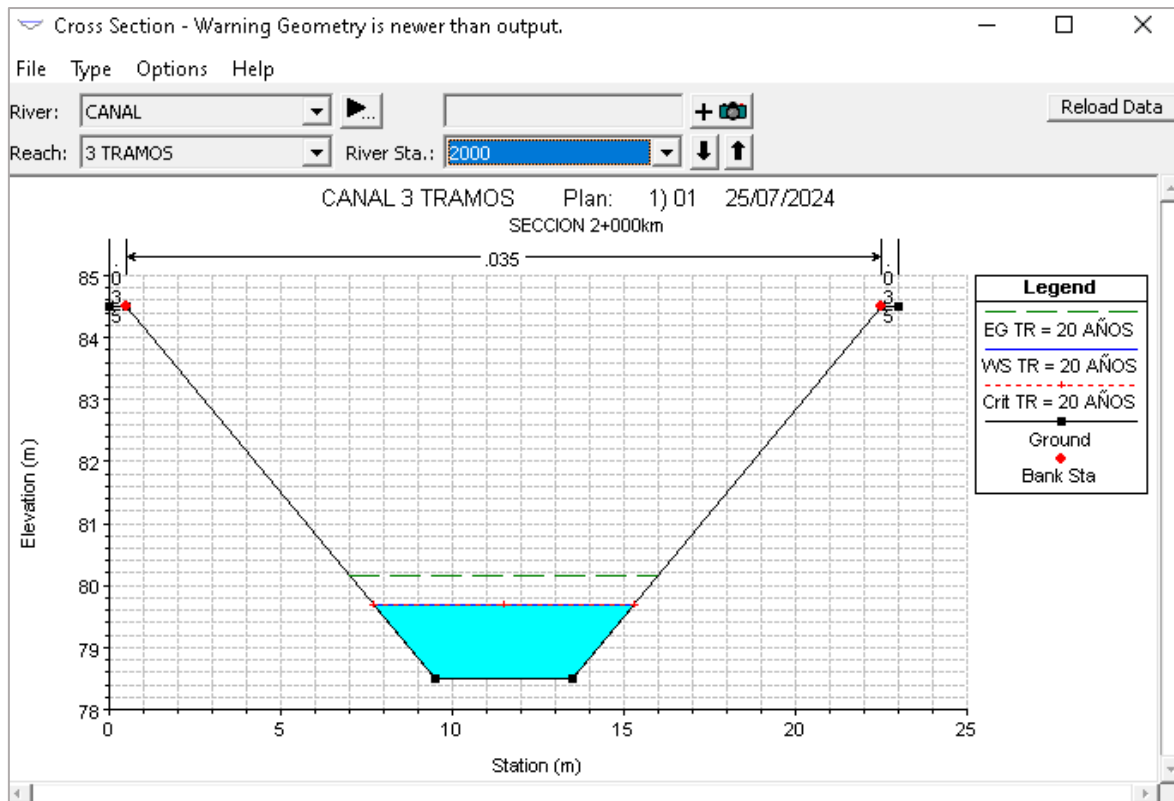
**Figura 28**

Diseño de sección transversal 2+000km



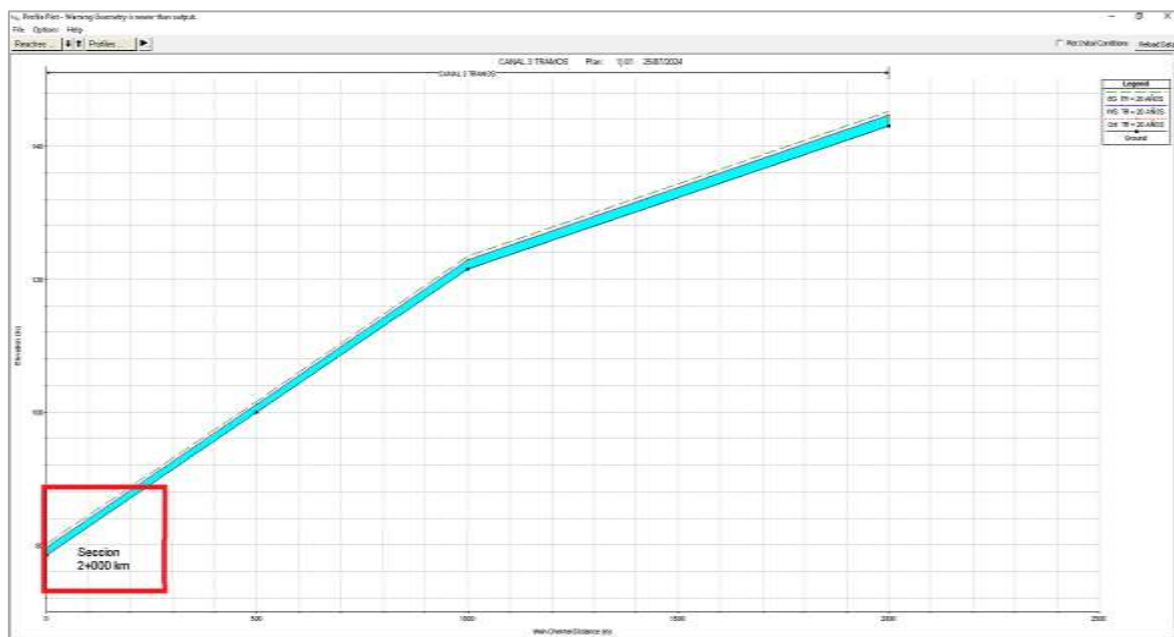
### Figura 29

Sección transversal 2+000km



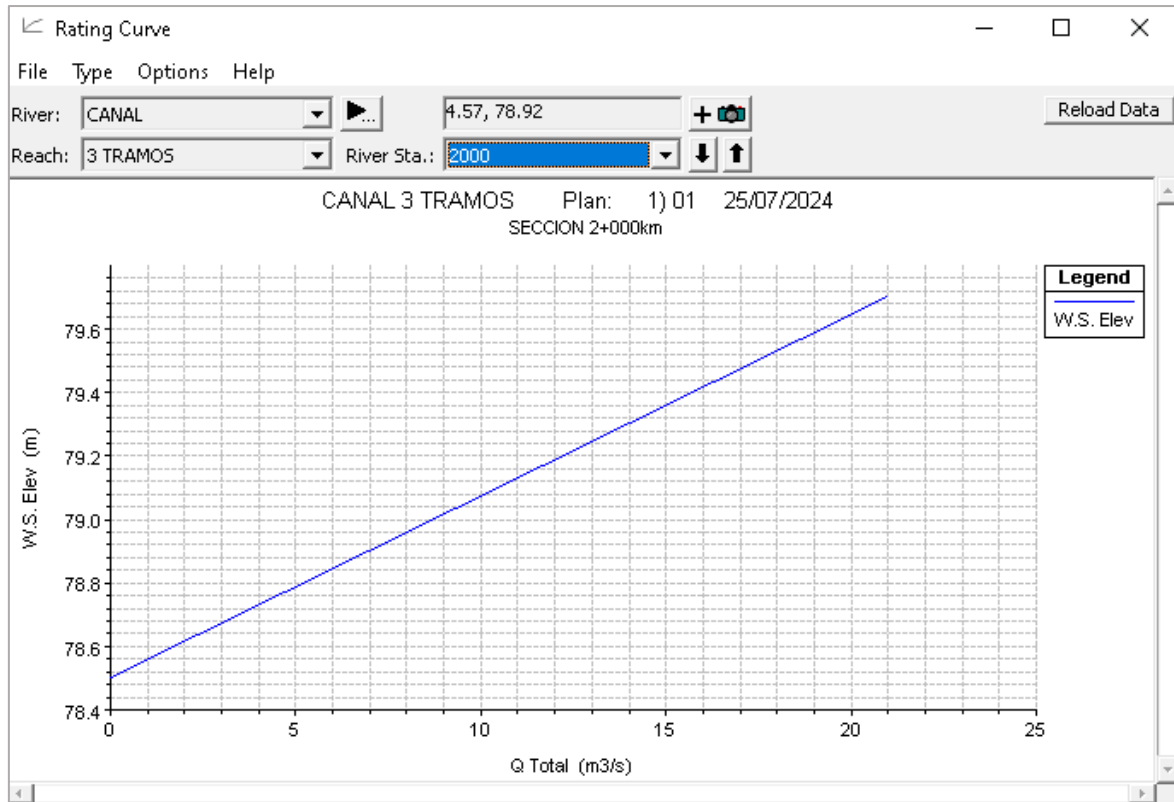
### Figura 30

Vista de perfil de la sección transversal 2+000km



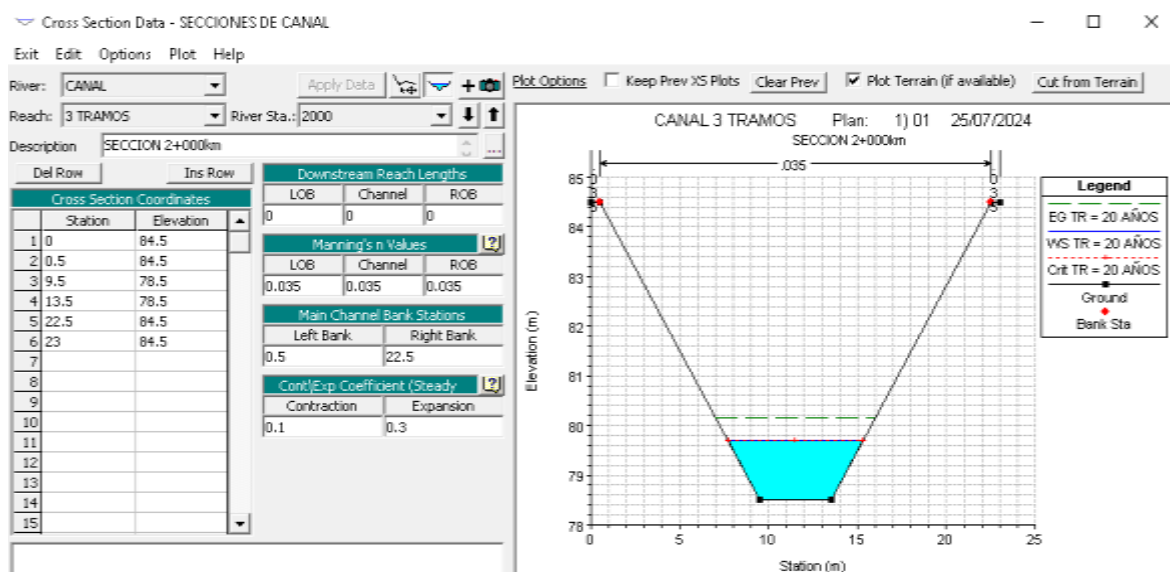
**Figura 31**

*Relación elevación y caudal de la sección transversal 2+000km*



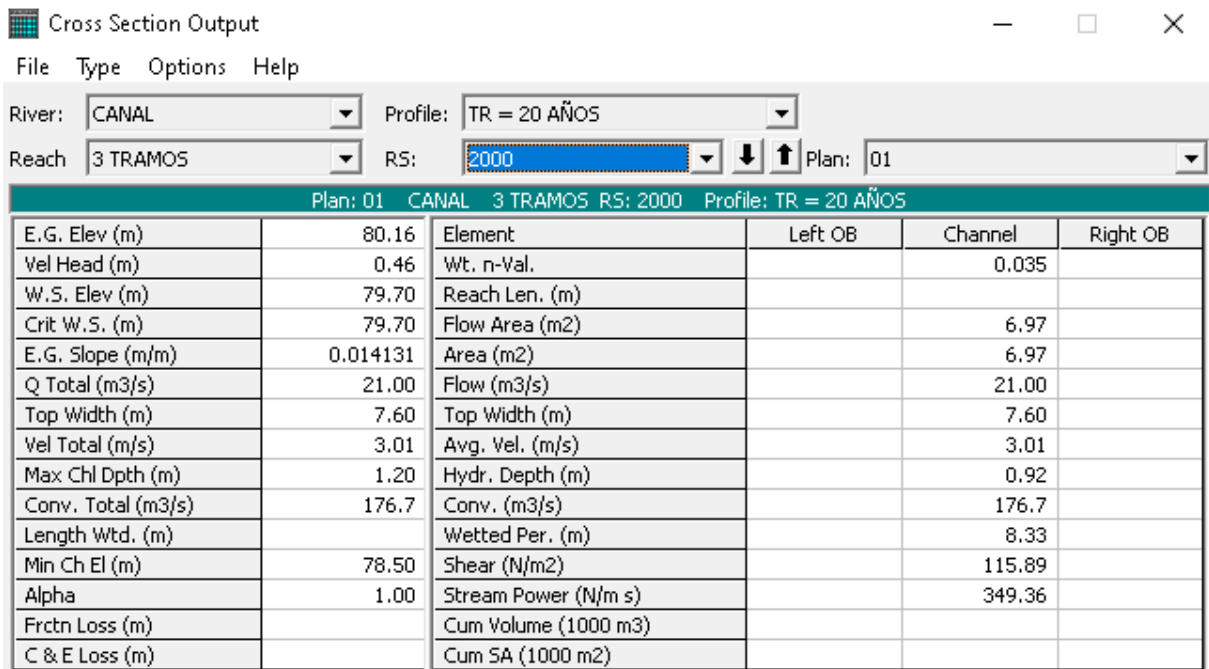
**Figura 32**

*Resultados de la sección transversal 2+000km*



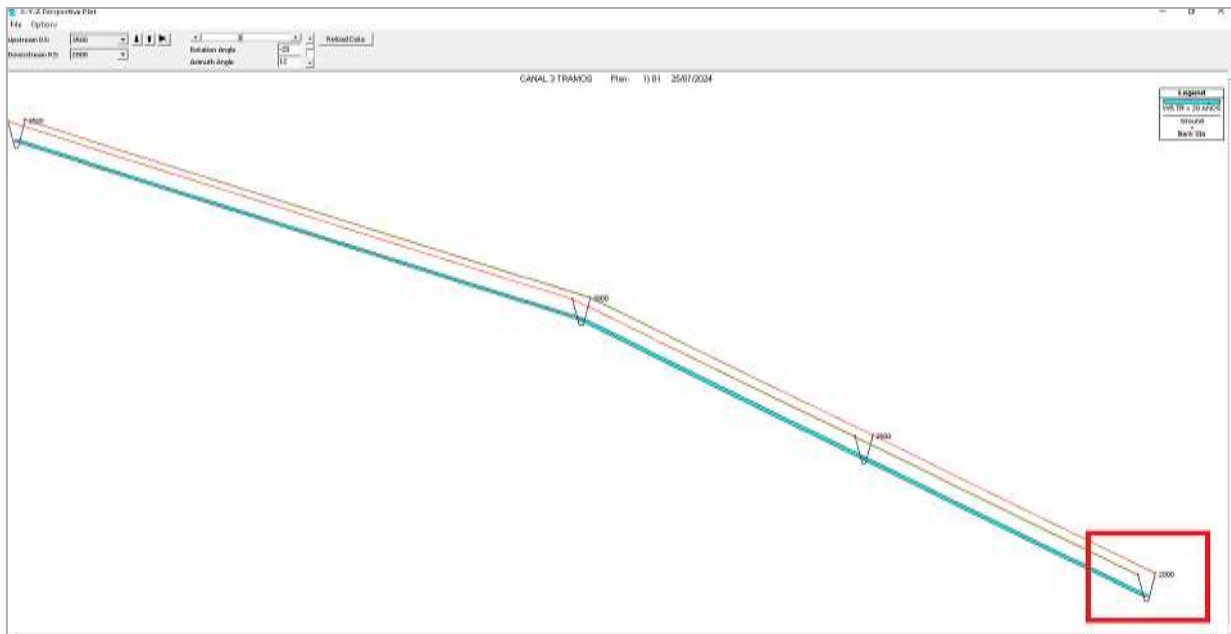
**Figura 33**

*Resultados de la sección transversal 2+000km*



**Figura 34**

*Vista X, Y, Z sección transversal 2+000 km*



Sección transversal progresiva 2+00 en vista x, y, z.

### 4.1.3 Las secciones de máxima eficiencia hidráulico y mejorar la situación del canal de riego

Figura 35

Sección transversal de máxima eficiencia hidráulica del tramo 1, 3+500 – 3+000

Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:	Coasa	Proyecto:	Tesis
Tramo:	km 3+500 - km3+000	Revestimiento:	

**Datos:**

Caudal (Q):	36	m <sup>3</sup> /s
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.035	
Pendiente (S):	0.043	m/m

**Resultados:**

Tirante (y):	1.8040	m	Ancho de solera (b):	3.6080	m
Perímetro (p):	7.2160	m	Área hidráulica (A):	6.5088	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R):	0.9020	m	Espejo de agua (T):	3.6080	m
Velocidad (v):	5.5310	m/s	Número de Froude (F):	1.3148	
Energía específica (E):	3.3632	m-Kg/Kg	Tipo de flujo:	Supercrítico	

**Cuidado velocidad erosiva**

#### Determinando las medidas de la sección transversal km 3+500 – km 3+000

- Tirante:  $y = 1.8040 \text{ m} \approx 1.80 \text{ m}$
- Ancho de solera:  $b = 3.6080 \text{ m} \approx 3.61 \text{ m}$  (por proceso constructivo)
- Área hidráulica:  $b \times y = 6.51 \text{ m}^2$
- Perímetro mojado:  $b + 2y = 5.79 \text{ m}$
- Radio hidráulico:  $R = 0.74 \text{ m}$
- Espejo de agua:  $T = b = 3.61 \text{ m}$
- Velocidad:  $V = 5.5310 \text{ m} \approx 5.53 \text{ m}$
- Numero de froude:  $F = 1.3148 \approx 1.31 \text{ m}$
- Energía específica:  $E = 3.3632 \text{ m} \approx 3.36 \text{ m}$
- Tipo de flujo: Supercrítico

Figura 36

Sección transversal de máxima eficiencia hidráulica del tramo 2, 3+000 – 2+500

Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:	Coasa	Proyecto:	Tesis
Tramo:	km 3+000 - km2+500	Revestimiento:	

**Datos:**

Caudal (Q):	28	m <sup>3</sup> /s
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.035	
Pendiente (S):	0.043	m/m

**Resultados:**

Tirante (y):	1.6417	m	Ancho de solera (b):	3.2835	m
Perímetro (p):	6.5670	m	Área hidráulica (A):	5.3907	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R):	0.8209	m	Espejo de agua (T):	3.2835	m
Velocidad (v):	5.1942	m/s	Número de Froude (F):	1.2943	
Energía específica (E):	3.0168	m·Kg/Kg	Tipo de flujo:	Supercrítico	

**Cuidado velocidad erosiva**

**Determinando las medidas de la sección transversal km 3+000 – km 2+500**

- Tirante:  $y = 1.6417 \text{ m} \approx 1.64 \text{ m}$
- Ancho de solera:  $b = 3.2835 \text{ m} \approx 3.28 \text{ m}$
- Área hidráulica:  $b \times y = 5.39 \text{ m}^2$
- Perímetro mojado:  $b + 2y = 6.57 \text{ m}$
- Radio hidráulico:  $R = 0.82 \text{ m}$
- Espejo de agua:  $T = b = 3.28 \text{ m}$
- Velocidad:  $V = 5.1942 \text{ m} \approx 5.20 \text{ m}$
- Numero de froude:  $F = 1.2943 \approx 1.29 \text{ m}$
- Energía específica:  $E = 3.3632 \text{ m} \approx 3.36 \text{ m}$
- Tipo de flujo: Supercrítico

Figura 37

Sección transversal de máxima eficiencia hidráulica del tramo 3, 2+500 – 2+000

Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:	Coasa	Proyecto:	tesis
Tramo:	2+500 - 2+000	Revestimiento:	

**Datos:**

Caudal (Q):	21	m <sup>3</sup> /s
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.035	
Pendiente (S):	0.043	m/m

**Resultados:**

Tirante (y):	1.4739	m	Ancho de solera (b):	2.9477	m
Perímetro (p):	5.8954	m	Área hidráulica (A):	4.3445	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R):	0.7369	m	Espejo de agua (T):	2.9477	m
Velocidad (v):	4.8337	m/s	Número de Froude (F):	1.2712	
Energía específica (E):	2.6647	m-Kg/Kg	Tipo de flujo:	Supercrítico	

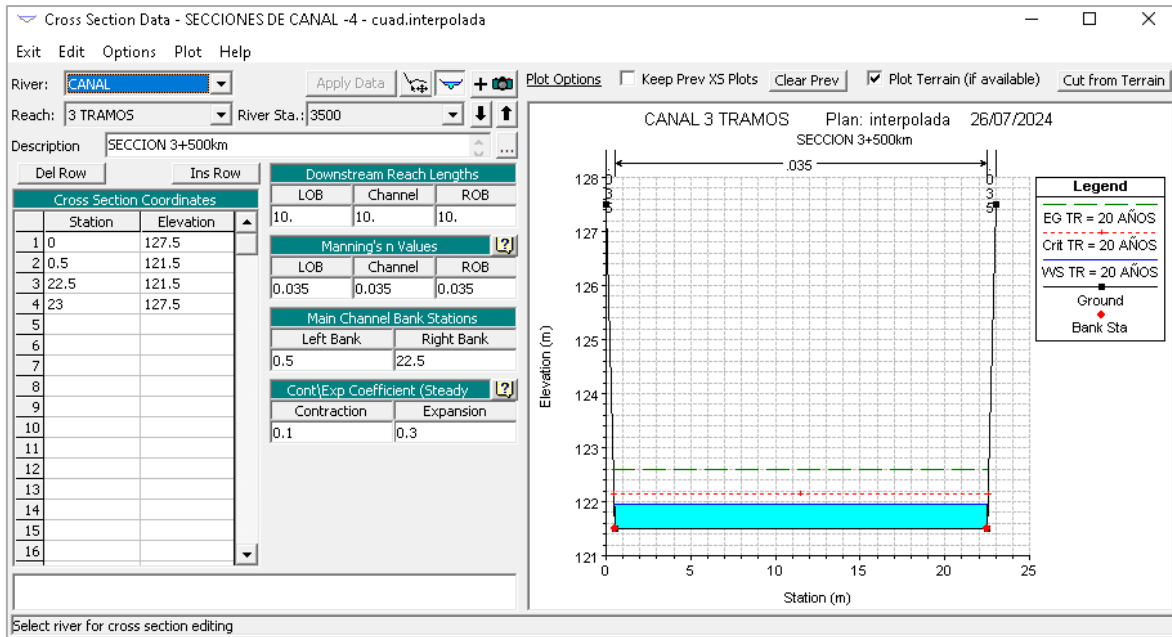
**Cuidado velocidad erosiva**

Determinando las medidas de la sección transversal km 2+500 – km 2+000

- Tirante:  $y = 1.4739 \text{ m} \approx 1.47 \text{ m}$
- Ancho de solera:  $b = 2.9477 \text{ m} \approx 2.95 \text{ m}$
- Área hidráulica:  $b \times y = 4.34 \text{ m}^2$
- Perímetro mojado:  $b + 2y = 5.90 \text{ m}$
- Radio hidráulico:  $R = 0.74 \text{ m}$
- Espejo de agua:  $T = b = 2.95 \text{ m}$
- Velocidad:  $V = 4.8337 \text{ m} \approx 4.83 \text{ m}$
- Numero de froude:  $F = 1.2712 \approx 1.27 \text{ m}$
- Energía específica:  $E = 2.6647 \text{ m} \approx 2.67 \text{ m}$
- Tipo de flujo: Supercrítico

