



Herramienta computacional de apoyo – HEC-RAS

Sesión 1 – Modelación hidráulica de un canal natural implementando la herramienta computacional HEC-RAS.

Fuente del recurso: El ejercicio resulta de una adaptación y modificación de los casos de estudio contenidos en la documentación oficial de HEC-RAS, específicamente del "Critical Creek (Example 1)" y "Application Guide Channel Modifications (Example 16)". Fue desarrollado por los estudiantes de ingeniería civil en modalidad de trabajo de grado Práctica en Docencia Edwin Manrique Castañeda y Jeirson Armando Cáceres Castellanos.

1. OBJETIVOS

- Integrar los fundamentos teóricos de la hidráulica de canales (regímenes de flujo, ecuaciones de continuidad y energía, coeficientes de rugosidad) con el software HEC-RAS para resolver problemas de determinación de niveles de agua y estudios de inundación en un tramo de canal natural.
- Identificar las características físicas e hidráulicas de un canal natural por medio de un ejercicio práctico utilizado la herramienta computacional HEC-RAS.
- Utilizar HEC-RAS para modelar un fenómeno natural de inundación y evaluar diferentes alternativas de mitigación por medio de cambios en las secciones transversales
- Analizar críticamente los resultados de la modelación hidráulica (perfiles de agua, regímenes de flujo, mensajes de error) para evaluar la calidad del modelo, identificar limitaciones en los datos de entrada y producir conclusiones fundamentadas sobre el comportamiento hidráulico del cauce modelado.



2. REQUERIMIENTOS

2.1 Instalación del programa

La herramienta de simulación se descarga directamente de la página oficial del ejercito de la marina de los estados <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx>

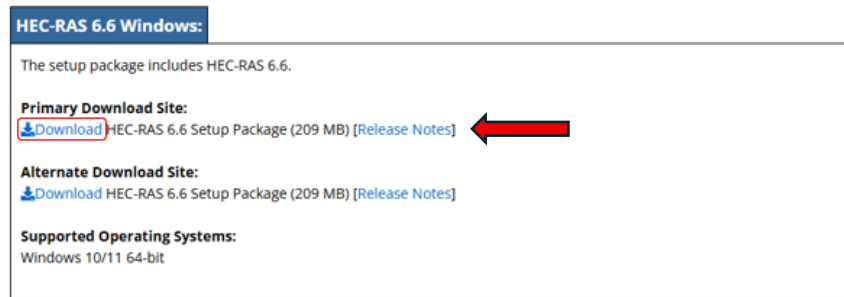


Figura 1. Descarga HEC-RAS versión 6.6

3. INTRODUCCIÓN

El software HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, es una herramienta ampliamente utilizada para la simulación del comportamiento hidráulico en cauces naturales y artificiales. Este programa permite llevar a cabo análisis unidimensionales de flujo constante, unidimensionales y bidimensionales de flujo no permanente, cálculo de transporte de sedimentos y estudios de tanto de temperatura como de calidad del agua.

Este manual constituye una guía práctica e integral para la introducción al manejo de HEC-RAS en el contexto de la modelación de canales naturales y artificiales. Por medio de un ejercicio práctico aplicado en la Quebrada La Cristalina, el documento estructura un proceso metodológico que abarca desde la configuración inicial del software hasta la interpretación crítica de resultados, incluyendo aspectos fundamentales como las características generales del software, creación de geometrías, modificación de canales, simulación de inundación, el establecimiento de condiciones de flujo, la definición de condiciones de frontera y el análisis de regímenes mixtos de flujo.



4. MARCO TEÓRICO

Flujo uniforme

El flujo uniforme se caracteriza por la invariabilidad espacial de los parámetros hidráulicos fundamentales, tales como el tirante, la velocidad media y el área de la sección transversal. En esta condición de flujo, las propiedades hidráulicas como: la profundidad del agua, el área transversal, la velocidad y el caudal, permanecen constantes a lo largo de todas las secciones del canal. Como consecuencia de esta uniformidad, la pendiente de la línea de energía (S_E), la pendiente de la superficie libre del agua (S_W) y la pendiente del fondo del canal (S_O) convergen numéricamente, estableciendo una configuración geométrica de líneas paralelas. Béjar, M. V. (1995). (Figura 2).

$$S_E = S_W = S_O = S$$

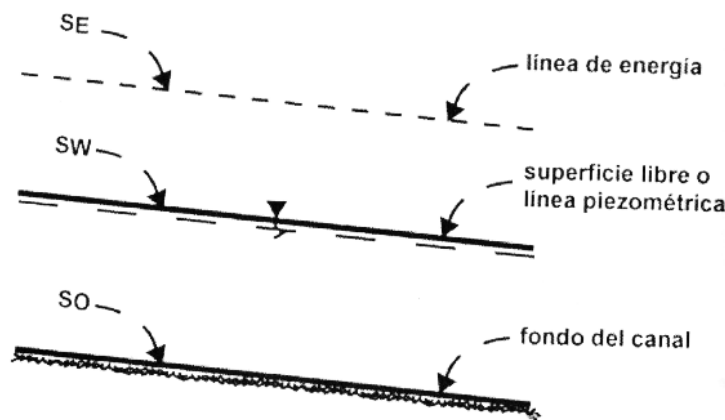


Figura 2. Pendientes: línea de energía, línea piezométrica y fondo del canal. Fuente: Béjar, M. V. (1995).

Ecuación de la energía o ecuación de Bernoulli

Se define como energía total a la suma de la energía de posición, la presión y la velocidad. Béjar, M. V. (1995). (Figura 3). Es decir:

$$\text{Energía total} = \text{Cabeza de energía de elevación} + \text{Cabeza de energía de presión} \\ + \text{Cabeza de energía de velocidad}$$

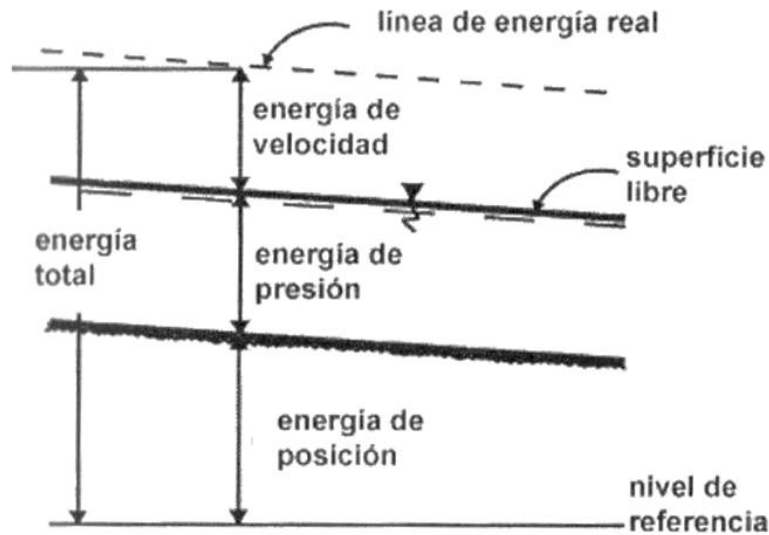


Figura 3. Energía total en una sección de canal. Fuente: Béjar, M. V. (1995).

Si la energía total se expresa por unidad de peso, se obtiene la forma más conocida de la ecuación de Bernoulli, la cual se presenta como:

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{v^2}{2g} = cte \quad \text{ó} \quad E = Z + y + \alpha \frac{v^2}{2g} = cte$$

Donde:

E = Energía total en la sección

Z = Energía de posición

y = Energía de presión

v = Velocidad media que lleva el flujo en esa sección

α = Coeficiente de Coriolis para la sección.

Flujo crítico, subcrítico y supercrítico.

En relación con el efecto de la gravedad, el flujo puede ser crítico, subcrítico y supercrítico; la fuerza de gravedad se mide a través del número de Froude (F), que relaciona fuerzas de inercia de velocidad con fuerzas gravitatorias. Béjar, M. V. (1995). Este número se define mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gD_h}} = \frac{v}{\sqrt{g \frac{A}{T}}}$$



Donde:

v = velocidad media de la sección, en m/s

g = aceleración de la gravedad, en m/s^2

D_h = Profundidad hidráulica, en m

A = sección transversal del flujo, en m^2

T = ancho de la lámina libre, en m

La clasificación del régimen de flujo según el valor del número de Froude establece las siguientes categorías:

- Flujo subcrítico: si $F < 1$, en este estado las fuerzas de gravedad se hacen dominantes, por lo que el flujo tiene baja velocidad, siendo tranquilo y lento.
- Flujo crítico: si $F = 1$, en este estado las fuerzas de inercia y gravedad están en equilibrio.
- Flujo supercrítico: si $F > 1$, en este estado las fuerzas de inercia son más pronunciadas, por lo que el flujo tiene una gran velocidad, siendo rápido y torrencioso.

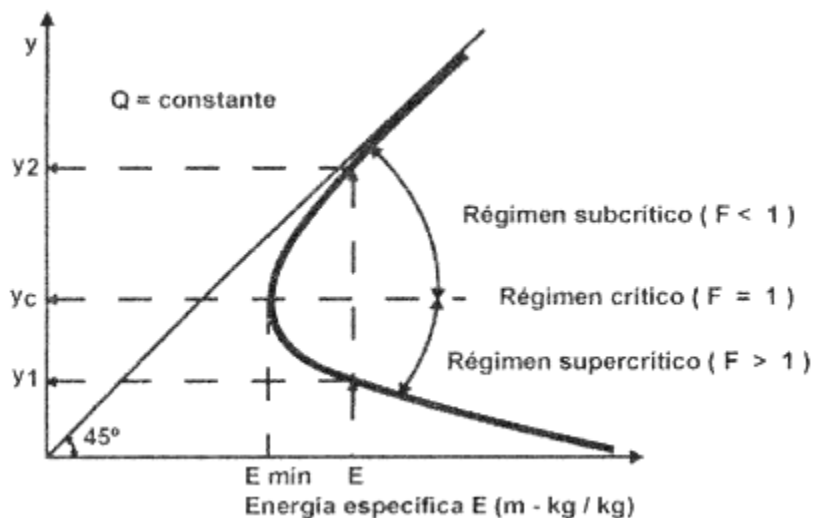


Figura 4. Tipos de flujo según el número de Froude. Fuente: Béjar, M. V. (1995)

La ecuación de Manning

Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, la ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujos de canales abiertos. Chow, V. T. (1994.).



$$V = \frac{k}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V = Velocidad media, en m/s

R_h = radio hidráulico, en m

S = pendiente de la línea de energía

n = coeficiente de rugosidad de Manning

k = coeficiente de conversión (1 para el sistema métrico y 1.49 para el sistema inglés)

Selección del coeficiente de rugosidad de Manning

Seleccionar un valor de n significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado, para lo cual no existe un método exacto. Para determinar el coeficiente de Manning se proponen varias estrategias:

➤ **Determinar n por medio de un proceso analítico.**

Todos los factores que afectan el valor de n dan una base para determinar el valor de n apropiado para un problema determinado. Las condiciones que tienden a inducir turbulencia y a causar retardo incrementan el valor de n y aquellas que tienden a reducir la turbulencia y el retardo disminuyen su valor. A partir del reconocimiento de varios factores primordiales que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n por medio de la siguiente expresión. (figura 5). Chow, V. T. (1994.).