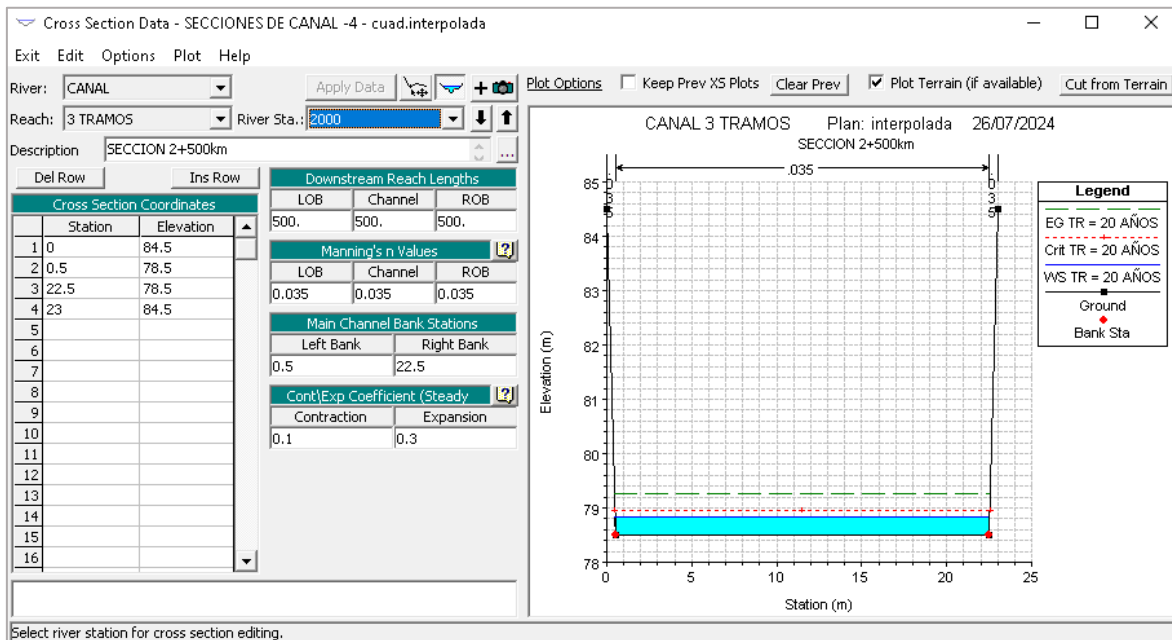
**Figura 38**

*Inicio de la sección rectangular 3+500*



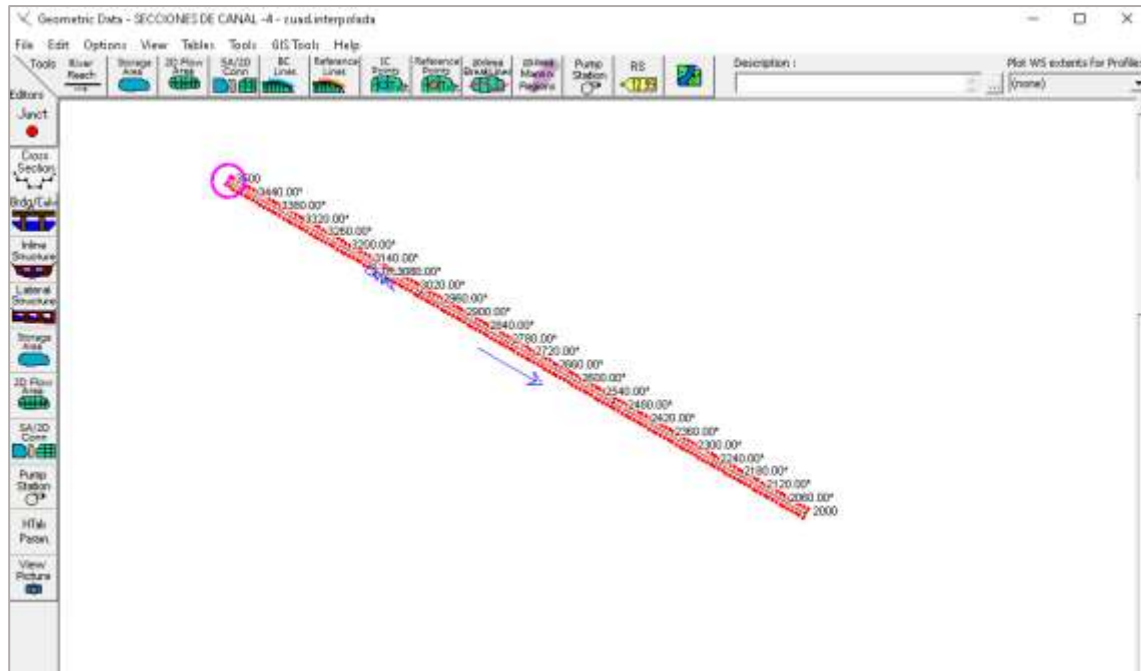
**Figura 39**

*Final de la sección rectangular 2+000*



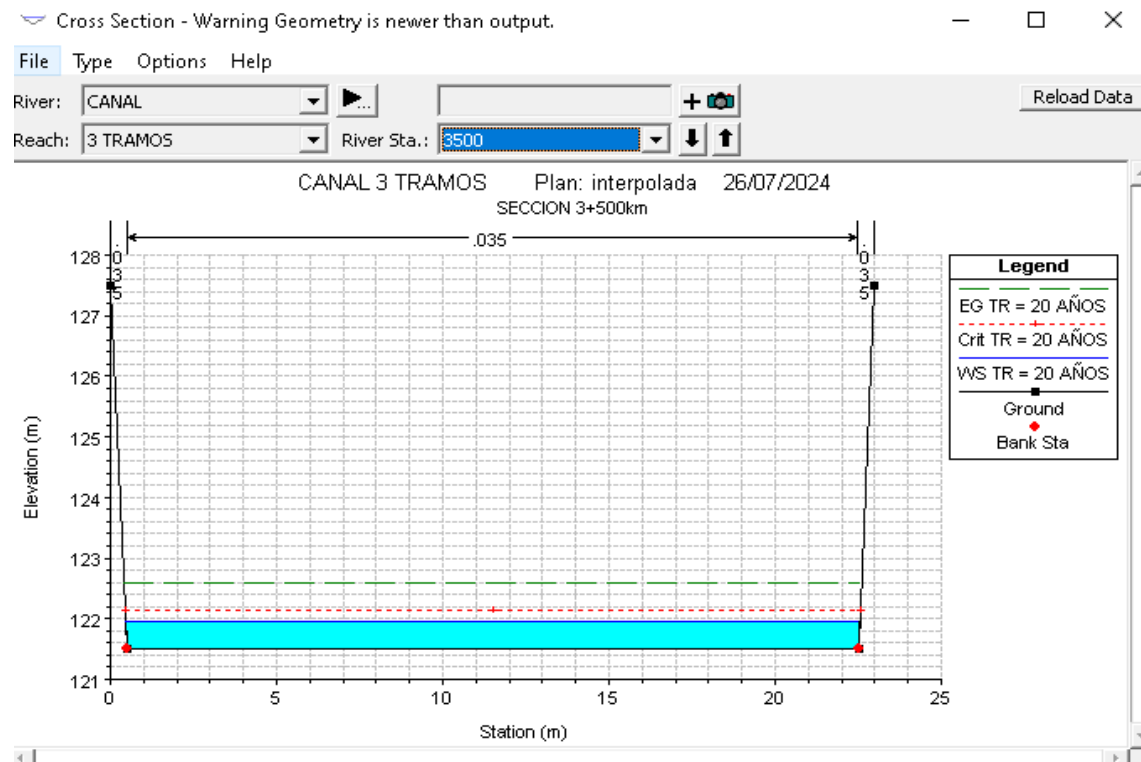
**Figura 40**

Esquema de la sección rectangular interpolada



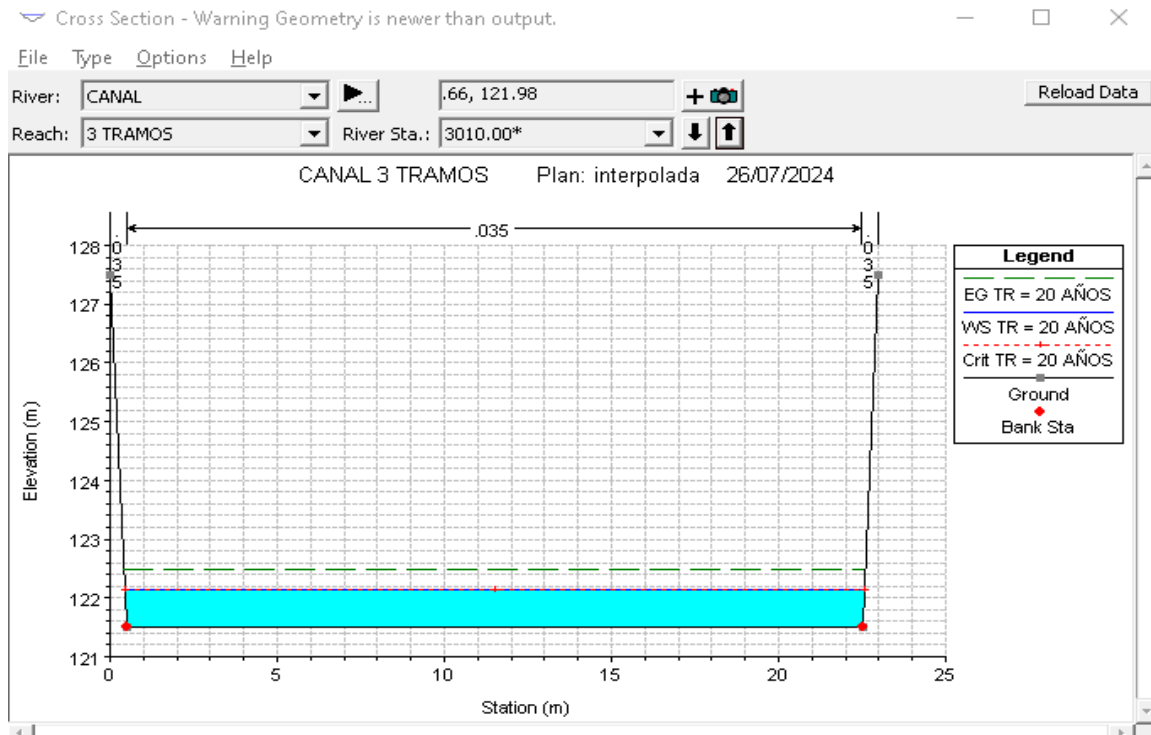
**Figura 41**

Sección transversal 3+500



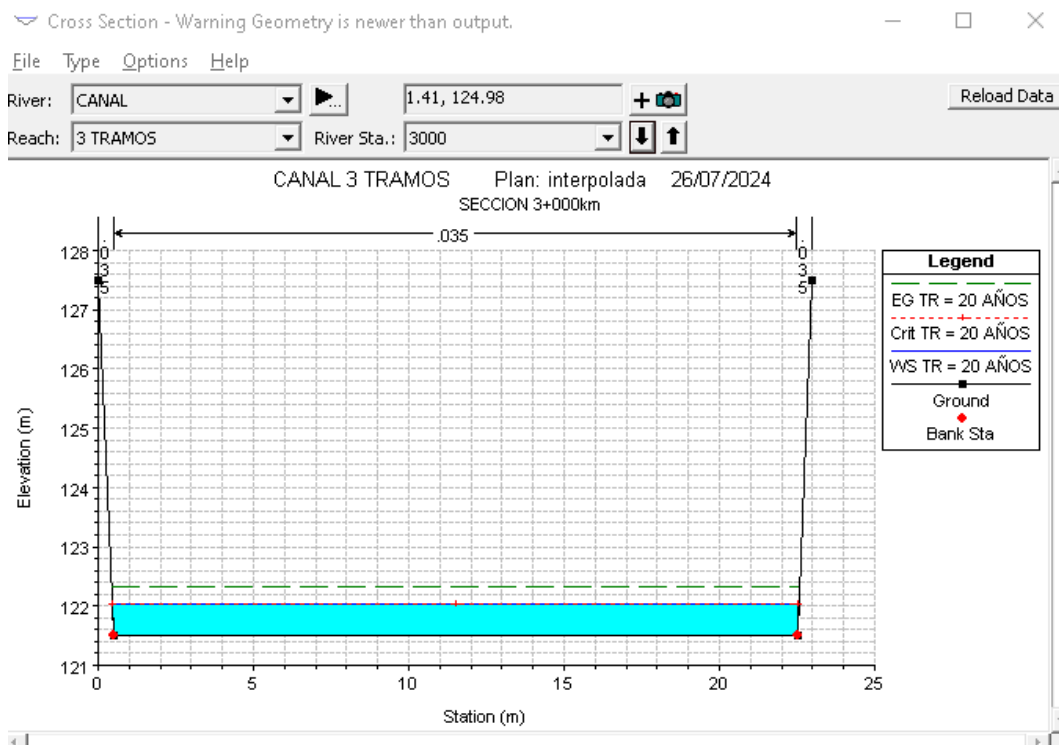
### Figura 42

#### Sección transversal 3+480 – 3+010



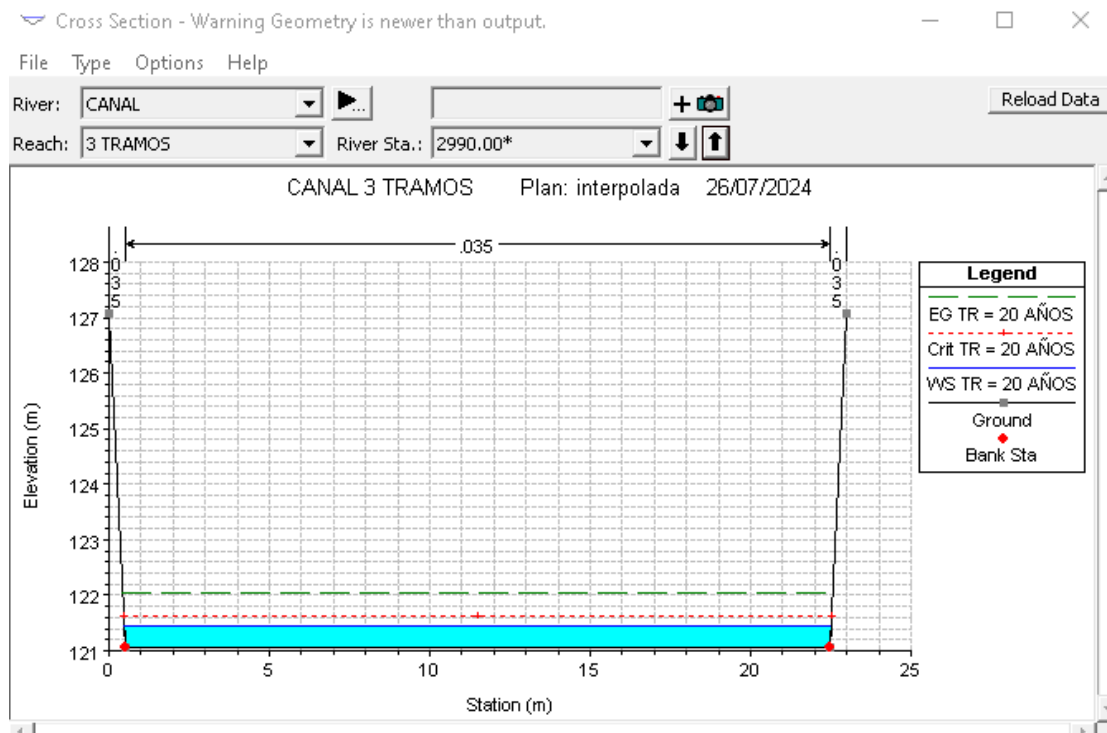
### Figura 43

#### Sección transversal 3+000



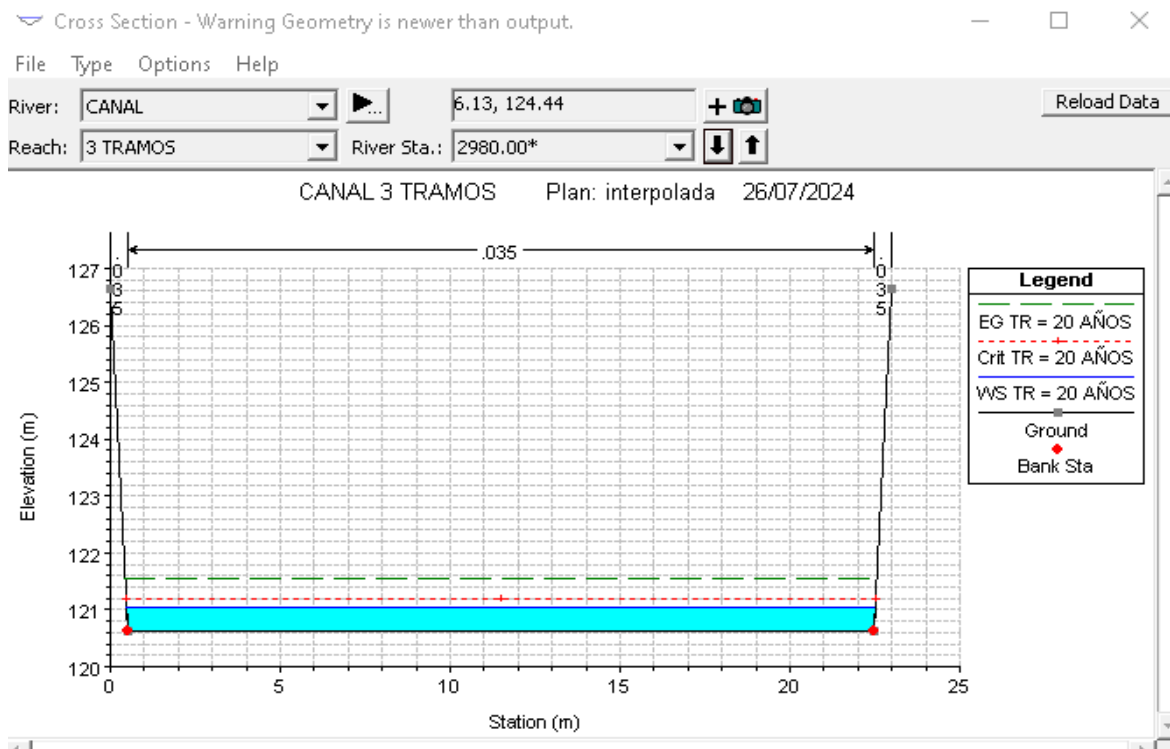
### Figura 44

#### Sección transversal 2+990



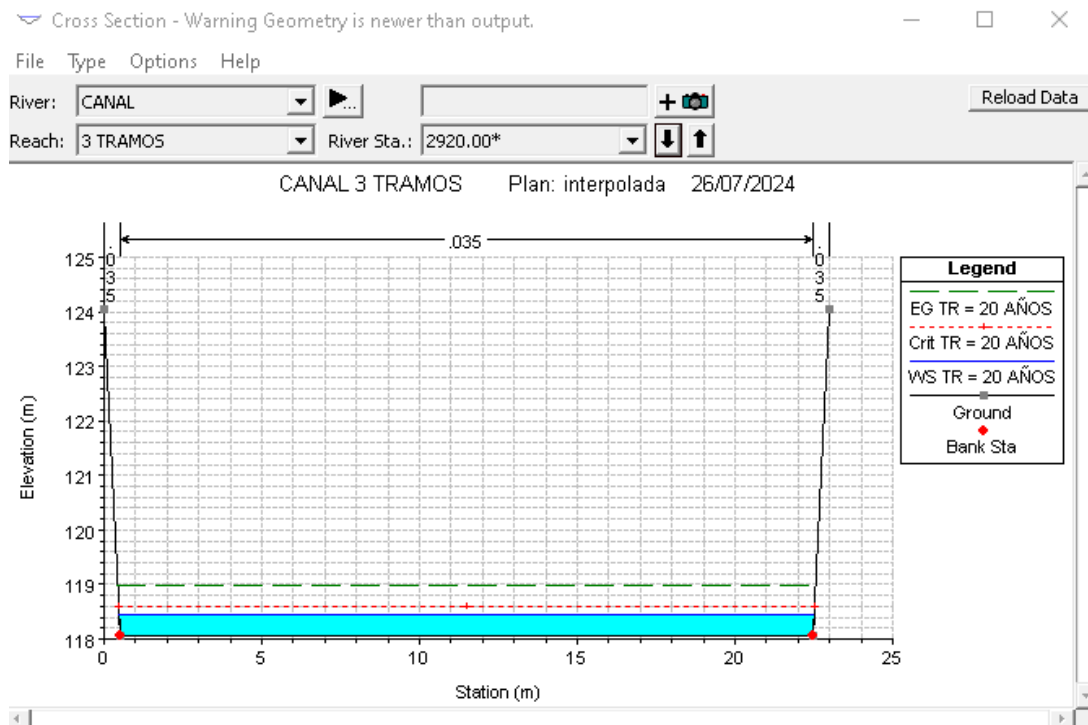
### Figura 45

#### Sección transversal 2+980



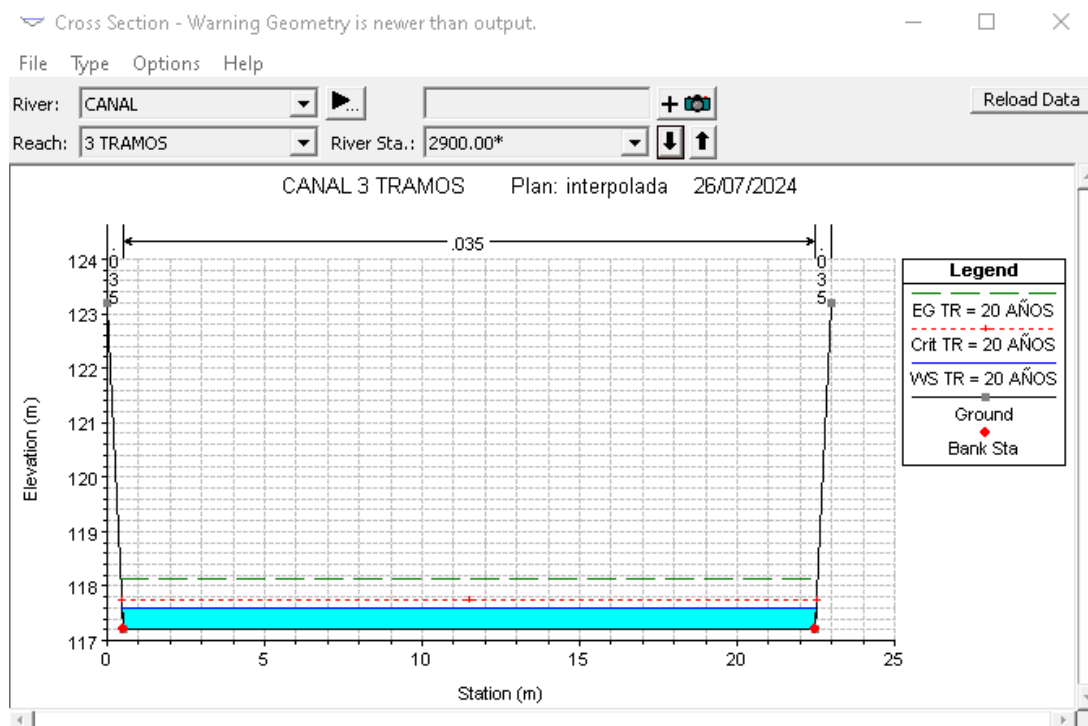
### Figura 46

#### Sección transversal 2+920



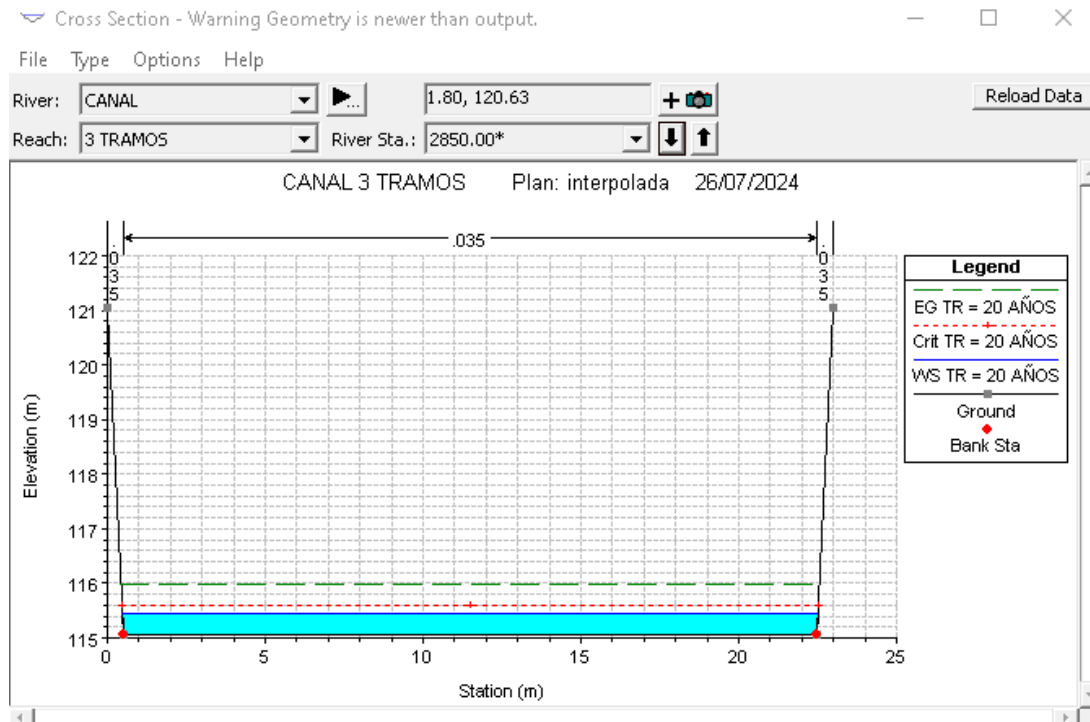
### Figura 47

#### Sección transversal 2+900



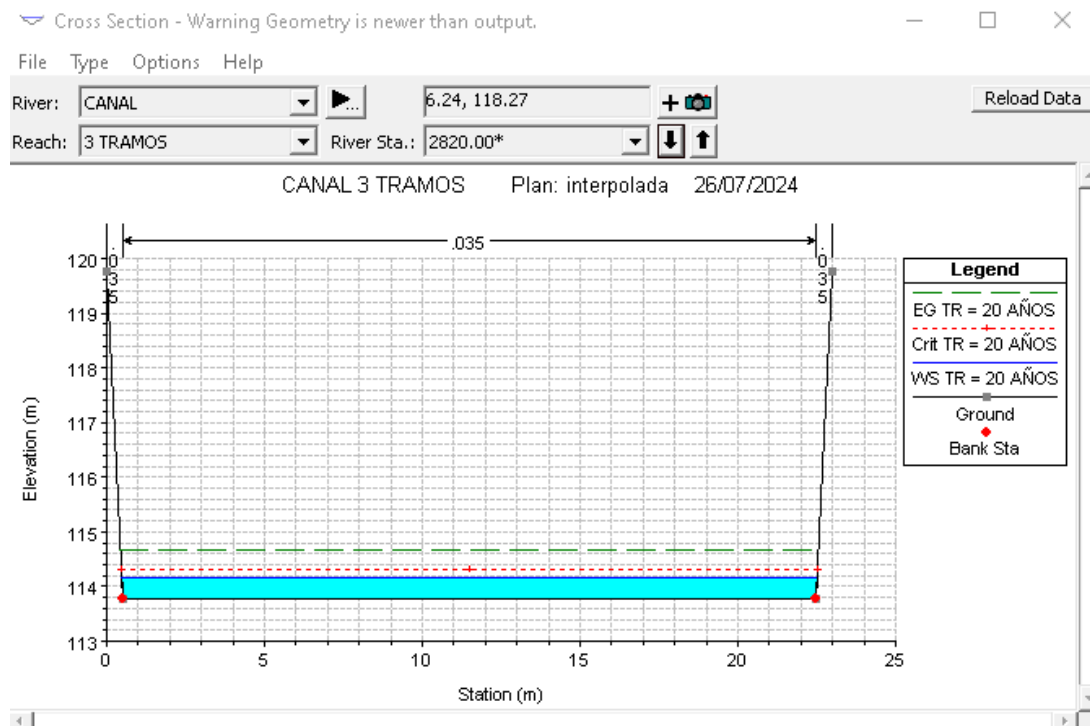
### Figura 48

#### Sección transversal 2+850



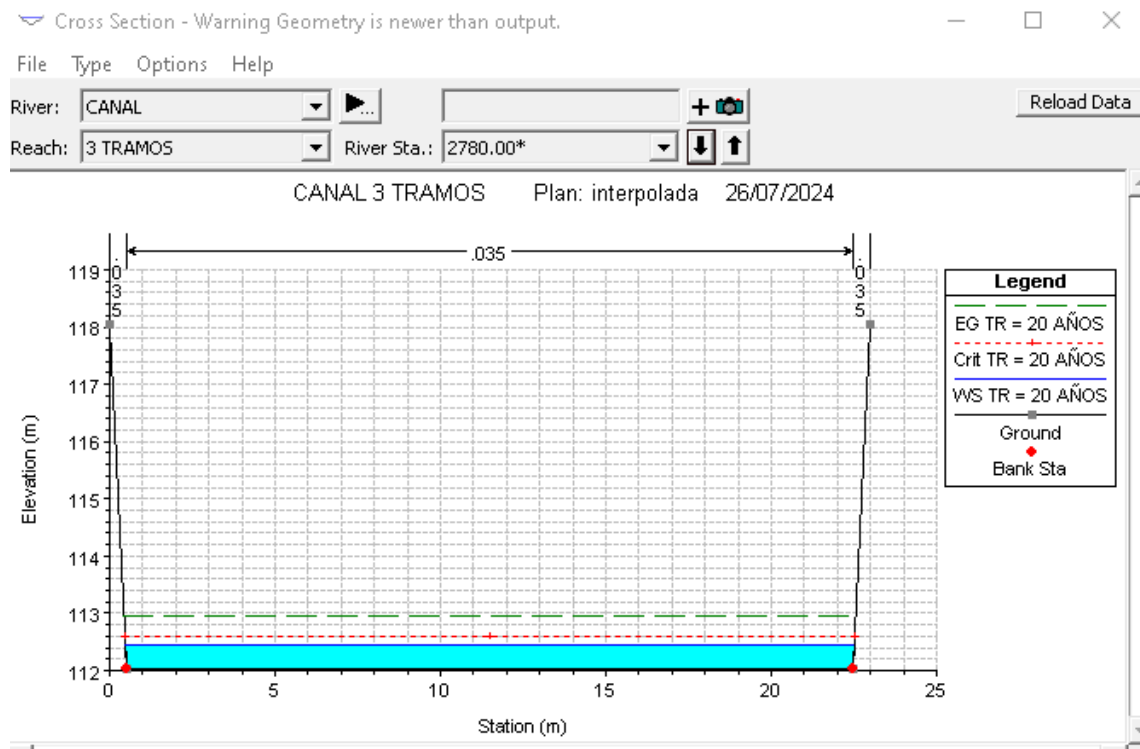
### Figura 49

#### Sección transversal 2+820



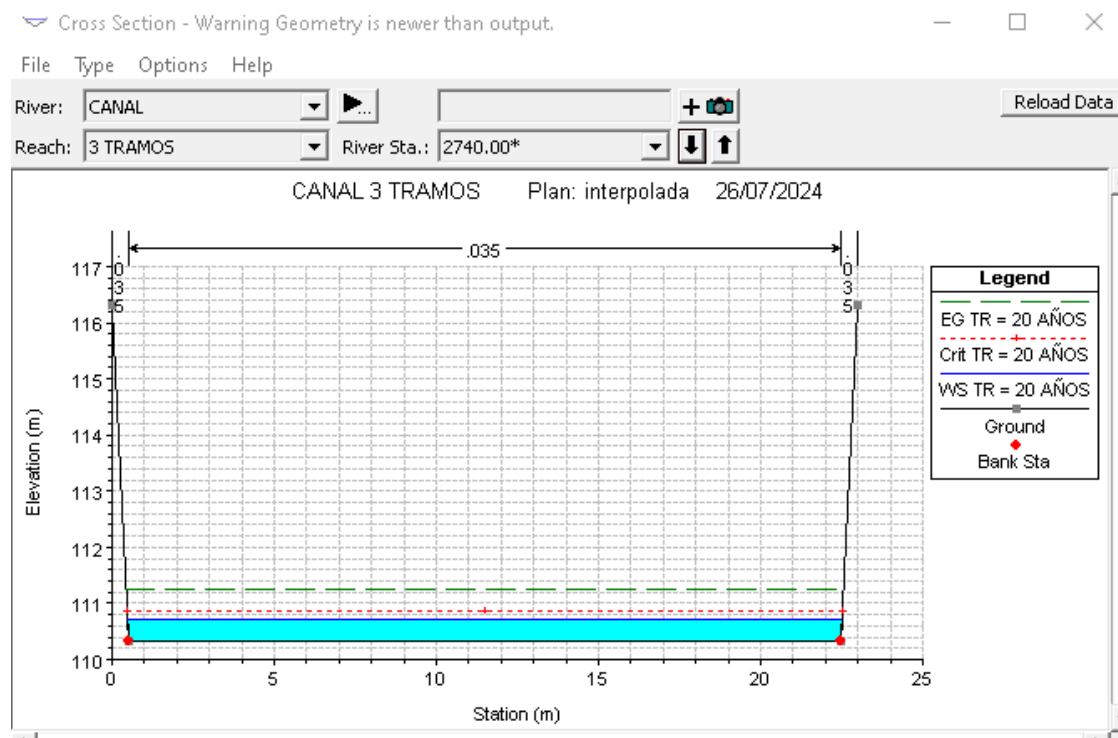
### Figura 50

#### Sección transversal 2+780



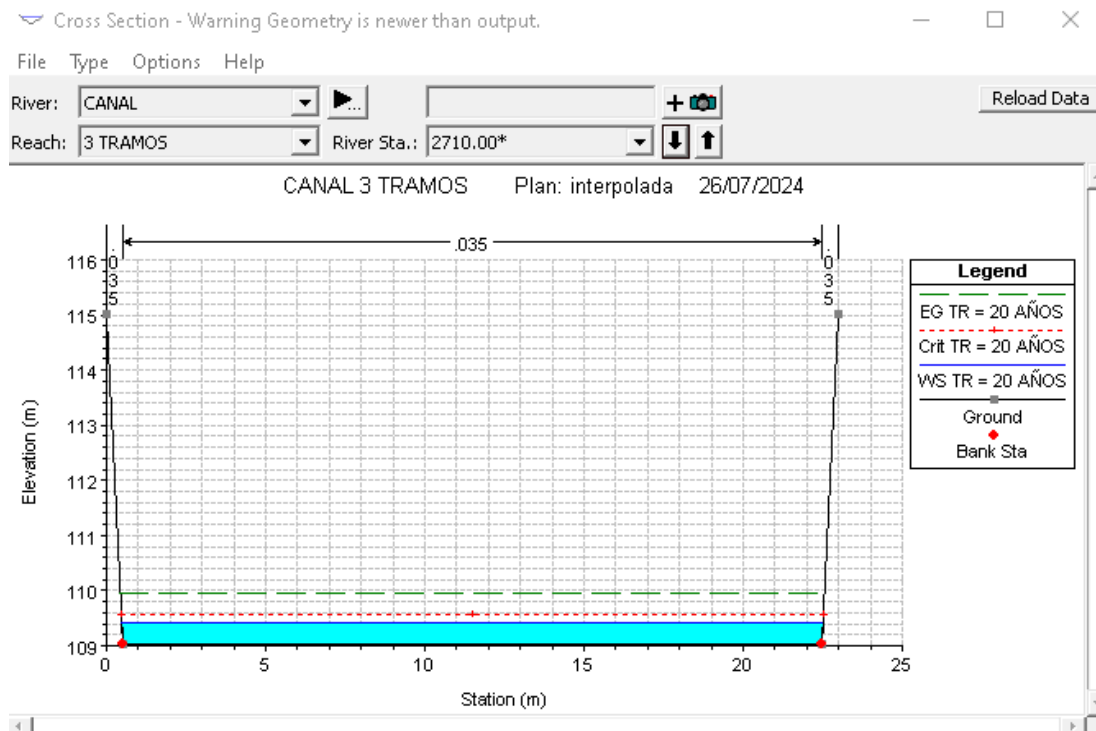
### Figura 51

#### Sección transversal 2+740



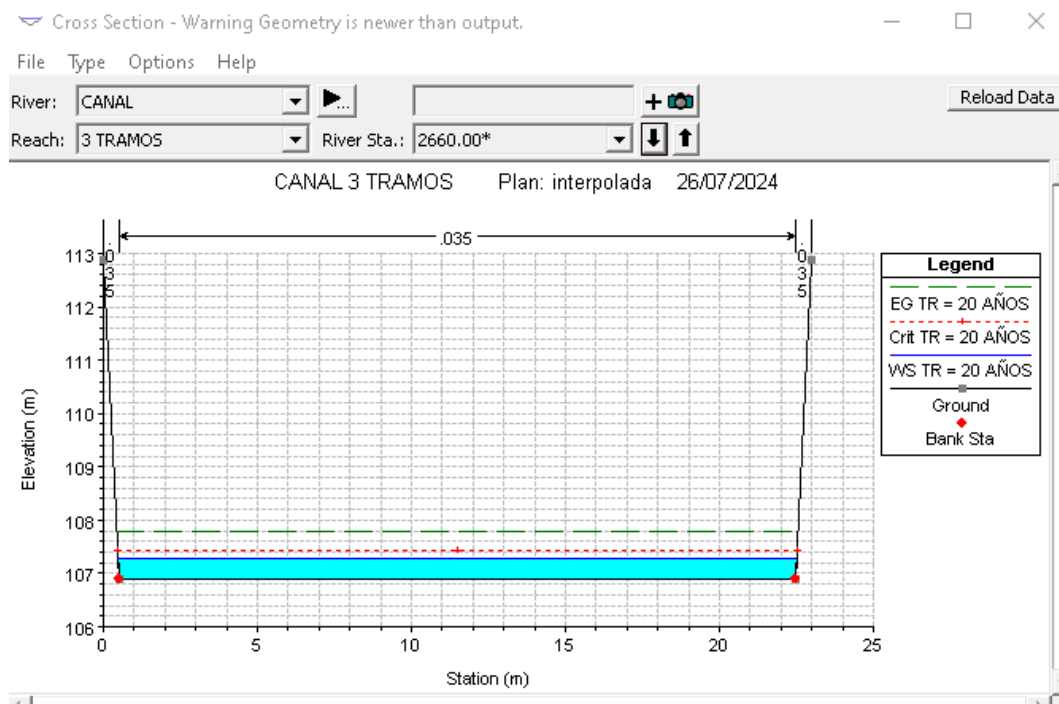
### Figura 52

#### Sección transversal 2+710



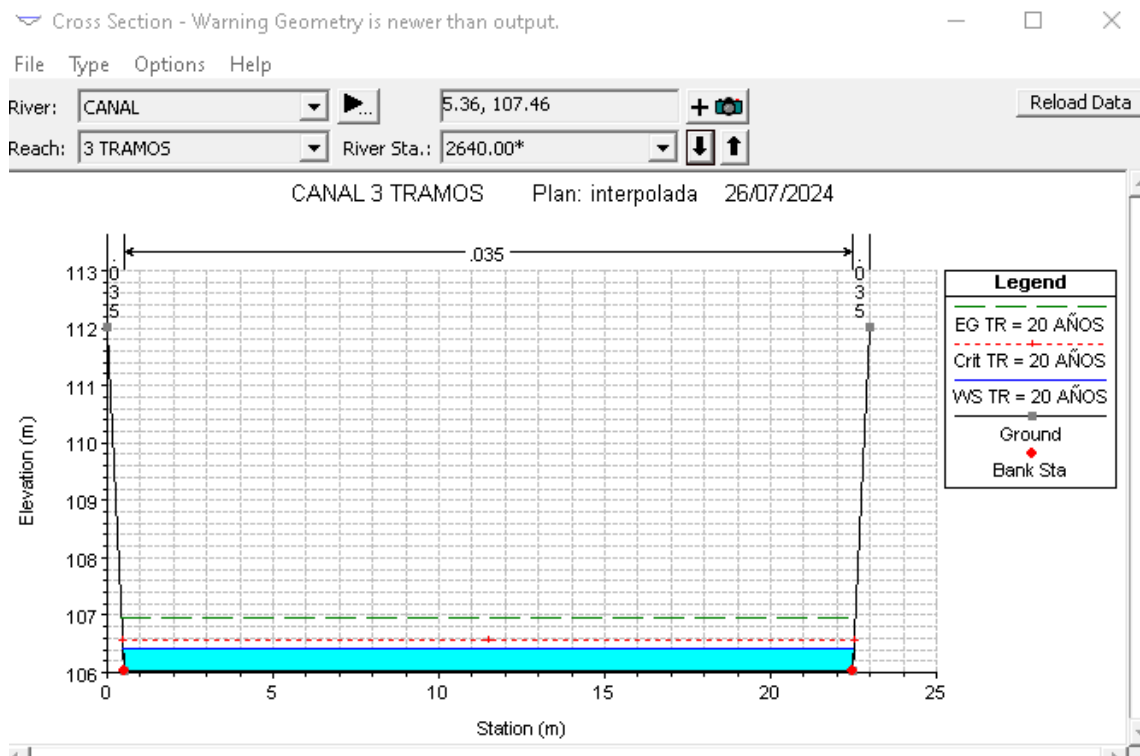
### Figura 53

#### Sección transversal 2+660



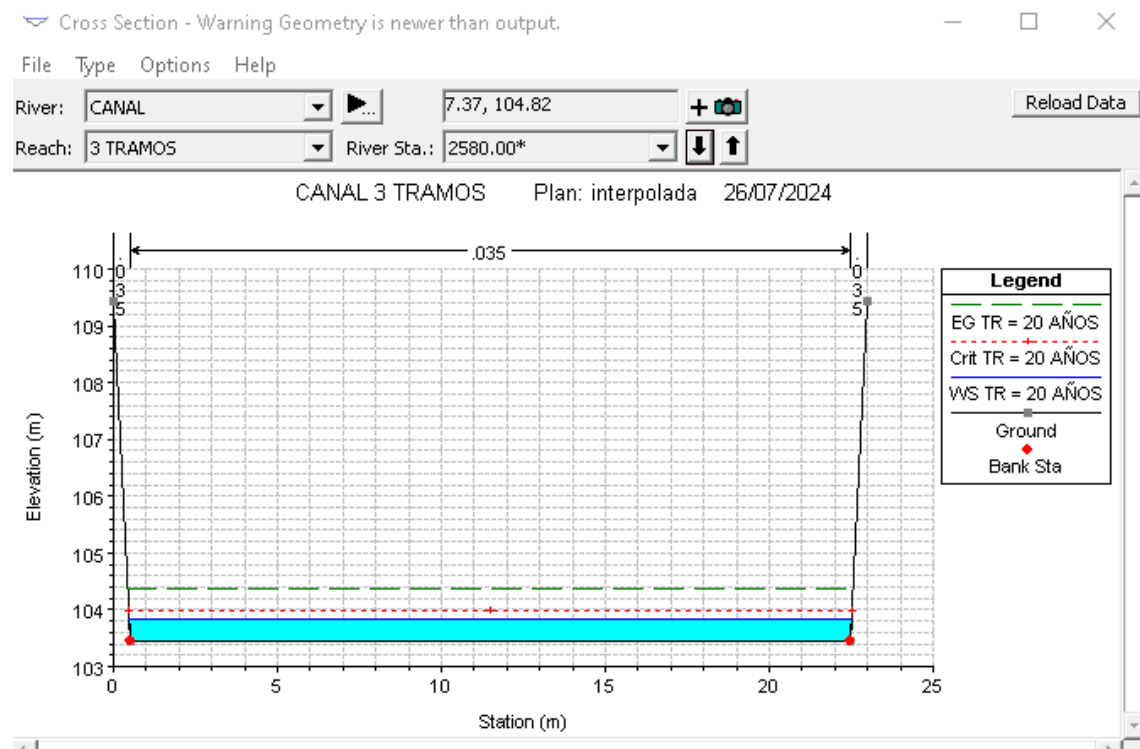
### Figura 54

#### Sección transversal 2+640



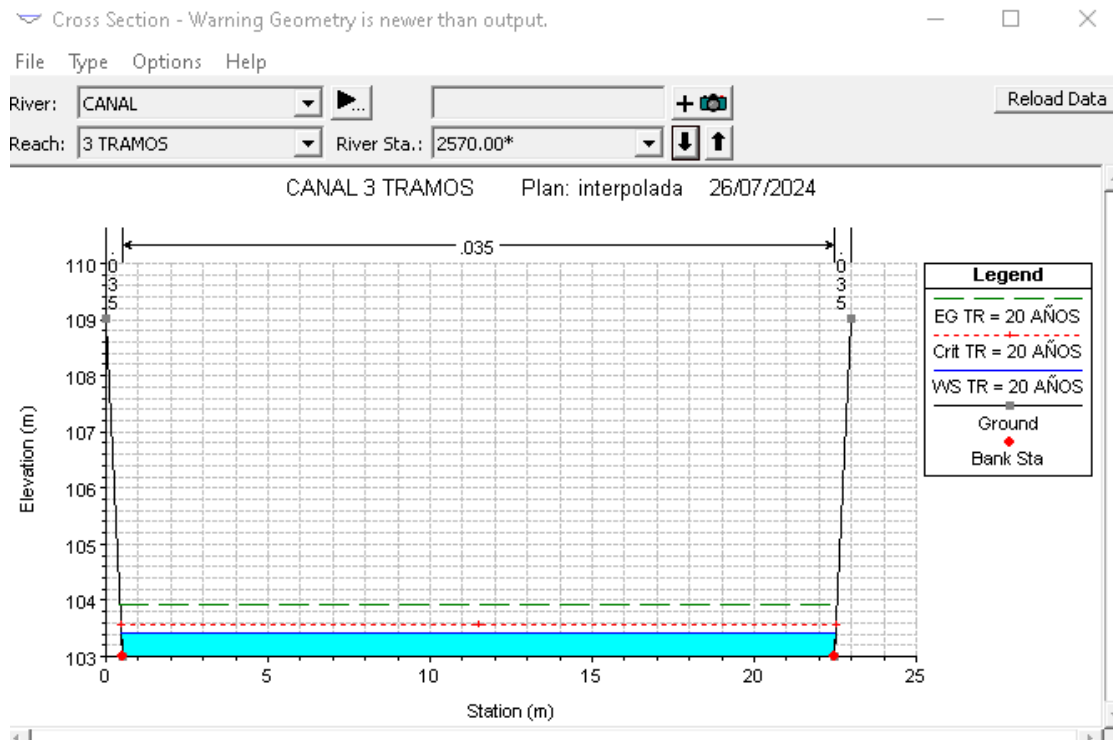
### Figura 55

#### Sección transversal 2+580



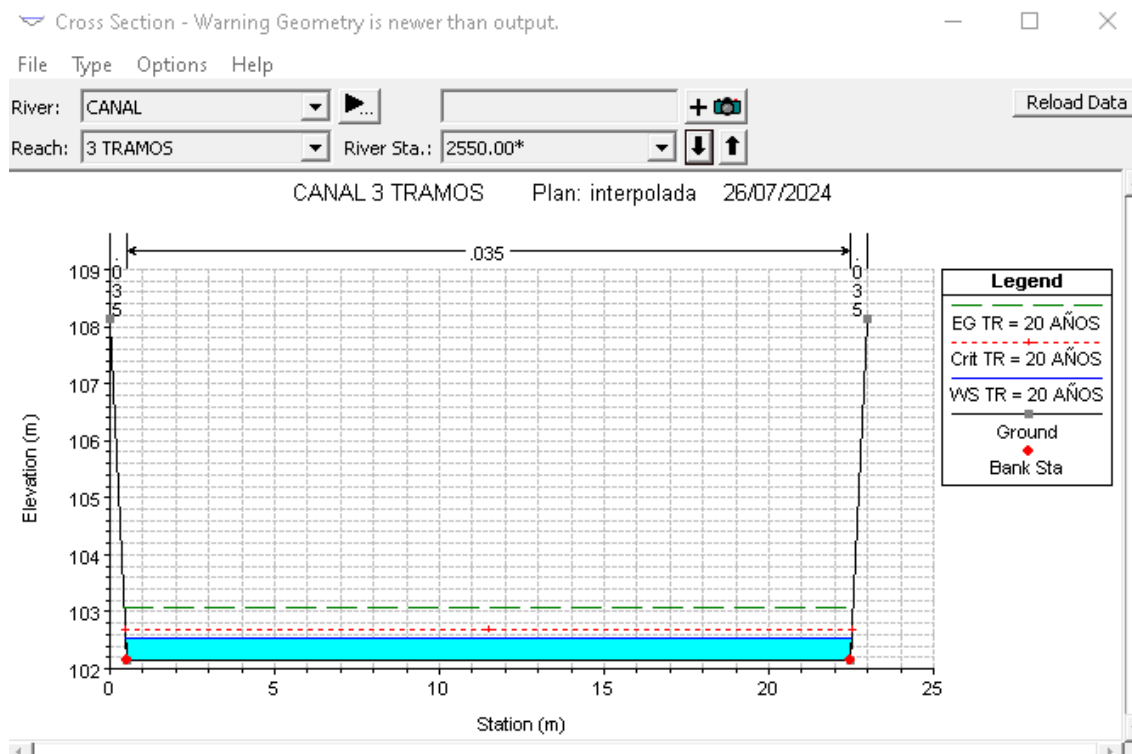
### Figura 56

#### Sección transversal 2+570



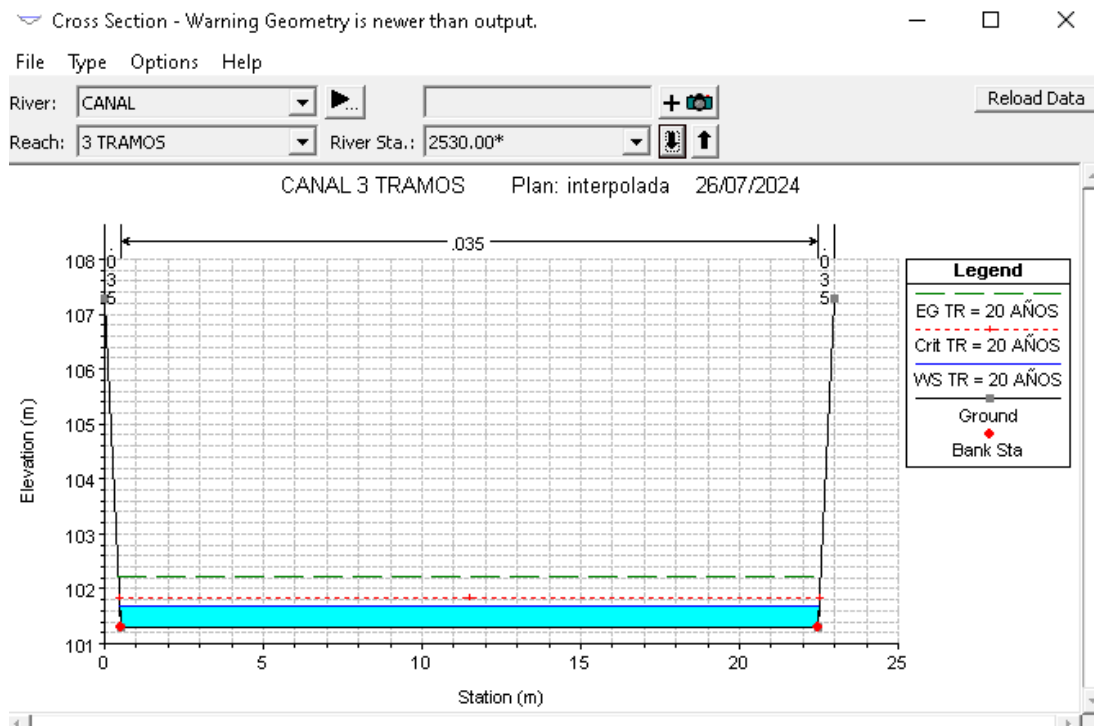
### Figura 57

#### Sección transversal 2+550



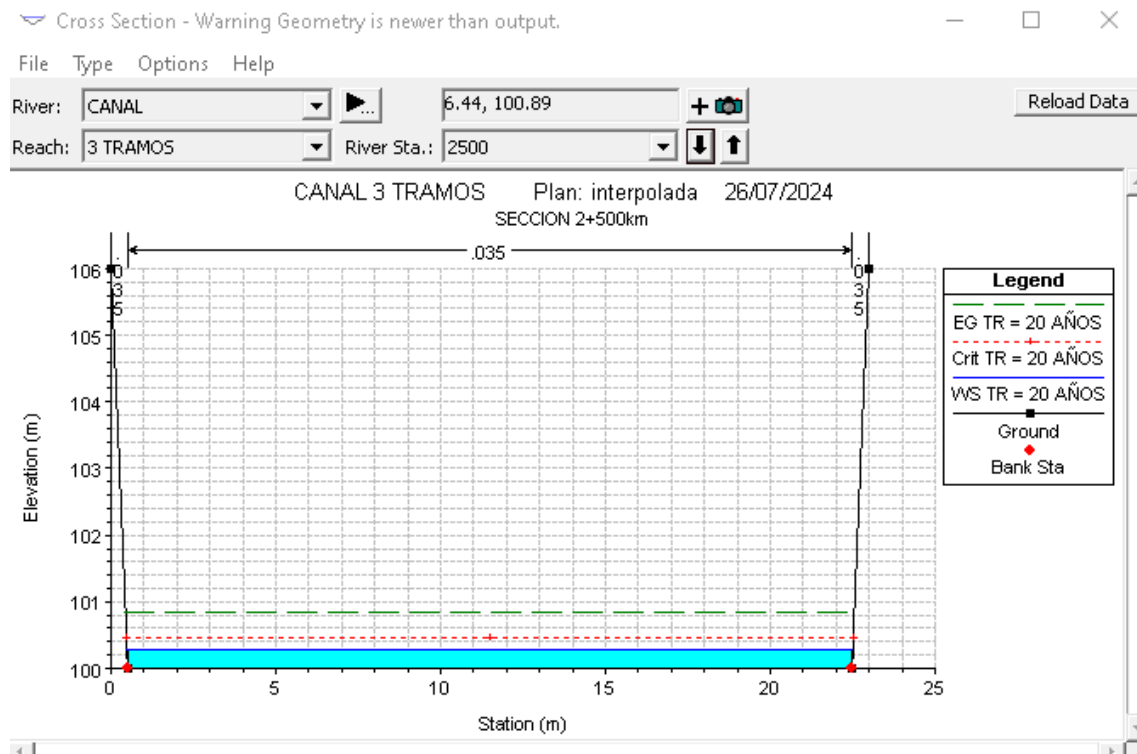
### Figura 58

#### Sección transversal 2+530



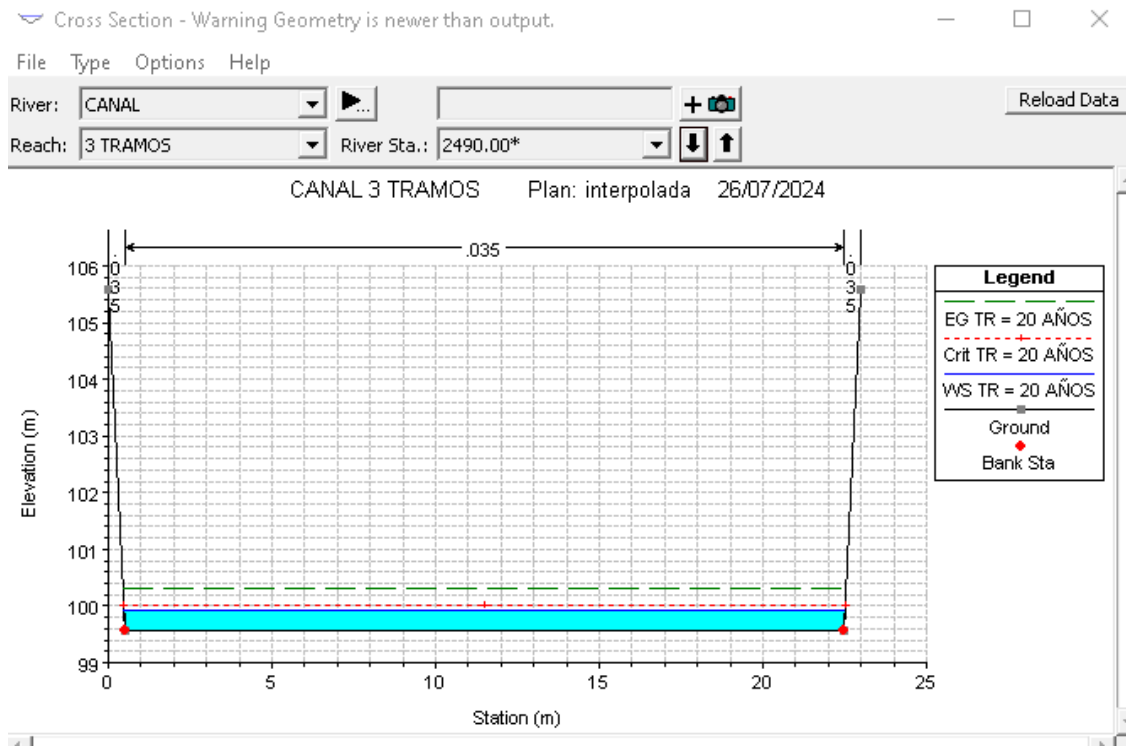
### Figura 59

#### Sección transversal 2+500



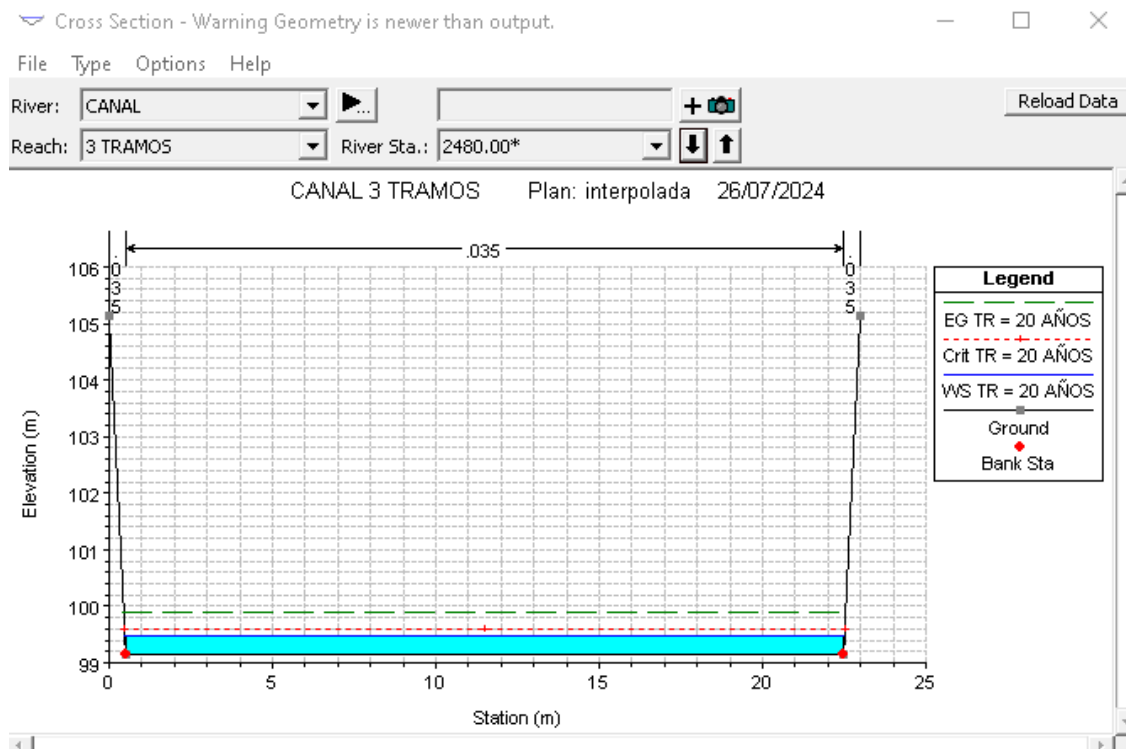
### Figura 60

#### Sección transversal 2+490



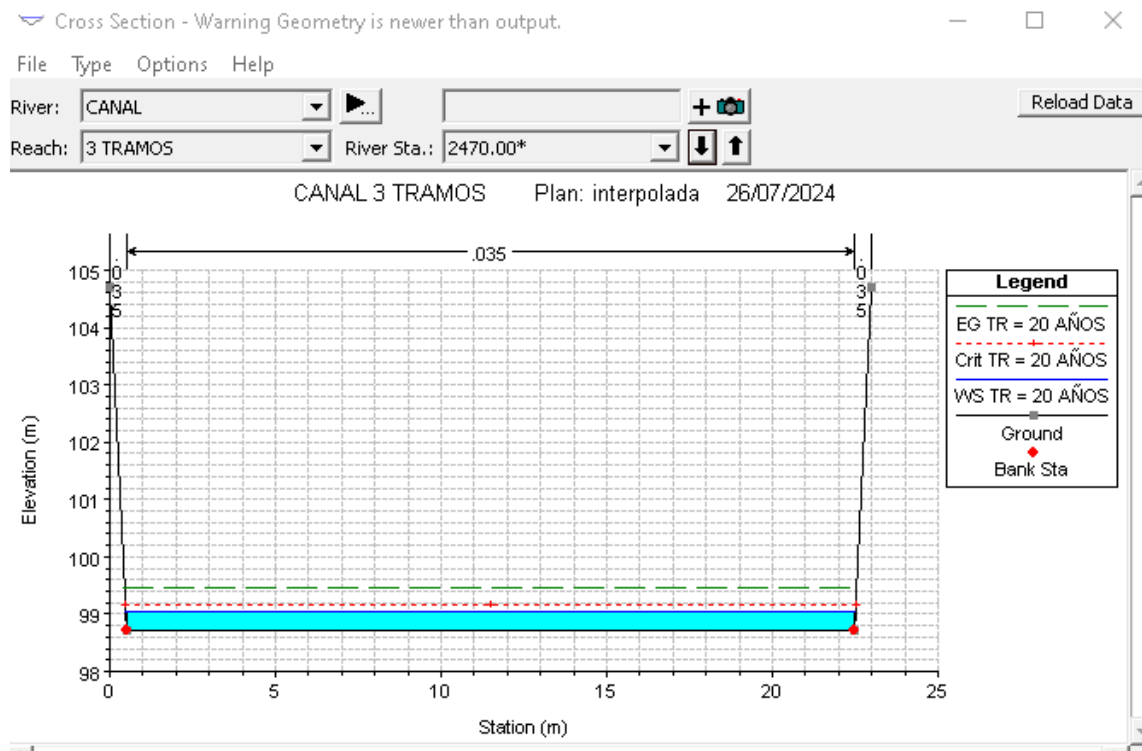
### Figura 61

#### Sección transversal 2+480



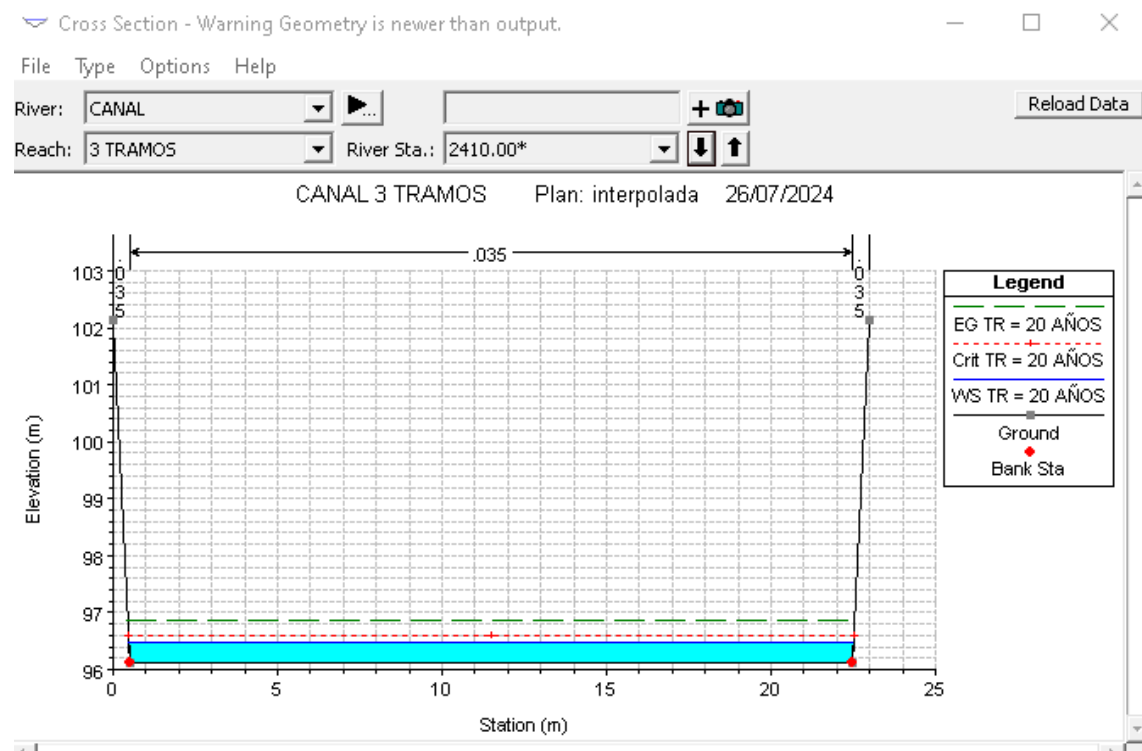
### Figura 62

#### Sección transversal 2+470



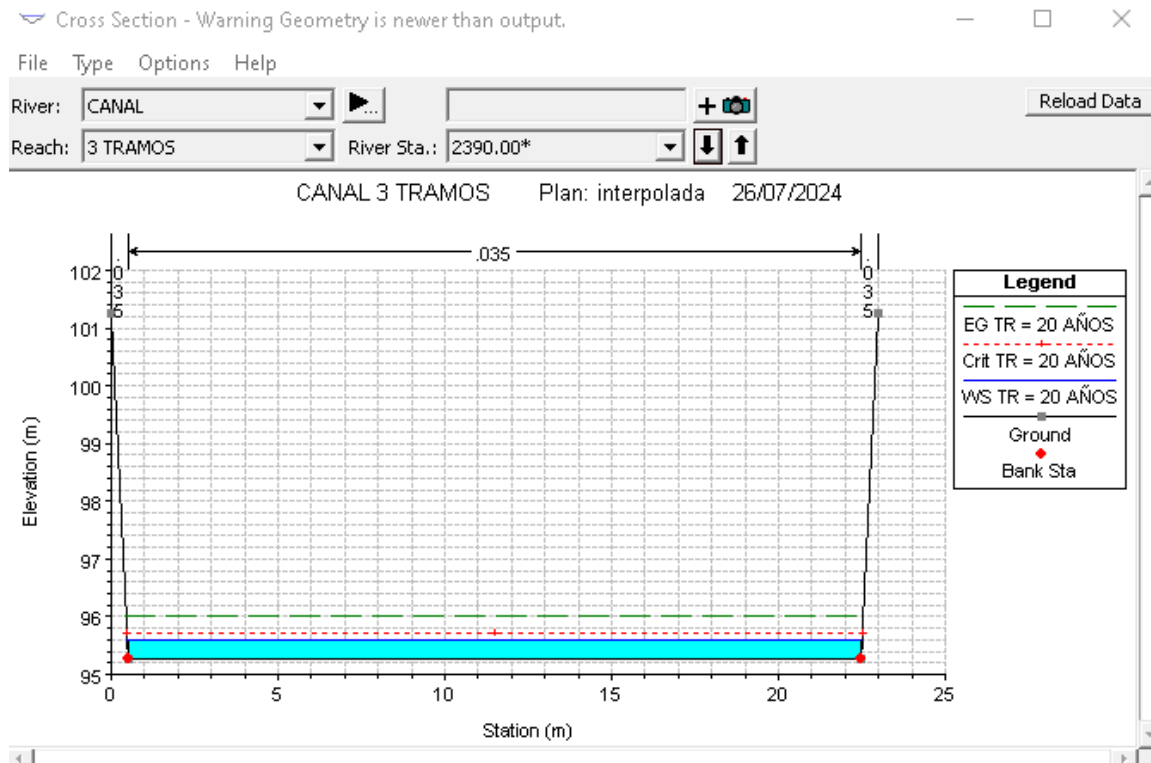
### Figura 63

#### Sección transversal 2+410



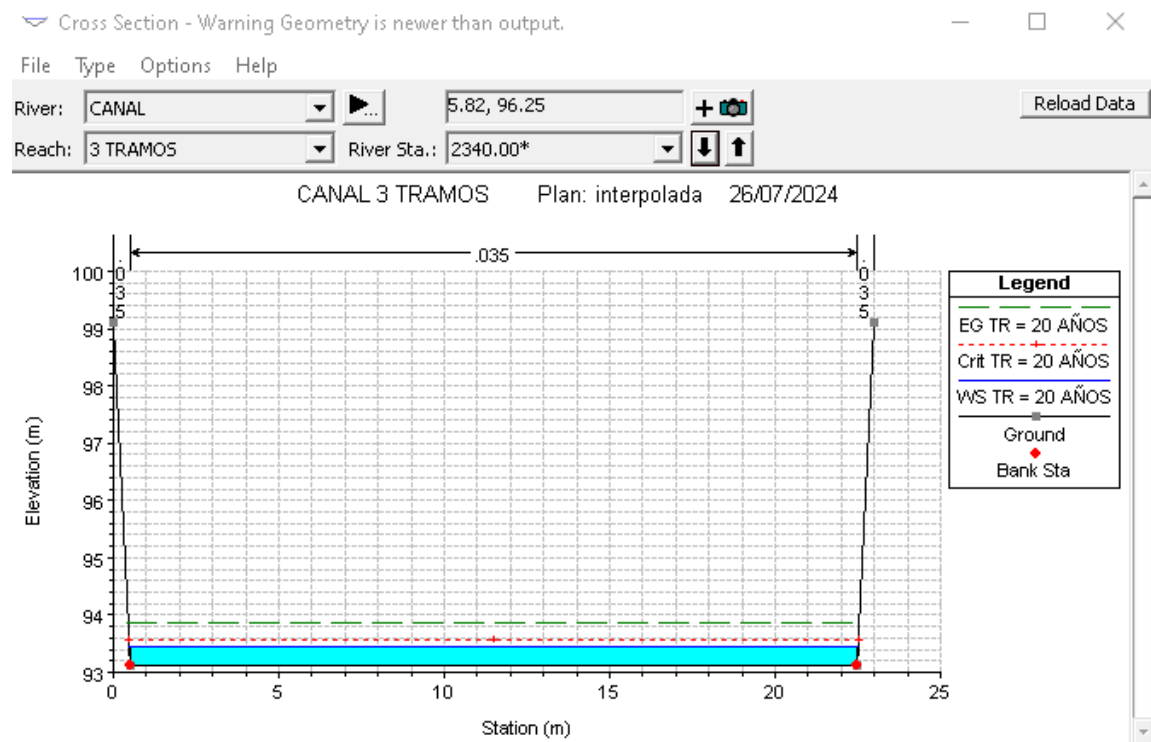
### Figura 64

#### Sección transversal 2+390



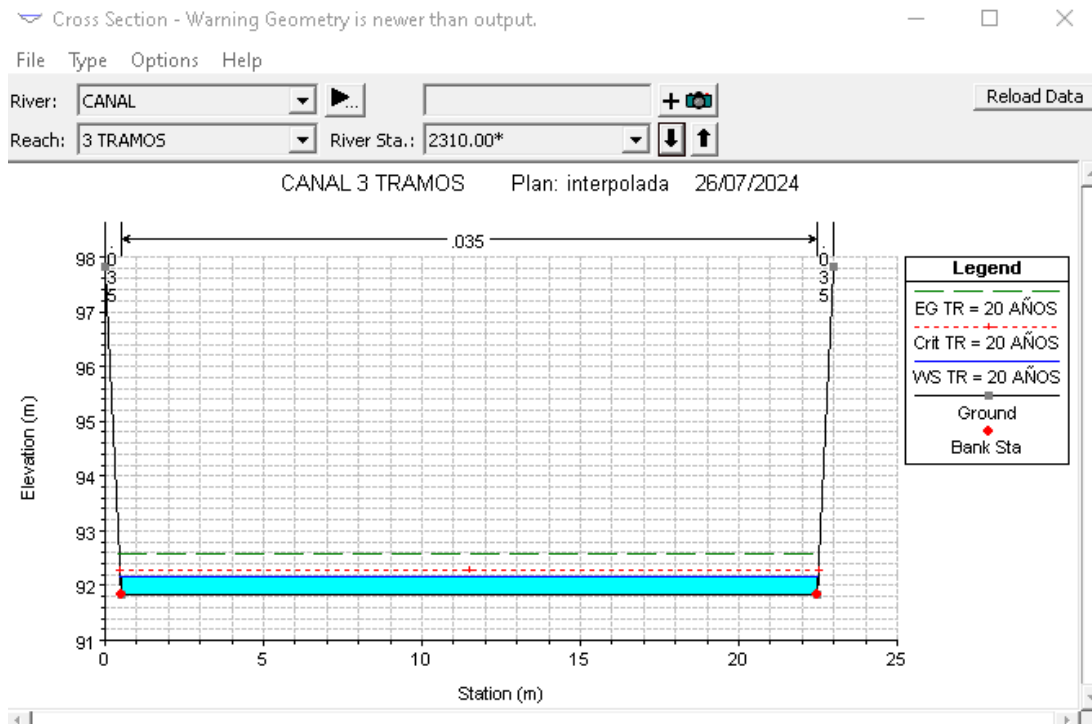
### Figura 65

#### Sección transversal 2+340



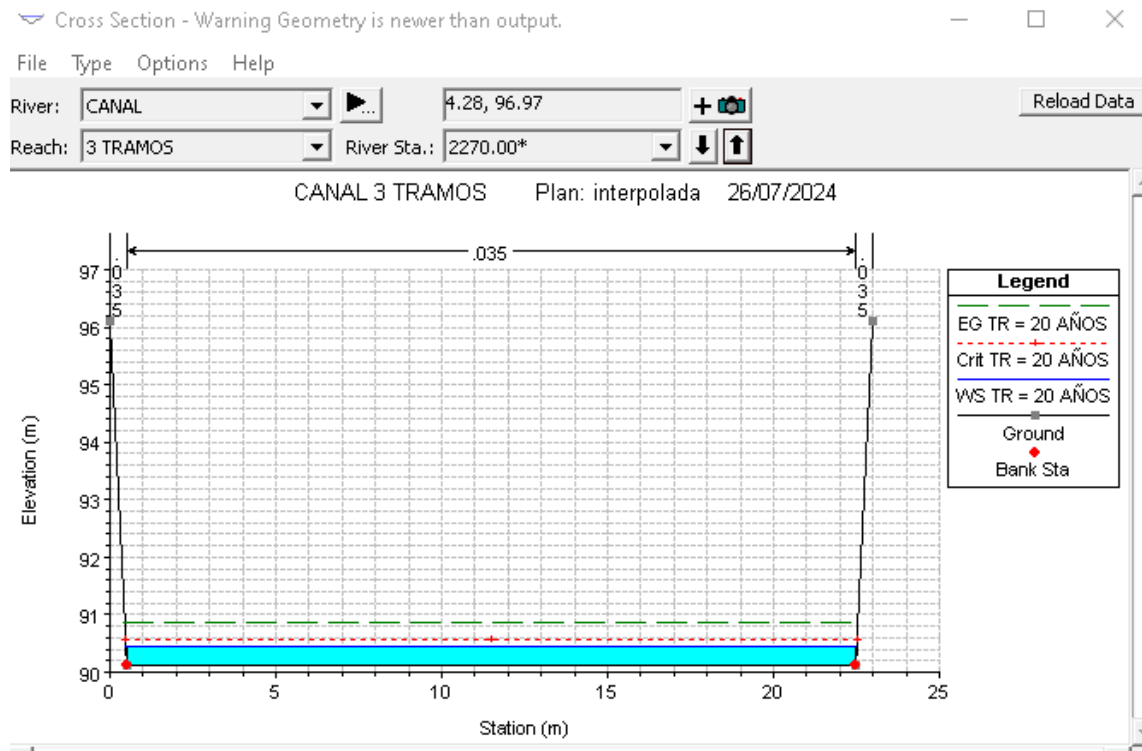