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

Donde:

n_0 = Valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados.

n_1 = Valor agregado para corregir el efecto de las rugosidades superficiales.

n_2 = Valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal.

n_3 = Valor para considerar las obstrucciones.

n_4 = Valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo.

m_5 = Factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.



Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Figura 5. Valores para cálculo del coeficiente de rugosidad mediante la ecuación.

Fuente: Chow, V. T. (1994.).

➤ **Tabla de valores comunes**

Se presenta una lista de valores de n para canales de diferentes clases. Para cada tipo de canal se muestran los valores mínimo normal y máximo de n . Los valores normales para canales artificiales dados en la tabla se recomiendan sólo para canales con buen mantenimiento. Los números en negrilla son los valores a menudo recomendados para diseño. (Figura 6 a figura 9.)



Tipo de canal y descripción		Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos				
A-1. Metal				
a. Latón, liso		0.009	0.010	0.013
b. Acero				
1. Estriado y soldado		0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral		0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido				
1. Recubierto		0.010	0.013	0.014
2. No recubierto		0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado				
1. Negro		0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado		0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado				
1. Subdrenaje		0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias		0.021	0.024	0.030
A-2. No metal				
a. Lucita		0.008	0.009	0.010
b. Vidrio		0.009	0.010	0.013
c. Cemento				
1. Superficie pulida		0.010	0.011	0.013
2. Mortero		0.011	0.013	0.015
d. Concreto				
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras		0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras		0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado		0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto		0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico		0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa		0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa		0.015	0.017	0.020
e. Madera				
1. Machihembrada		0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada		0.015	0.017	0.020
f. Arcilla				
1. Canaleta común de baldosas		0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada		0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.		0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas		0.014	0.016	0.018
g. Mampostería en ladrillo				
1. Barnizada o lacada		0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento		0.012	0.015	0.017
h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones		0.012	0.013	0.016
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso		0.016	0.019	0.020
j. Mampostería de piedra, cementada		0.018	0.025	0.030

Figura 6. Valores del coeficiente de rugosidad n . Fuente: Chow, V. T. (1994.).



Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030	0.500

Figura 7. Valores del coeficiente de rugosidad n . Fuente: Chow, V. T. (1994.).



Tipo de canal y descripción		Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado				
a. En tierra, recto y uniforme				
1. Limpio, recientemente terminado		0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie		0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio		0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas		0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento				
1. Sin vegetación		0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas		0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos		0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra		0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas		0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios		0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado				
1. Sin vegetación		0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas		0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca				
1. Lisos y uniformes		0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares		0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar				
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo		0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados		0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo		0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto		0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales				
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)				
a. Corrientes en planicies				
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos		0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas		0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena		0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras		0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes		0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras		0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos		0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos		0.075	0.100	0.150

Figura 8. Valores del coeficiente de rugosidad n . Fuente: Chow, V. T. (1994).



Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<i>b.</i> Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
<i>a.</i> Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<i>b.</i> Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
<i>c.</i> Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
<i>d.</i> Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de <i>n</i> es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
<i>a.</i> Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
<i>b.</i> Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

Figura 9. Valores del coeficiente de rugosidad *n*. Fuente: Chow, V. T. (1994.).

- Por otra parte, el United States Geological Survey (USGS) desarrolló un informe en el cual presenta valores de *n* para canales naturales. Se puede encontrar este documento en el siguiente enlace: <https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>



5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE HEC-RAS



Figura 10. Acceso directo al programa.

En la interfaz principal del software HEC-RAS, la sección superior presenta una barra de menú que proporciona acceso directo a las funciones primarias disponibles en cada ventana del programa. Esta estructura de navegación facilita el acceso inmediato a las herramientas y opciones fundamentales del sistema, optimizando la experiencia del usuario.

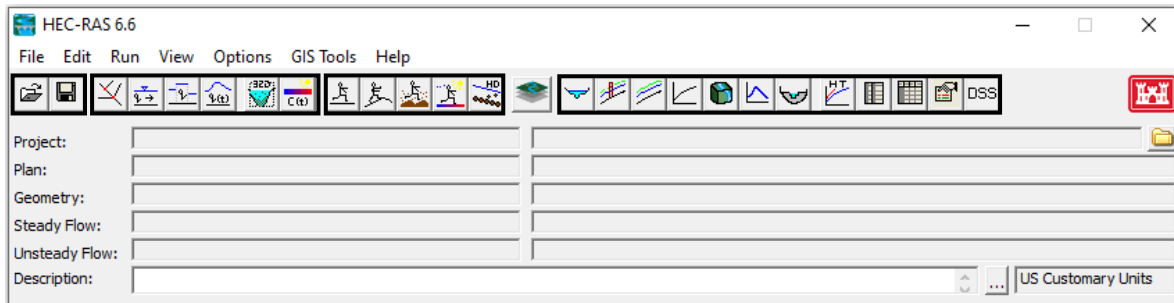


Figura 11. Ventana principal de HEC-RAS

File: esta opción se utiliza para la gestión de archivos. Las opciones disponibles en el menú Archivo incluyen: Nuevo proyecto; Abrir proyecto; Guardar proyecto; Guardar proyecto como; Renombrar proyecto; Eliminar proyecto; Resumen del proyecto; Importar datos de HEC-2; Importar datos de HEC-RAS; Generar informe; Exportar datos SIG; Exportar a HEC-DSS; Restaurar datos de copia de seguridad; Depurar informe; y Salir. Además, los proyectos abiertos más recientes se listarán en la parte inferior del menú Archivo, lo que permite al usuario abrir rápidamente un proyecto en el que se haya trabajado recientemente.



Figura 12. Iconos de abrir y guardar proyecto.

Edit: Esta opción se utiliza para introducir y editar datos. Los datos se clasifican en seis tipos: Datos geométricos; Datos de flujo constante; Flujo casi inestable; Datos de flujo inestable; Datos de sedimentos; y Datos de calidad del agua.



	Editor de datos geométricos		Editor de datos para análisis en régimen cuasi-permanente
	Editor de datos para análisis en régimen permanente		Editor de datos de sedimentos
	Editor de datos para análisis en régimen no permanente		Editor de datos de calidad de agua

Figura 13. Edición de datos.

Run: Esta opción se utiliza para realizar los cálculos hidráulicos. Las opciones de este menú incluyen: Análisis de régimen permanente; Análisis de régimen no permanente; Análisis de sedimentos cuasi inestables; Análisis de la calidad del agua; Funciones de diseño hidráulico; y Ejecutar múltiples planes.

	Iniciar una simulación en régimen permanente		Iniciar un análisis de calidad de agua
	Iniciar una simulación en régimen no permanente		Herramientas de análisis de diseño hidráulico (socavamiento)
	Iniciar una simulación de transporte de sedimentos		

Figura 14. Iconos de ejecutar.

View: Esta opción contiene un conjunto de herramientas que permiten visualizar gráficamente y en formato tabular la salida del modelo. Las opciones de este menú incluyen: Secciones transversales; Perfiles de la superficie del agua; Gráfico de perfil general; Curvas de clasificación; Gráficos de perspectiva 3D; Hidrogramas de nivel y caudal; Gráficos de propiedades hidráulicas; Tablas de resultados detallados; Tablas de resumen de perfil; Resumen de errores, advertencias y notas; Datos DSS; Gráfico espacial de flujo inestable; Gráfico de series temporales de flujo inestable; Gráfico espacial de agua; Gráfico de series temporales de agua; Gráfico espacial de sedimentos; Gráfico de series temporales de sedimentos y Gráfico de cambios en la XS de sedimentos.

	Visor de resultados del análisis sobre las secciones transversales		Visor de series temporales de rotura
	Visor del perfil longitudinal de la lámina de agua		Visor de las propiedades hidráulicas e una sección (gráficos y tablas)
	Presenta en forma de gráfico o tabla la evolución de distintas variables a lo largo del cauce		Tabla detallada con resultados de una sección o una estructura hidráulica
	Visor de las curvas de gasto evaluadas para cada sección		Tabla resumen de los resultados principales de la simulación
	Presenta gráficos de perspectiva 3D		Visor de la lista de errores y advertencias detectadas durante la simulación
	Visor de los hidrogramas		Visor de datos almacenados en la base de datos (Data Storage System)

Figura 15. Iconos de vista.

Options: Este menú permite al usuario cambiar las opciones de configuración del programa; establecer parámetros predeterminados; establecer el sistema de unidades predeterminado; Convertir unidades del proyecto y Convertir sistema de coordenadas horizontales.

Gis Tools: Este elemento del menú permite al usuario acceder al Mapper de HEC-RAS, que permite crear modelos de terreno para su uso con HEC-RAS, visualizar mapas de inundaciones y realizar animaciones dinámicas de inundaciones, junto con muchas otras capas cartográficas.



Universidad
Industrial de
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
HIDRÁULICA



Abrir herramienta RAS Mapper

Figura 16. Icono RAS Mapper

Help: Esta opción permite al usuario obtener ayuda en línea para HEC-RAS, visualizar los manuales de HEC-RAS, instalar proyectos de ejemplo, personalizar el menú Ayuda, acceder a la página web de HEC-RAS, consultar una guía en línea para seleccionar los valores n de Manning, consultar los términos y condiciones de uso y ver la información de la versión actual de HEC-RAS.



6. DESARROLLO DEL MODELO

PARTE 1

6.1 Descripción del problema

Este ejercicio tiene por objetivo realizar el análisis hidráulico de un tramo específico de la Quebrada La Cristalina, caracterizado por una longitud total de 527.02 metros. El sistema presenta características geomorfológicas heterogéneas, evidenciadas por la variación en los coeficientes de rugosidad de Manning entre el cauce principal y las planicies de inundación adyacentes. Para el análisis se considerarán las condiciones hidrológicas correspondientes a un período de retorno de 100 años. El caudal base en la sección transversal número 12 corresponde a $7.23 \text{ m}^3/\text{s}$. Adicionalmente, el sistema presenta un aporte lateral puntual de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ en la sección número 8, el cual se mantiene constante a lo largo del tramo de análisis aguas abajo de dicho punto de incorporación.

La modelación hidráulica se ejecutará considerando condiciones de flujo mixto, empleando la información geométrica y de parámetros hidráulicos contenida en el archivo de datos "DATOS_QUEBRADA_LA_CRISTALINA.xlsx". La implementación del modelo seguirá la metodología establecida en la guía de referencia, garantizando la correcta configuración de los parámetros geométricos, hidráulicos y de contorno. El desarrollo del ejercicio comprende la ejecución completa del modelo hidráulico y la elaboración de los productos especificados en la sección de entregables de la presente guía metodológica.