### Figura 66

#### Sección transversal 2+310



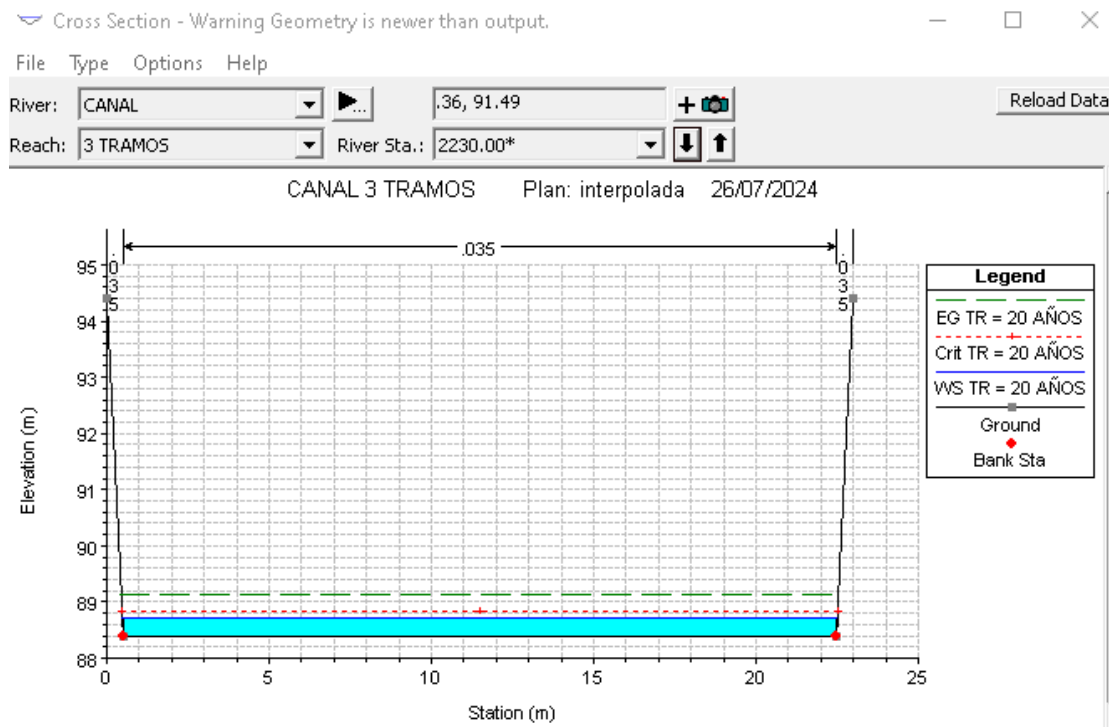
### Figura 67

#### Sección transversal 2+270



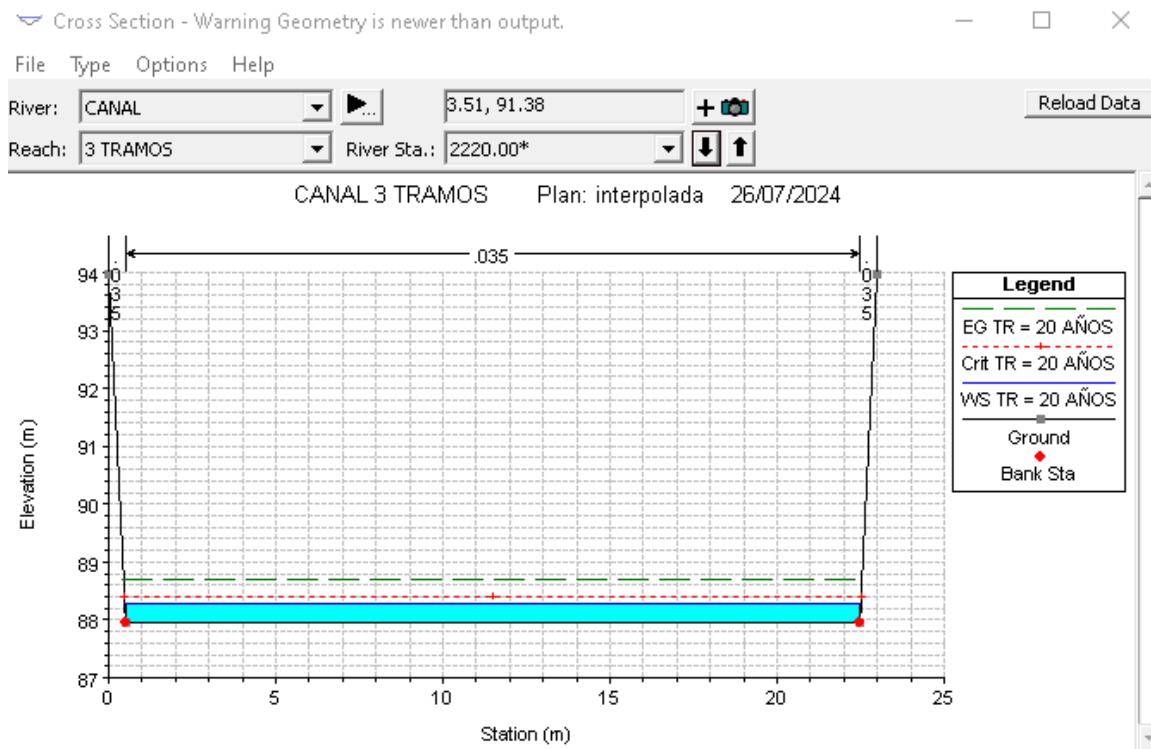
### Figura 68

#### Sección transversal 2+230



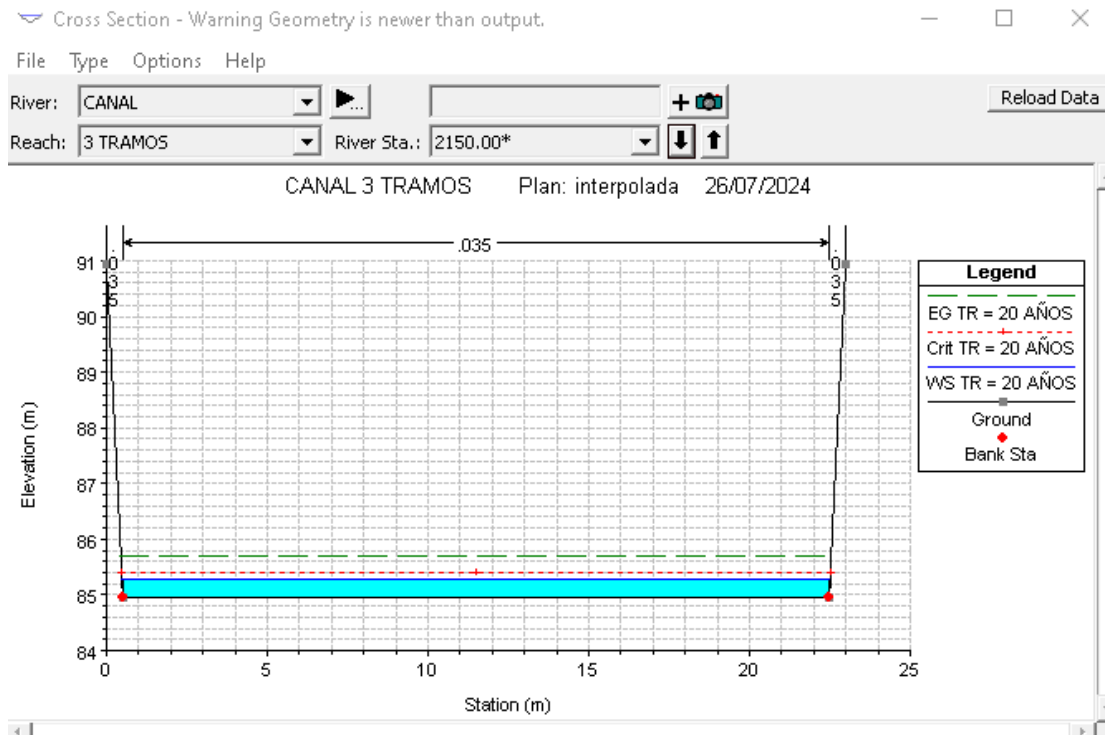
### Figura 69

#### Sección transversal 2+220



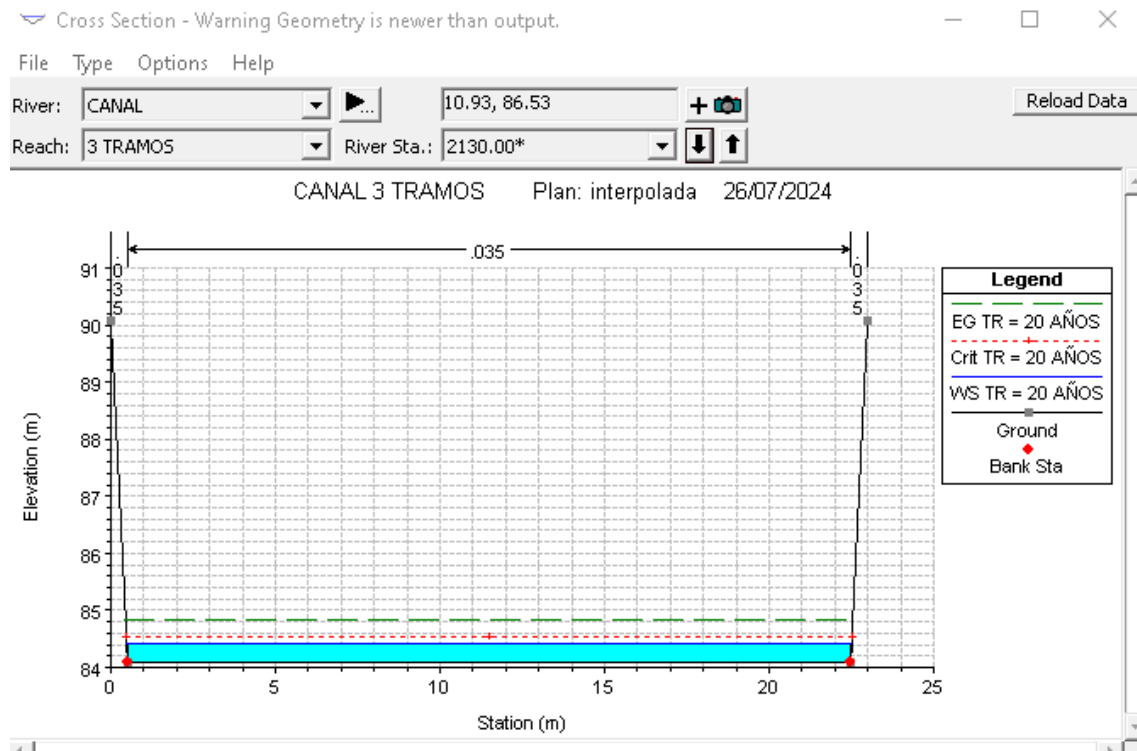
### Figura 70

#### Sección transversal 2+150



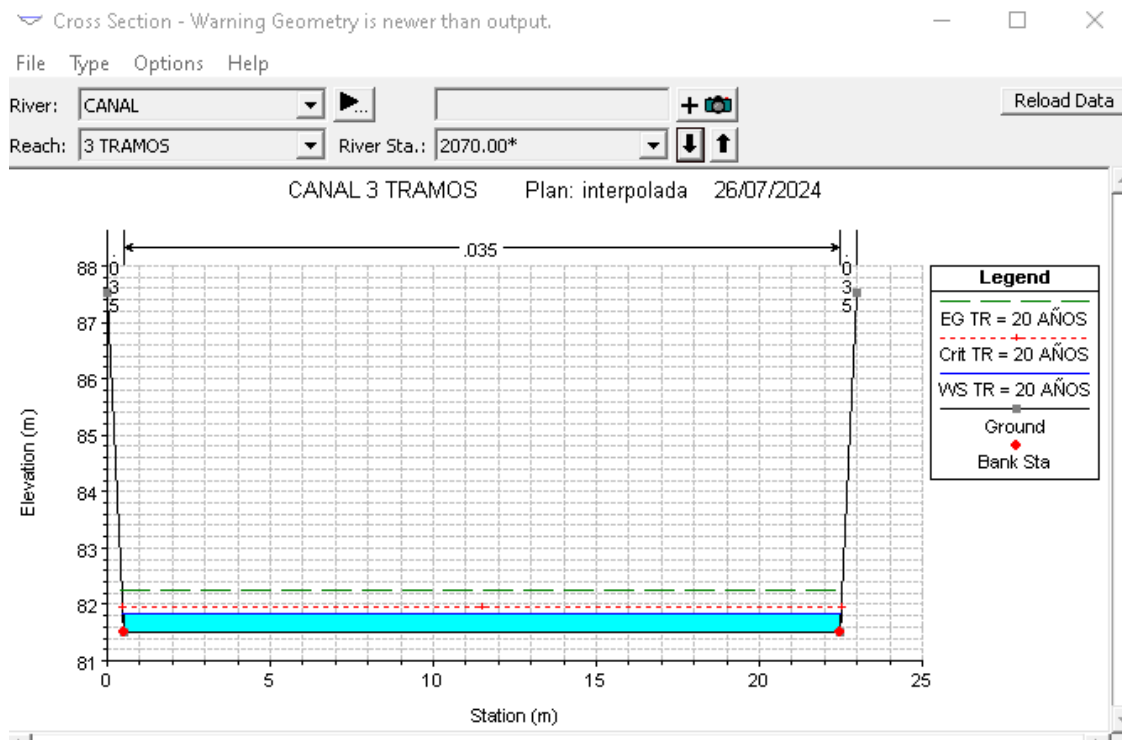
### Figura 71

#### Sección transversal 2+130



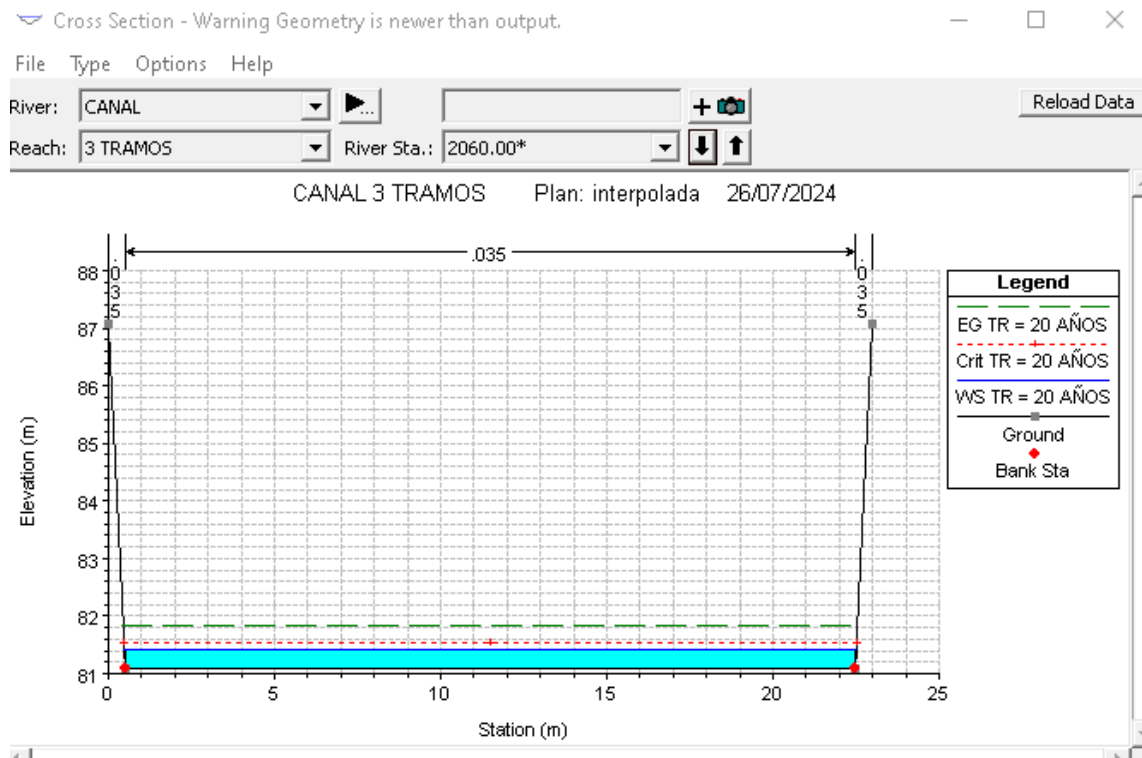
### Figura 72

#### Sección transversal 2+070



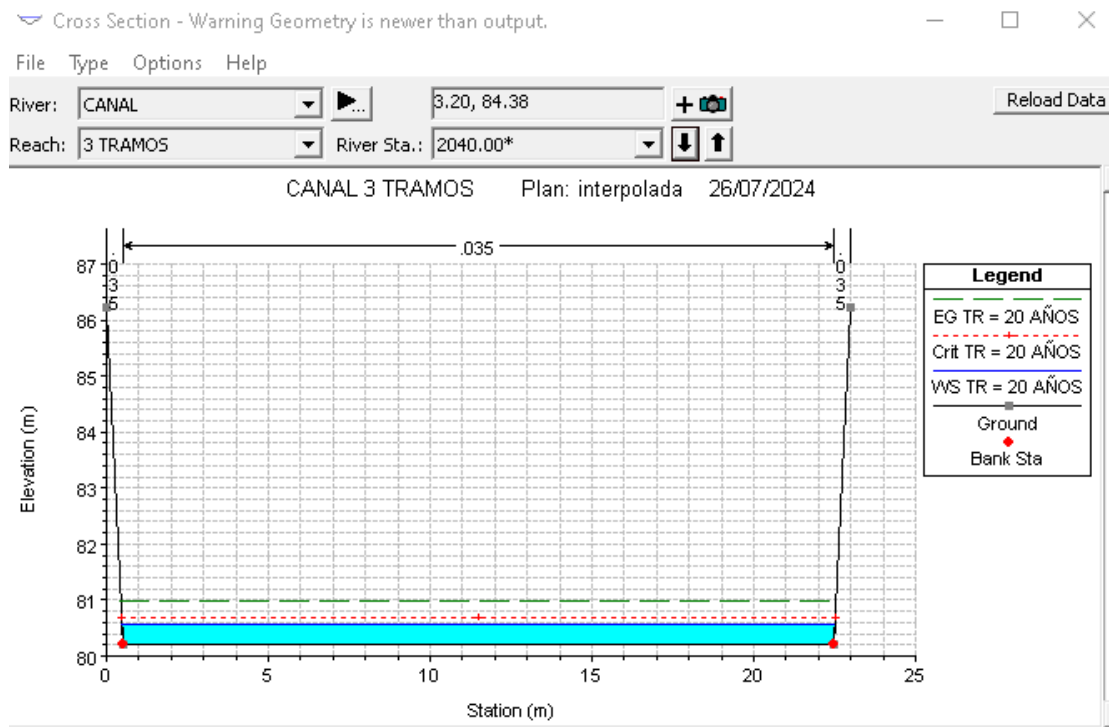
### Figura 73

#### Sección transversal 2+060



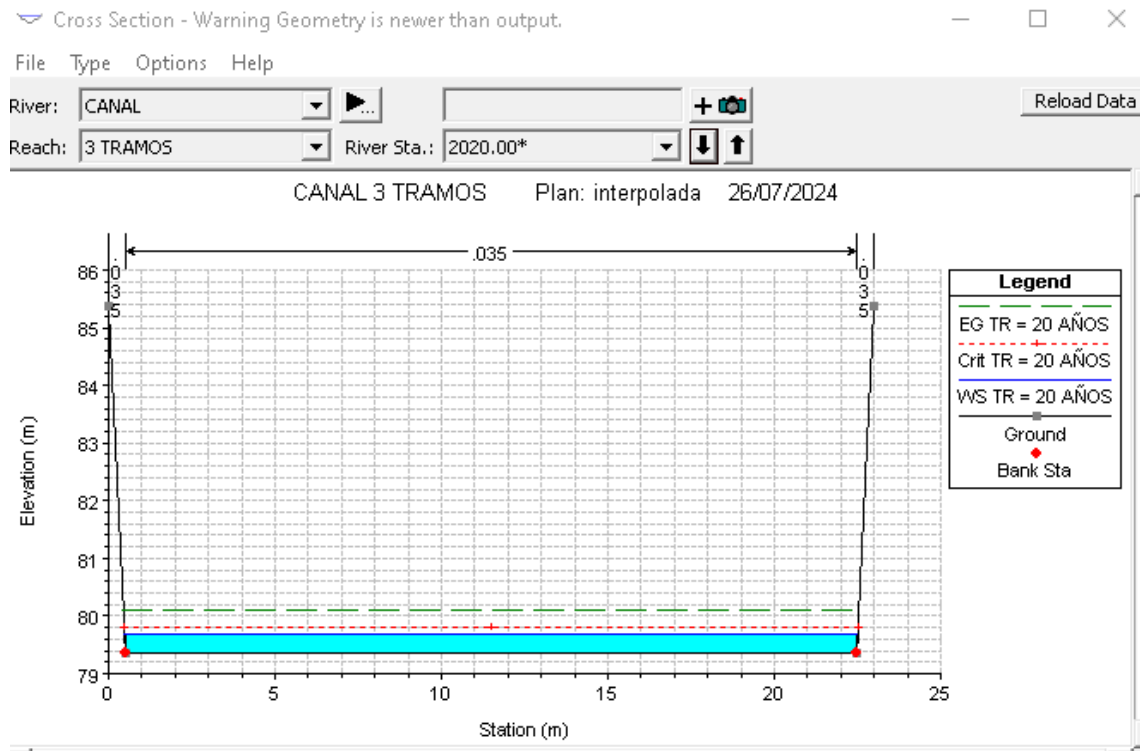
### Figura 74

#### Sección transversal 2+040



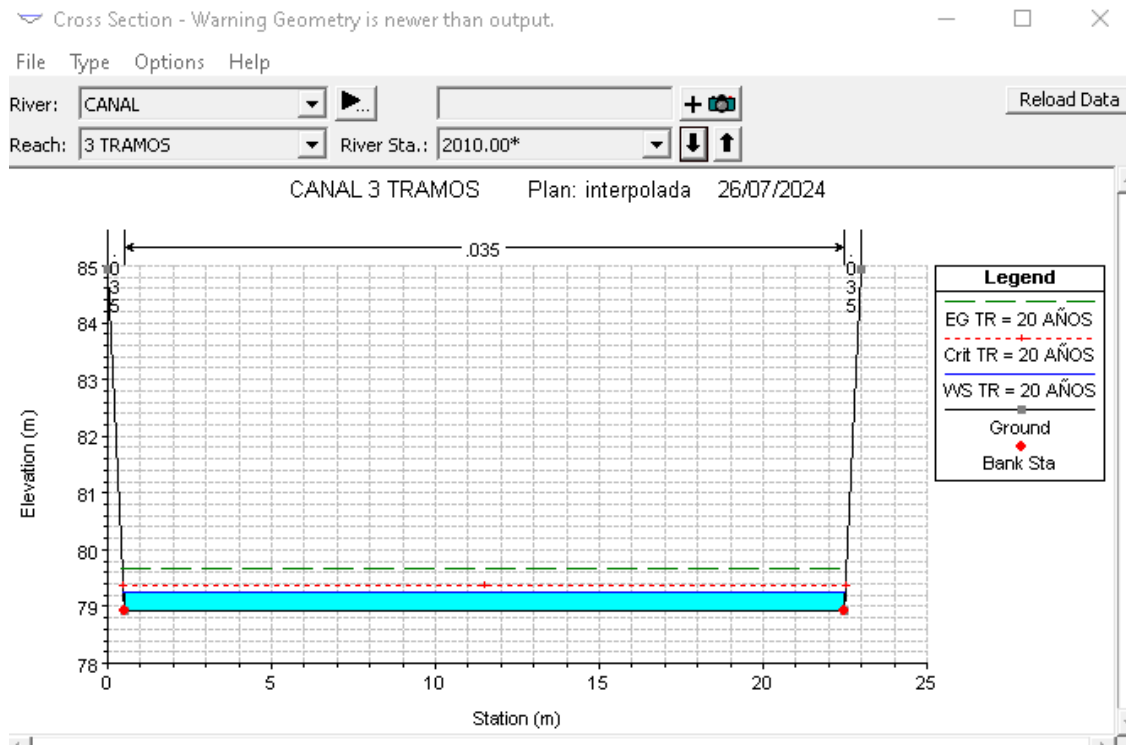
### Figura 75

#### Sección transversal 2+020



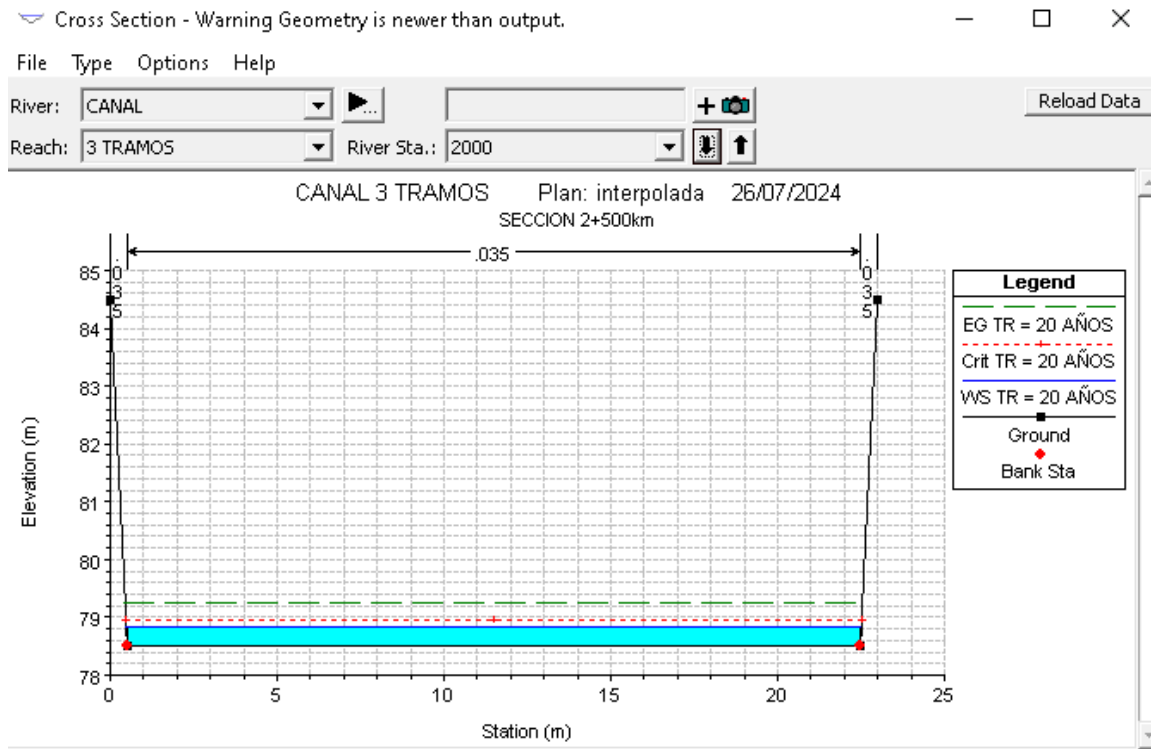
### Figura 76

#### Sección transversal 2+010



### Figura 77

#### Sección transversal 2+000





**Tabla 19**

*Resultados por secciones – Tramo 1*

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
TRAMO 1	3500.00	TR = 20 AÑOS	36	121.5	121.96	122.15	122.6	0.04307	3.54	10.18	22.08	1.66
TRAMO 1	3490.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014058	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3480.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014043	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3470.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014044	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3460.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3450.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3440.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3430.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3420.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3410.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3400.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3390.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3380.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3370.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3360.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3350.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3340.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3330.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3320.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3310.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3300.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3290.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3280.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01