6.2 Pasos preliminares

Previo al desarrollo del proyecto, es necesario llevar a cabo determinadas tareas preliminares que ayudarán a la correcta ejecución del ejercicio propuesto.

6.2.1 Cambio de formato de número

Se debe cambiar el formato de número para el ingreso de decimales en el programa.

- (a) Inicialmente se entra al panel de control en la opción cambiar formato de fecha, hora o número.
- (b) En la ventana región se da clic en configuración adicional.
- (c) En la ventana personalizar formato se configuran los decimales como punto (".") y separador de miles como (",")

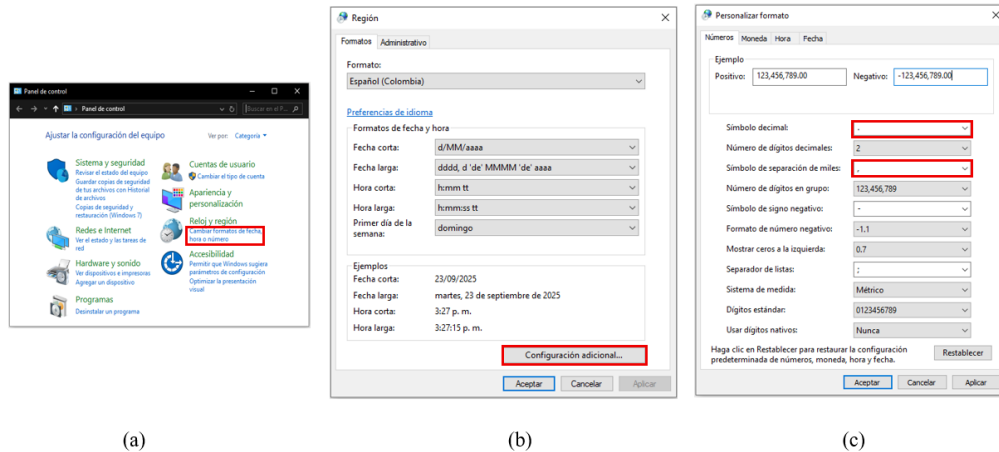


Figura 17. Pasos de cambio de formato en el programa.

6.2.2 Crear carpeta de trabajo

Para crear la carpeta de trabajo inicialmente ingrese en la pestaña “options”, luego haga clic en “program setup” y por último escoja la opción “default Project folder”.

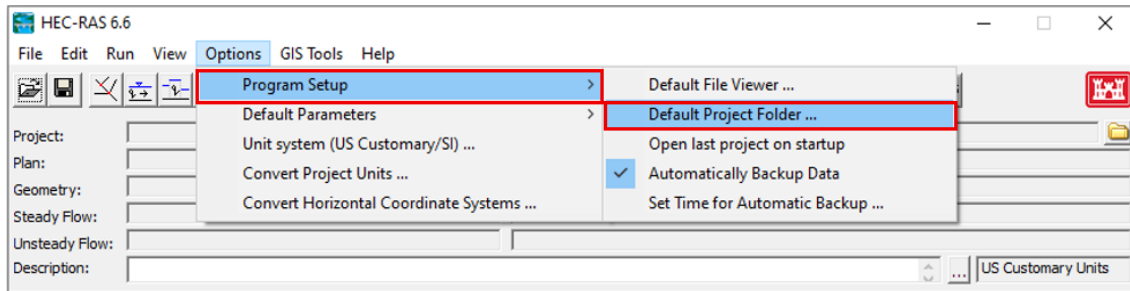


Figura 18. Guía creación de carpeta de trabajo

Selección y guardado de carpeta.

- (a) Seleccione el disco en el cual se va a guardar la carpeta de trabajo y de clic en OK.
- (b) Asigne el nombre a la carpeta como: Taller_1_HEC-RAS. Luego haga clic en OK.
- (c) Verifique los datos ingresados y dé clic en OK.

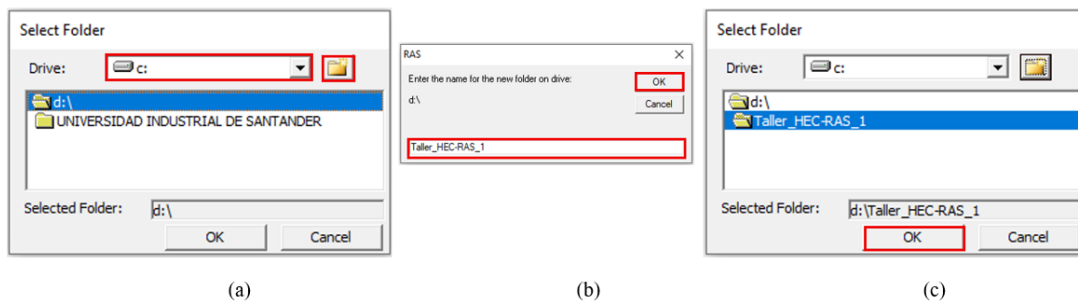


Figura 19. Guía guardado de carpeta.



6.2.3 Cambio de unidades de US customary a System International (Metric System)

Este procedimiento tiene por objetivo la configuración del sistema de unidades del programa al sistema métrico decimal. Es fundamental considerar que esta funcionalidad no efectúa conversiones automáticas en proyectos preexistentes, limitándose únicamente a establecer las unidades para desarrollos futuros.

Para ejecutar la modificación de unidades, inicialmente se debe realizar una verificación preliminar del sistema de unidades actualmente configurado en el proyecto.

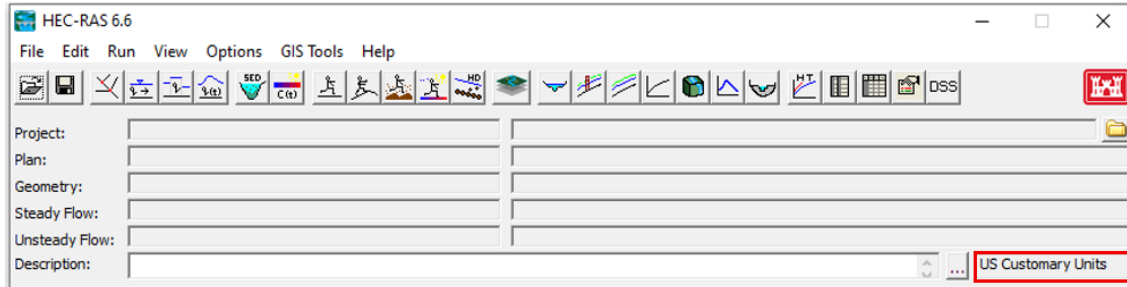


Figura 20. Verificación de unidades.

El cambio de unidades se puede realizar abriendo el menú de “options” y dando clic en “unit system (US Customary/SI)”.

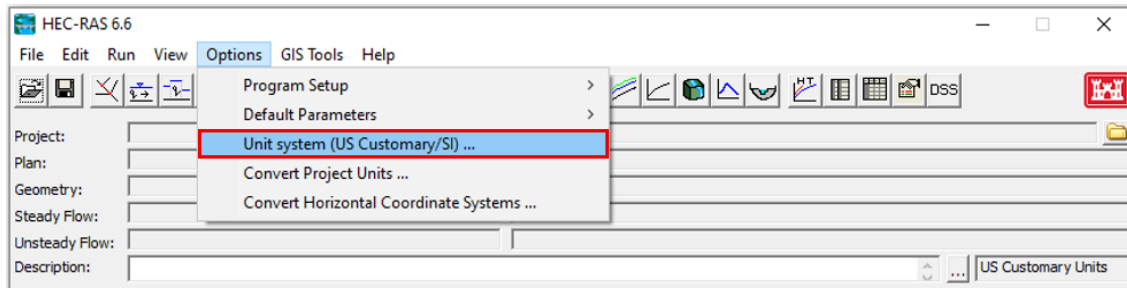
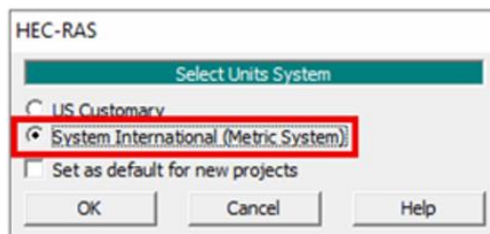


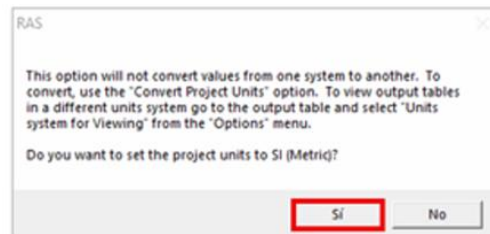
Figura 21. Cambio de unidades.

Se abrirá la siguiente ventana.

- Oprensa la opción “system international (Metric System)”.
- Posteriormente, dé clic en OK. Por último, dé clic en sí.



(a)



(b)

Figura 22. Cambio de unidades



6.3 Creación del proyecto

Para iniciar un nuevo proyecto, el procedimiento parte de la creación del archivo contenedor que albergará la totalidad de los datos del modelo hidráulico. Este proceso se ejecuta mediante el acceso al menú “File” de la interfaz principal, donde se debe seleccionar la opción “New Project” para generar el nuevo archivo de trabajo.

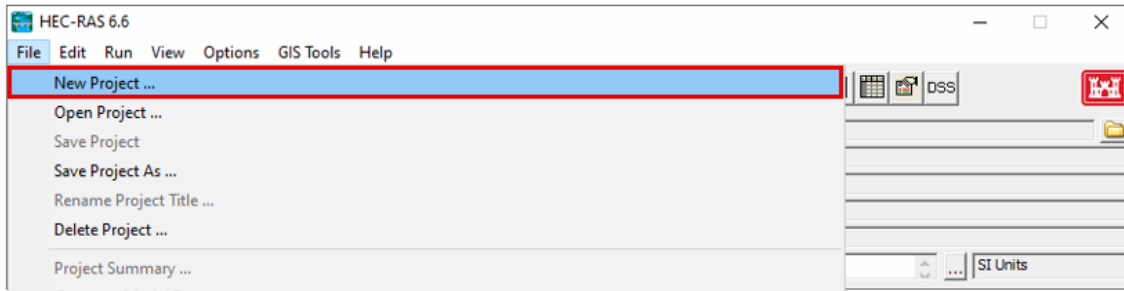
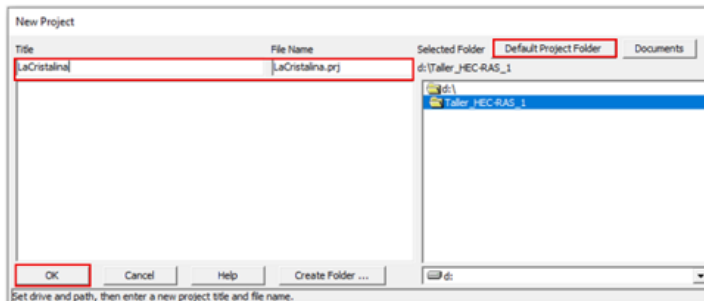
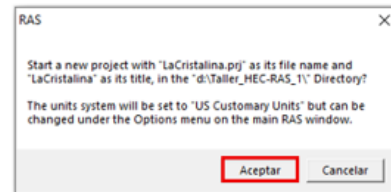


Figura 23. Creación archivo de trabajo

- (a) Se abrirá la siguiente ventana donde debe dar clic en “default Project folder”, luego en la parte del “title” dé nombre al archivo (La cristalina); posteriormente, verifique que el tipo de archivo sea prj. Por último, haga clic en OK.
- (b) Se abrirá la siguiente ventana. Oprima el botón “Aceptar”.



(a)



(b)

Figura 24. Asignar título al proyecto.

En la ventana principal debe aparecer el título del proyecto y la ubicación de este, como se observa en la siguiente figura.

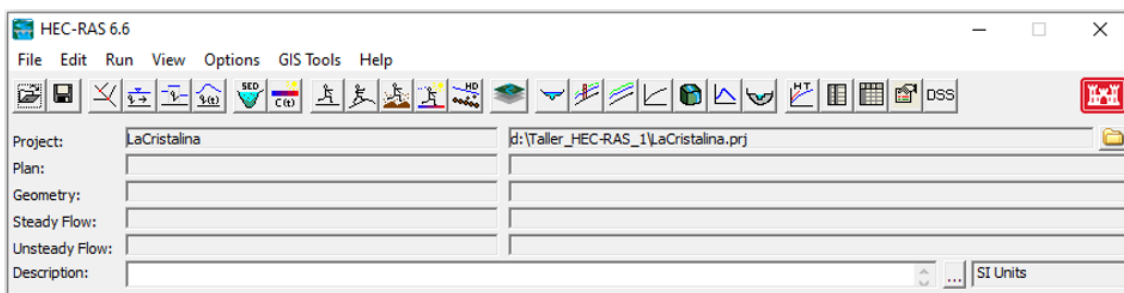


Figura 25. Vista de la ventana principal.



6.4 Creación de la Geometría

Ingresa al editor de geometría con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 26. Acceso rápido a creación de geometría.

Se abrirá la ventana “Geometric data”. Seleccione el icono “River reach”. Notará que el puntero del mouse se convierte en un lápiz con el cual se podrá hacer trazos. Trace una línea diagonal dando un clic inicialmente y doble clic para finalizar el trazo.

Se abrirá una nueva ventana emergente donde podrá añadir el nombre del río (LaCristalina) y el tramo del río (TramoArriba). Finalmente, dé clic en OK.

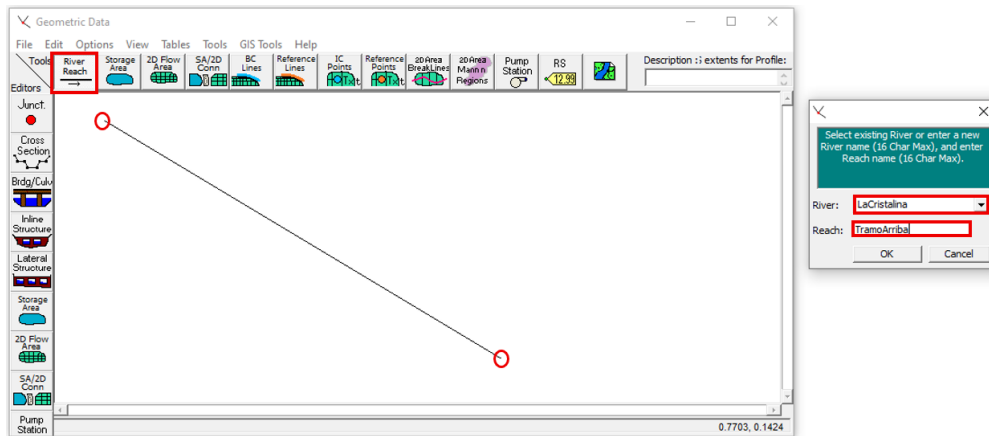


Figura 27. Creación de geometría.

El tramo de río creado se debe ver de la siguiente forma, con su nombre y la flecha que indica la dirección del flujo.

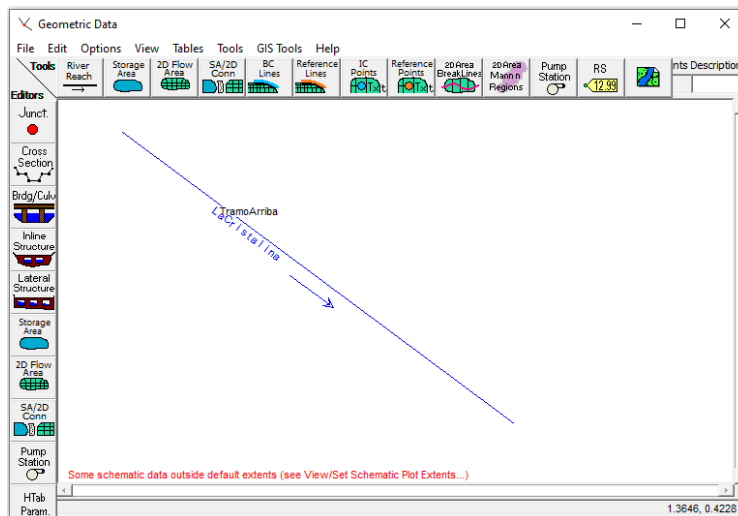


Figura 28. Resultado de geometría.



6.4.1 Creación las secciones transversales

Ingresa dando clic en el botón de crear sección (*Cross Section*) ubicado en la ventana principal.

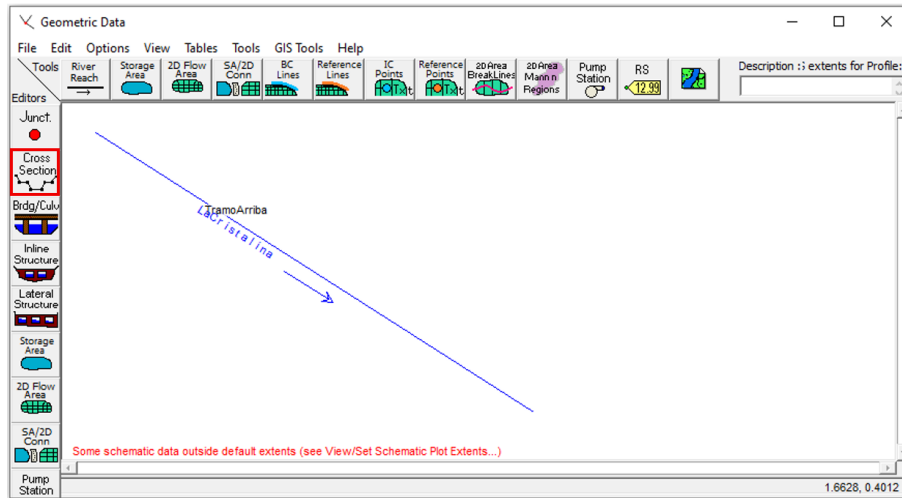
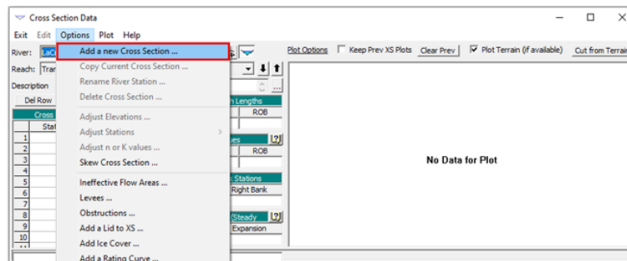


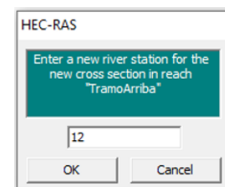
Figura 29. Icono de crear sección.

Se abrirá la ventana (*Cross Section Data*).

- Haga clic en opciones (*options*) e ingrese a “Add a new Cross Section”.
- El sistema desplegará una ventana de diálogo que permitirá la introducción del identificador numérico de la sección transversal. Para el presente caso de estudio, se asignará el valor 12 como denominación inicial. Considere que el software implementa un sistema de numeración incremental en dirección contraria al flujo (aguas arriba). Dado que el modelo contempla un total de 12 secciones transversales, la numeración se iniciará desde la sección 12. Finalice dando clic en *OK*.



(a)



(b)

Figura 30. Creación de la sección transversal.

El paso por seguir es ingresar los datos de estación y elevación de las 12 secciones transversales. Esta información se suministrará por medio de un archivo de Excel.

- Seleccione los datos correspondientes a la sección en el Excel.
- Pegar los datos en la ventana *Cross Section Coordinates*. Para esto, inicialmente haga clic en el cuadro marcado y posteriormente aplique el comando *Ctrl+v*.



Universidad
Industrial de
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL HIDRÁULICA



(c)

(d)

Figura 31. Ingreso de datos.

Luego de ingresar los datos, oprima el botón “Apply data”. Luego de esto debe aparecer la sección creada con sus respectivos puntos.

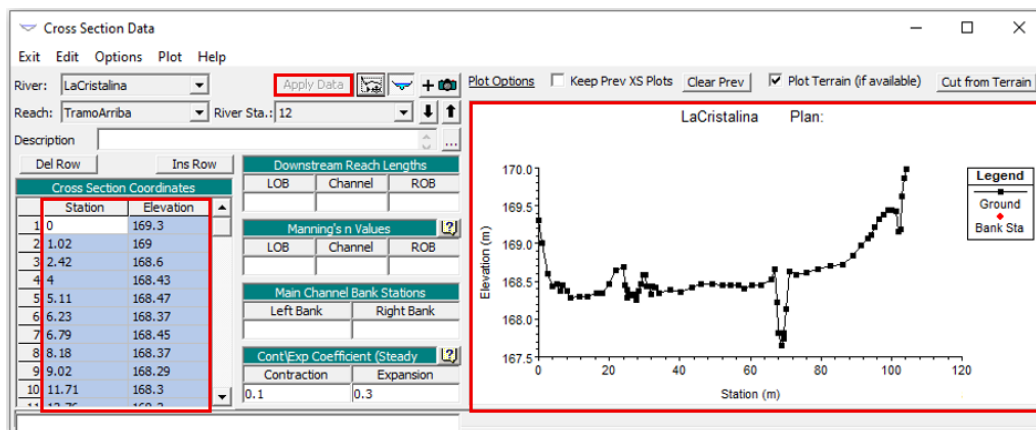


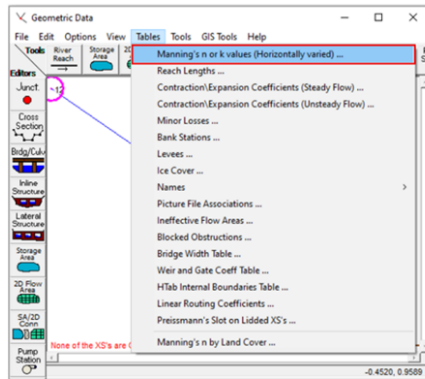
Figura 32. Cargue de datos para la sección.