TRAMO 1	3270.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3260.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3250.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3240.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3230.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3220.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3210.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3200.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3190.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3180.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3170.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3160.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3150.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3140.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3130.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3120.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3110.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3100.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3090.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3080.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3070.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3060.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3050.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3040.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3030.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3020.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3010.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01



**Tabla 20**

*Resultados por secciones – Tramo 2*

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
TRAMO 2	3000.00	TR = 20 AÑOS	28	121.5	122.04	122.05	122.32	0.015664	2.37	11.86	22.09	1.03
TRAMO 2	2990.00*	TR = 20 AÑOS	28	121.07	121.45	121.62	122.03	0.052075	3.39	8.27	22.06	1.77
TRAMO 2	2980.00*	TR = 20 AÑOS	28	120.64	121.04	121.19	121.55	0.040541	3.15	8.91	22.07	1.58
TRAMO 2	2970.00*	TR = 20 AÑOS	28	120.21	120.61	120.76	121.13	0.042969	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2960.00*	TR = 20 AÑOS	28	119.78	120.18	120.33	120.7	0.042922	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2950.00*	TR = 20 AÑOS	28	119.35	119.75	119.9	120.27	0.042695	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2940.00*	TR = 20 AÑOS	28	118.92	119.32	119.47	119.84	0.043167	3.21	8.75	22.07	1.63
TRAMO 2	2930.00*	TR = 20 AÑOS	28	118.49	118.89	119.04	119.41	0.042995	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2920.00*	TR = 20 AÑOS	28	118.06	118.46	118.61	118.98	0.042995	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2910.00*	TR = 20 AÑOS	28	117.63	118.03	118.18	118.55	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2900.00*	TR = 20 AÑOS	28	117.2	117.6	117.75	118.12	0.042821	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2890.00*	TR = 20 AÑOS	28	116.77	117.17	117.32	117.69	0.043042	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2880.00*	TR = 20 AÑOS	28	116.34	116.74	116.89	117.26	0.042768	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2870.00*	TR = 20 AÑOS	28	115.91	116.31	116.46	116.83	0.043113	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2860.00*	TR = 20 AÑOS	28	115.48	115.88	116.03	116.4	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2850.00*	TR = 20 AÑOS	28	115.05	115.45	115.6	115.97	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2840.00*	TR = 20 AÑOS	28	114.62	115.02	115.17	115.54	0.043076	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2830.00*	TR = 20 AÑOS	28	114.19	114.59	114.74	115.11	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2820.00*	TR = 20 AÑOS	28	113.76	114.16	114.31	114.68	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2810.00*	TR = 20 AÑOS	28	113.33	113.73	113.88	114.25	0.042845	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2800.00*	TR = 20 AÑOS	28	112.9	113.3	113.45	113.82	0.043079	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2790.00*	TR = 20 AÑOS	28	112.47	112.87	113.02	113.39	0.042912	3.2	8.76	22.07	1.62



TRAMO 2	2780.00*	TR = 20 AÑOS	28	112.04	112.44	112.59	112.96	0.042865	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2770.00*	TR = 20 AÑOS	28	111.61	112.01	112.16	112.53	0.043026	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2760.00*	TR = 20 AÑOS	28	111.18	111.58	111.73	112.1	0.042801	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2750.00*	TR = 20 AÑOS	28	110.75	111.15	111.3	111.67	0.043096	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2740.00*	TR = 20 AÑOS	28	110.32	110.72	110.87	111.24	0.042881	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2730.00*	TR = 20 AÑOS	28	109.89	110.29	110.44	110.81	0.042815	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2720.00*	TR = 20 AÑOS	28	109.46	109.86	110.01	110.38	0.043052	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2710.00*	TR = 20 AÑOS	28	109.03	109.43	109.58	109.95	0.042785	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2700.00*	TR = 20 AÑOS	28	108.6	109	109.15	109.52	0.043103	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2690.00*	TR = 20 AÑOS	28	108.17	108.57	108.72	109.09	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2680.00*	TR = 20 AÑOS	28	107.74	108.14	108.29	108.66	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2670.00*	TR = 20 AÑOS	28	107.31	107.71	107.86	108.23	0.043076	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2660.00*	TR = 20 AÑOS	28	106.88	107.28	107.43	107.8	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2650.00*	TR = 20 AÑOS	28	106.45	106.85	107	107.37	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2640.00*	TR = 20 AÑOS	28	106.02	106.42	106.57	106.94	0.042845	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2630.00*	TR = 20 AÑOS	28	105.59	105.99	106.14	106.51	0.043076	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2620.00*	TR = 20 AÑOS	28	105.16	105.56	105.71	106.08	0.042902	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2610.00*	TR = 20 AÑOS	28	104.73	105.13	105.28	105.65	0.042831	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2600.00*	TR = 20 AÑOS	28	104.3	104.7	104.85	105.22	0.043042	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2590.00*	TR = 20 AÑOS	28	103.87	104.27	104.42	104.79	0.042788	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2580.00*	TR = 20 AÑOS	28	103.44	103.84	103.99	104.36	0.043103	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2570.00*	TR = 20 AÑOS	28	103.01	103.41	103.56	103.93	0.042878	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2560.00*	TR = 20 AÑOS	28	102.58	102.98	103.13	103.5	0.042878	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2550.00*	TR = 20 AÑOS	28	102.15	102.55	102.7	103.07	0.043069	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2540.00*	TR = 20 AÑOS	28	101.72	102.12	102.27	102.64	0.042945	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2530.00*	TR = 20 AÑOS	28	101.29	101.69	101.84	102.21	0.042945	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2520.00*	TR = 20 AÑOS	28	100.86	101.26	101.41	101.78	0.042828	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2510.00*	TR = 20 AÑOS	28	100.43	100.83	100.98	101.35	0.043089	3.2	8.75	22.07	1.62

**Tabla 21***Resultados por secciones – Tramo 3*

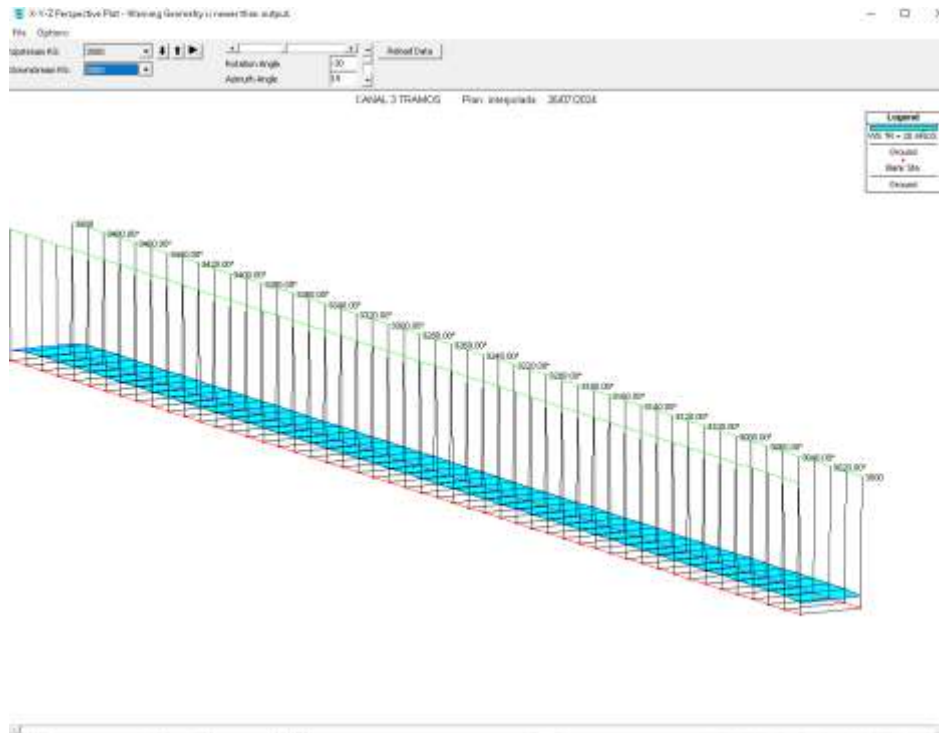
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO 3	2500.00	TR = 20 AÑOS	21	100	100.29	100.45	100.83	0.066695	3.26	6.46	22.05	1.92
TRAMO 3	2490.00*	TR = 20 AÑOS	21	99.57	99.92	100.02	100.3	0.037027	2.73	7.7	22.06	1.47
TRAMO 3	2480.00*	TR = 20 AÑOS	21	99.14	99.47	99.59	99.89	0.043696	2.87	7.33	22.06	1.59
TRAMO 3	2470.00*	TR = 20 AÑOS	21	98.71	99.05	99.16	99.46	0.042654	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2460.00*	TR = 20 AÑOS	21	98.28	98.61	98.73	99.03	0.043191	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2450.00*	TR = 20 AÑOS	21	97.85	98.18	98.3	98.6	0.042816	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2440.00*	TR = 20 AÑOS	21	97.42	97.75	97.87	98.17	0.042792	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2430.00*	TR = 20 AÑOS	21	96.99	97.32	97.44	97.74	0.043103	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2420.00*	TR = 20 AÑOS	21	96.56	96.89	97.01	97.31	0.04284	2.85	7.37	22.06	1.57
TRAMO 3	2410.00*	TR = 20 AÑOS	21	96.13	96.47	96.58	96.88	0.042681	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2400.00*	TR = 20 AÑOS	21	95.7	96.03	96.15	96.45	0.043251	2.86	7.35	22.06	1.58
TRAMO 3	2390.00*	TR = 20 AÑOS	21	95.27	95.6	95.72	96.02	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2380.00*	TR = 20 AÑOS	21	94.84	95.17	95.29	95.59	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2370.00*	TR = 20 AÑOS	21	94.41	94.74	94.86	95.16	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2360.00*	TR = 20 AÑOS	21	93.98	94.31	94.43	94.73	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2350.00*	TR = 20 AÑOS	21	93.55	93.88	94	94.3	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2340.00*	TR = 20 AÑOS	21	93.12	93.45	93.57	93.87	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2330.00*	TR = 20 AÑOS	21	92.69	93.02	93.14	93.44	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2320.00*	TR = 20 AÑOS	21	92.26	92.59	92.71	93.01	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2310.00*	TR = 20 AÑOS	21	91.83	92.16	92.28	92.58	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2300.00*	TR = 20 AÑOS	21	91.4	91.73	91.85	92.15	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2290.00*	TR = 20 AÑOS	21	90.97	91.3	91.42	91.72	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2280.00*	TR = 20 AÑOS	21	90.54	90.87	90.99	91.29	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58



TRAMO 3	2270.00*	TR = 20 AÑOS	21	90.11	90.44	90.56	90.86	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2260.00*	TR = 20 AÑOS	21	89.68	90.01	90.13	90.43	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2250.00*	TR = 20 AÑOS	21	89.25	89.58	89.7	90	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2240.00*	TR = 20 AÑOS	21	88.82	89.15	89.27	89.57	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2230.00*	TR = 20 AÑOS	21	88.39	88.72	88.84	89.14	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2220.00*	TR = 20 AÑOS	21	87.96	88.29	88.41	88.71	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2210.00*	TR = 20 AÑOS	21	87.53	87.86	87.98	88.28	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2200.00*	TR = 20 AÑOS	21	87.1	87.43	87.55	87.85	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2190.00*	TR = 20 AÑOS	21	86.67	87	87.12	87.42	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2180.00*	TR = 20 AÑOS	21	86.24	86.57	86.69	86.99	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2170.00*	TR = 20 AÑOS	21	85.81	86.14	86.26	86.56	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2160.00*	TR = 20 AÑOS	21	85.38	85.71	85.83	86.13	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2150.00*	TR = 20 AÑOS	21	84.95	85.28	85.4	85.7	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2140.00*	TR = 20 AÑOS	21	84.52	84.85	84.97	85.27	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2130.00*	TR = 20 AÑOS	21	84.09	84.42	84.54	84.84	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2120.00*	TR = 20 AÑOS	21	83.66	83.99	84.11	84.41	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2110.00*	TR = 20 AÑOS	21	83.23	83.56	83.68	83.98	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2100.00*	TR = 20 AÑOS	21	82.8	83.13	83.25	83.55	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2090.00*	TR = 20 AÑOS	21	82.37	82.7	82.82	83.12	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2080.00*	TR = 20 AÑOS	21	81.94	82.27	82.39	82.69	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2070.00*	TR = 20 AÑOS	21	81.51	81.84	81.96	82.26	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2060.00*	TR = 20 AÑOS	21	81.08	81.41	81.53	81.83	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2050.00*	TR = 20 AÑOS	21	80.65	80.98	81.1	81.4	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2040.00*	TR = 20 AÑOS	21	80.22	80.55	80.67	80.97	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2030.00*	TR = 20 AÑOS	21	79.79	80.12	80.24	80.54	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2020.00*	TR = 20 AÑOS	21	79.36	79.69	79.81	80.11	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2010.00*	TR = 20 AÑOS	21	78.93	79.26	79.38	79.68	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2000.00	TR = 20 AÑOS	21	78.5	78.83	78.95	79.25	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58

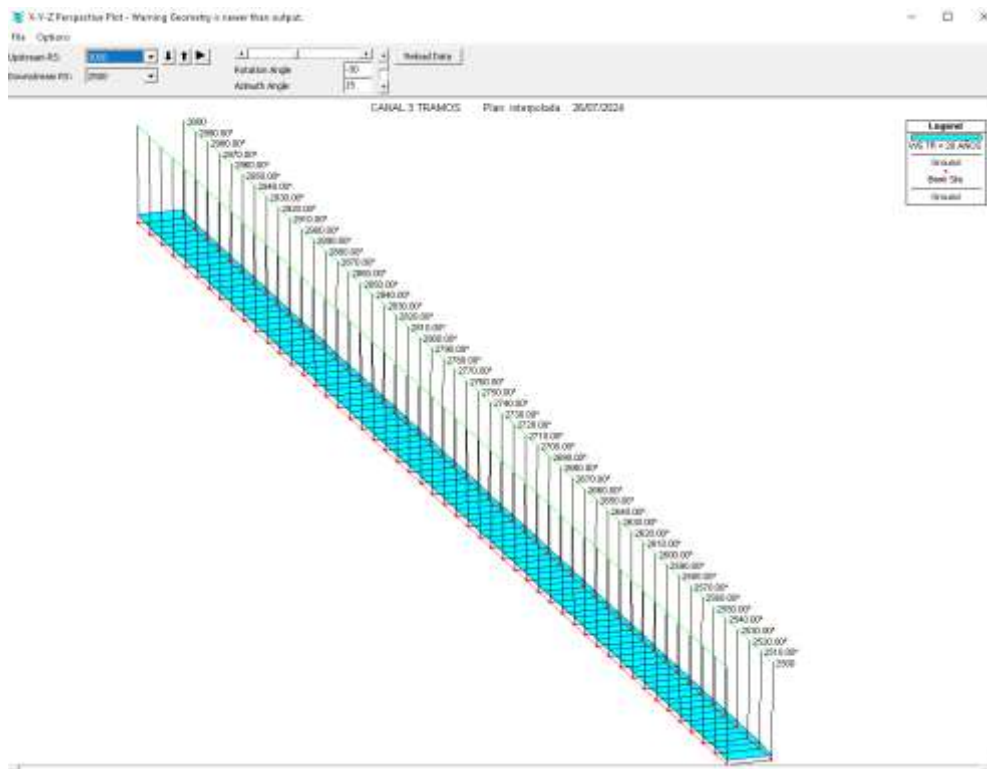
**Figura 78**

*Perspectiva de canal de riego, Tramo 1*



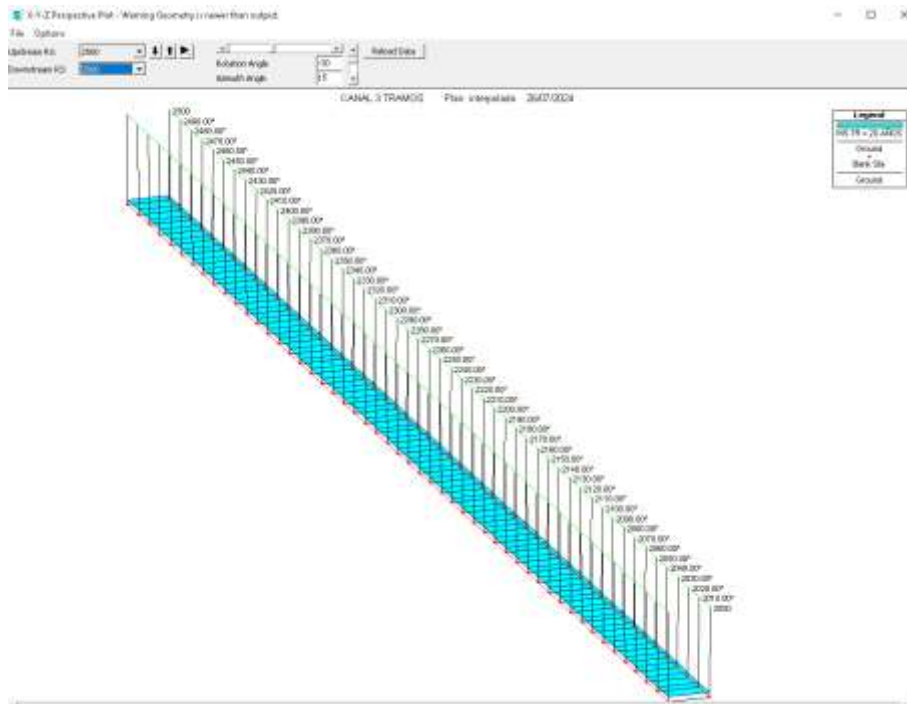
**Figura 79**

*Perspectiva de canal de riego, Tramo 2*



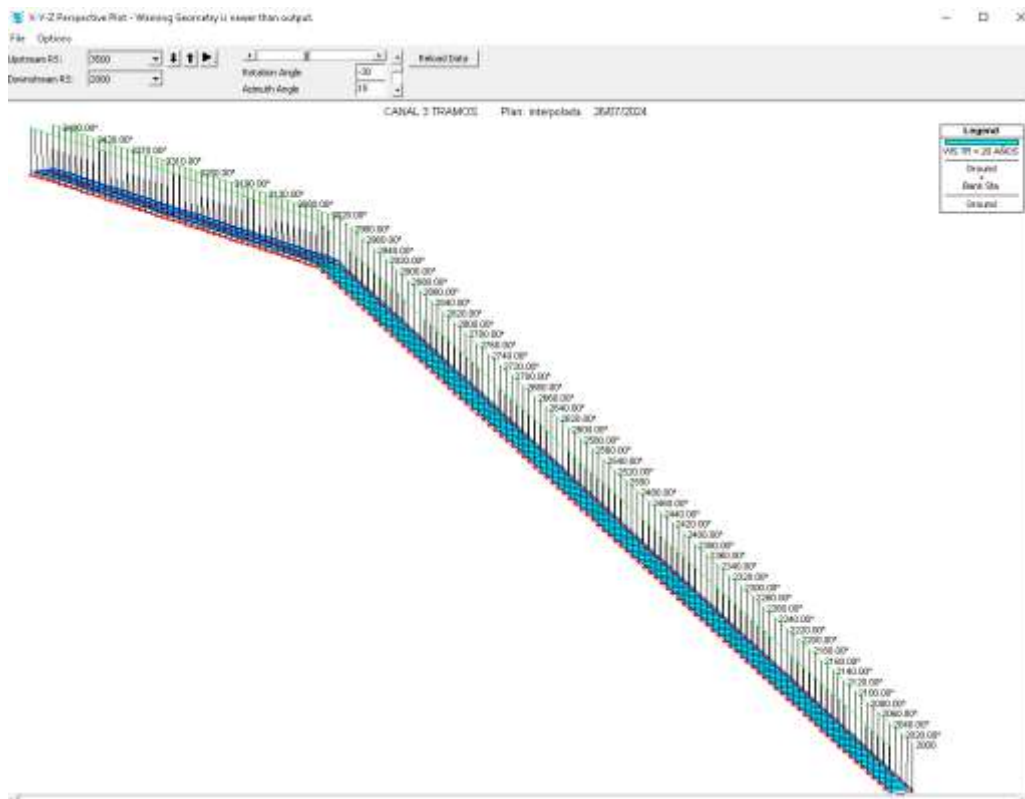
**Figura 80**

*Perspectiva de canal de riego, Tramo 3*



**Figura 81**

*Perspectiva general de canal de riego en 3D, 3+500 hasta 2+000*





## 4.2 Discusión

➤ **Las características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales**, se tomó en consideración 3 tramos de estudio; en donde se consideró datos conocidos; tirante, talud, coeficiente de rugosidad, pendiente, los cuales con 1, 0.5, 0.035, 0.043 respectivamente, en cuanto al ancho de solera para el tramo 1 = 4 metros, tramo 2 = 5 metros, tramo 3 = 6 metros; se hizo la evaluación en 3 tramos desde la sección 3+500 hasta la sección 2+000, lo cuales las dividimos en 3 tramos ,tramo 1, km 3+500 – km 3+000; tramo 2, km 3+000 – km 2+500; tramo 3, km 2+500 – km 2+000; se utilizó el software HCanales para el análisis de datos ; tramo 1 = 3+500 – 3+000; caudal = 35.5283 m<sup>3</sup>/s, área hidráulica 7.0 m<sup>2</sup>, radio hidráulico = 0.7929 m, numero de froude = 1.7324, velocidad = 5.0755 m/s, perímetro = 8.8284 m, espejo de agua = 8.0 m, energía específica = 2.3130 m·kg/kg, tipo de flujo = subcrítico; tramo 2 = 3+000 – 2+500; caudal = 28.5369 m<sup>3</sup>/s, área hidráulica = 5.75 m<sup>2</sup>, radio hidráulico = 0.7667 m, numero de froude = 1.6847, velocidad = 4.9629 m/s, perímetro = 7.5000 m, espejo de agua = 6.5 m, energía específica = 2.2554 m·kg/kg, tipo de flujo = subcrítico; tramo 3 = 2+500 – 2+000; caudal = 21.4493 m<sup>3</sup>/s, área hidráulica = 4.50 m<sup>2</sup>, radio hidráulico = 0.7216 m, numero de froude = 1.6041, velocidad = 4.7665 m/s, perímetro = 6.2361 m, espejo de agua = 5.0 m, energía específica = 2.1580 m·kg/kg, tipo de flujo = subcrítico, se considera el canal con un flujo turbulento.

➤ **La modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para conocer su comportamiento**, se consideró de la misma manera 3 tramos; conociendo nuestro caudal para el tramo 1, 3+500 – 3+000 = 35.5283 m<sup>3</sup>/seg, caudal para el tramo 2, 3+000 – 2+500 = 28.5364 m<sup>3</sup>/seg, caudal para el tramo 3, 2+500 – 2+000 = 21.4493 m<sup>3</sup>/seg, con un coeficiente de rugosidad de 0.035; seguidamente se utilizó el software HEC-RAS para el modelado de nuestro canal de riego, se inicializa abriendo la interfaz de software, después el ingreso de nuestros datos geométricos las cuales ya los tenemos, de acuerdo a nuestra sección trapezoidal que se considerara para los 1500 metros de longitud



del canal, se tiene que ingresar el plan , la geometría, modelado de canal en sus vistas de perfil, de cada uno de los tramos evaluados respectivamente.

➤ **Las secciones de máxima eficiencia hidráulica y mejorar la situación del canal de riego**, se consideró una propuesta de diseño se canal de riego rectangular con 3 tramos con la utilización del software HCanales y software HEC-RAS; para el tramo 1 (3+500 – 3+000) se consideraron los siguientes datos: caudal 36.00m<sup>3</sup>/seg, talud = 0 , Rugosidad = 0.035, pendiente = 0.043; Resultados, tirante = 1.8040 m, ancho de soledad = 3.61m<sup>2</sup>, perímetro mojado = 3.61, Radio hidráulico = 0.74m, Espejo de agua = 3.61m, Velocidad = 5.53m/s, Numero de froude = 1.31m, Energía especifica = 3.36m, tipo de flujo = Supercrítico; para el tramo 2 (3+000 – 2+250) se consideraron los siguientes datos: caudal = 28.00m<sup>3</sup>/seg, talud = 0 , Rugosidad = 0.035, pendiente = 0.043; Resultados, tirante = 1.64 m, ancho de soledad = 3.28m<sup>2</sup>, perímetro mojado = 6.57, Radio hidráulico = 0.82m, Espejo de agua = 3.28m, Velocidad = 5.20m/s, Numero de froude = 1.29m, Energía especifica = 3.36m, tipo de flujo = Supercrítico, para el tramo 3 (2+500 – 2+000) se consideraron los siguientes datos: caudal = 21.00m<sup>3</sup>/seg, talud = 0 , Rugosidad = 0.035, pendiente = 0.043; Resultados, tirante = 1.47m, ancho de soledad = 4.34m<sup>2</sup>, perímetro mojado = 5.90m, Radio hidráulico = 0.74m, Espejo de agua = 2.95m, Velocidad = 4.83m/s, Numero de froude = 1.27m, Energía especifica = 3.67m, tipo de flujo = Supercrítico; todos estos resultados con ayuda del software HCanales; seguidamente se hace el modelamiento de nuestro sistema de riego de sección rectangular con ayuda de software HEC-RAS, se realizó el diseño hidráulico desde la sección 3+500 hasta 3+000 hasta 2+500 hasta 2+000; el diseño se modelo en el ítem de introducción de geometría del canal; seguidamente se interpola todos estos tramos para tener lo resultados de cada partida que fueron separadas cada 10 metros, de las 150 sección existentes se tomaron n total de 35 secciones.



## CONCLUSIONES

**Primera,** las características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales son las mismas en medidas de tirante, talud, coeficiente de rugosidad y pendiente, la única variación es en el ancho de la solera y velocidad; tramo 1, tramo 2, tramo 3; 6 m: 5.0755 m/s, 5m: 4.9626m/s; 6m: 4m: 4.7665m/s; se considera que se prevea por su velocidad erosiva, por ser un tipo de flujo subcrítico.

**Segunda,** la modelación del canal de riego con el software HEC-RAS para mejorar su comportamiento se tomaron los mismos caudales encontrados en el punto anterior igual en 3 tramos se introdujeron los parámetros de la sección trapezoidal en la geometría del programa, se hizo el modelado por cada sección; 3+500, 3+000, 2+500, 2+000, cada una con tu sección de diseño, perfil de diseño, velocidades y por último la sección modelada general en 3D.

**Tercera,** la sección de máxima eficiencia hidráulica fue calculada con ayuda del software HCanales considerando los mismos caudales de diseño para el cálculo de la máxima eficiencia la sección del canal de riego deberá de ser rectangular donde ya no se considera el talud, se realizó el modelado para cada tramo de sección, siendo un canal rectangular nos indica que la velocidad es erosiva y turbulenta, con un tipo de flujo supercrítico.



## RECOMENDACIONES

**Primera,** realizar el cálculo del caudal ya sea en aguas arriba y aguas abajo, varias veces, con ese cálculo cambiar el valor de ancho de solera, talud. y pendiente; considerar que el diseño del canal llegue a un tipo de flujo crítico.

**Segunda,** realizar el modelamiento del canal de riego con el software HEC-RAS en otros puntos o puntos específicos para 2 por lo menos, hacer consideraciones en los valores de la pendiente.

**Tercera,** realizar el cálculo de máxima eficiencia hidráulica con ayuda del HCanales con diferentes datos considerar un talud mayor, pendiente semielevada, siendo la estructura un canal rectangular realizar las pruebas de caudal en diferentes partidas



## REFERENCIAS

- Akiyanova, F., Ongdas, N., Zinabdin, N., Karakulov, Y., Nazhbiyev, A., Mussagaliyeva, Z., & Atalikhova, A. (2023). Operation of Gate-Controlled Irrigation System Using HEC-RAS 2D for Spring Flood Hazard Reduction. *Computation*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/computation11020027>
- Arif, M. I., Legono, D., & Luknanto, D. (2021). Study on the Performance of the Hydraulics System Planning of Swampy Irrigation Area of Dadahup, Kapuas District, Central Kalimantan Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012049>
- Asalde Yupton, J. W. (2020). 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. *Repositorio Académico USMP*. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6942>
- Ashour, M. A., Abueleyon, H. M., Khairy Ali, M., Abdou, A. A., & Abu-Zaid, T. S. (2024). Numerical Simulation for the Desired Compatibility between the Inside Slopes of Open Irrigation Canals, and the Used Type of Wing Walls for the Most Efficient Performance of Water Structures. *Limnological Review*, 24(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/limnolrev24030011>
- Barkhordari, S., & Hashemy Shahdany, S. M. (2022). A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals. *Water Science and Engineering*, 15(2), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.02.004>
- Curi Caballa, W. Z. (2021). Propuesta técnica de solución para la eficiencia hidráulica del canal de irrigación Casa Blanca, distrito de Santiago, Ica – 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/83068>
- Espejo Mariño, O. K., & Zabaleta Castro, Y. (2021). *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657519>



- Islam, A., Raghuwanshi, N. S., & Singh, R. (2008). Development and Application of Hydraulic Simulation Model for Irrigation Canal Network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(1), 49-59. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:1\(49\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:1(49))
- Julian Yanqui, E., & Chuquiyauri Guerra, J. (2021). Análisis y simulación del canal entubado Checchhua-Casa Blanca con Hec-Ras 4.1.0, para mejorar la eficiencia hidráulica, distrito de Tambo, Huancavelica. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80096>
- Kamran, M., Yousaf, W., Rajapakse, R. I. h. I., Kareem Awan, W., Riaz, M., Asif, N. M., Umar, M., & Shah, U. T. (2021). Innovative initiative for effective operation and monitoring using HEC-RAS modelling of Hakra Branch Canal System, Pakistan. *Irrigation and Drainage*, 70(3), 490-504. <https://doi.org/10.1002/ird.2524>
- Mansoury, A. Gh. A., & Azzubaidi, R. Z. (2024). Hydraulic model-based investigation of the Babil Stream. *AIP Conference Proceedings*, 2864(1), 020007. <https://doi.org/10.1063/5.0186719>
- Mehta, D., Yadav, S. M., Waikhom, S., & Prajapati, K. (2020). Stable Channel Design of Tapi River Using HEC-RAS for Surat Region. En R. M. Singh, P. Shukla, & P. Singh (Eds.), *Environmental Processes and Management: Tools and Practices* (pp. 25-36). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38152-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38152-3_2)
- Mehta, D., Yadav, S. M., Waikhom, S., Prajapati, K., & Eslamian, S. (2022). Analysis of Stable Channel Design Using HEC-RAS: A Case Study of Surat City. En *Flood Handbook*. CRC Press.
- Montalvo Huanca, S. M. (2022). Analisis del comportamiento hidraulico del rio Quesermayo en el puente calicanto utilizando software HEC-RAS, C. P. Taray- Calca- Cusco- 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95220>



- Monzon Castro, M. A. (2022). Diseño hidráulico del canal Cceñuaran, utilizando técnica del software Hec-Ras para irrigar áreas agrícolas, Occollo, Soccospata, Andahuaylas—Apurímac 2022. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102550>
- Ontowirjo, B., Ihsan, M., Hayu, G., Irham, & Wahyudi, H. (2024). LIDAR and HEC-RAS on-grid precipitation model for irrigation drainage system. *AIP Conference Proceedings*, 3026(1), 080031. <https://doi.org/10.1063/5.0199577>
- Owino, J. W. (2023). *SIMULATION OF CANAL CONVEYANCE EFFICIENCY FOR AHERO IRRIGATION SCHEME USING HEC-RAS MODEL*. <http://ir-library.mmust.ac.ke:8080/xmlui/handle/123456789/2722>
- Owino, J. W., Ong'or, B. T., & Mukolwe, M. M. (2023). *Modeling Optimal Canal Conveyance Capacity for the Ahero Irrigation Scheme using the Hydrologic Engineering Centre River Analysis System (HEC-RAS)*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C510>
- Palmer Murga, G. (2020). Estudio comparativo de los métodos L-moments y Creager en la optimización de obras hidráulicas en tributarios no aforados del río Tumbes. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58197>
- Patamanska, G., & Grancharova, E. (2018). EVALUATION OF WATER DELIVERY EFFICIENCY IN IRRIGATION CANAL UNDER EXISTING MANAGEMENT STRATEGY USING HYDRAULIC MODEL. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences, JAFES*, 72(1), Article 1.  
<https://journals.ukim.mk/index.php/jafes/article/view/1135>
- Quispe Orosco, F. A., & Valeriano Salcedo, F. A. (2018). *Modelación hidrológica—Hidráulica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo*.  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6167>
- Rosales Huaman, P. (2016). *Modelamiento hidráulico de la quebrada Patacancha en el tramo urbano y arqueológico del distrito de Ollantaytambo (Dpto. Cusco), aplicando*



modelos 1d (Hec-ras) y 2d (Iber).

<https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/3036>

Sanchez, T., & Maylin, J. (2017). 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. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/623042>

Sargison, J., & Barton, A. (2009). Investigating changes to irrigation scheme. *Water Engineering Australia. Engineers Australia*, 3, 34-35.

Shahverdi, K., Mollazeynali, H., & Marofi, M. (2023). Design of Operation Strategy for Canal Structures. *Journal of Hydraulics*, 18(4), 35-48.

<https://doi.org/10.30482/jhyd.2023.409407.1667>

Wanyama, J., & Bwambale, E. (2024). Hydraulic modelling of irrigation canals for improved flow conditions in surface irrigation systems. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 30(1), 7-17. <https://doi.org/10.1080/09715010.2023.2245785>

Zelenakova, M., Zeleňáková, M., Arifjanov, A., Abd-Elhamid, H. F., Gergel'ová, M. B., Fatxullojev, A., & Allayorov, D. (2023). *The effect of lining hydraulic properties on the efficiency and cost of irrigation canal reconstruction*.