Aplique los mismos pasos hasta crear y cargar las 12 secciones transversales.

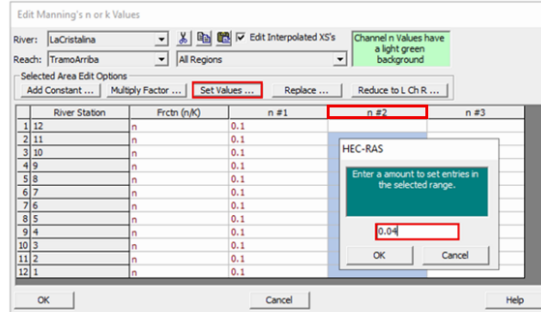
6.4.2 Asignar número de Manning

Una vez creadas las secciones, debe aplicarles el número de Manning. Por medio de los siguientes pasos.

- Vuelva a la ventana “Geometric data”, haga clic en “tables” y oprima la primera opción (Manning’s n or k values).
- El programa desplegará la ventana “Edit Manning’s n or k values”. Haga clic sobre n#1, n#2 ó n#3. Luego dé clic en “set values”. Esto desplegará una pequeña ventana emergente donde podrá asignar el número de Manning correspondiente. Estos datos se encuentran en el Excel en la pestaña “Rugosidades de Manning”. Tenga en cuenta que n#1, n#2 y n#3 hacen referencia a los valores de Manning del banco izquierdo, banca principal y banca derecha, respectivamente.



(a)



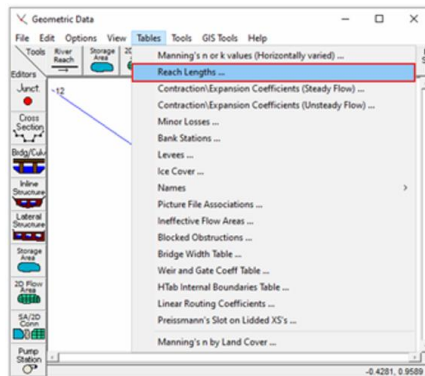
(b)

Figura 33. Asignar número de Manning.

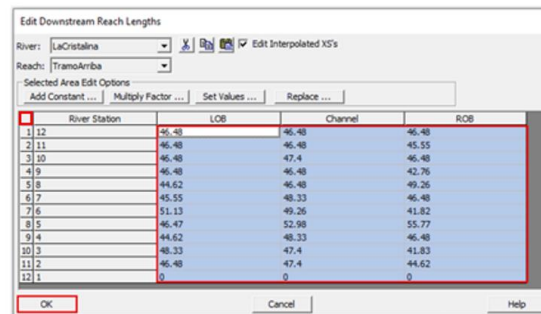
6.4.3 Se asignan valores de distancias aguas abajo

En la pestaña tres (Distancias Aguas Abajo) del Excel otorgado, se encuentran los valores a asignar.

- Ingrese en la pestaña “Tables” y oprima la opción “Reach Lengths”.
- Se desplegará la ventana de “Edit downstream Reach Lengths”. Se copian los valores de Excel y se pegan dando clic en el cuadro señalado, mediante el comando Ctrl+v.



(a)



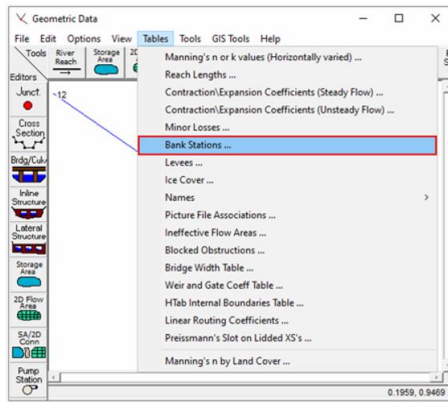
(b)

Figura 34. Asignar distancias.

6.4.4 Se asignan valores de estaciones de banca

Se deben identificar los puntos que separan el canal principal de las bancas izquierda y derecha. Estos valores se encuentran en la pestaña cuatro (Estaciones de bancas) del Excel.

- Oprima la pestaña “tables” y diríjase a la opción “Bank Stations”.
- Se desplegará la ventana “Bank stations table”. Se copian los valores de Excel y se pegan dando clic en el cuadro señalado, mediante el comando Ctrl+v. Por último, haga clic en OK.



(a)

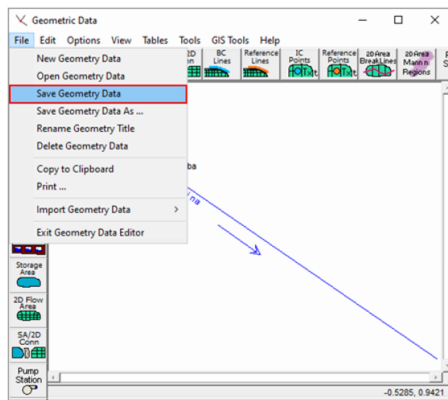
	River Station	Left Bank Sta	Right Bank Sta
1	12	66.92	71.11
2	11	74.64	83.01
3	10	96.67	105.13
4	9	101.04	111.91
5	8	101.22	112.28
6	7	88.67	91.37
7	6	66.23	62.19
8	5	81.8	86.49
9	4	111.35	119.26
10	3	94.53	103.73
11	2	69.53	75.23
12	1	71.29	74.84

(b)

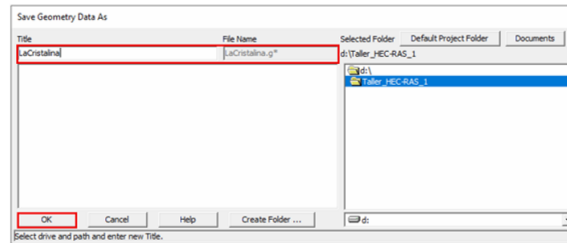
Figura 35. Ingreso de datos de estaciones de banca.

6.4.5 Se guarda la geometría del canal

- Ingrese a la pestaña “file” y dirijase a “Save Geometry Data”.
- Se desplegará la ventana “Save Geometry Data As”. Ingrese el nombre del archivo (LaCristalina) y haga clic en OK.



(a)



(b)

Figura 36. Guardar la geometría del canal.

En el panel de información correspondiente se puede constatar que los datos geométricos han sido importados exitosamente al sistema.

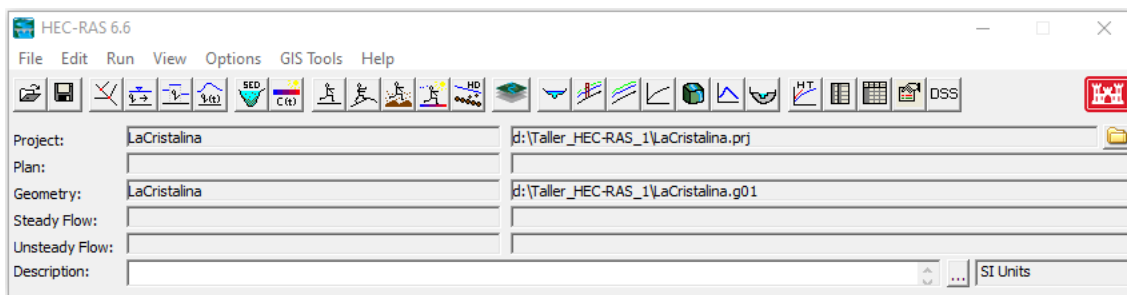
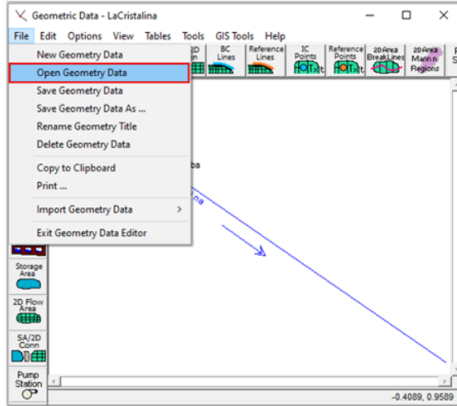


Figura 37. Verificación cargue de información.

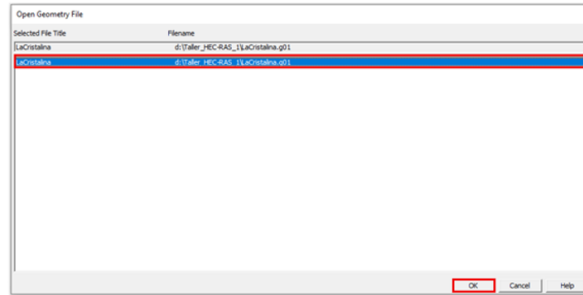


Para visualizar el tramo del río con sus respectivas secciones transversales.

- Ingrese en la pestaña “File” y dé clic en “Open Geometry Data”.
- Se abrirá la ventana “Open Geometry File”. Seleccione el archivo y dé clic en OK.



(a)



(b)

Figura 38. Acceder a la geometría.

Luego de seguir los anteriores pasos, debe obtener una vista de la geometría como se muestra a continuación.

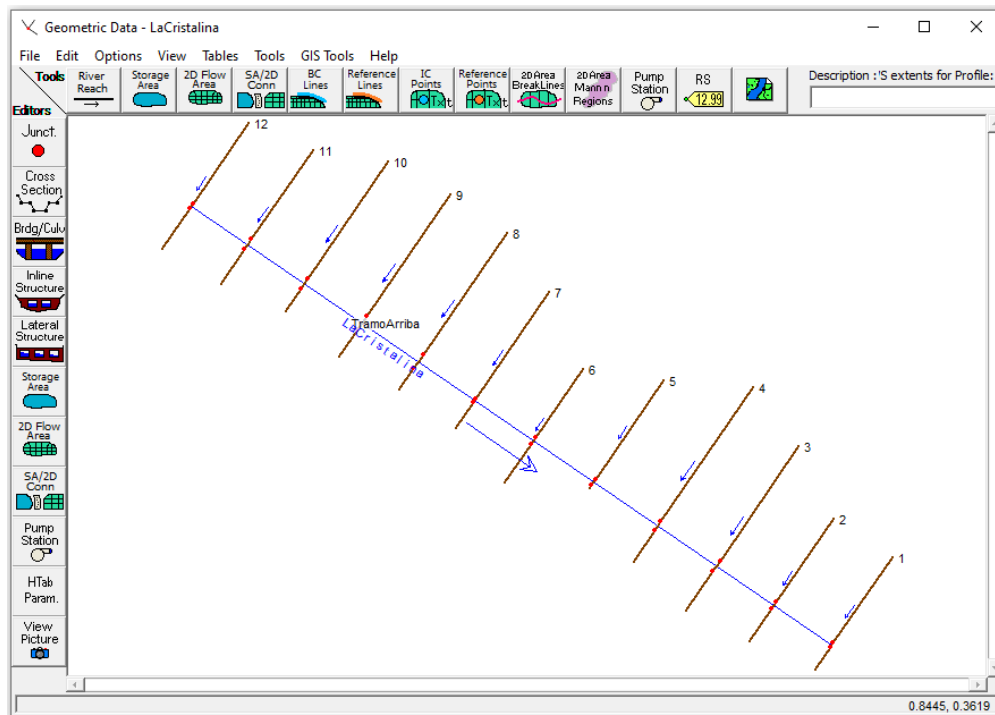


Figura 39. Vista de la geometría



6. 5 Datos de Flujo

Ingrese al editor de datos para análisis en régimen permanente con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 40. Acceso directo al editor de datos.