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3734693/v1>



## ANEXOS



## Anexo 1. Matriz de Consistencia

TITULO DE TESIS: “ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIEGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Como realizar el análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyectos del distrito de Coasa 2024?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Realizar el análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyectos del distrito de Coasa 2024.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>El análisis de diseño de canales de riego mediante programa para mejorar la máxima eficiencia hidráulica en proyecto del distrito de Coasa 2024, cambiara con el tipo de programa a emplearse.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Software HEC-RAS.</p> <p><b>Dimensiones:</b> <i>Características físicas y mecánicas</i></p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Diseño de canal.</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sección hidráulica</li> <li>• Tirante normal</li> <li>• Tirante critico</li> <li>• Curva de energía</li> <li>• Resalto hidráulico</li> <li>• Curvas de remanso</li> </ul>	<p>Software de Cálculo</p> <p>H-CANALES HEC-RAS EXCEL.</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
<p>¿Cuáles son las características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales?</p> <p>¿Cuál es la modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para conocer su comportamiento?</p> <p>¿Cuáles son las secciones de máxima eficiencia hidráulica y mejorar la situación del canal de riego?</p>	<p>Determinar las características geométricas y parámetros hidráulicos para el diseño de canales.</p> <p>Realizar la modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para conocer su comportamiento.</p> <p>Determinar las secciones de máxima eficiencia hidráulica y mejorar la situación del canal de riego.</p>	<p>Las características geométricas y parámetro hidráulicos para el diseño de canales, van a variar por el cambio de dimensiones de cada dato.</p> <p>La modelación del canal de riego utilizando el software HEC-RAS para conocer su comportamiento, va a ser variado con respecto al tipo de sección en la que se diseño es canal.</p> <p>Las secciones de máxima eficiencia hidráulica la situación del canal de riego, en su mayoría deberían de ser rectangulares por el tipo de resultados que nos indican son mejores que un diseño de sección trapezoidal.</p>		

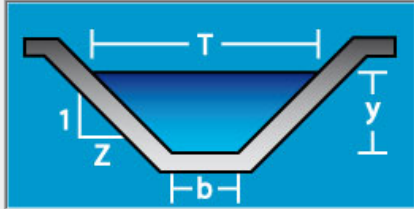
### Anexo 2. Caudales

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	<input type="text" value="Coasa"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis"/>
Tramo:	<input type="text" value="3+500 - 3+000"/>	Revestimiento:	<input type="text"/>

**Datos:**

Tirante (y):	<input type="text" value="1"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="6"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="1"/>	
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.043"/>	m/m



**Resultados:**

Caudal (Q):	<input type="text" value="35.5283"/>	m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="5.0755"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="7.0000"/>	m <sup>2</sup>	Perímetro (p):	<input type="text" value="8.8284"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.7929"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="8.0000"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.7324"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="2.3130"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

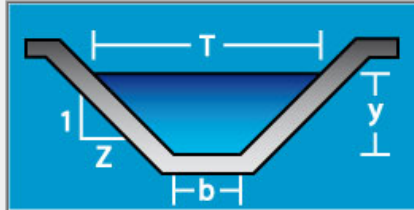
**Cuidado velocidad erosiva**

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	<input type="text" value="Coasa"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis"/>
Tramo:	<input type="text" value="3+000 - 2+500"/>	Revestimiento:	<input type="text"/>

**Datos:**

Tirante (y):	<input type="text" value="1"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="5"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.75"/>	
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.043"/>	m/m



**Resultados:**

Caudal (Q):	<input type="text" value="28.5368"/>	m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="4.9629"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="5.7500"/>	m <sup>2</sup>	Perímetro (p):	<input type="text" value="7.5000"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.7667"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="6.5000"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.6847"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="2.2554"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

**Cuidado velocidad erosiva**

Calculadora de Caudal y Sección de Canales

**Lugar:** Coasa      **Proyecto:** Tesis

**Tramo:** 2+500 - 2+000      **Revestimiento:**

**Datos:**

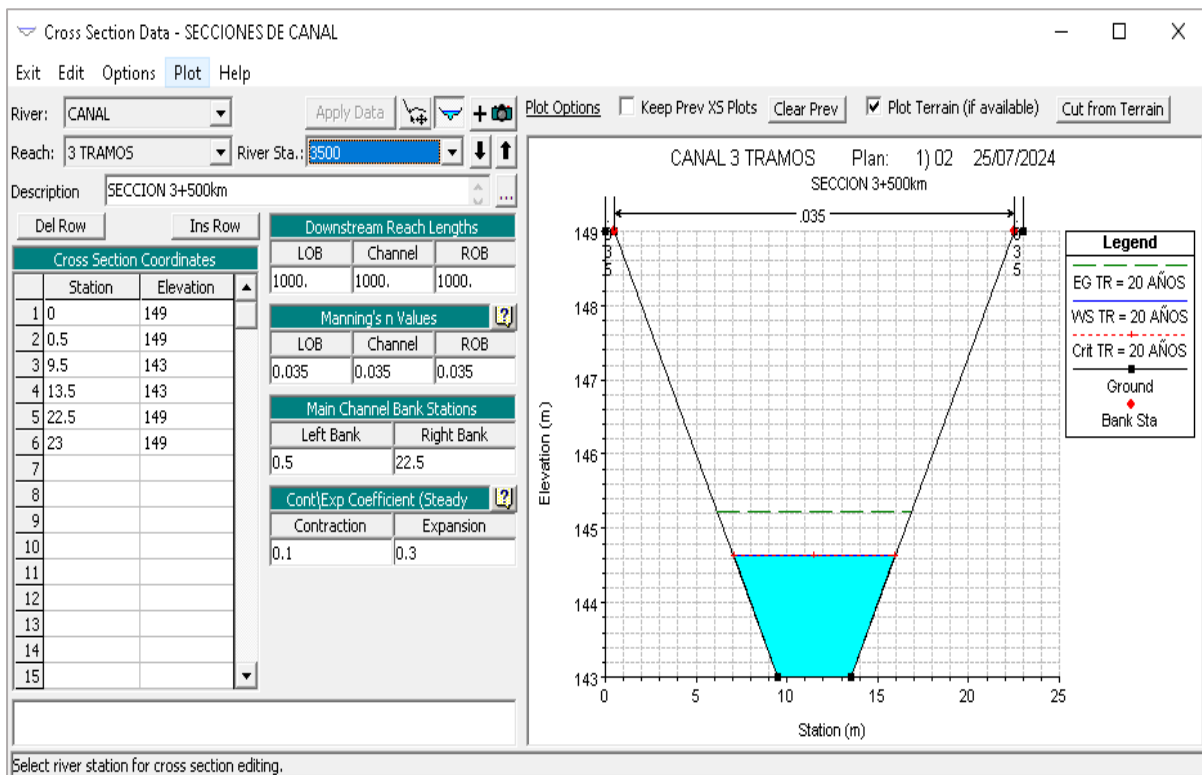
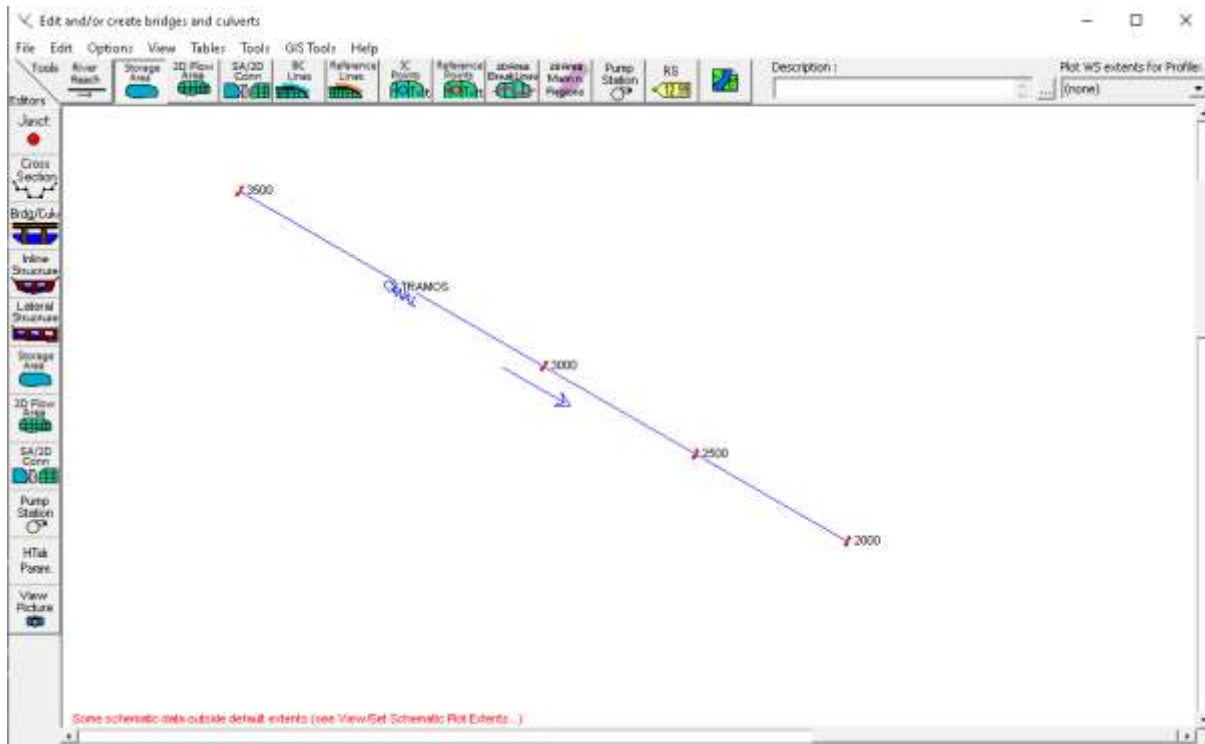
Tirante (y):	<input type="text" value="1"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="4"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.50"/>	
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.043"/>	m/m

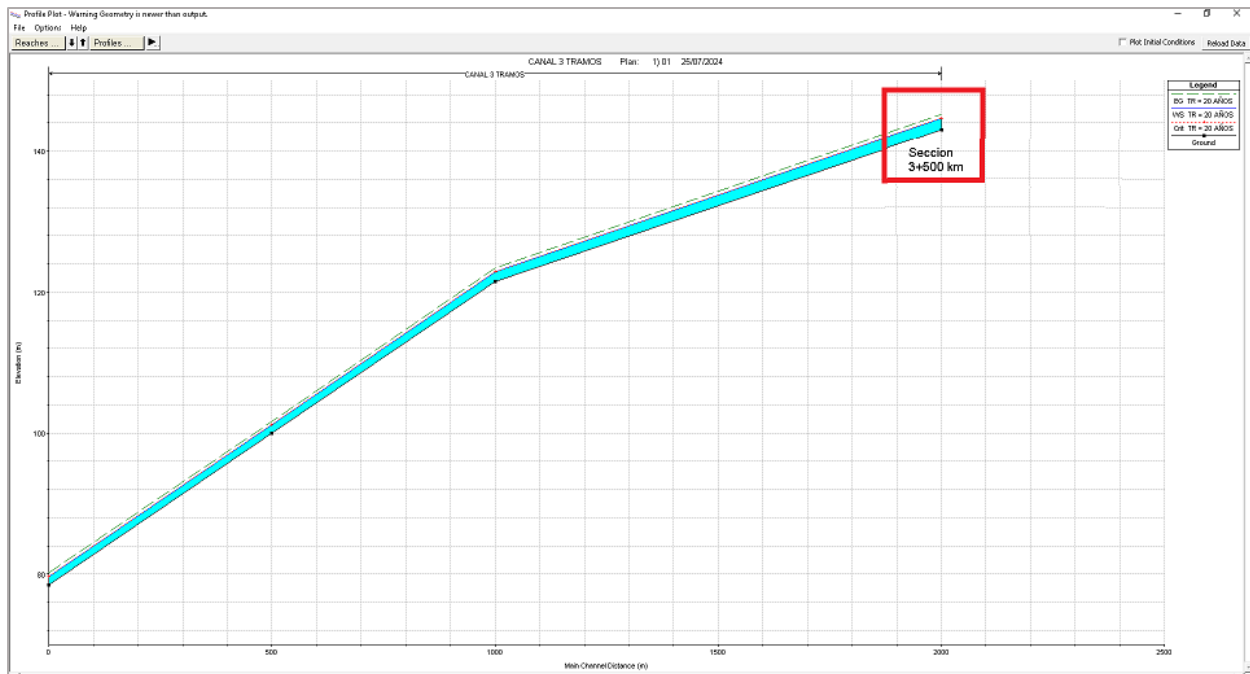
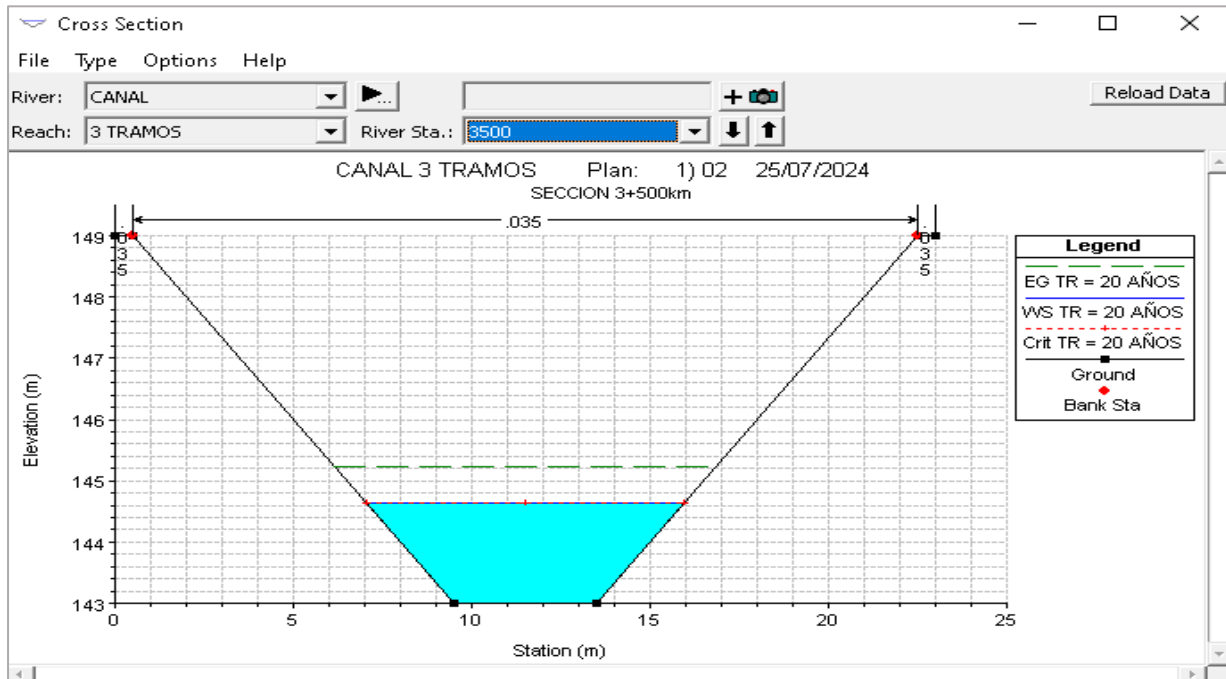
**Resultados:**

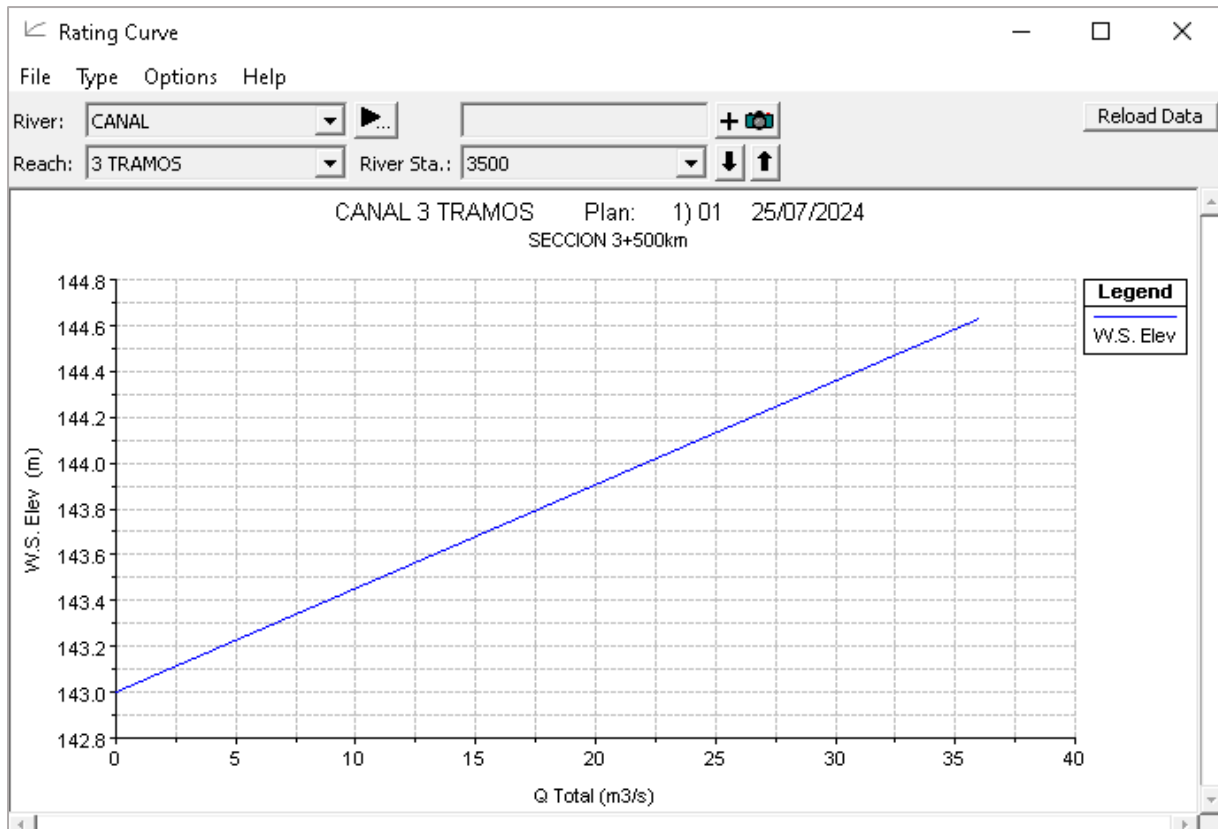
Caudal (Q):	<input type="text" value="21.4493"/>	m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="4.7665"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="4.5000"/>	m <sup>2</sup>	Perímetro (p):	<input type="text" value="6.2361"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.7216"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="5.0000"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.6041"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="2.1580"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

**Cuidado velocidad erosiva**

## Anexo 3. Modelamiento







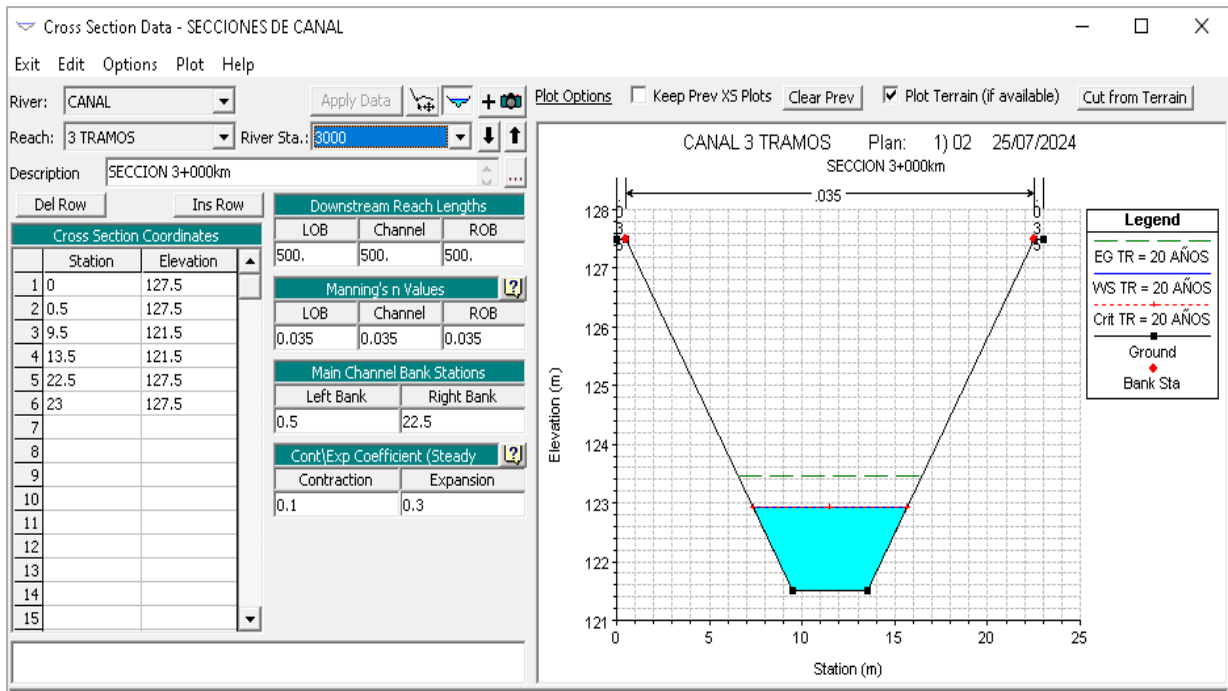
Cross Section Output

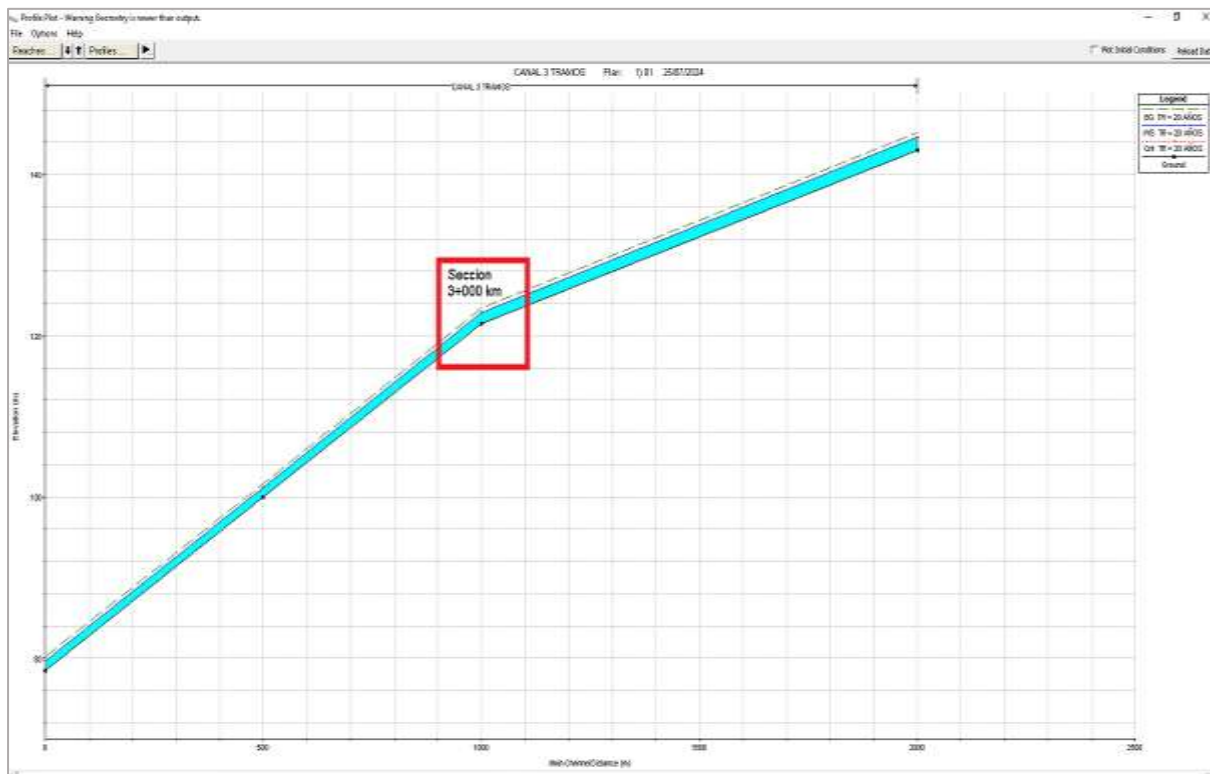
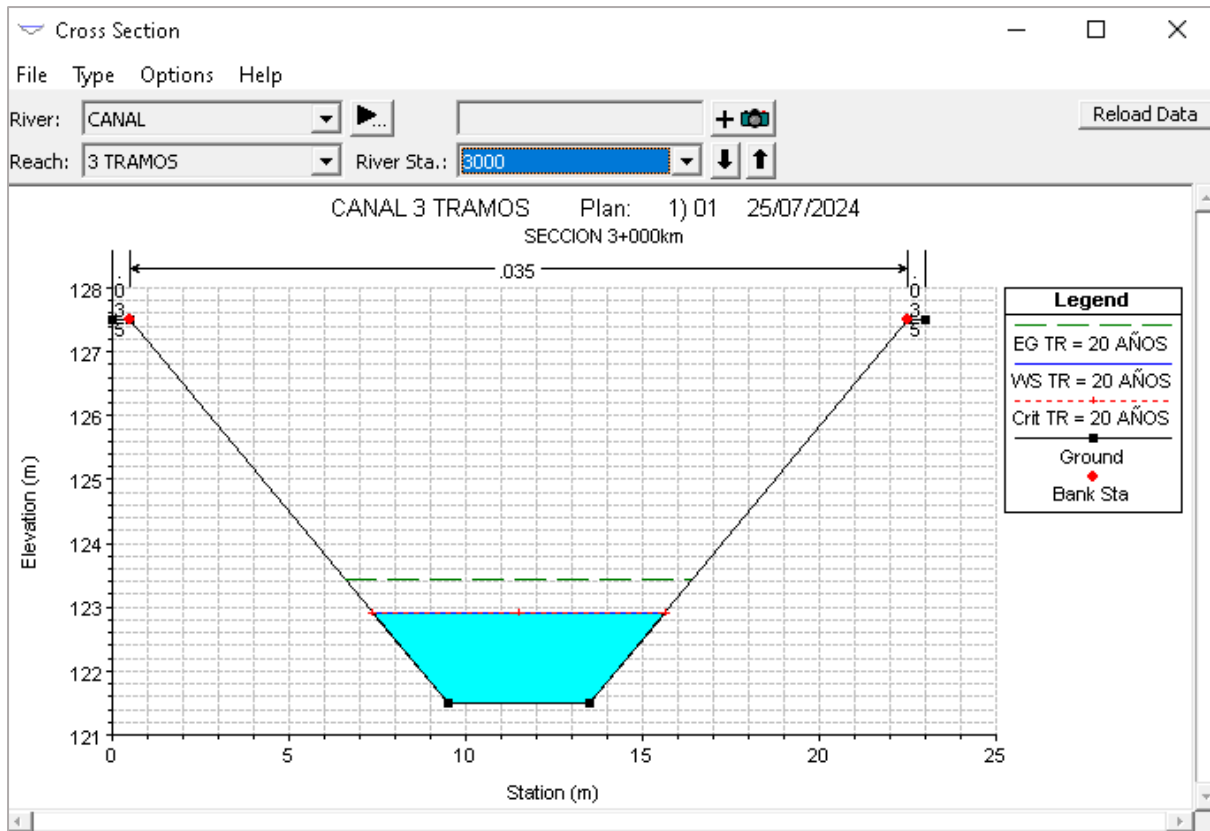
File Type Options Help

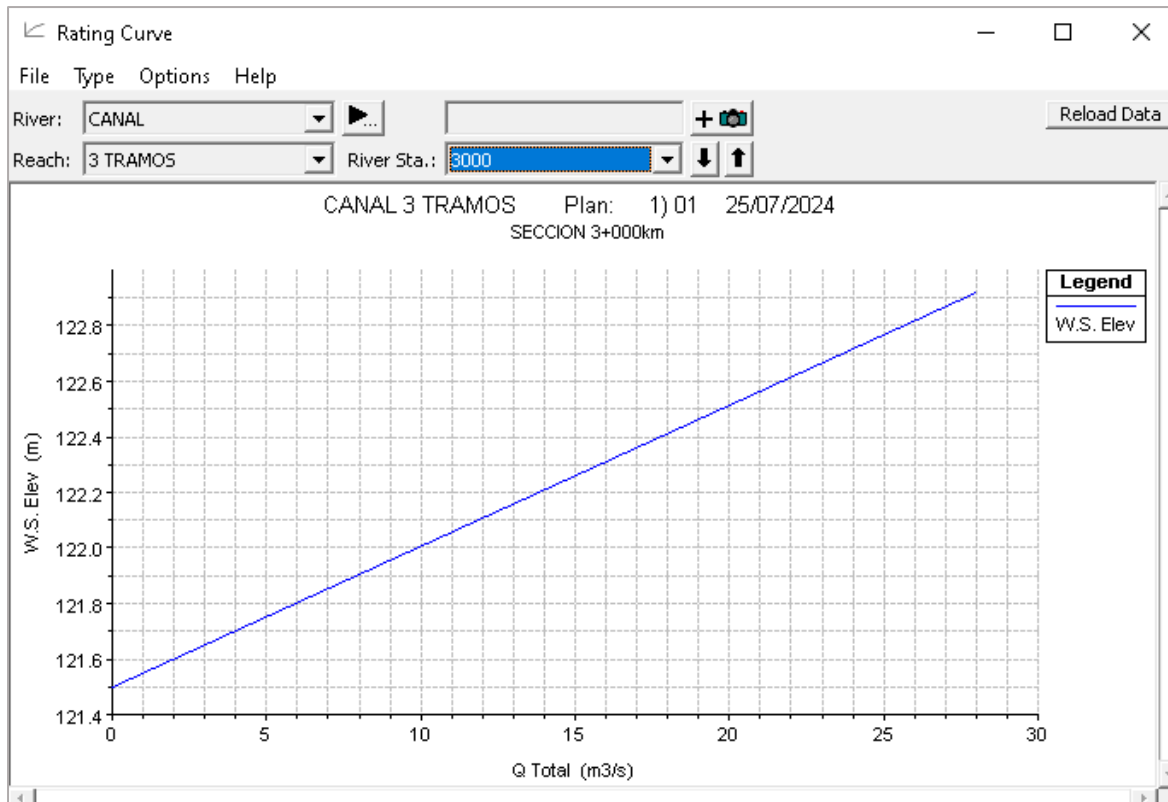
River: CANAL Profile: TR = 20 AÑOS Reach: 3 TRAMOS RS: 3500 Plan: 01

Plan: 01 CANAL 3 TRAMOS RS: 3500 Profile: TR = 20 AÑOS

Element	Value	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	145.23			
Vel Head (m)	0.60			
W.S. Elev (m)	144.63	1000.00	1000.00	1000.00
Crit W.S. (m)	144.63			
E.G. Slope (m/m)	0.013243			
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	36.00			
Top Width (m)	8.89			
Vel Total (m/s)	3.43			
Max Chl Dpth (m)	1.63			
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	312.8			
Length Wtd. (m)	1000.00			
Min Ch El (m)	143.00			
Alpha	1.00			
Frctn Loss (m)	13.36			
C & E Loss (m)	0.02			
Element				
Wt. n-Val.	0.035			
Reach Len. (m)		1000.00	1000.00	1000.00
Flow Area (m <sup>2</sup> )			10.51	
Area (m <sup>2</sup> )			10.51	
Flow (m <sup>3</sup> /s)			36.00	
Top Width (m)			8.89	
Avg. Vel. (m/s)			3.43	
Hydr. Depth (m)			1.18	
Conv. (m <sup>3</sup> /s)			312.8	
Wetted Per. (m)			9.88	
Shear (N/m <sup>2</sup> )			138.14	
Stream Power (N/m s)			473.30	
Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )			17.00	
Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )			16.34	

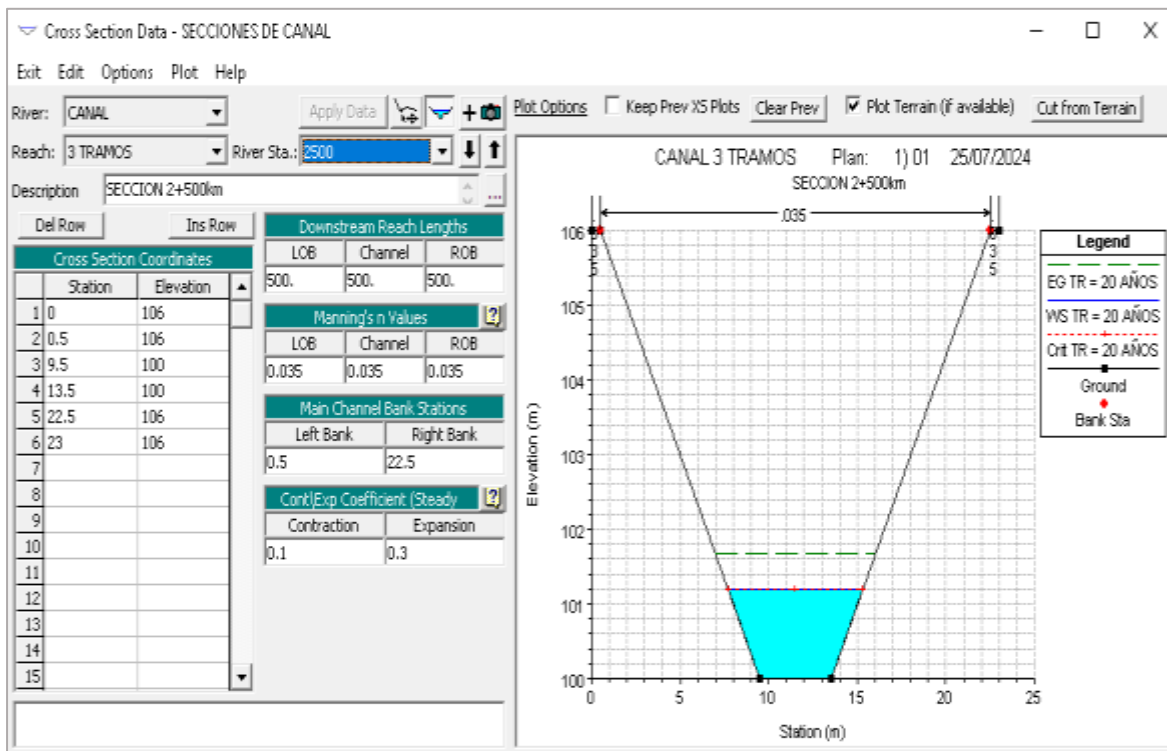


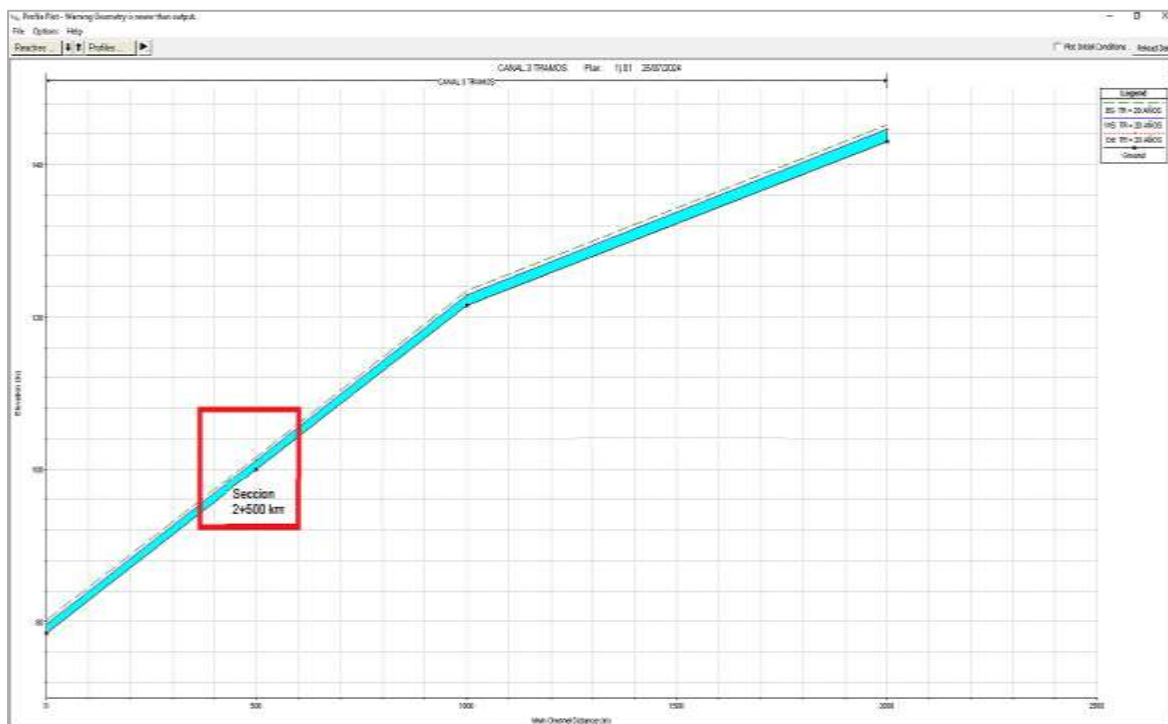
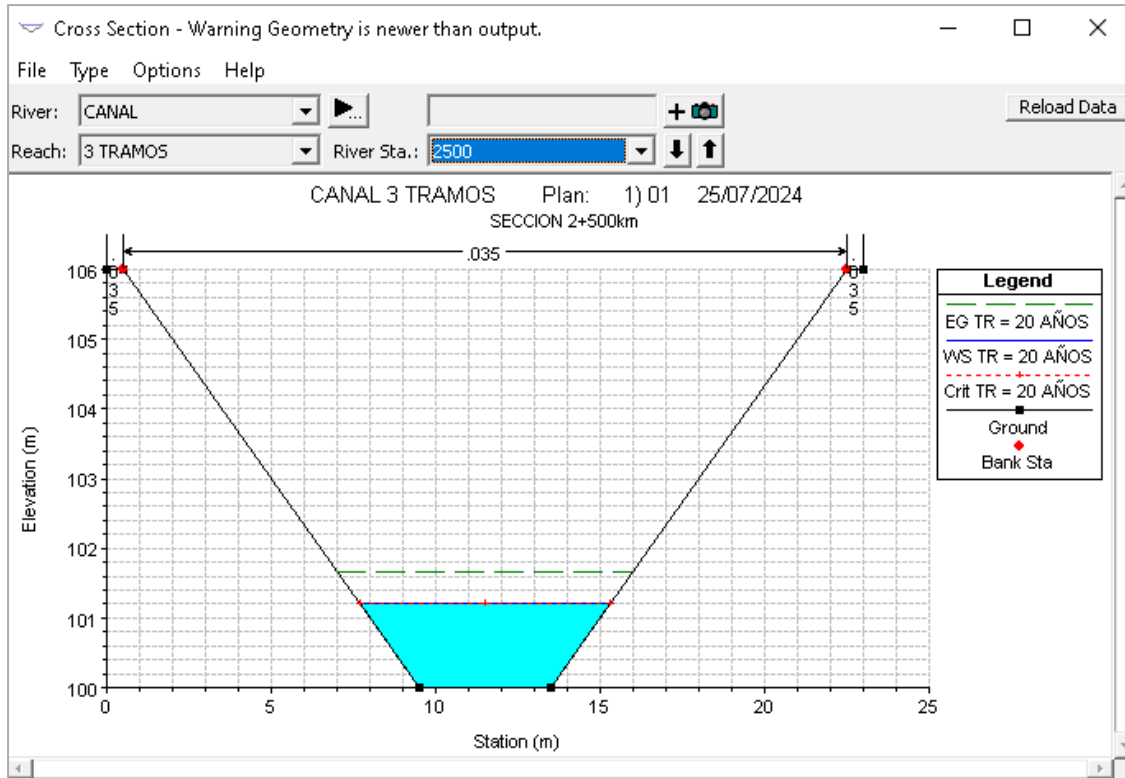


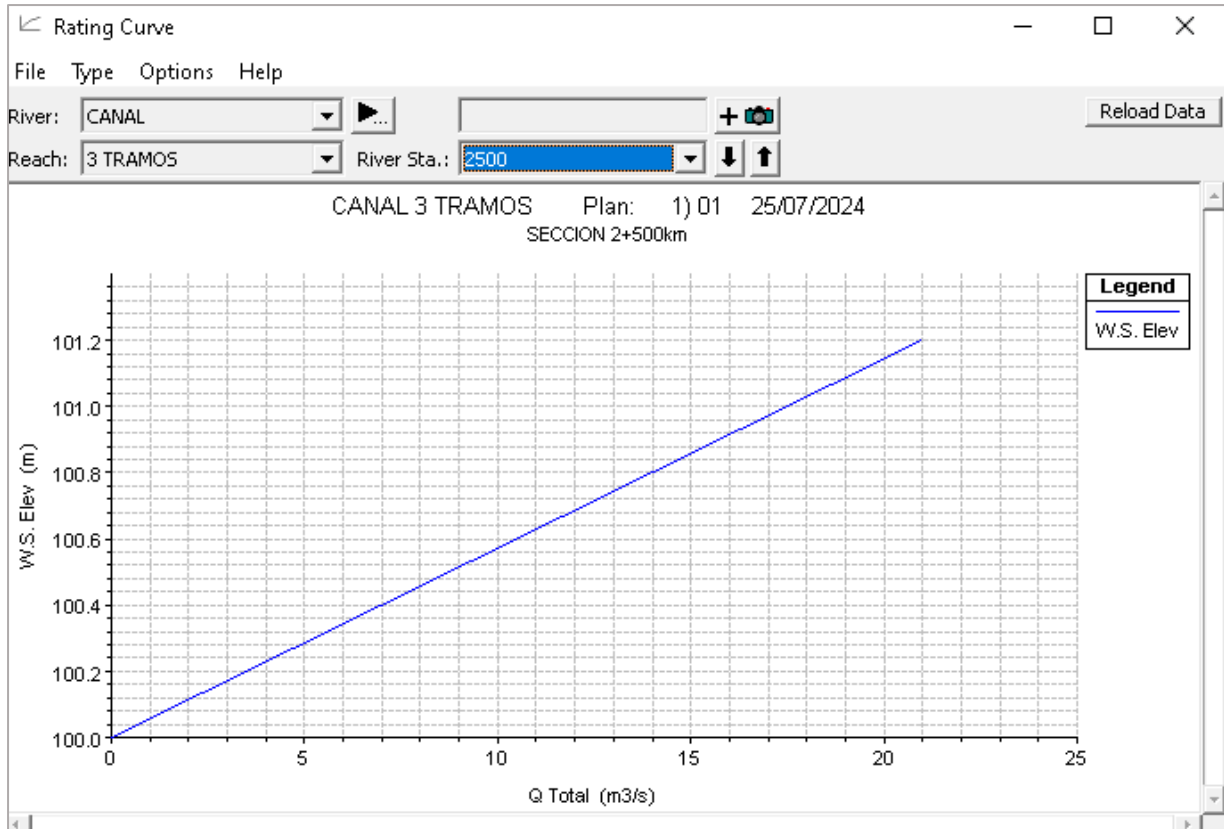


Cross Section Output window showing a table of hydraulic parameters for the CANAL 3 TRAMOS reach at station 3000, profile TR = 20 AÑOS.

Plan: 01 CANAL 3 TRAMOS RS: 3000 Profile: TR = 20 AÑOS					
E.G. Elev (m)	123.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.53	Wt. n-Val.		0.035	
W.S. Elev (m)	122.92	Reach Len. (m)	500.00	500.00	500.00
Crit W.S. (m)	122.92	Flow Area (m <sup>2</sup> )		8.70	
E.G. Slope (m/m)	0.013516	Area (m <sup>2</sup> )		8.70	
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	28.00	Flow (m <sup>3</sup> /s)		28.00	
Top Width (m)	8.26	Top Width (m)		8.26	
Vel Total (m/s)	3.22	Avg. Vel. (m/s)		3.22	
Max Chl Dpth (m)	1.42	Hydr. Depth (m)		1.05	
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	240.8	Conv. (m <sup>3</sup> /s)		240.8	
Length Wtd. (m)	500.00	Wetted Per. (m)		9.12	
Min Ch El (m)	121.50	Shear (N/m <sup>2</sup> )		126.45	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		407.05	
Frctn Loss (m)	6.89	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )		7.40	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )		7.77	



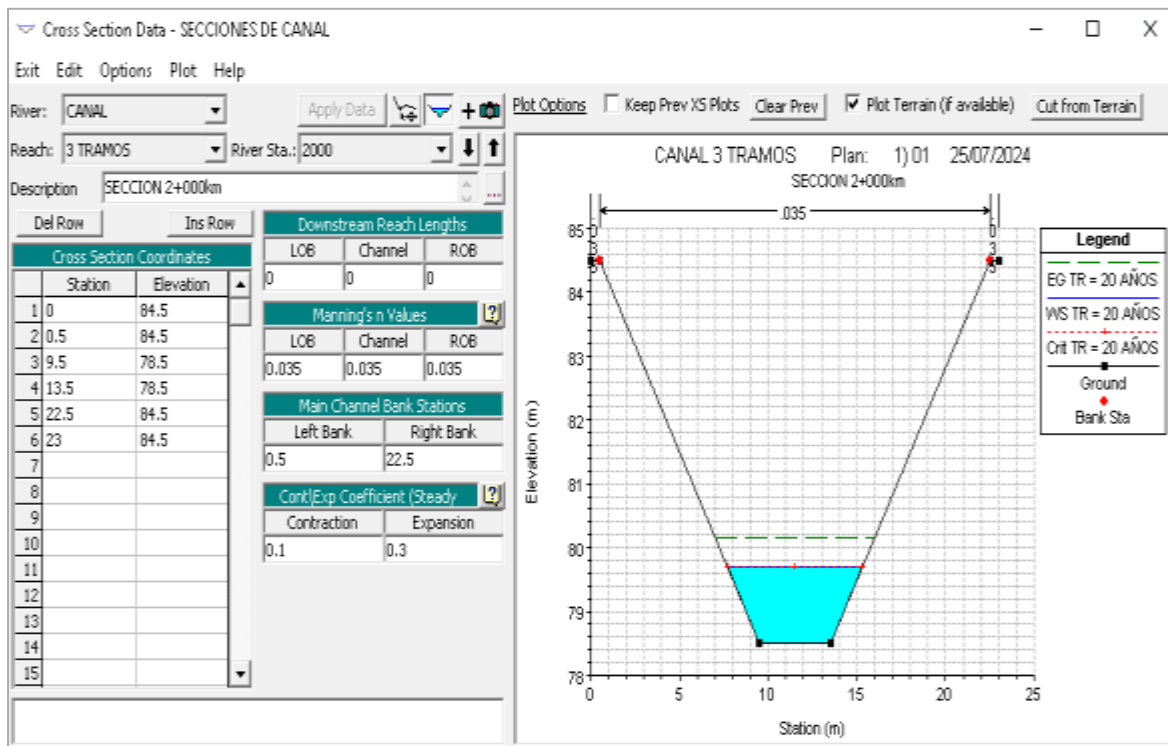
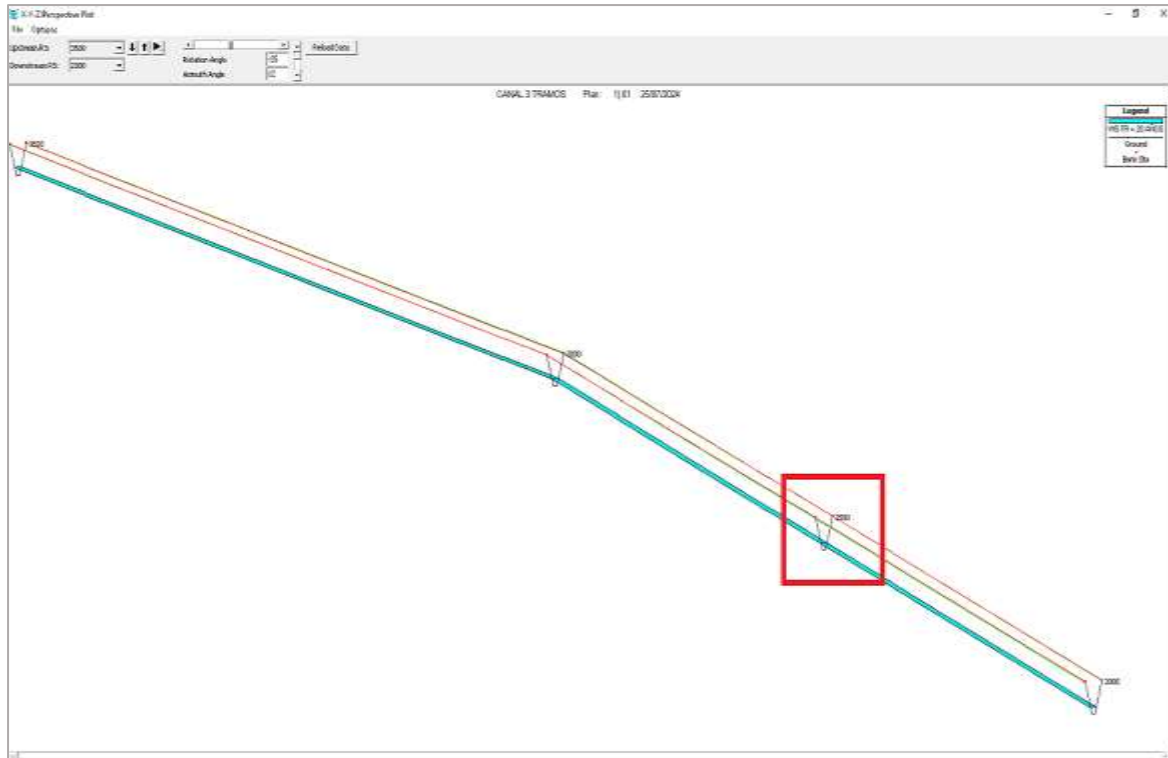


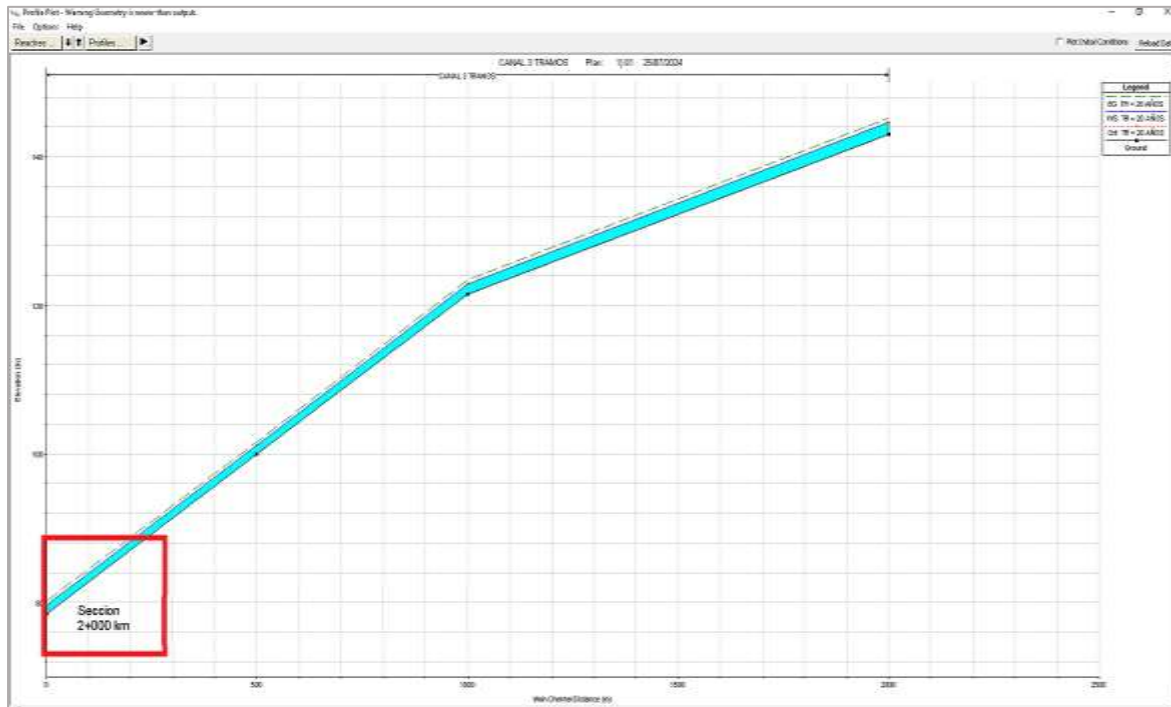
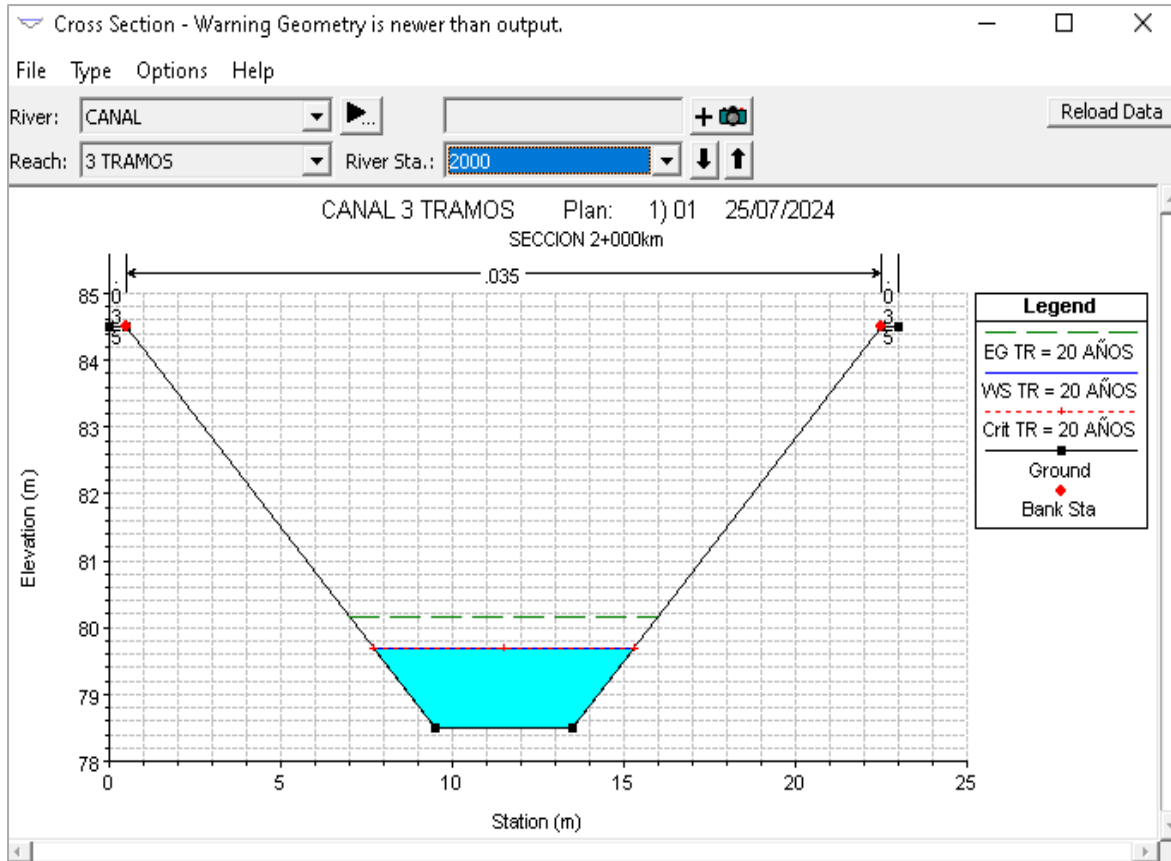


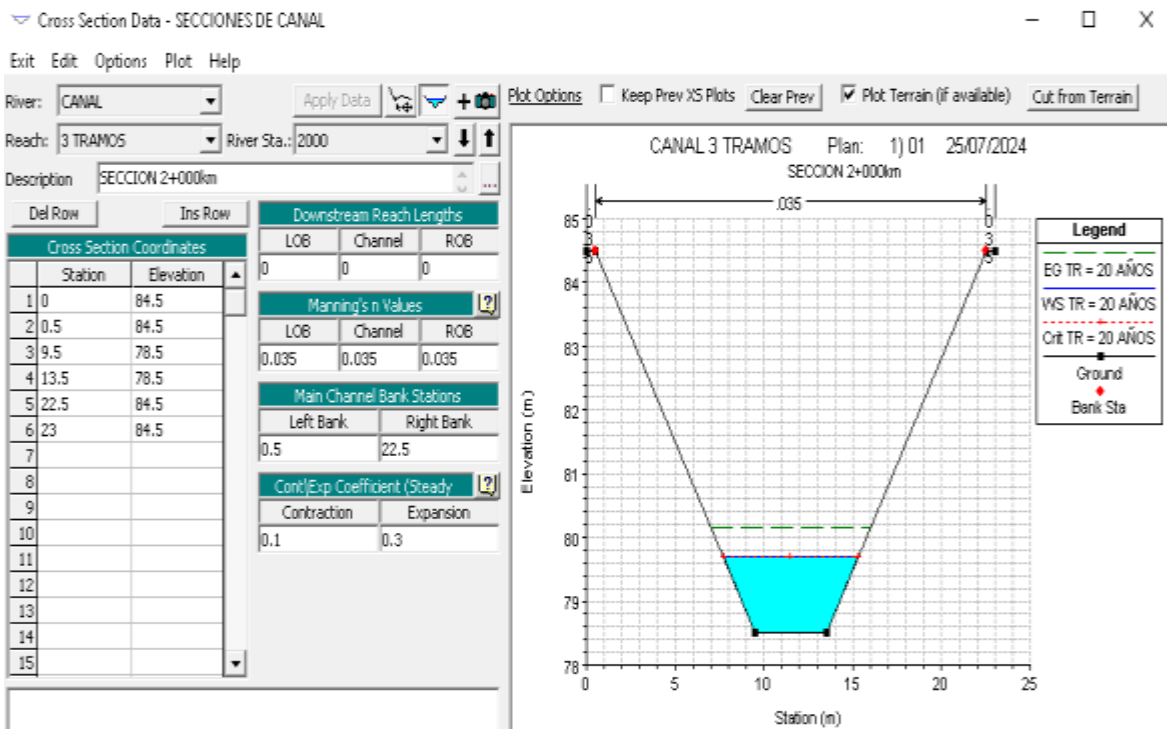
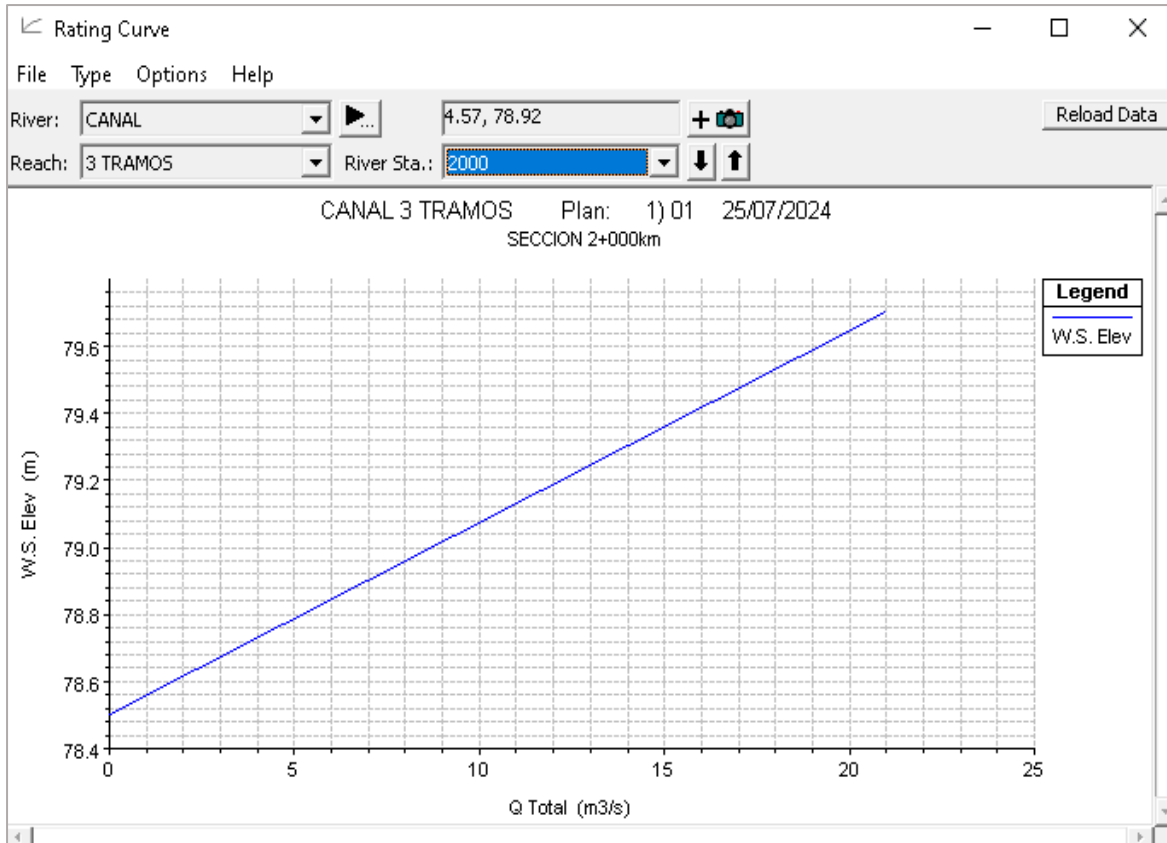
Cross Section Output window showing a table of hydrological and hydraulic data for CANAL 3 TRAMOS.

Plan: 01 CANAL 3 TRAMOS R5: 2500 Profile: TR = 20 AÑOS

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	101.66	Wt. n-Val.		0.035	
Vel Head (m)	0.46	Reach Len. (m)	500.00	500.00	500.00
W.S. Elev (m)	101.20	Flow Area (m2)		6.96	
Crit W.S. (m)	101.20	Area (m2)		6.96	
E.G. Slope (m/m)	0.014145	Flow (m3/s)		21.00	
Q Total (m3/s)	21.00	Top Width (m)		7.60	
Top Width (m)	7.60	Avg. Vel. (m/s)		3.02	
Vel Total (m/s)	3.02	Hydr. Depth (m)		0.92	
Max Chl Dpth (m)	1.20	Conv. (m3/s)		176.6	
Conv. Total (m3/s)	176.6	Wetted Per. (m)		8.33	
Length Wtd. (m)	500.00	Shear (N/m2)		115.98	
Min Ch El (m)	100.00	Stream Power (N/m s)		349.77	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)		3.48	
Frctn Loss (m)	7.07	Cum SA (1000 m2)		3.80	
C & E Loss (m)	0.00				









### Cross Section Output

File Type Options Help

River:  Profile:

Reach:  RS:  Plan:

Plan: 01 CANAL 3 TRAMOS RS: 2000 Profile: TR = 20 AÑOS					
E.G. Elev (m)		Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	80.16	Wt. n-Val.		0.035	
W.S. Elev (m)	0.46	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	79.70	Flow Area (m2)		6.97	
E.G. Slope (m/m)	79.70	Area (m2)		6.97	
Q Total (m3/s)	0.014131	Flow (m3/s)		21.00	
Top Width (m)	21.00	Top Width (m)		7.60	
Vel Total (m/s)	7.60	Avg. Vel. (m/s)		3.01	
Max Chl Dpth (m)	3.01	Hydr. Depth (m)		0.92	
Conv. Total (m3/s)	1.20	Conv. (m3/s)		176.7	
Length Wtd. (m)	176.7	Wetted Per. (m)		8.33	
Min Ch El (m)		Shear (N/m2)		115.89	
Alpha	78.50	Stream Power (N/m s)		349.36	
Frctn Loss (m)	1.00	Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

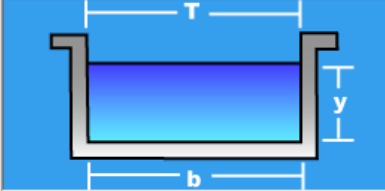


Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante (y):	<input type="text" value="1.8040"/>	m	Ancho de solera (b):	<input type="text" value="3.6080"/>	m
Perímetro (p):	<input type="text" value="7.2160"/>	m	Area hidráulica (A):	<input type="text" value="6.5088"/>	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.9020"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="3.6080"/>	m
Velocidad (v):	<input type="text" value="5.5310"/>	m/s	Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.3148"/>	
Energía específica (E):	<input type="text" value="3.3632"/>	m-Kg/Kg	Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>	

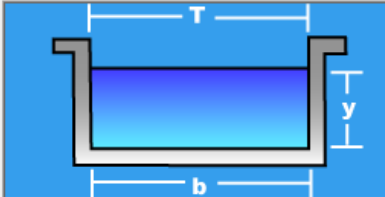
**Cuidado velocidad erosiva**

Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante (y):	<input type="text" value="1.6417"/>	m	Ancho de solera (b):	<input type="text" value="3.2835"/>	m
Perímetro (p):	<input type="text" value="6.5670"/>	m	Area hidráulica (A):	<input type="text" value="5.3907"/>	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.8209"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="3.2835"/>	m
Velocidad (v):	<input type="text" value="5.1942"/>	m/s	Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.2943"/>	
Energía específica (E):	<input type="text" value="3.0168"/>	m-Kg/Kg	Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>	

**Cuidado velocidad erosiva**

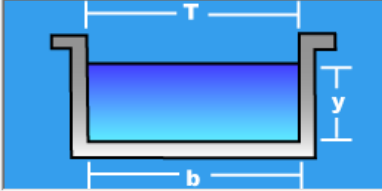
Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:	<input type="text" value="Coasa"/>	Proyecto:	<input type="text" value="tesis"/>
Tramo:	<input type="text" value="2+500 - 2+000"/>	Revestimiento:	<input type="text"/>

**Datos:**

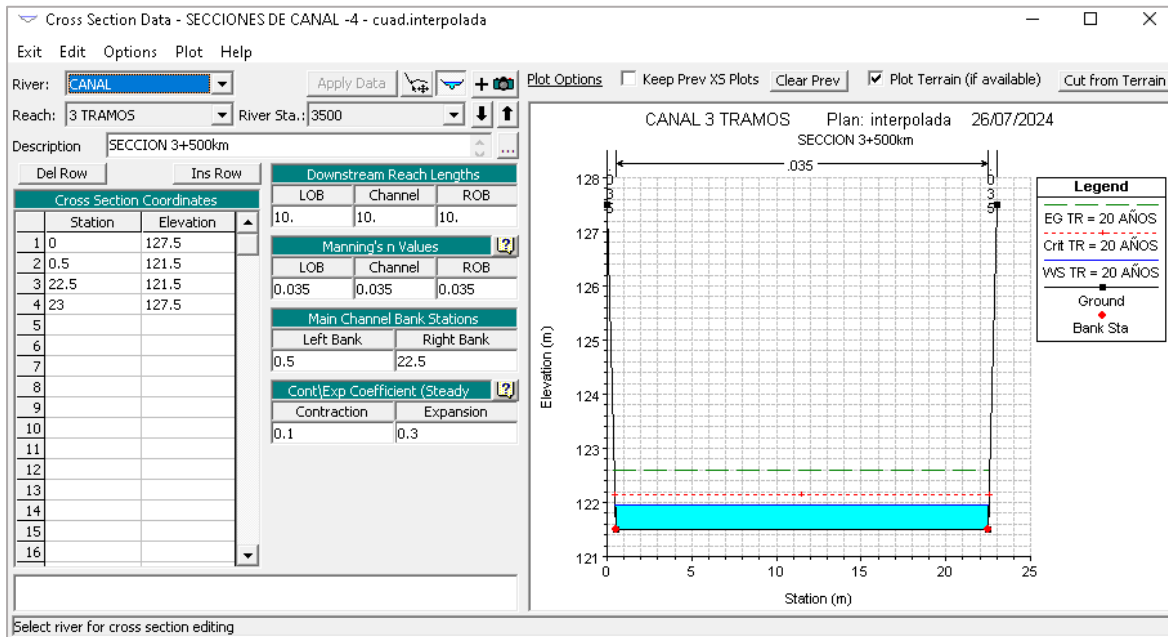
Caudal (Q):	<input type="text" value="21"/>	m <sup>3</sup> /s
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.043"/>	m/m

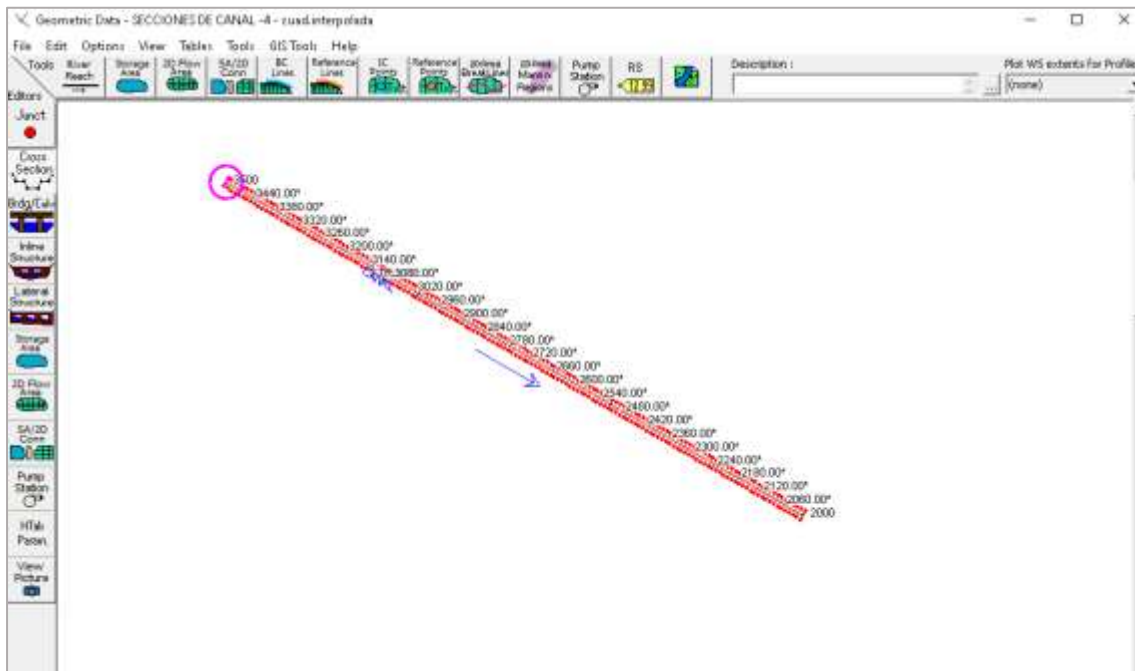
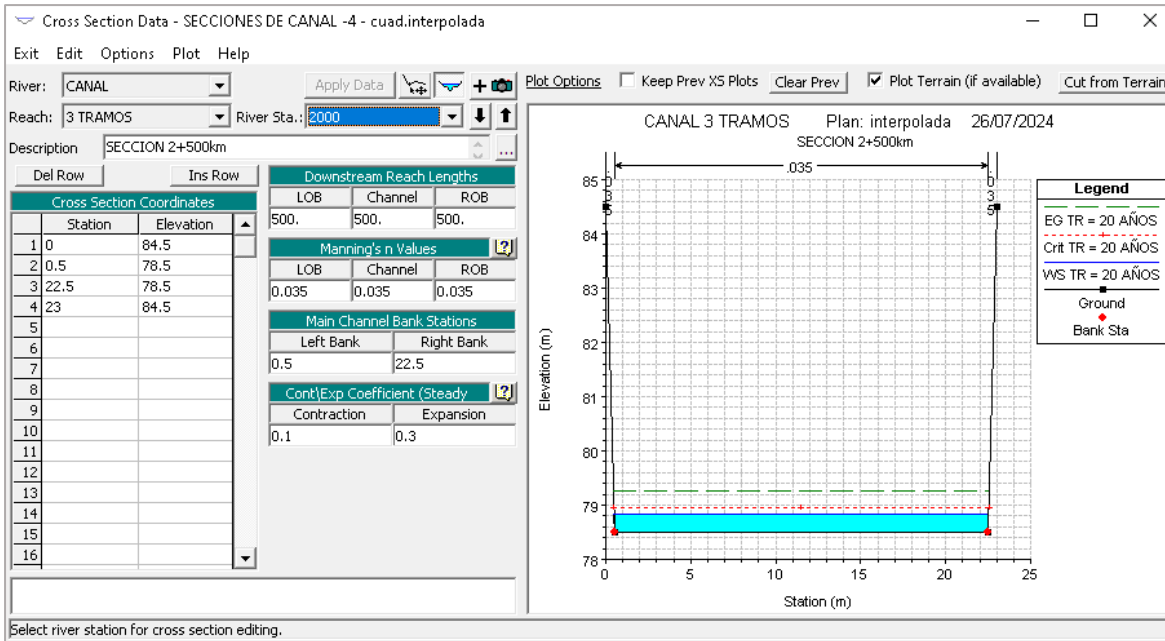
  

  

**Resultados:**

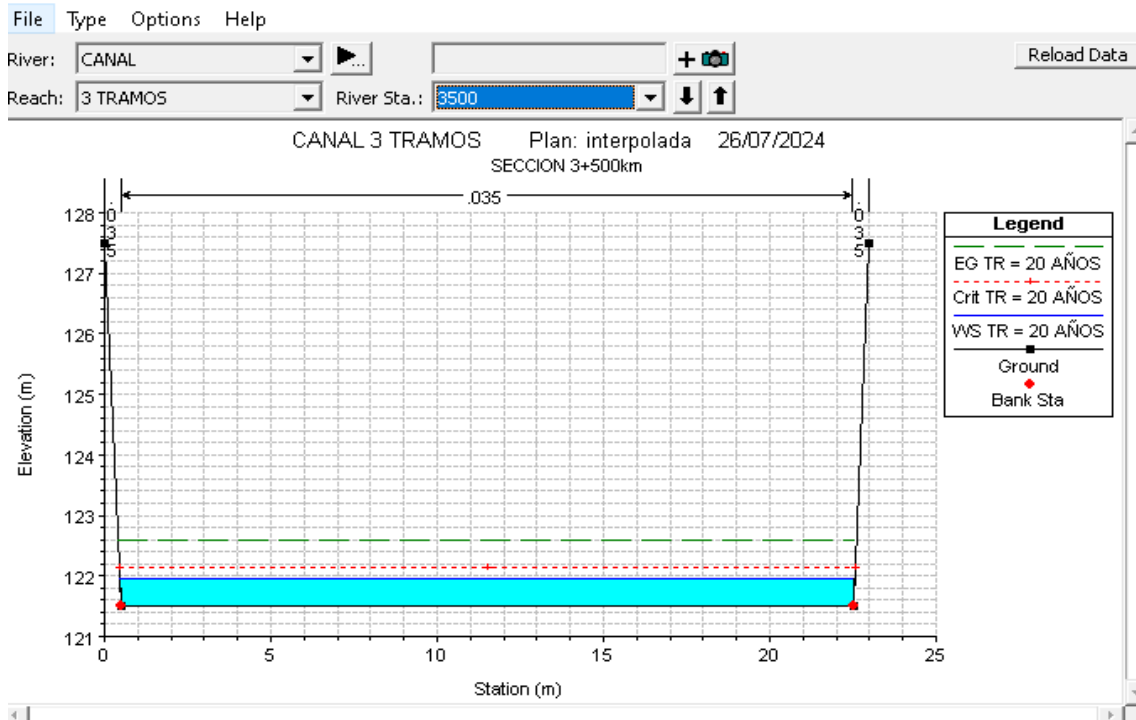
Tirante (y):	<input type="text" value="1.4739"/>	m	Ancho de solera (b):	<input type="text" value="2.9477"/>	m
Perímetro (p):	<input type="text" value="5.8954"/>	m	Area hidráulica (A):	<input type="text" value="4.3445"/>	m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.7369"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.9477"/>	m
Velocidad (v):	<input type="text" value="4.8337"/>	m/s	Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.2712"/>	
Energía específica (E):	<input type="text" value="2.6647"/>	m-Kg/Kg	Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>	

**Cuidado velocidad erosiva**

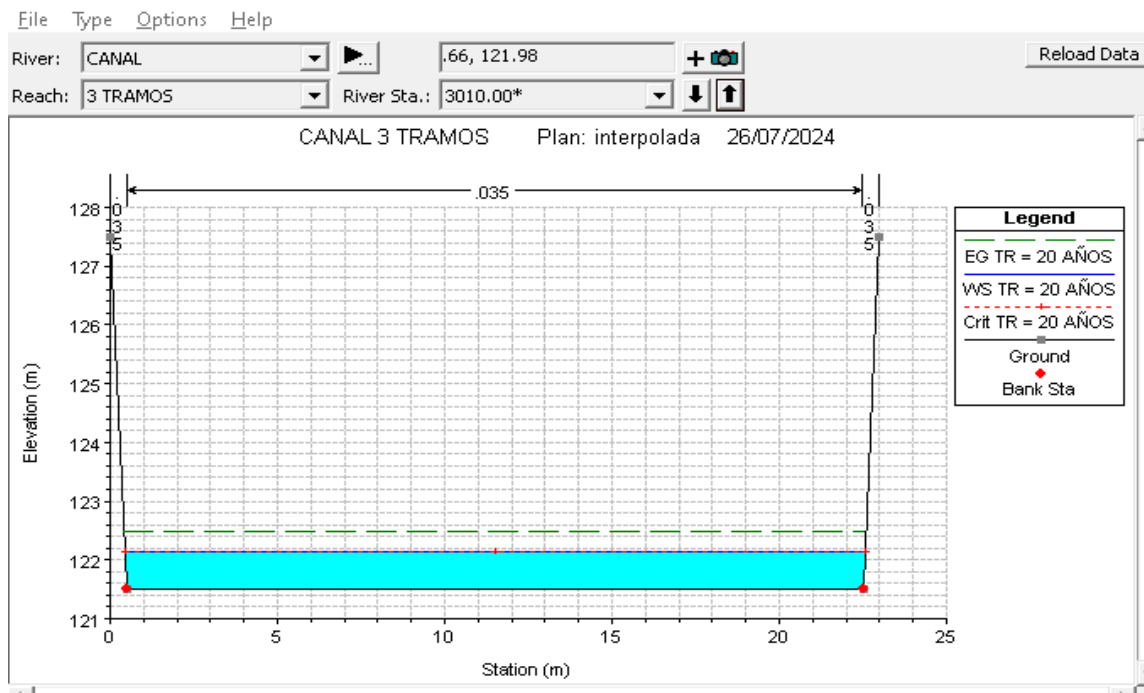




Cross Section - Warning Geometry is newer than output.



Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

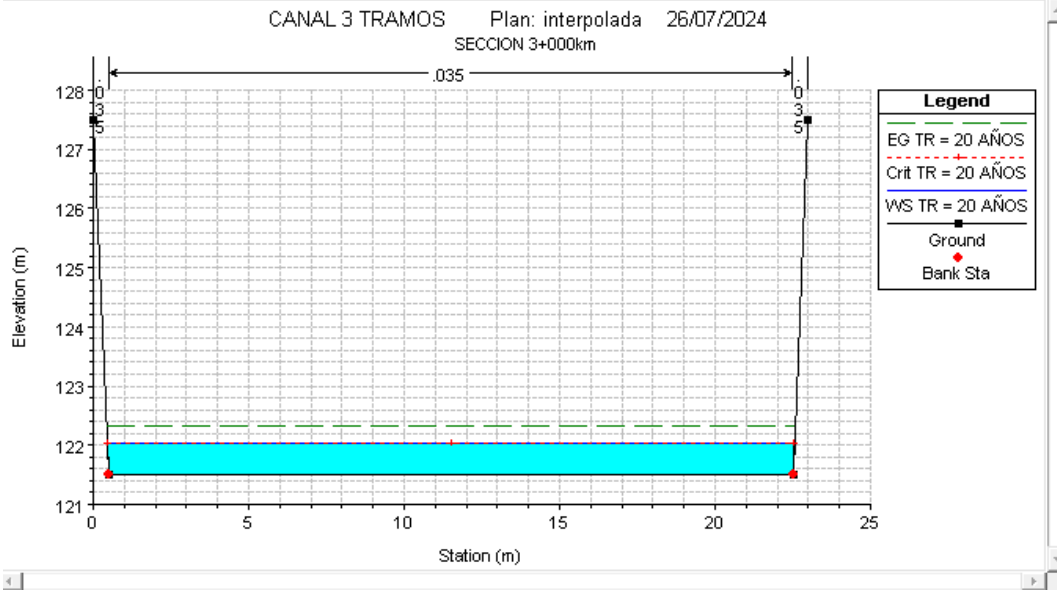




Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

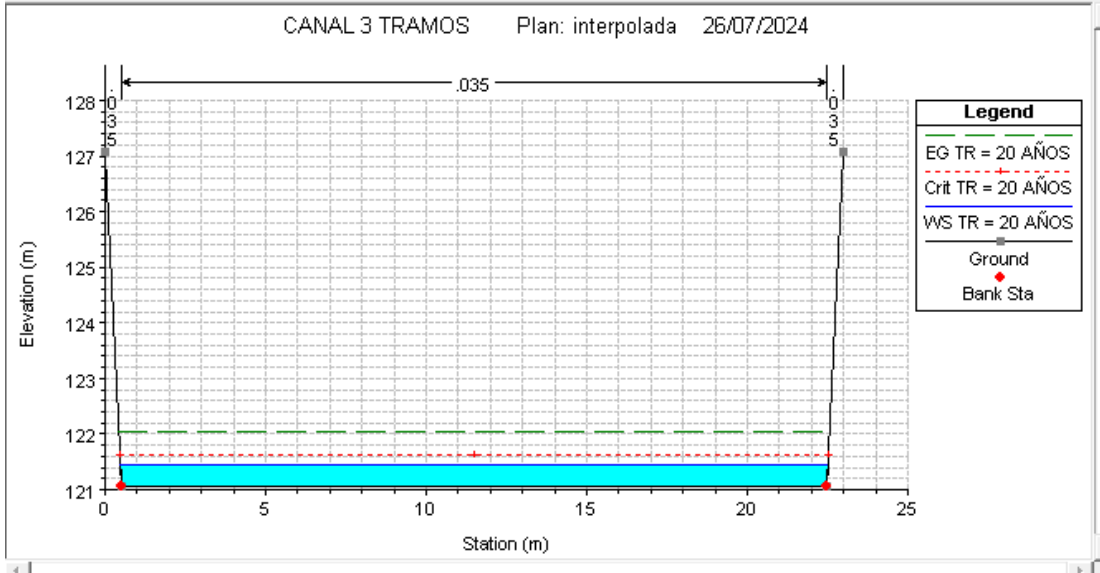
River: CANAL  1.41, 124.98     
Reach: 3 TRAMOS  River Sta.: 3000

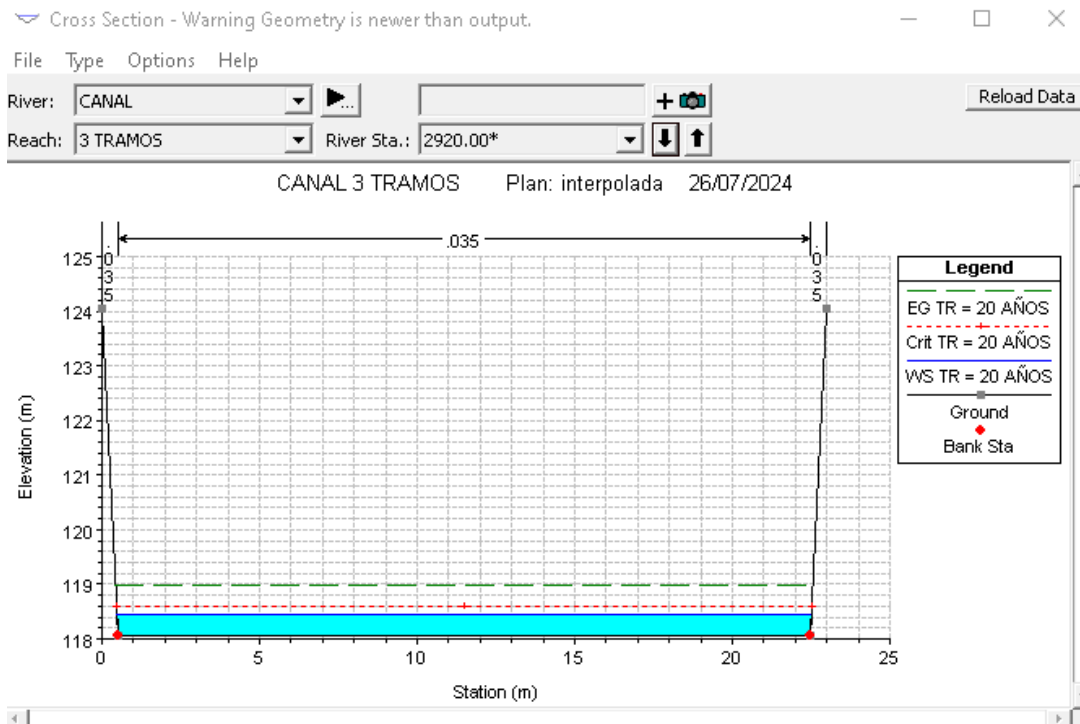
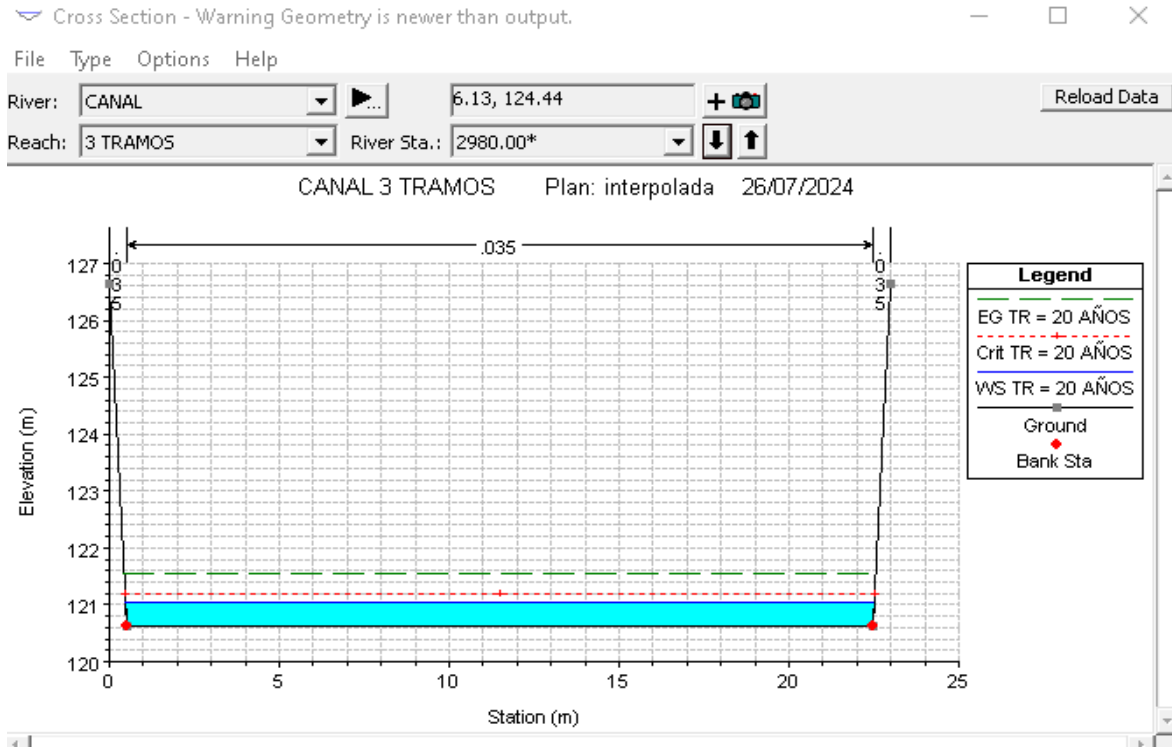


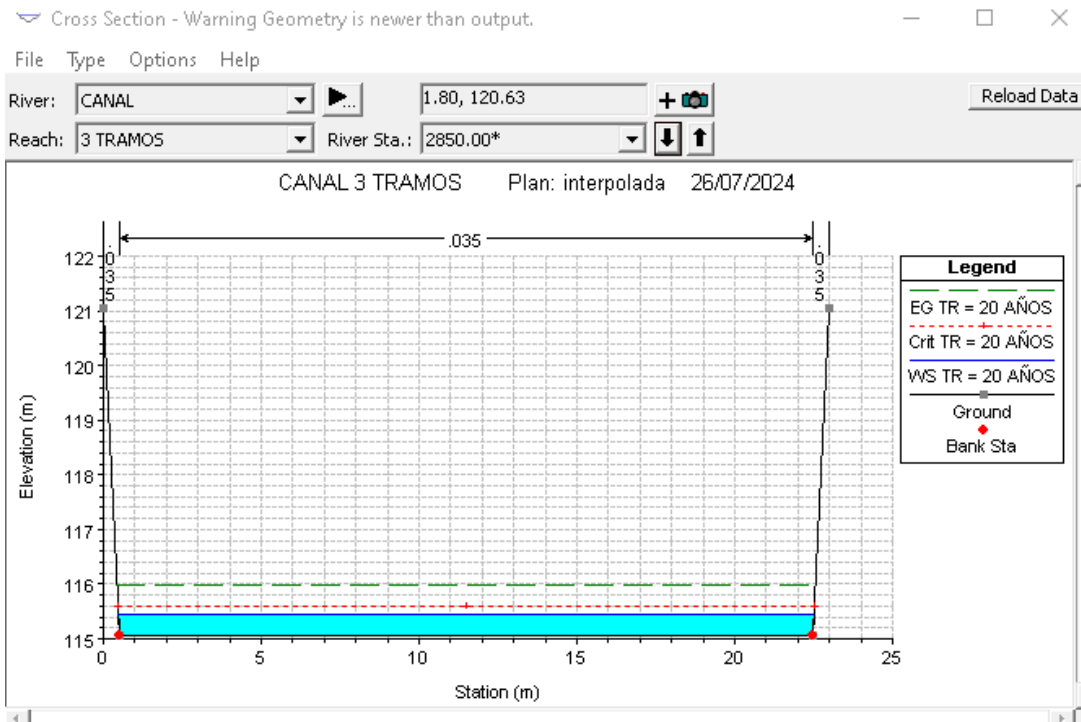
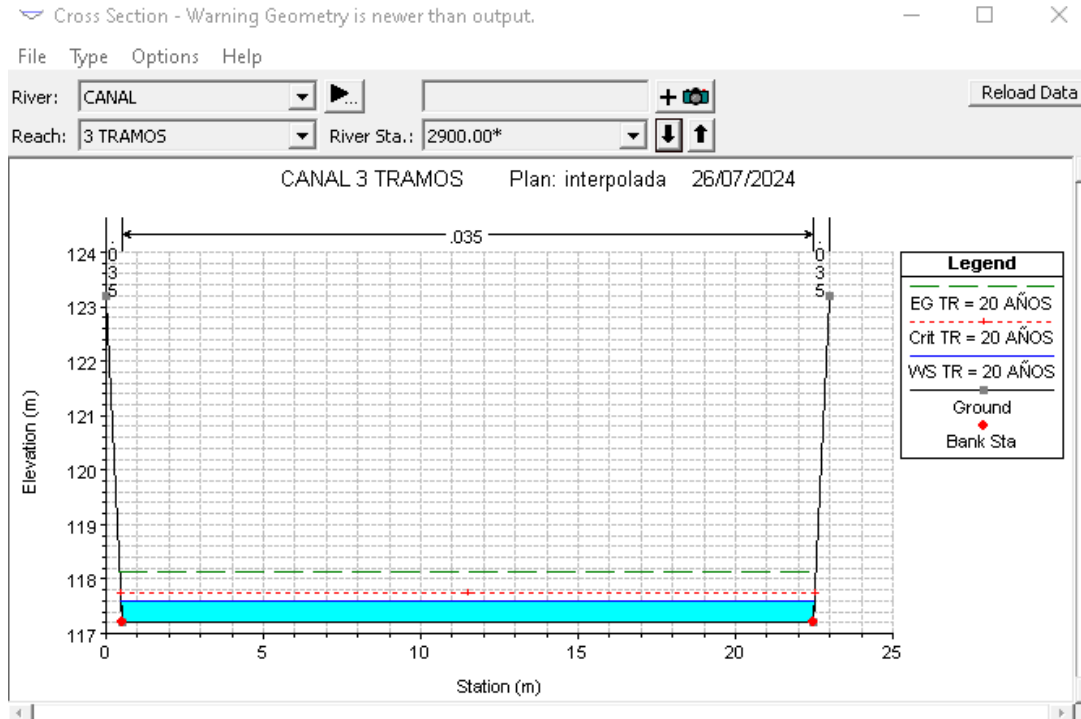
Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

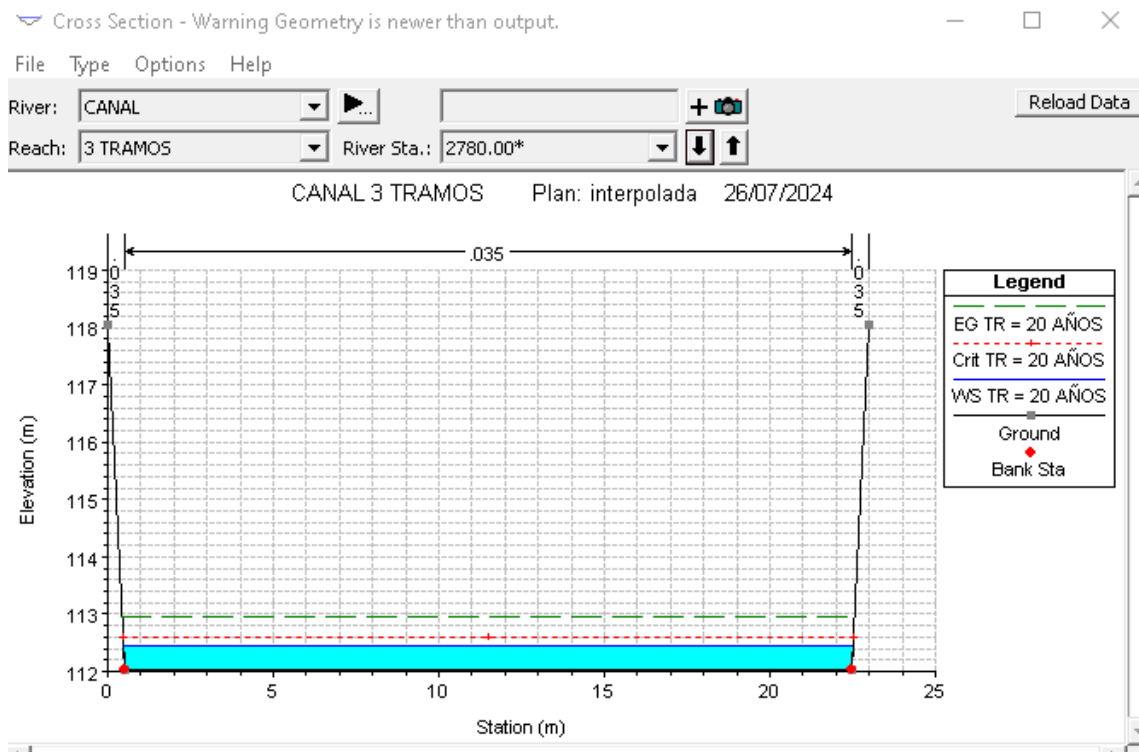
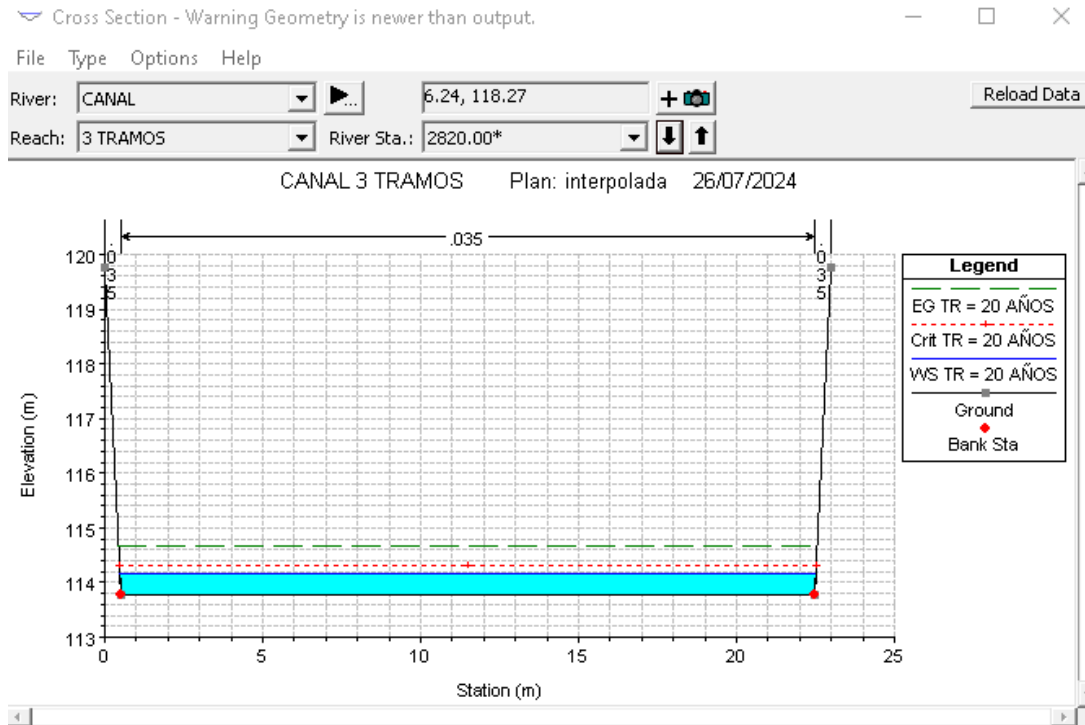
File Type Options Help

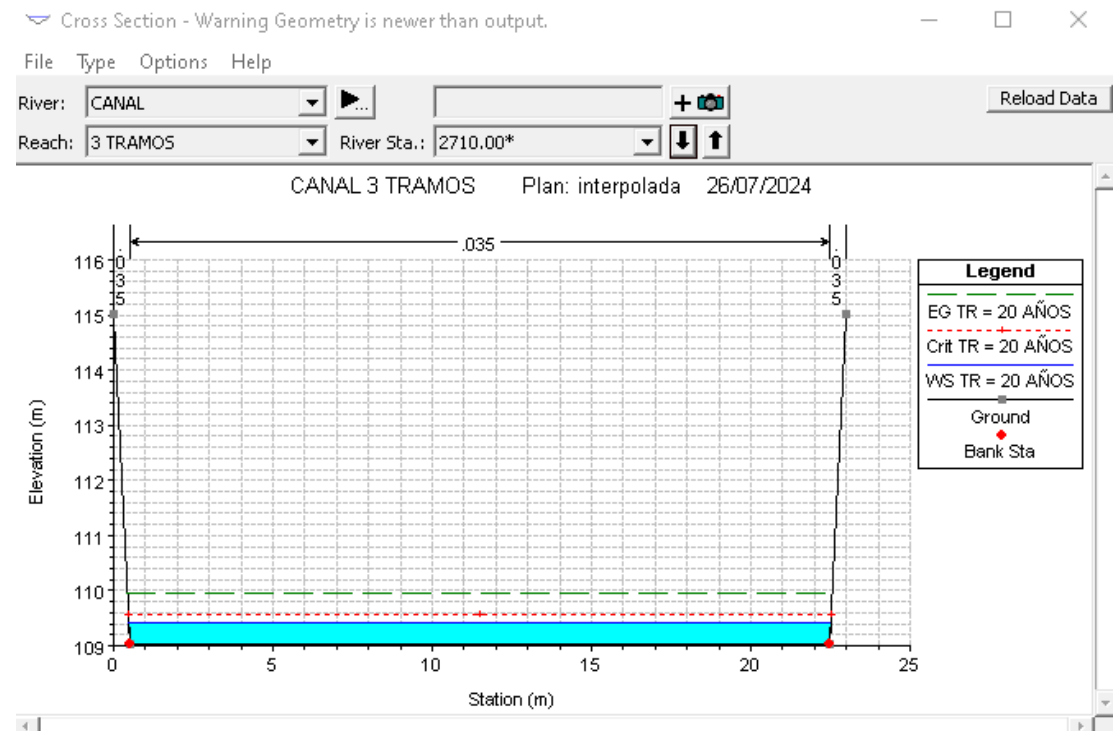
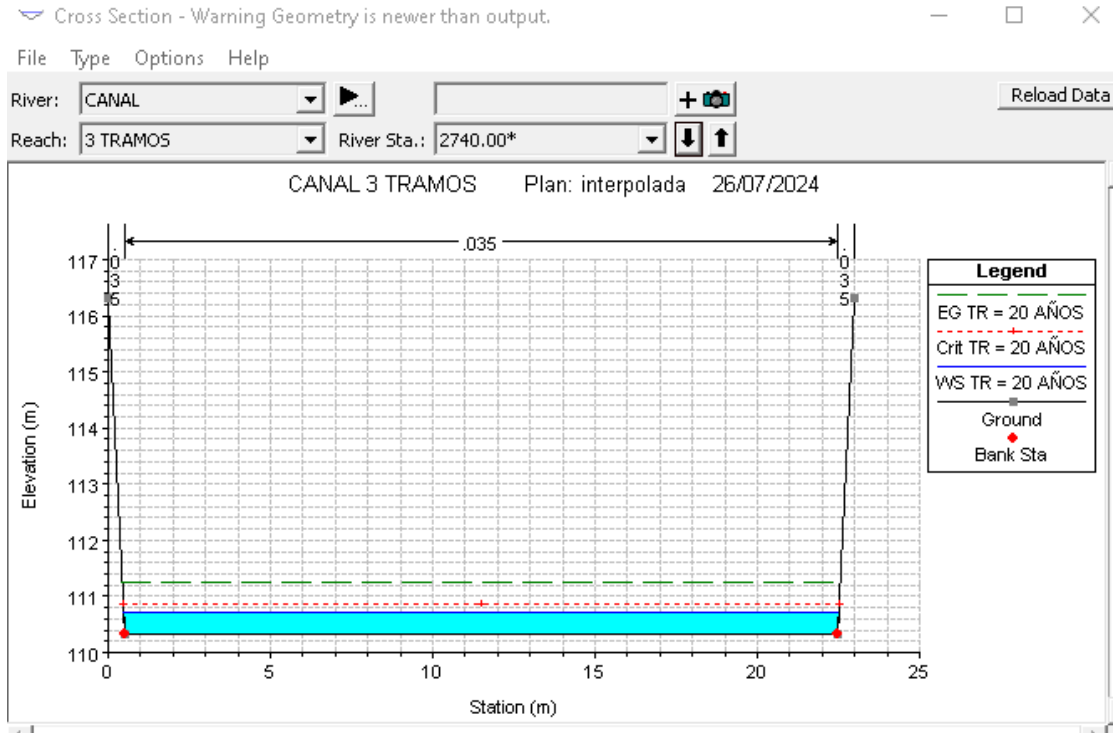
River: CANAL       
Reach: 3 TRAMOS  River Sta.: 2990.00\*

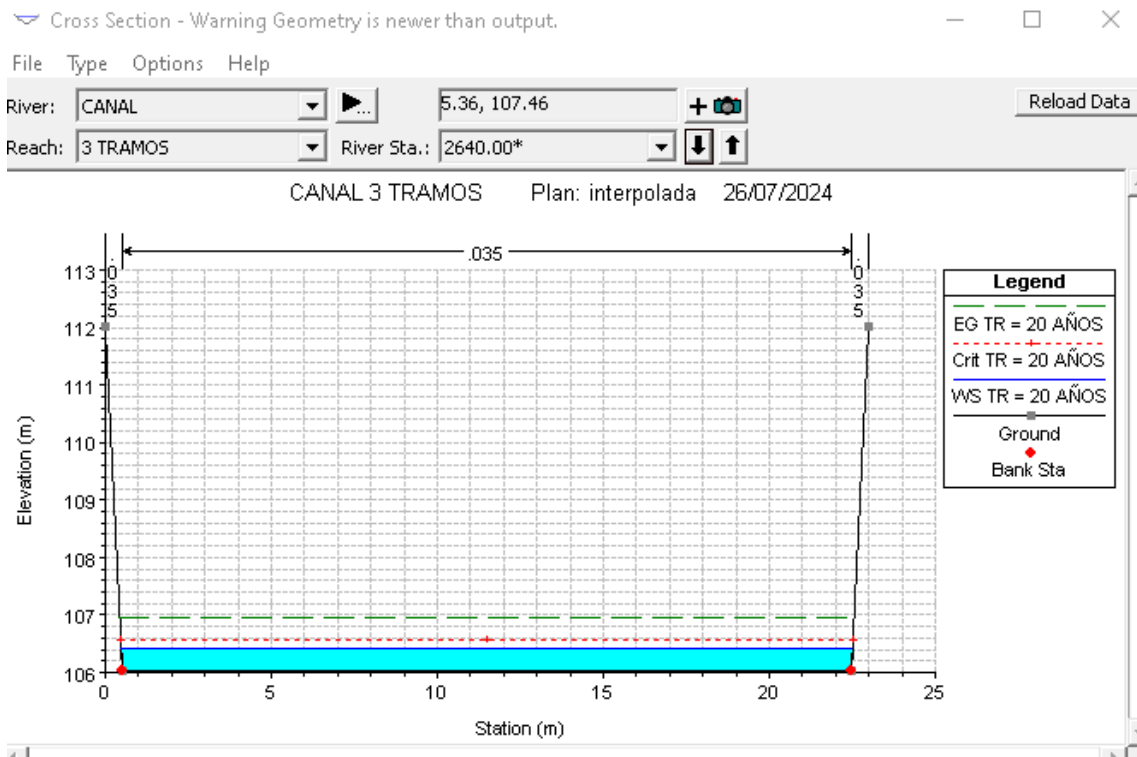
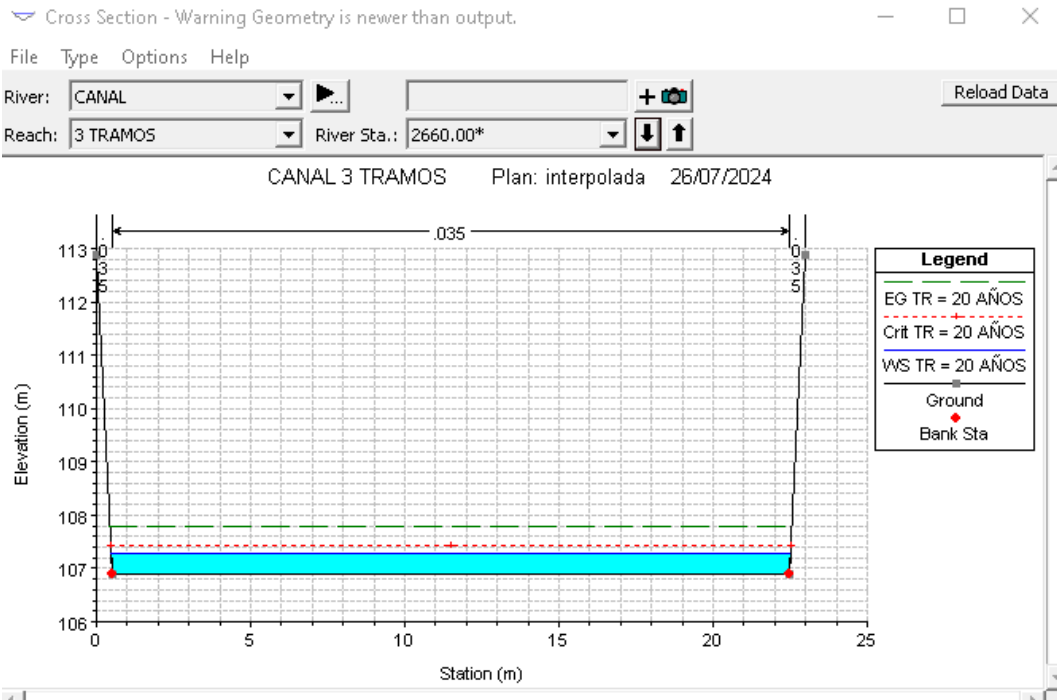












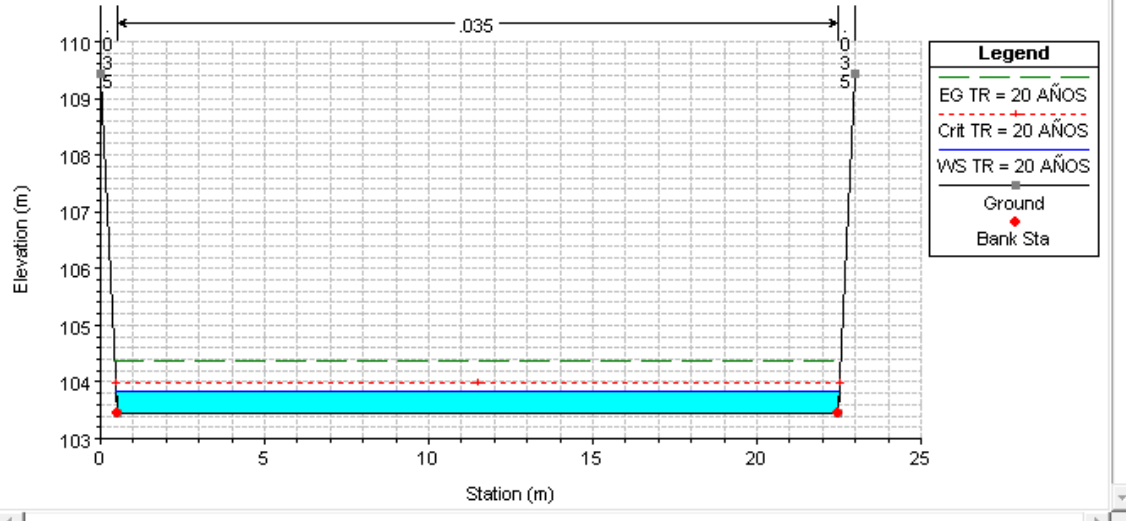


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL  7.37, 104.82     
Reach: 3 TRAMOS  River Sta.: 2580.00\*

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

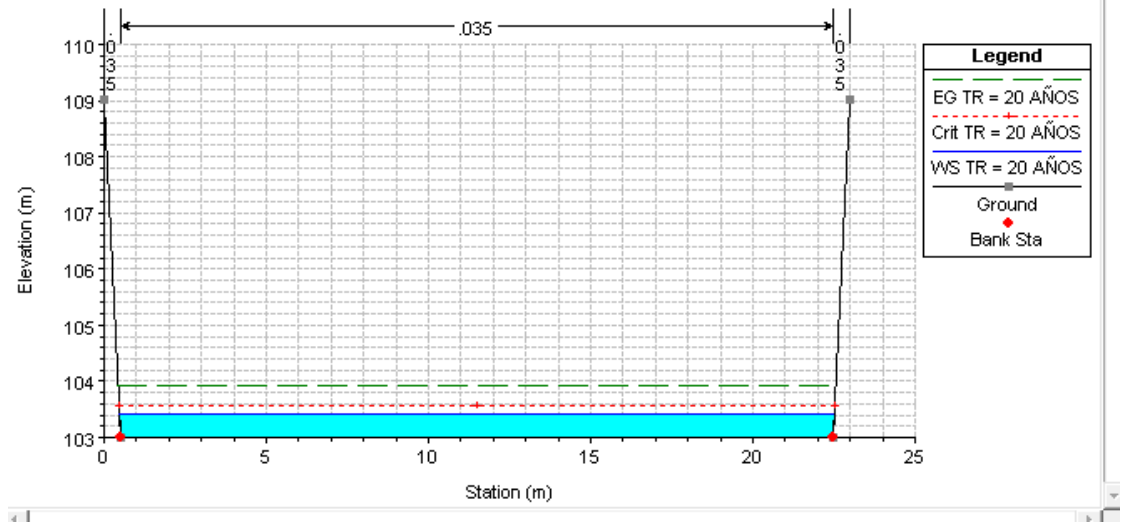


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL       
Reach: 3 TRAMOS  River Sta.: 2570.00\*

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024



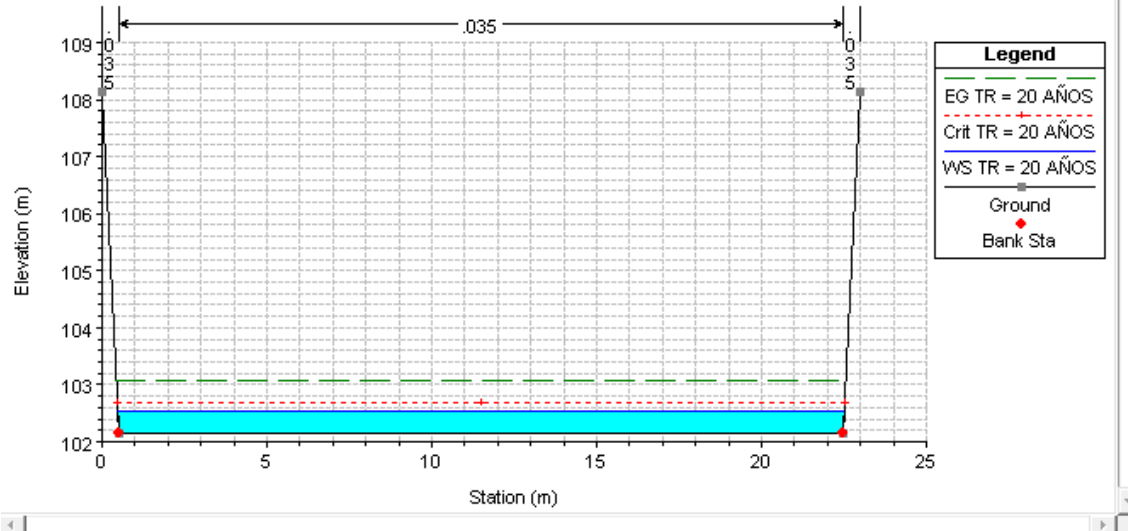


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL  
Reach: 3 TRAMOS  
River Sta.: 2550.00\*

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

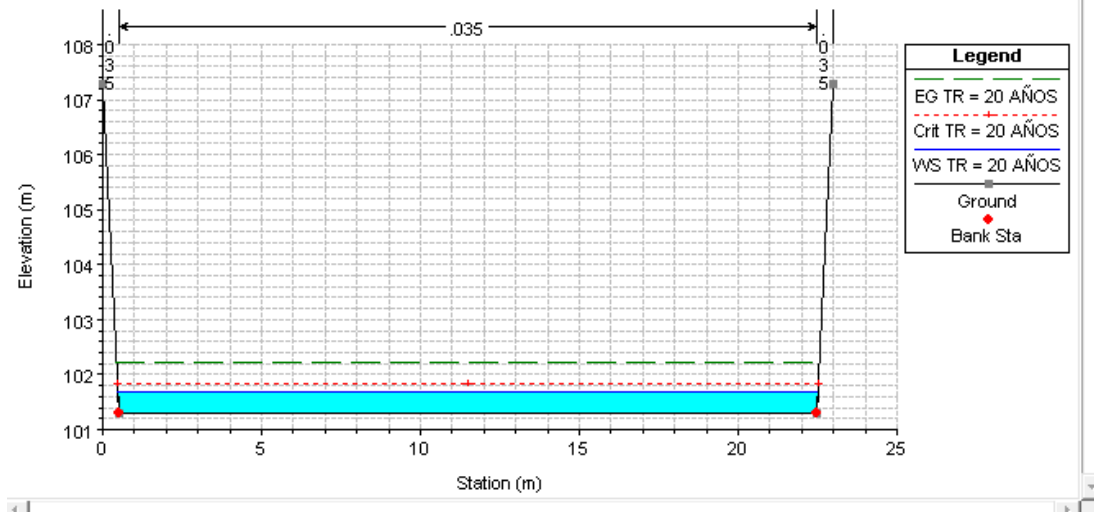


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL  
Reach: 3 TRAMOS  
River Sta.: 2530.00\*

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024



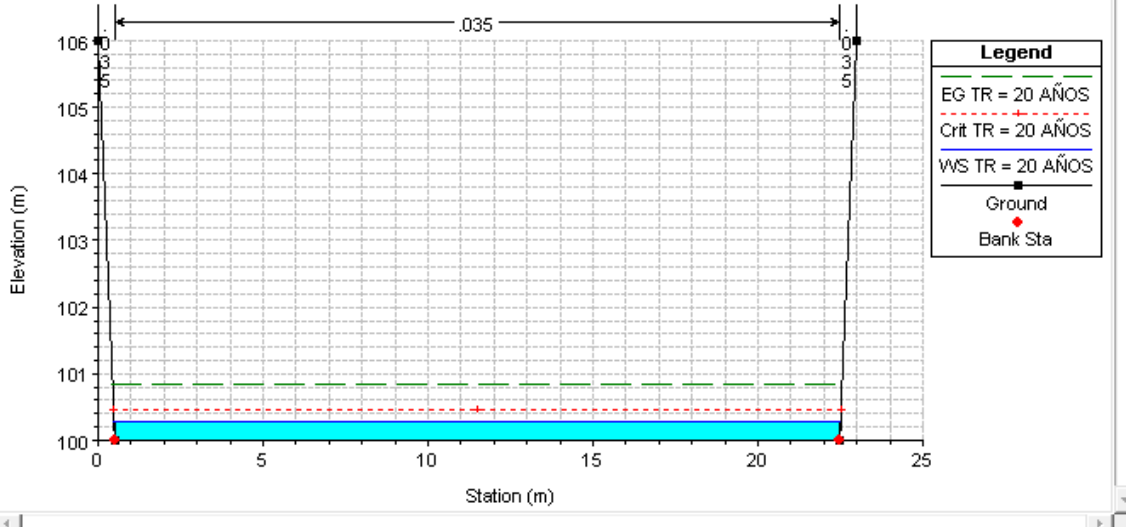


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL  + Reload Data  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2500

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024  
SECCION 2+500km

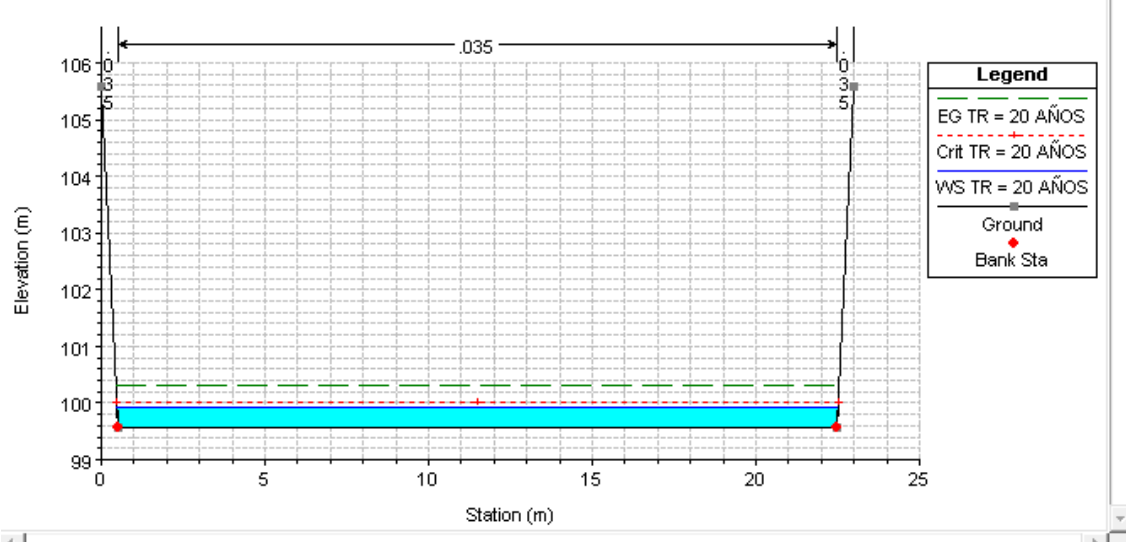


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL  + Reload Data  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2490.00\*

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024



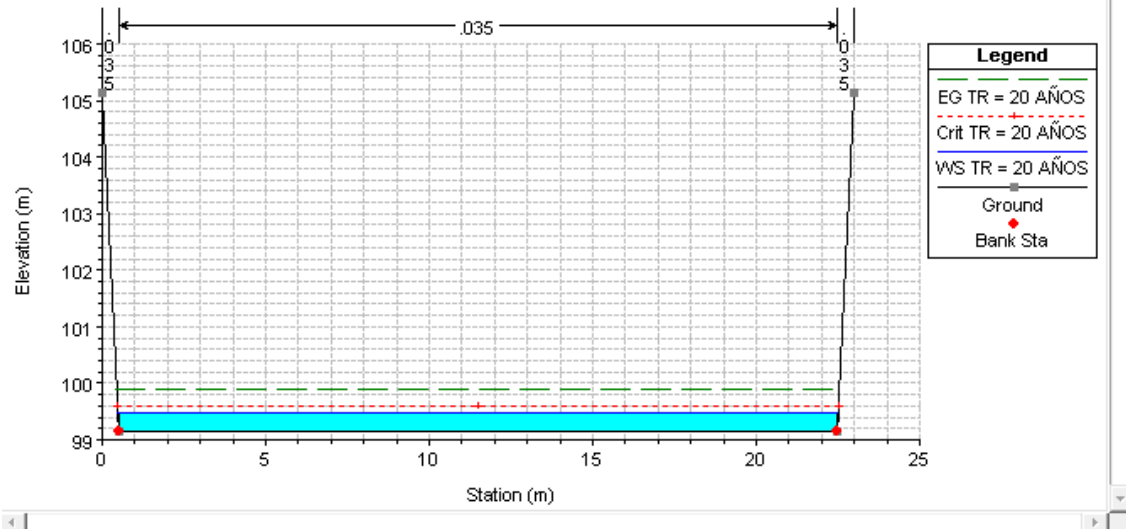


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] [Settings] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2480.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

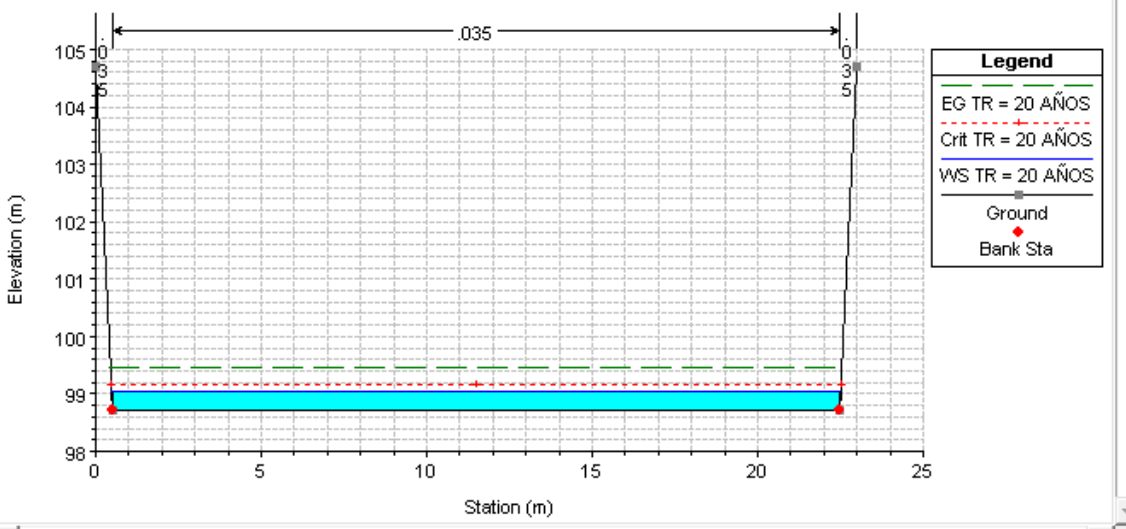


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] [Settings] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2470.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024