Establecemos las condiciones de flujo; para esto:

- Ingresamos el valor de caudal del río aguas arriba con un valor de $7.23 \text{ m}^3/\text{s}$ entre las secciones transversales 12 y 9.
- En la sección 8 el río recibe un aporte de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, de tal forma que el caudal aumenta a $7.63 \text{ m}^3/\text{s}$. Para introducir estos datos, busque la sección 8, oprima “Add A Flow Change Location” e ingrese el valor del caudal total, es decir, $7.63 \text{ m}^3/\text{s}$.

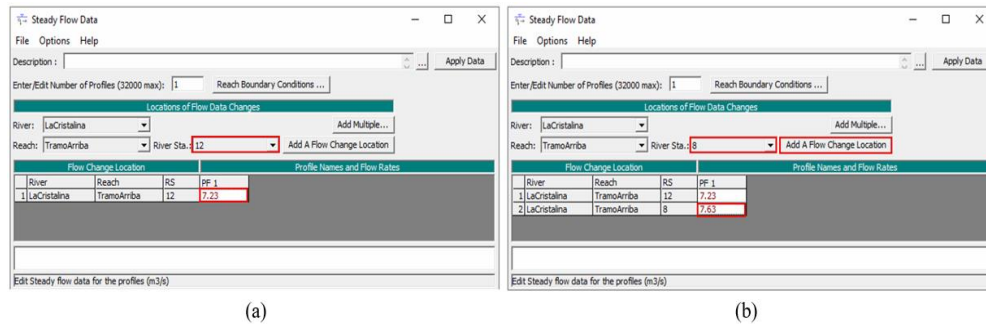


Figura 41. Ingreso de caudales.

Para ingresar las condiciones de contorno para una modelación mixta, diríjase a la opción “Reach Boundary Conditions”

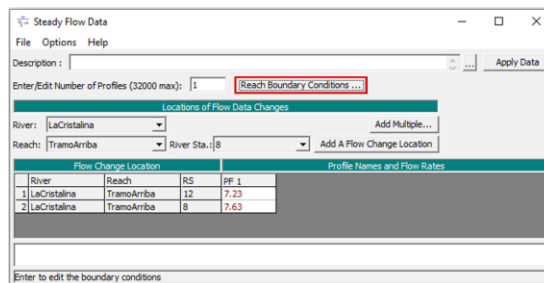


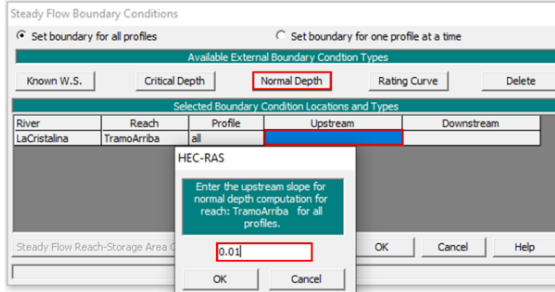
Figura 42. Ingreso de condiciones de contorno.

El programa desplegará la ventana “Steady Flow Boundary Conditions”.

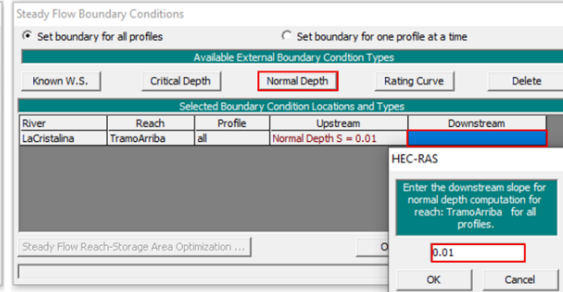
- Oprima la opción “Upstream” (aguas arriba) y haga clic en “Normal Depth”. Se abrirá la ventana emergente donde podrá ingresar los valores de la pendiente de 0.01. Por último, dé clic en OK.



- (b) Oprima la opción “Downstream” (aguas abajo) y haga clic en “Normal Depth”. Se abrirá la ventana emergente donde podrá ingresar los valores de la pendiente de 0.01. Por último, dé clic en OK.



(c)



(d)

Figura 43. Condiciones de borde.

Volverá a la ventana “Steady Flow Data”. Oprima la opción “Apply Data”.

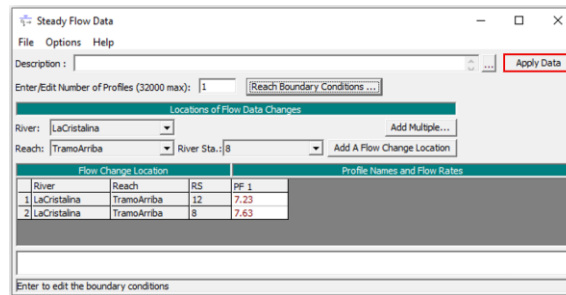
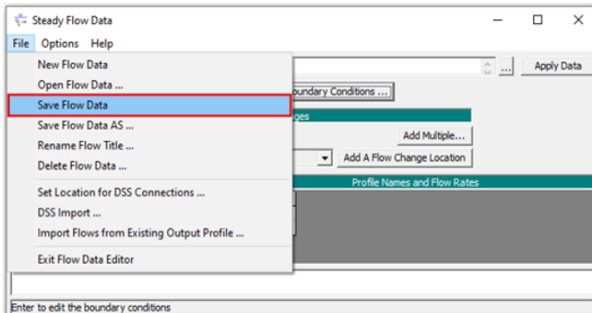


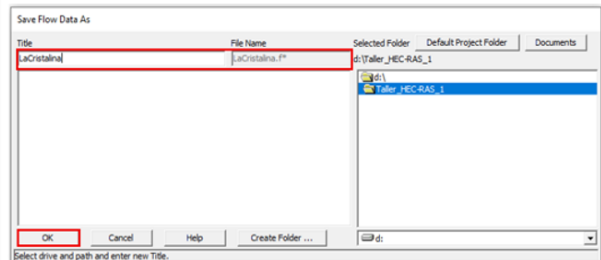
Figura 44. Carga de datos de Fujo.

Para guardar los datos de flujo.

- (c) Diríjase a la pestaña “File” y haga clic en la opción “Save Flow Data”.
- (d) Se desplegará la ventana “Save Flow Data As”. Ingrese el nombre del archivo (LaCristalina) y haga clic en OK.



(c)



(d)

Figura 45. Guardado de datos de flujo.



En el panel de información correspondiente se puede constatar que los datos de flujo han sido importados exitosamente al sistema.

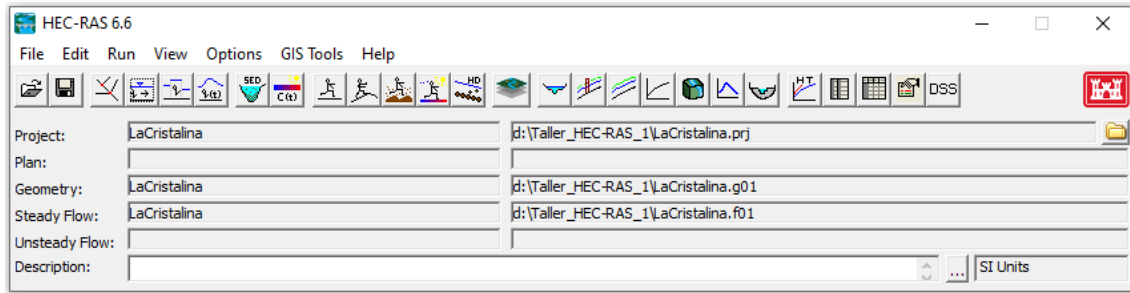


Figura 46. Verificación de cargue de datos de flujo.

6. 6 Corrida del programa

Ingrese a “Steady Flow Analysis” por medio del botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 47. Acceso directo a ejecutar o inicio de simulación.

En la ventana desplegada se asignará un nombre corto (short ID) que identifique el plan que desea correr. En la selección de régimen de flujo se marca régimen mixto, esto bajo el criterio de no conocer el verdadero comportamiento del flujo a lo largo del tramo en estudio. Ante la incertidumbre, se asigna una opción que permita continuar con el análisis después de presentarse un estado crítico del flujo o un cambio de régimen del flujo.

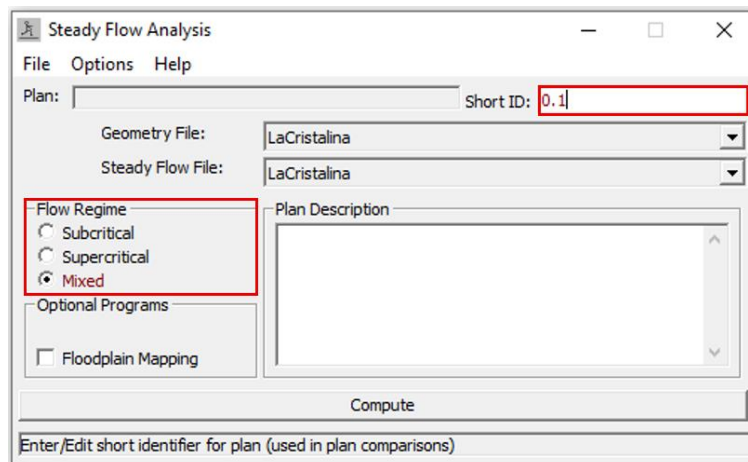


Figura 48. Aplicar criterios al análisis.

Una vez asignado nombre y seleccionado el tipo de régimen del flujo, se asignará un barrido para el cálculo del tirante crítico a lo largo de todas las secciones. Para esto



- Oprima la pestaña *Options*, haga clic en la opción “*Critical Depth Output Option...*” y diríjase a “*Select Output Options*”.
- Se abrirá una ventana emergente. Oprima el cuadro “*Check Critical Always Calculated*”; de esta forma se facilita la interpretación gráfica de resultados. Finalmente, haga clic en *OK*.

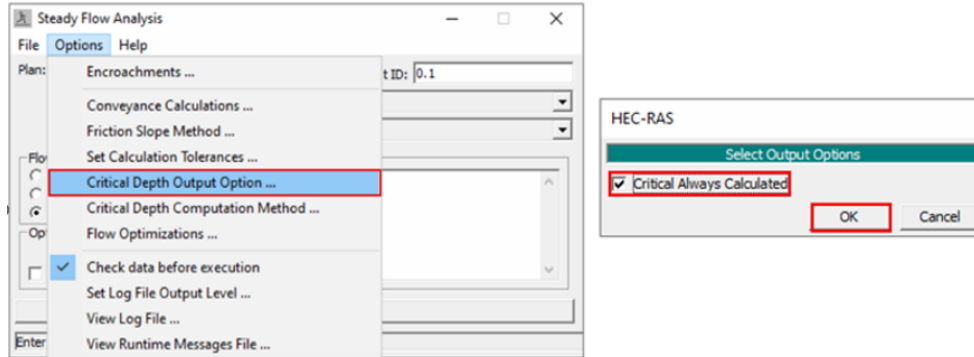


Figura 49. Cálculo de tirante crítico.

Se computan los datos suministrados y se obtiene un plan con los resultados numéricos del modelado que se pueden interpretar en tablas y gráficas por el usuario en búsqueda de anomalías.

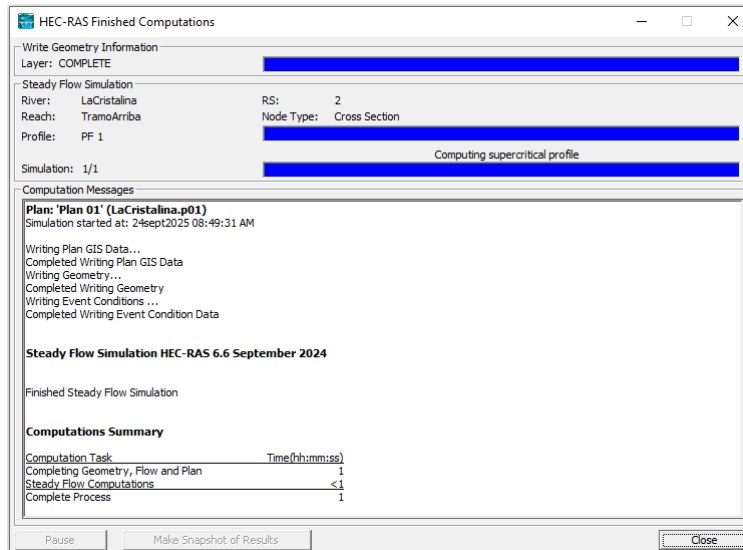


Figura 50. Resultados

Puede comprobar que el plan fue creado de forma correcta si visualiza el nombre de su plan en la casilla de Plan.

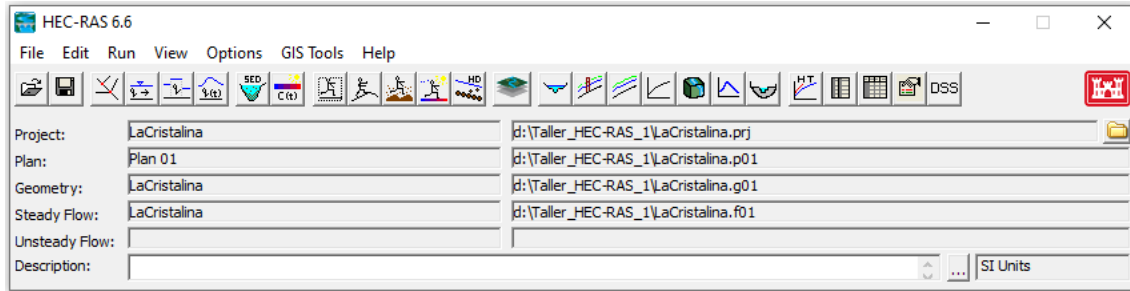


Figura 51. Verificación cargue de datos plan.

6. 7 Verificación de mensajes y errores

Ingresa al visor de la lista de errores y advertencias detectadas durante la simulación con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 52. Acceso rápido al visor de errores y advertencias.

Se pueden observar los errores y advertencias encontrados al ejecutar la simulación en la siguiente ventana.

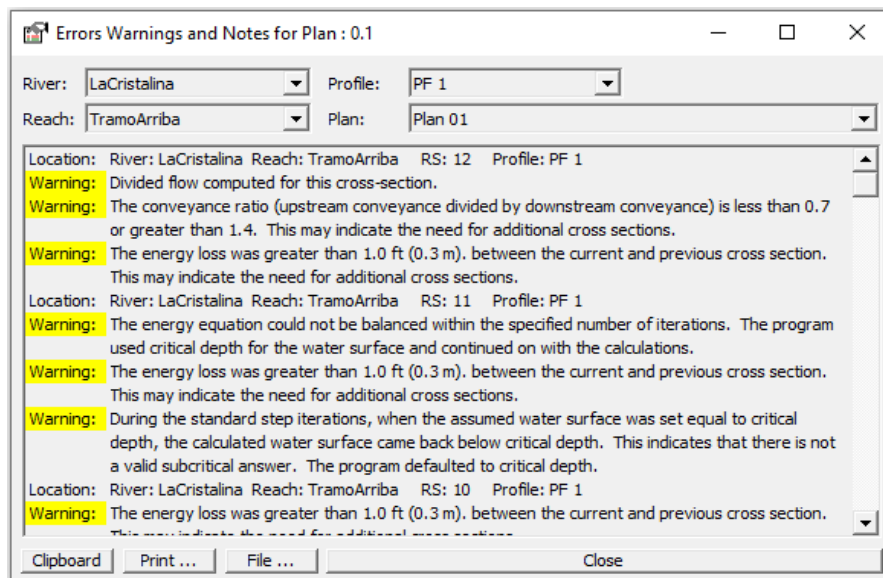


Figura 53. Ventana de errores y advertencias



6. 7.1 verificación a detalle en las secciones

Ingrese al visor de la tabla de resultados de la simulación con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 54. Acceso rápido a la tabla de resultados.

El icono llevará a la siguiente tabla donde se muestran las características y resultados de la sección transversal, así como los errores y advertencias. Para cambiar de sección, despliegue la ventana RS e ingrese el número de la sección que desea revisar.

Cross Section Output				
File Type Options Help				
River:	LaCristalina	Profile:	PF 1	
Reach:	TramoArriba	RS:	12	Plan: 0.1
Plan: 0.1 LaCristalina TramoArriba RS: 12 Profile: PF 1				
E.G. Elev (m)	168.68	Element	Left OB	Channel
Vel Head (m)	0.04	Wt. n-Val.	0.100	0.040
W.S. Elev (m)	168.64	Reach Len. (m)	46.48	46.48
Crit W.S. (m)	168.58	Flow Area (m2)	13.75	2.46
E.G. Slope (m/m)	0.006352	Area (m2)	13.75	2.46
Q Total (m3/s)	7.23	Flow (m3/s)	4.02	3.19
Top Width (m)	72.32	Top Width (m)	61.97	4.16
Vel Total (m/s)	0.44	Avg. Vel. (m/s)	0.29	1.30
Max Ch Dpth (m)	0.99	Hydr. Depth (m)	0.22	0.59
Conv. Total (m3/s)	90.7	Conv. (m3/s)	50.5	40.1
Length Wtd. (m)	46.48	Wetted Per. (m)	62.19	4.69
Min Ch El (m)	167.65	Shear (N/m2)	13.77	32.71
Alpha	4.06	Stream Power (N/m s)	4.03	42.41
Fricn Loss (m)	0.42	Cum Volume (1000 m3)	5.61	1.42
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	28.53	3.76

Errors, Warnings and Notes	
Warning:	Divided flow computed for this cross-section.
Warning:	The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.
Warning:	The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Select Profile

Figura 55. Tabla de resultados.

6. 7.2 Revisión de errores y advertencias

- **Warning 1: "Divided flow computed for this cross-section".** Esta advertencia sugiere que, para la geometría y condiciones de flujo, el agua no se concentra únicamente en el canal principal, sino que se divide entre el canal y los llanos de inundación, o incluso en subcanales definidos. Ocurre comúnmente en ríos con planicie de inundación amplia y no siempre es un error; esto refleja la realidad hidráulica, pero puede ser señal de que el canal principal no está bien definido con las estaciones de ribera.

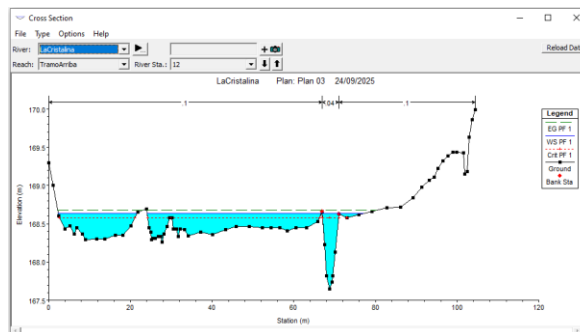


Figura 56. Revisión de sección transversal.

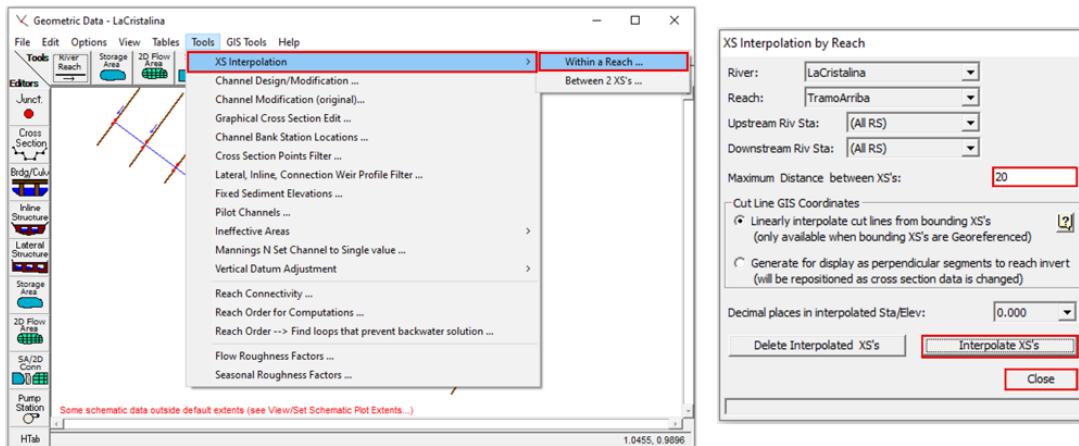


- **Warning 2:** “The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections”. La relación de capacidad hidráulica (capacidad hidráulica aguas arriba dividida entre la capacidad hidráulica aguas abajo) es inferior a 0,7 o superior a 1,4. Esto podría indicar la necesidad de secciones transversales adicionales. Lo cual revela que el programa detectó un cambio brusco entre secciones por lo que se recomienda interpolar secciones intermedias.
- **Warning 3:** “The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m) between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections”. La pérdida de energía entre esta sección y la anterior es mayor a 0.3 m. Esto puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales.