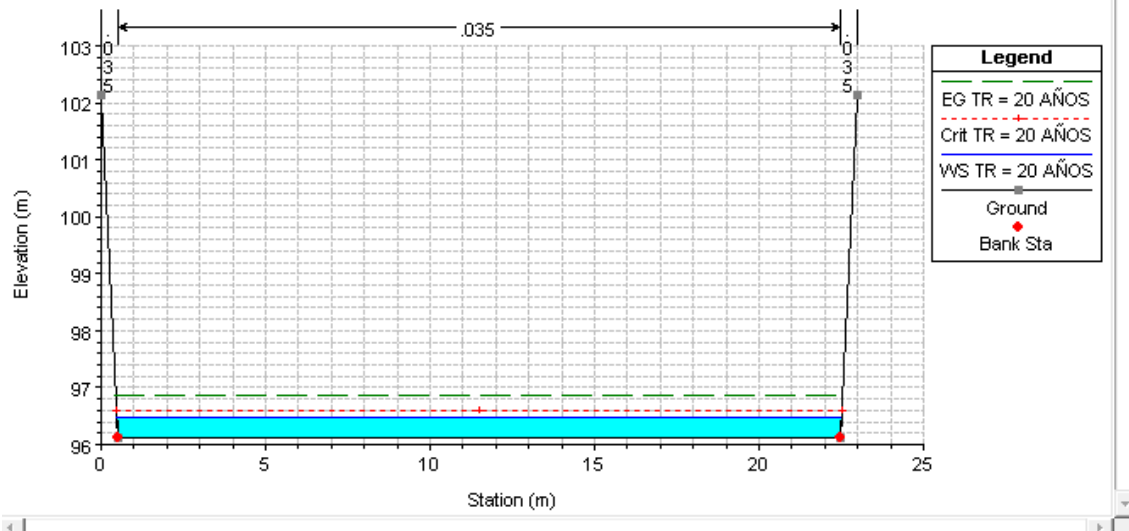


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] [Camera] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2410.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

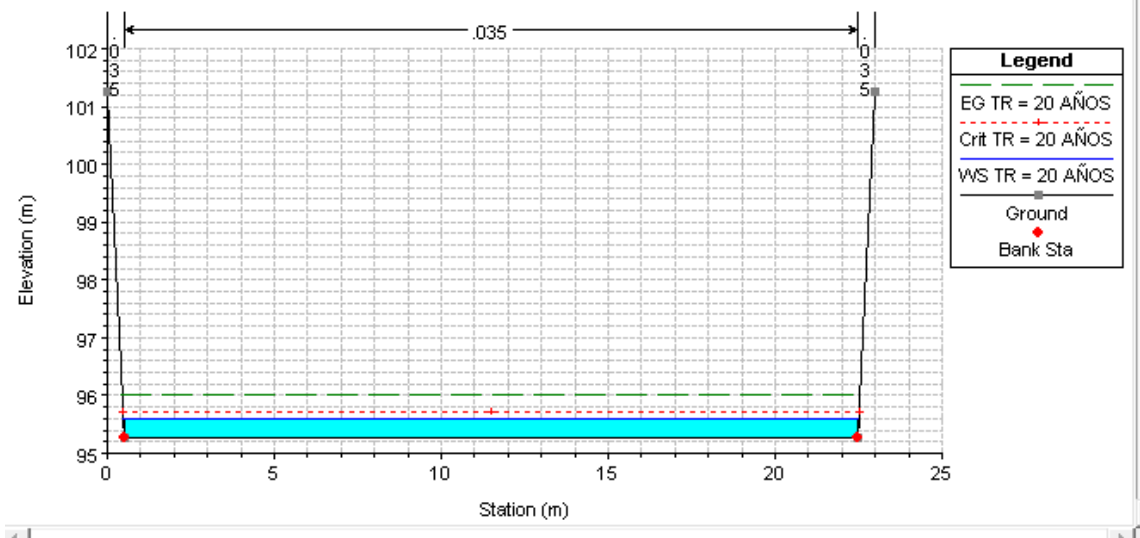


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] [Camera] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2390.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024



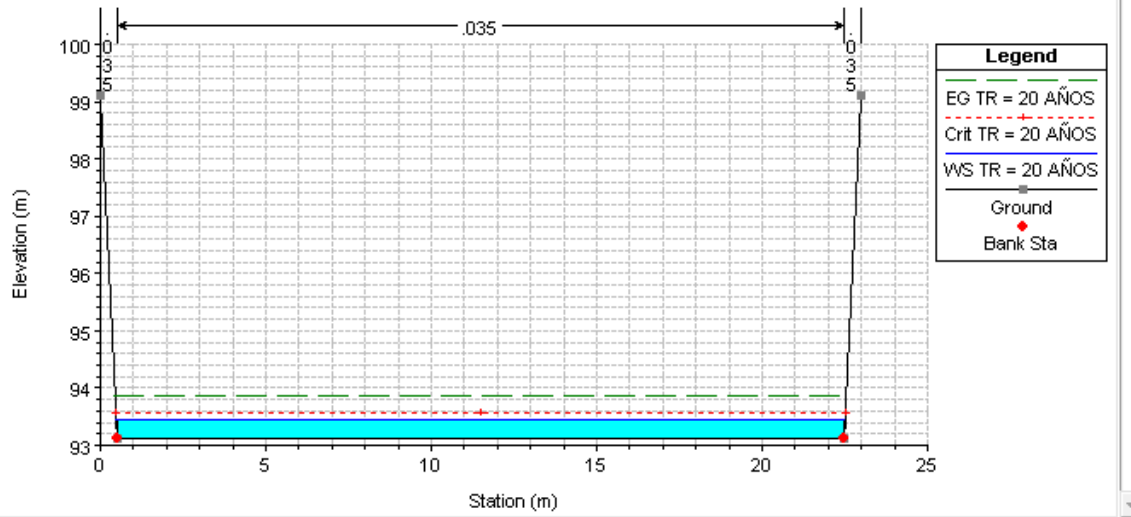


▼ Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] 5.82, 96.25 + [Camera] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2340.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

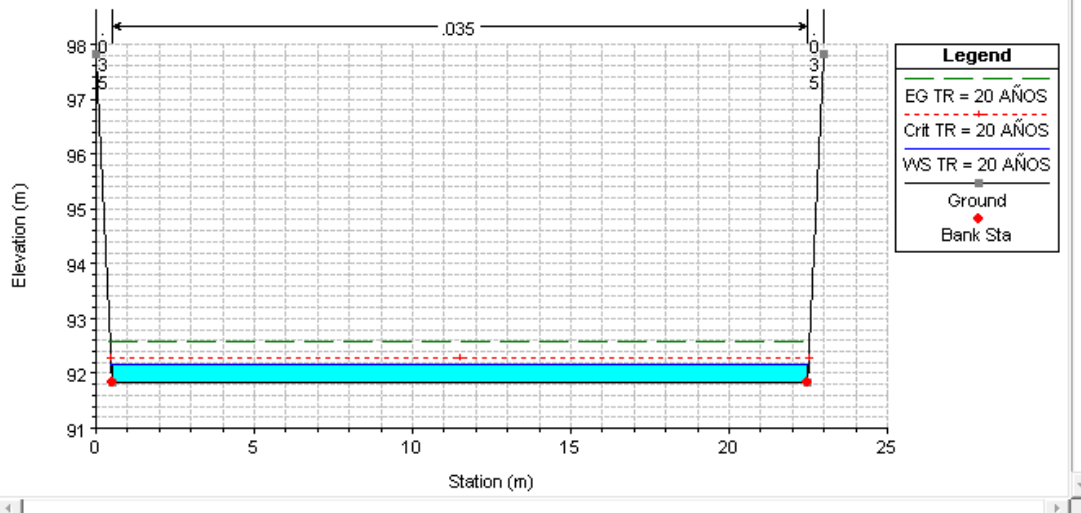


▼ Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

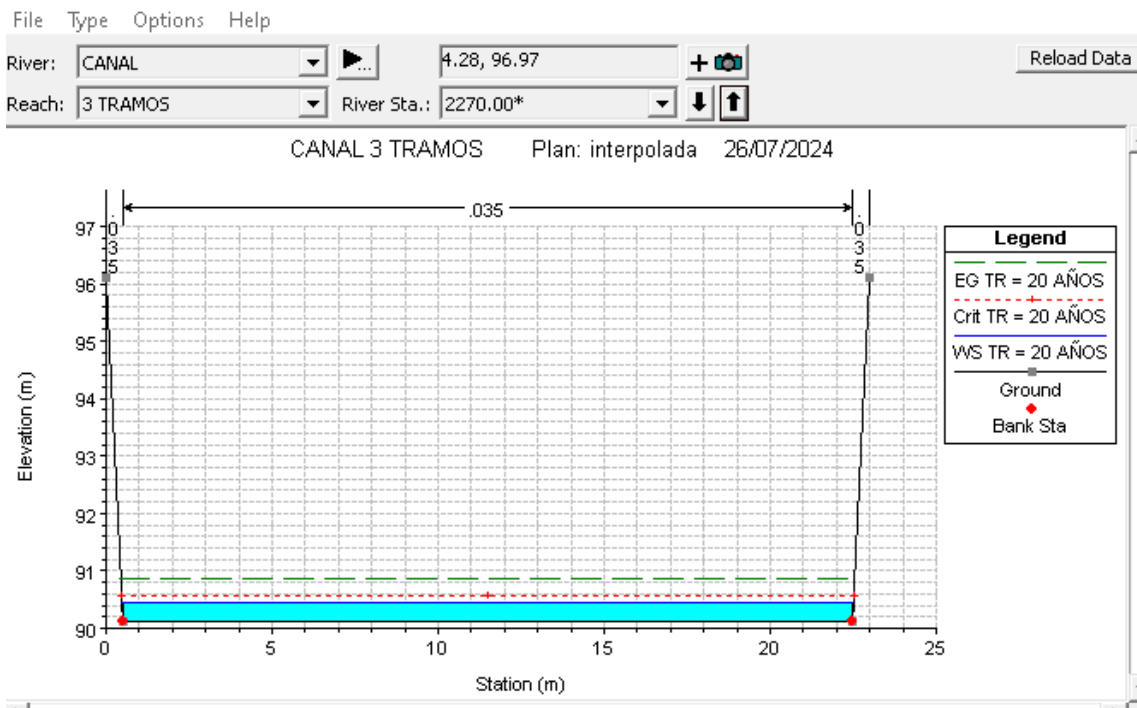
River: CANAL [Play] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2310.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

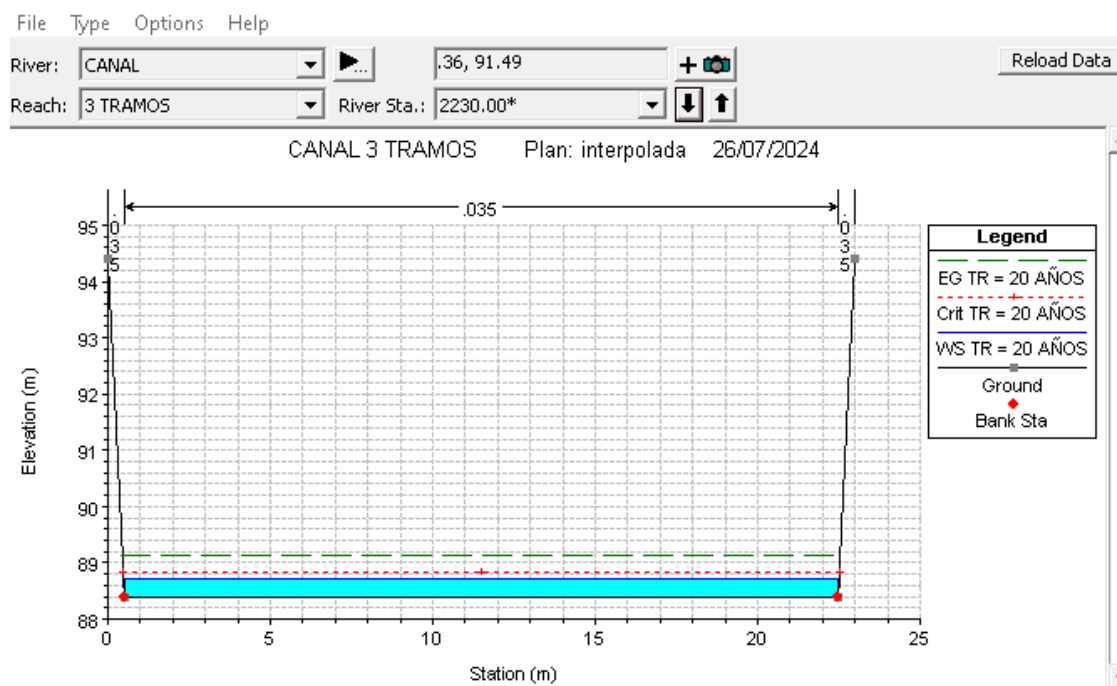




Cross Section - Warning Geometry is newer than output.



Cross Section - Warning Geometry is newer than output.



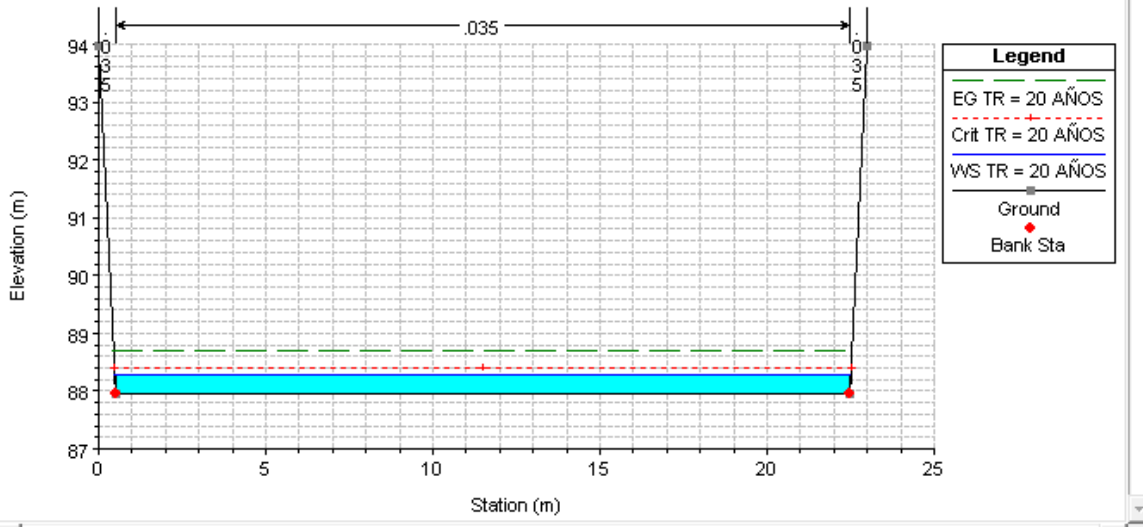


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL  3.51, 91.38     
Reach: 3 TRAMOS  River Sta.: 2220.00\*

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

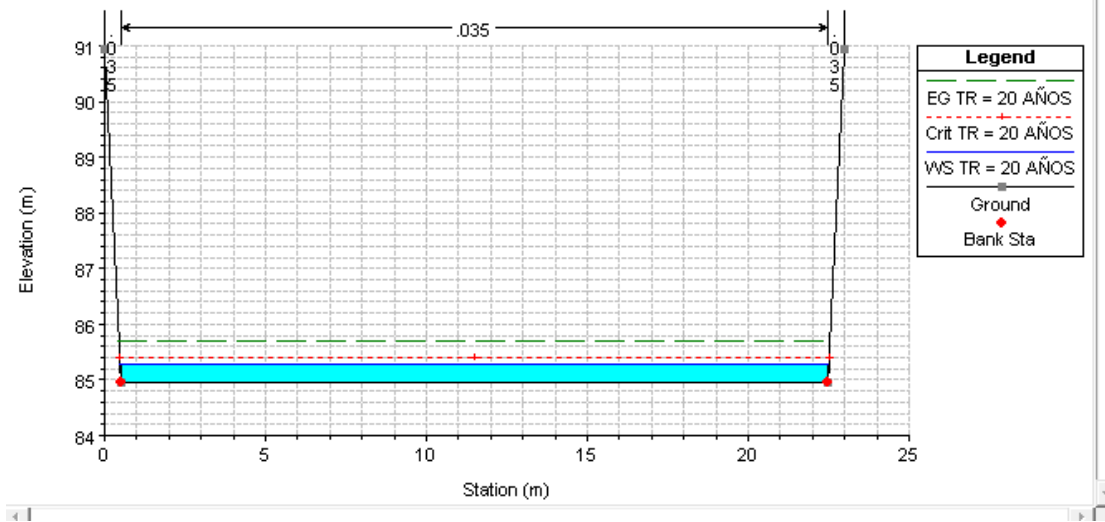


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL      
Reach: 3 TRAMOS  River Sta.: 2150.00\*

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024



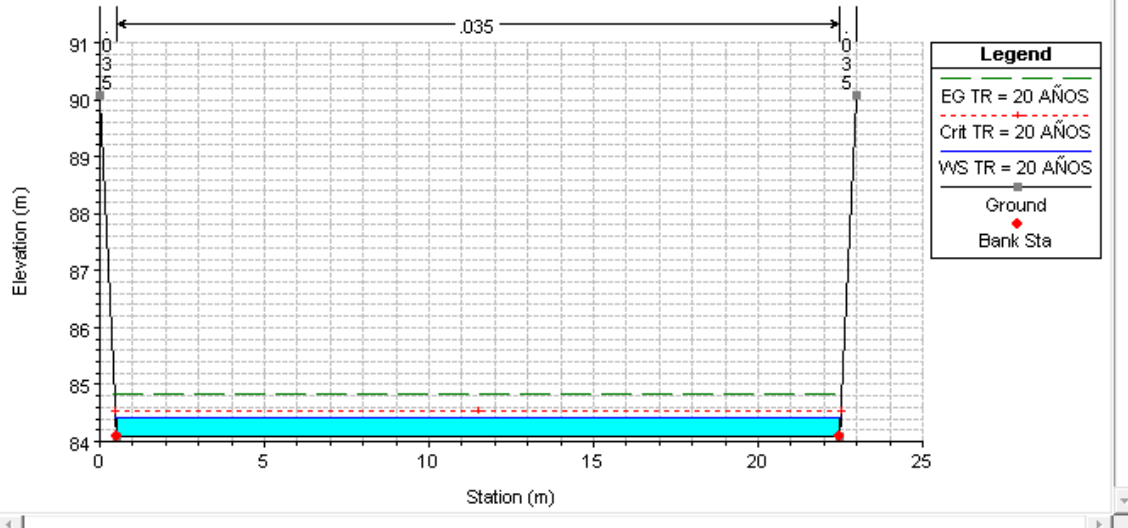


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] 10.93, 86.53 [Camera] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2130.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

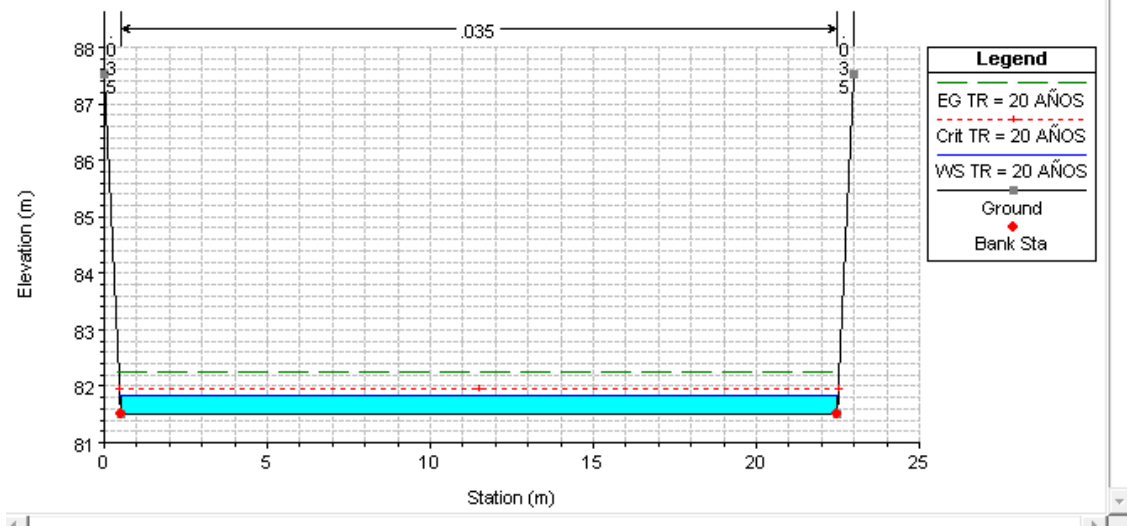


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] [Camera] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2070.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

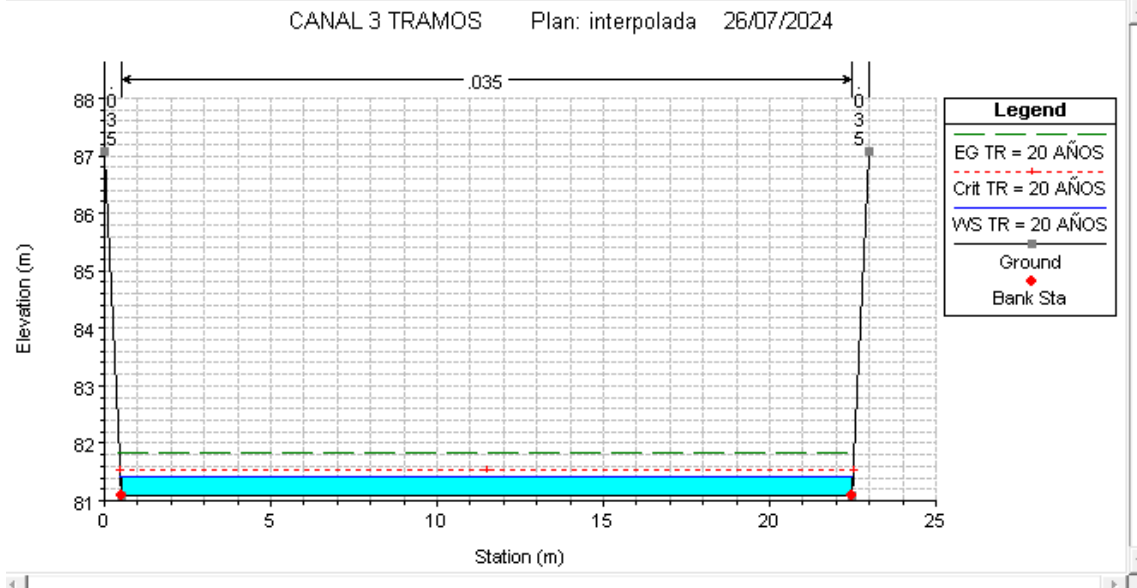




Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

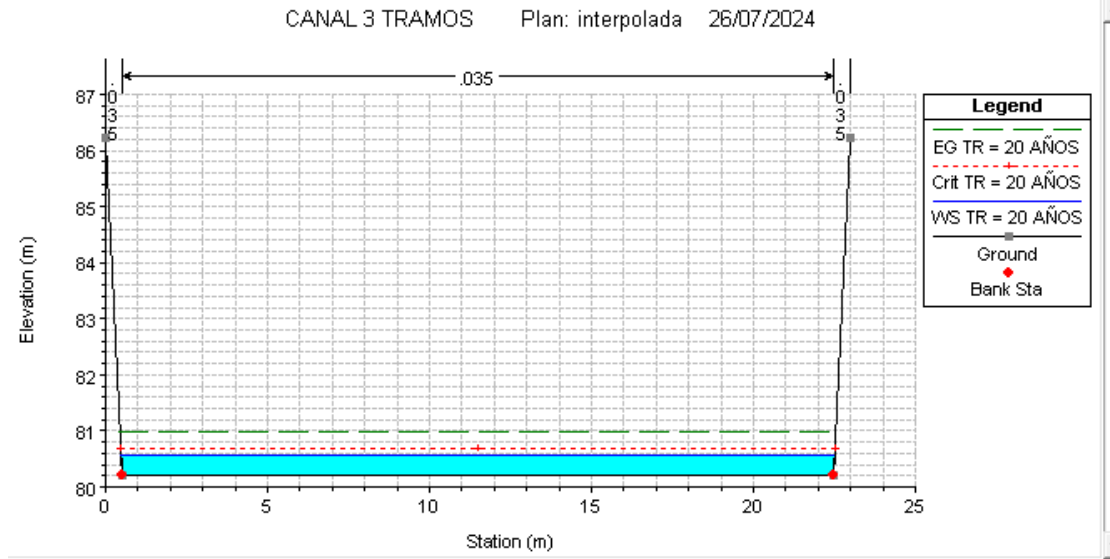
River: CANAL  
Reach: 3 TRAMOS  
River Sta.: 2060.00\*



Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL  
Reach: 3 TRAMOS  
River Sta.: 2040.00\*



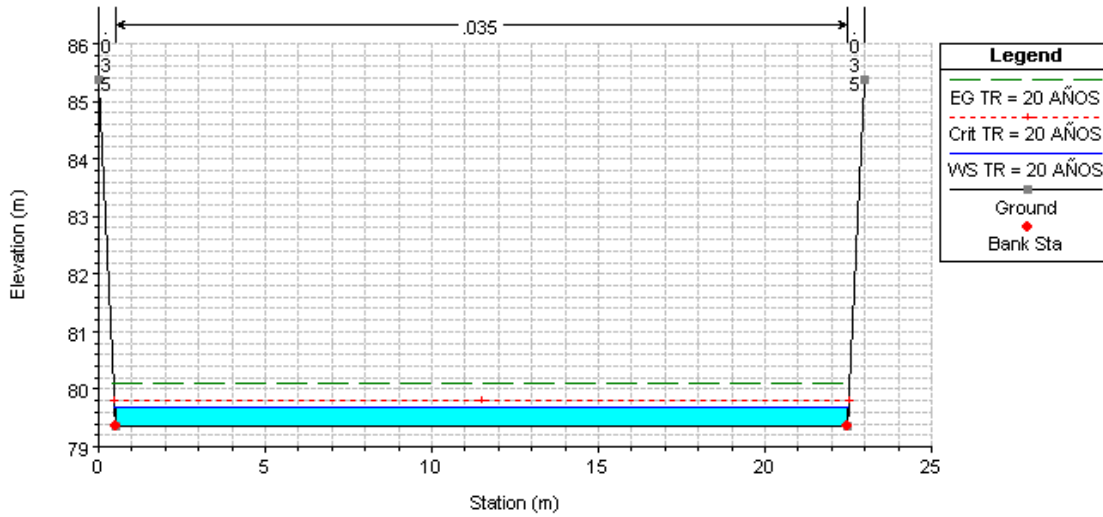


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] [Camera] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2020.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024

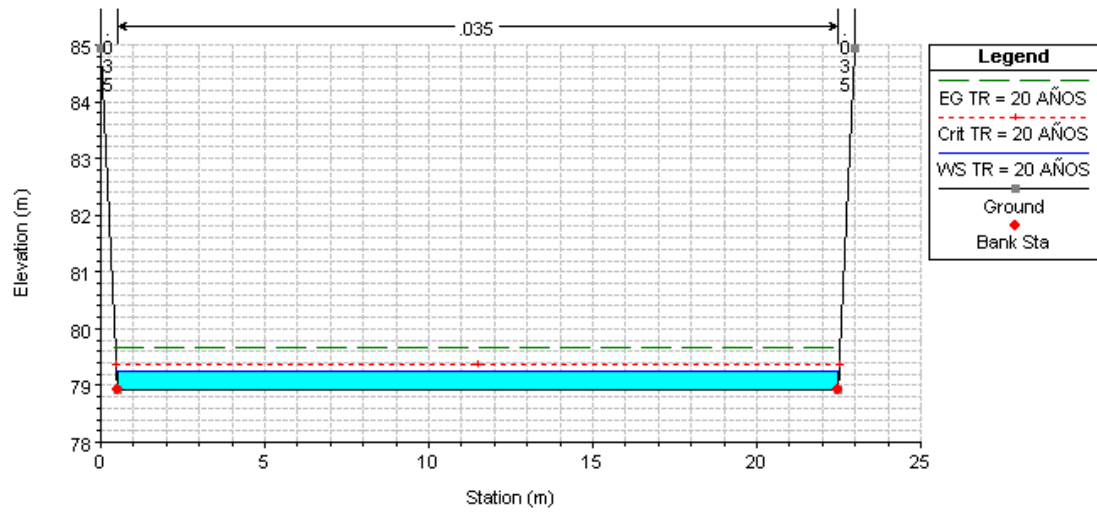


Cross Section - Warning Geometry is newer than output.

File Type Options Help

River: CANAL [Play] [Camera] [Reload Data]  
Reach: 3 TRAMOS River Sta.: 2010.00\* [Down] [Up]

CANAL 3 TRAMOS Plan: interpolada 26/07/2024





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
TRAMO 1	3500	TR = 20 AÑOS	36	121.5	121.96	122.15	122.6	0.04307	3.54	10.18	22.08	1.66
TRAMO 1	3490.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014058	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3480.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014043	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3470.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014044	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3460.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3450.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3440.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3430.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3420.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3410.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3400.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3390.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3380.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3370.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3360.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3350.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3340.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3330.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3320.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3310.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3300.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3290.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3280.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3270.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3260.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3250.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3240.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3230.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3220.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3210.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3200.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3190.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3180.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3170.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3160.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3150.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3140.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3130.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3120.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3110.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3100.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3090.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3080.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3070.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3060.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014041	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3050.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014039	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3040.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3030.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014038	2.53	14.26	22.11	1.01
TRAMO 1	3020.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014045	2.53	14.25	22.11	1.01
TRAMO 1	3010.00*	TR = 20 AÑOS	36	121.5	122.15	122.15	122.47	0.014037	2.53	14.26	22.11	1.01



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
TRAMO 3	2500	TR = 20 AÑOS	21	100	100.29	100.45	100.83	0.066695	3.26	6.46	22.05	1.92
TRAMO 3	2490.00*	TR = 20 AÑOS	21	99.57	99.92	100.02	100.3	0.037027	2.73	7.7	22.06	1.47
TRAMO 3	2480.00*	TR = 20 AÑOS	21	99.14	99.47	99.59	99.89	0.043696	2.87	7.33	22.06	1.59
TRAMO 3	2470.00*	TR = 20 AÑOS	21	98.71	99.05	99.16	99.46	0.042654	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2460.00*	TR = 20 AÑOS	21	98.28	98.61	98.73	99.03	0.043191	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2450.00*	TR = 20 AÑOS	21	97.85	98.18	98.3	98.6	0.042816	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2440.00*	TR = 20 AÑOS	21	97.42	97.75	97.87	98.17	0.042792	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2430.00*	TR = 20 AÑOS	21	96.99	97.32	97.44	97.74	0.043103	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2420.00*	TR = 20 AÑOS	21	96.56	96.89	97.01	97.31	0.04284	2.85	7.37	22.06	1.57
TRAMO 3	2410.00*	TR = 20 AÑOS	21	96.13	96.47	96.58	96.88	0.042681	2.85	7.38	22.06	1.57
TRAMO 3	2400.00*	TR = 20 AÑOS	21	95.7	96.03	96.15	96.45	0.043251	2.86	7.35	22.06	1.58
TRAMO 3	2390.00*	TR = 20 AÑOS	21	95.27	95.6	95.72	96.02	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2380.00*	TR = 20 AÑOS	21	94.84	95.17	95.29	95.59	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2370.00*	TR = 20 AÑOS	21	94.41	94.74	94.86	95.16	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2360.00*	TR = 20 AÑOS	21	93.98	94.31	94.43	94.73	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2350.00*	TR = 20 AÑOS	21	93.55	93.88	94	94.3	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2340.00*	TR = 20 AÑOS	21	93.12	93.45	93.57	93.87	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2330.00*	TR = 20 AÑOS	21	92.69	93.02	93.14	93.44	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2320.00*	TR = 20 AÑOS	21	92.26	92.59	92.71	93.01	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2310.00*	TR = 20 AÑOS	21	91.83	92.16	92.28	92.58	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2300.00*	TR = 20 AÑOS	21	91.4	91.73	91.85	92.15	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2290.00*	TR = 20 AÑOS	21	90.97	91.3	91.42	91.72	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2280.00*	TR = 20 AÑOS	21	90.54	90.87	90.99	91.29	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2270.00*	TR = 20 AÑOS	21	90.11	90.44	90.56	90.86	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2260.00*	TR = 20 AÑOS	21	89.68	90.01	90.13	90.43	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2250.00*	TR = 20 AÑOS	21	89.25	89.58	89.7	90	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2240.00*	TR = 20 AÑOS	21	88.82	89.15	89.27	89.57	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2230.00*	TR = 20 AÑOS	21	88.39	88.72	88.84	89.14	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2220.00*	TR = 20 AÑOS	21	87.96	88.29	88.41	88.71	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2210.00*	TR = 20 AÑOS	21	87.53	87.86	87.98	88.28	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2200.00*	TR = 20 AÑOS	21	87.1	87.43	87.55	87.85	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2190.00*	TR = 20 AÑOS	21	86.67	87	87.12	87.42	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2180.00*	TR = 20 AÑOS	21	86.24	86.57	86.69	86.99	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2170.00*	TR = 20 AÑOS	21	85.81	86.14	86.26	86.56	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2160.00*	TR = 20 AÑOS	21	85.38	85.71	85.83	86.13	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2150.00*	TR = 20 AÑOS	21	84.95	85.28	85.4	85.7	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2140.00*	TR = 20 AÑOS	21	84.52	84.85	84.97	85.27	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2130.00*	TR = 20 AÑOS	21	84.09	84.42	84.54	84.84	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2120.00*	TR = 20 AÑOS	21	83.66	83.99	84.11	84.41	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2110.00*	TR = 20 AÑOS	21	83.23	83.56	83.68	83.98	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2100.00*	TR = 20 AÑOS	21	82.8	83.13	83.25	83.55	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2090.00*	TR = 20 AÑOS	21	82.37	82.7	82.82	83.12	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2080.00*	TR = 20 AÑOS	21	81.94	82.27	82.39	82.69	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2070.00*	TR = 20 AÑOS	21	81.51	81.84	81.96	82.26	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2060.00*	TR = 20 AÑOS	21	81.08	81.41	81.53	81.83	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2050.00*	TR = 20 AÑOS	21	80.65	80.98	81.1	81.4	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2040.00*	TR = 20 AÑOS	21	80.22	80.55	80.67	80.97	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2030.00*	TR = 20 AÑOS	21	79.79	80.12	80.24	80.54	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2020.00*	TR = 20 AÑOS	21	79.36	79.69	79.81	80.11	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2010.00*	TR = 20 AÑOS	21	78.93	79.26	79.38	79.68	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58
TRAMO 3	2000	TR = 20 AÑOS	21	78.5	78.83	78.95	79.25	0.043199	2.86	7.36	22.06	1.58



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /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 (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO 2	3000	TR = 20 AÑOS	28	121.5	122.04	122.05	122.32	0.015664	2.37	11.86	22.09	1.03
TRAMO 2	2990.00*	TR = 20 AÑOS	28	121.07	121.45	121.62	122.03	0.052075	3.39	8.27	22.06	1.77
TRAMO 2	2980.00*	TR = 20 AÑOS	28	120.64	121.04	121.19	121.55	0.040541	3.15	8.91	22.07	1.58
TRAMO 2	2970.00*	TR = 20 AÑOS	28	120.21	120.61	120.76	121.13	0.042969	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2960.00*	TR = 20 AÑOS	28	119.78	120.18	120.33	120.7	0.042922	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2950.00*	TR = 20 AÑOS	28	119.35	119.75	119.9	120.27	0.042695	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2940.00*	TR = 20 AÑOS	28	118.92	119.32	119.47	119.84	0.043167	3.21	8.75	22.07	1.63
TRAMO 2	2930.00*	TR = 20 AÑOS	28	118.49	118.89	119.04	119.41	0.042995	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2920.00*	TR = 20 AÑOS	28	118.06	118.46	118.61	118.98	0.042995	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2910.00*	TR = 20 AÑOS	28	117.63	118.03	118.18	118.55	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2900.00*	TR = 20 AÑOS	28	117.2	117.6	117.75	118.12	0.042821	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2890.00*	TR = 20 AÑOS	28	116.77	117.17	117.32	117.69	0.043042	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2880.00*	TR = 20 AÑOS	28	116.34	116.74	116.89	117.26	0.042768	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2870.00*	TR = 20 AÑOS	28	115.91	116.31	116.46	116.83	0.043113	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2860.00*	TR = 20 AÑOS	28	115.48	115.88	116.03	116.4	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2850.00*	TR = 20 AÑOS	28	115.05	115.45	115.6	115.97	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2840.00*	TR = 20 AÑOS	28	114.62	115.02	115.17	115.54	0.043076	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2830.00*	TR = 20 AÑOS	28	114.19	114.59	114.74	115.11	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2820.00*	TR = 20 AÑOS	28	113.76	114.16	114.31	114.68	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2810.00*	TR = 20 AÑOS	28	113.33	113.73	113.88	114.25	0.042845	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2800.00*	TR = 20 AÑOS	28	112.9	113.3	113.45	113.82	0.043079	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2790.00*	TR = 20 AÑOS	28	112.47	112.87	113.02	113.39	0.042912	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2780.00*	TR = 20 AÑOS	28	112.04	112.44	112.59	112.96	0.042865	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2770.00*	TR = 20 AÑOS	28	111.61	112.01	112.16	112.53	0.043026	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2760.00*	TR = 20 AÑOS	28	111.18	111.58	111.73	112.1	0.042801	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2750.00*	TR = 20 AÑOS	28	110.75	111.15	111.3	111.67	0.043096	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2740.00*	TR = 20 AÑOS	28	110.32	110.72	110.87	111.24	0.042881	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2730.00*	TR = 20 AÑOS	28	109.89	110.29	110.44	110.81	0.042815	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2720.00*	TR = 20 AÑOS	28	109.46	109.86	110.01	110.38	0.043052	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2710.00*	TR = 20 AÑOS	28	109.03	109.43	109.58	109.95	0.042785	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2700.00*	TR = 20 AÑOS	28	108.6	109	109.15	109.52	0.043103	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2690.00*	TR = 20 AÑOS	28	108.17	108.57	108.72	109.09	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2680.00*	TR = 20 AÑOS	28	107.74	108.14	108.29	108.66	0.042868	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2670.00*	TR = 20 AÑOS	28	107.31	107.71	107.86	108.23	0.043076	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2660.00*	TR = 20 AÑOS	28	106.88	107.28	107.43	107.8	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2650.00*	TR = 20 AÑOS	28	106.45	106.85	107	107.37	0.042948	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2640.00*	TR = 20 AÑOS	28	106.02	106.42	106.57	106.94	0.042845	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2630.00*	TR = 20 AÑOS	28	105.59	105.99	106.14	106.51	0.043076	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2620.00*	TR = 20 AÑOS	28	105.16	105.56	105.71	106.08	0.042902	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2610.00*	TR = 20 AÑOS	28	104.73	105.13	105.28	105.65	0.042831	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2600.00*	TR = 20 AÑOS	28	104.3	104.7	104.85	105.22	0.043042	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2590.00*	TR = 20 AÑOS	28	103.87	104.27	104.42	104.79	0.042788	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2580.00*	TR = 20 AÑOS	28	103.44	103.84	103.99	104.36	0.043103	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2570.00*	TR = 20 AÑOS	28	103.01	103.41	103.56	103.93	0.042878	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2560.00*	TR = 20 AÑOS	28	102.58	102.98	103.13	103.5	0.042878	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2550.00*	TR = 20 AÑOS	28	102.15	102.55	102.7	103.07	0.043069	3.2	8.75	22.07	1.62
TRAMO 2	2540.00*	TR = 20 AÑOS	28	101.72	102.12	102.27	102.64	0.042945	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2530.00*	TR = 20 AÑOS	28	101.29	101.69	101.84	102.21	0.042945	3.2	8.76	22.07	1.62
TRAMO 2	2520.00*	TR = 20 AÑOS	28	100.86	101.26	101.41	101.78	0.042828	3.2	8.77	22.07	1.62
TRAMO 2	2510.00*	TR = 20 AÑOS	28	100.43	100.83	100.98	101.35	0.043089	3.2	8.75	22.07	1.62



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 30-01-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JUAN DE DIOS VELASQUEZ CAYO

Dirección: COMUNIDAD DE PATABAMBA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 42872461

Teléfono: 963 999 930 email: Jvelcayo@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: ESCUELA DE POSGRADO

Escuela Profesional o Mención: HIDRÁULICA

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DE DISEÑO DE CANALES DE RIESGO MEDIANTE PROGRAMA PARA MEJORAR LA MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN PROYECTOS DEL DISTRITO DE COASA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): EFICIENCIA HIDRÁULICA, SOFTWARE HCANALES, SOFTWARE HEC-RAS, DISEÑO DE CANALES

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51

Firma de Autor



huella digital

30-01-2025

Fecha