6. 7.3 Interpolación de secciones transversales para corrección de problemas

Para corregir los errores detectados se deben interpolar las secciones transversales. Para esto:

- (a) Diríjase a la pestaña “Tools” y oprima la opción “XS interpolation”.
- (b) Se desplegará la ventana *XS Interpolation by Reach*; ingrese un valor intermedio entre secciones, en este caso se tomará de 20 la distancia máxima. Esto interpolará todas las secciones de los tramos a la vez. Posteriormente haga clic en “Interpolate XS’s” y dé clic en *Close*.



(a)

(b)

Figura 57. Interpolación de secciones.

Se observará que las líneas correspondientes a las secciones transversales presentan una menor separación entre sí. Como se muestra en la siguiente imagen.

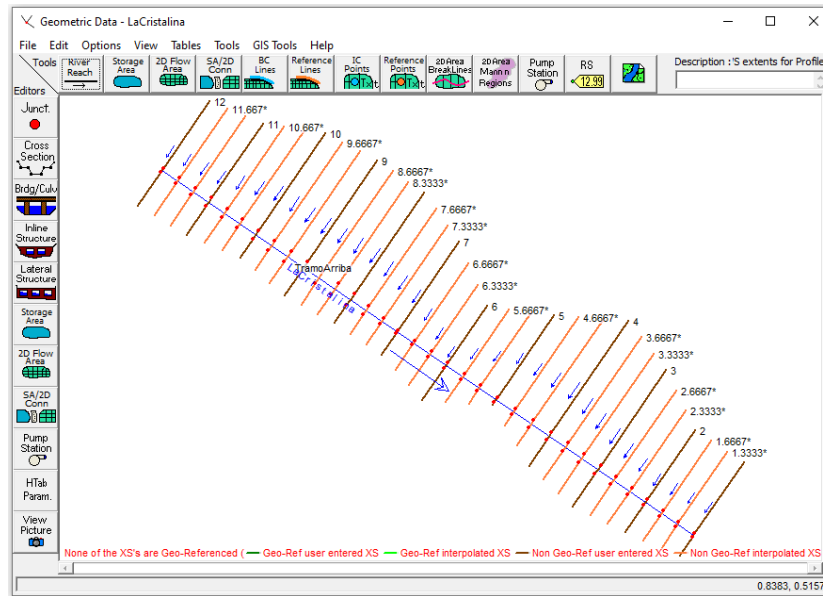
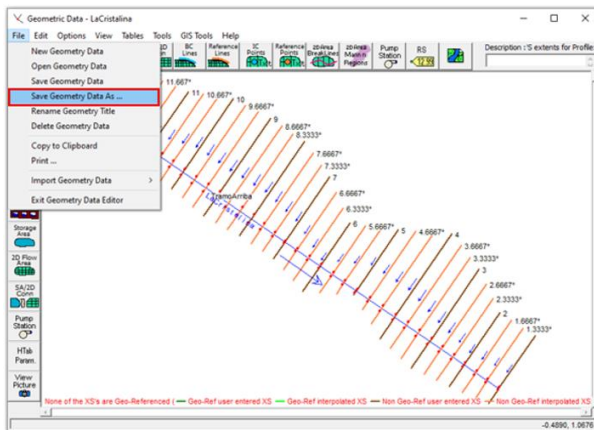


Figura 58. Cambio de distancia entre secciones.

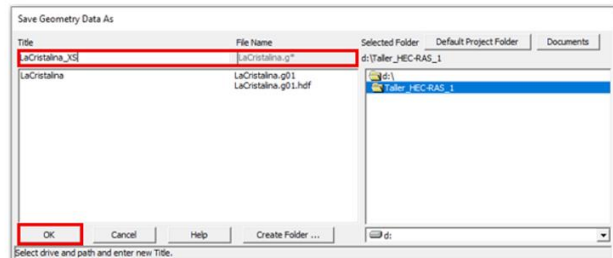
Para guardar la interpolación.

(c) Diríjase a la pestaña “File” y oprima la opción “Save Geometry Data As”.

(d) Dé nombre al archivo (LaCristalina_XS) y haga clic en OK.



(c)



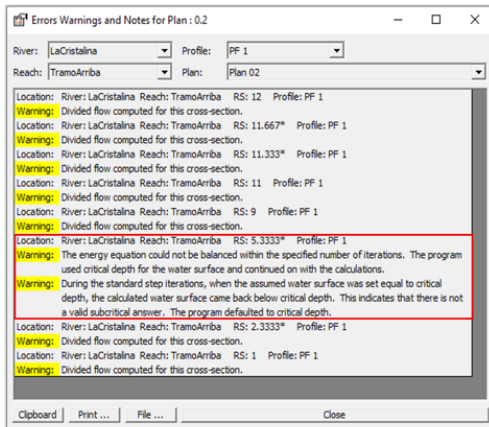
(d)

Figura 59. Guardado de información de interpolación.

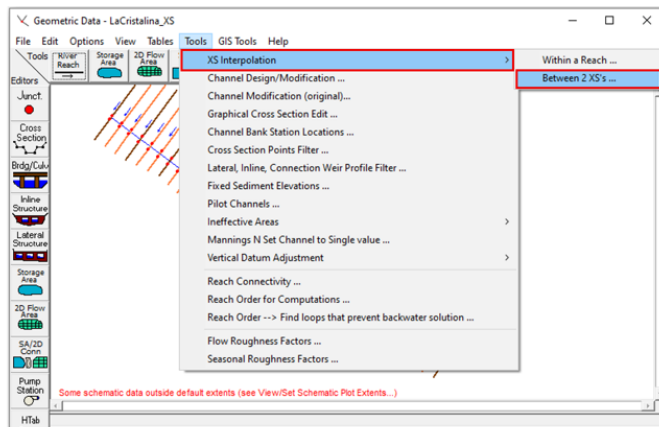
Se repiten los pasos del ítem 6.6 para correr el programa y se hace revisión de los errores.

(e) Para corregir esa alerta es necesario realizar el paso de interpolación solo teniendo en cuenta las secciones 6 y 5, que es donde se refleja este; se sugiere interpolar cada 10 metros.

(f) Para interpolar, diríjase a la pestaña “Tools”; oprima la opción “XS Interpolation” y haga clic en “Between 2 XS’s”.



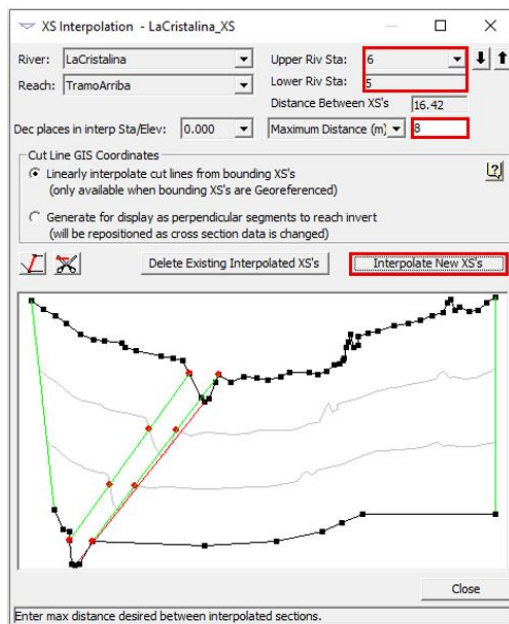
(e)



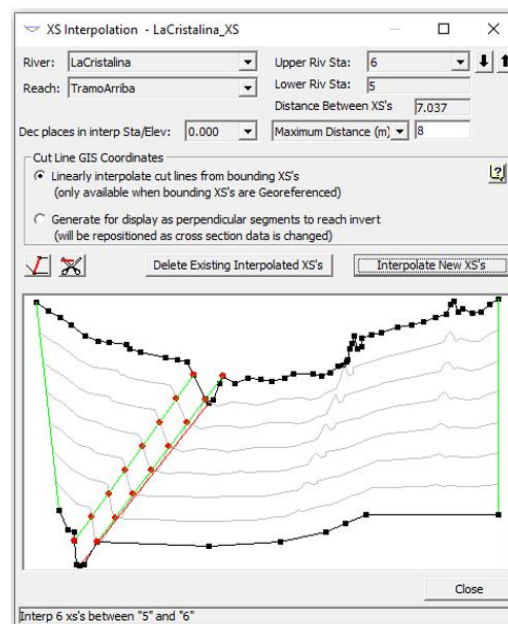
(f)

Figura 60. Interpolación con menor distancia entre secciones.

- (g) Se abrirá la ventana “XS Interpolation – LaCristalina_XS”. Ingresará los datos de las secciones entre las que desea interpolar (6 y 5) y el máximo de distancia entre las interpolaciones (8m). Finalmente, haga clic en “Interpolate New XS’s”.
- (h) El programa mostrará gráficamente las interpolaciones nuevas.



(g)



(h)

Figura 61 Gráfico interpolación con menor distancia entre secciones

Se guarda la nueva sección como XS_2.



6. 9 Revisión de resultados numéricos

Ingrese al visor de la tabla de resultados de la simulación con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 62. Visor de resultados

Proceda a examinar los resultados obtenidos en cada una de las secciones transversales y confirme que las inconsistencias previamente identificadas hayan sido corregidas. En las figuras (a) y (b) se puede evidenciar los resultados de dos secciones transversales a lo largo del tramo seleccionado, entre los resultados a destacar están:

- **Cotas hidráulicas:** E.G. Elev, W.S. Elev, Crit. W.S. Son la base para el perfil longitudinal del río. Análisis de remanso, caídas, transiciones.
- **Capacidad y flujo:** Q total, Área mojada, Top width. Son clave para diseño de encauzamientos o estructuras. Saber si la sección aguanta una avenida.
- **Condiciones dinámicas:** Velocidad, Froude Number.
El Número de Froude define el régimen:
 $Fr < 1$ Subcrítico (control aguas abajo, flujo estable).
 $Fr = 1$ Crítico (puntos de transición, riesgo de resalto).
 $Fr > 1$ Supercrítico (control aguas arriba, flujos rápidos y con riesgo de erosión).
- **Estabilidad del cauce:** Shear stress, Hydraulic Radius. Útiles para diagnosticar tramos con pérdidas excesivas de energía.

Cross Section Output				
File Type Options Help				
River:	LaCristalina	Profile:	PF 1	
Reach:	TramoArriba	RS:	12	Plan: 0.3
Plan: 0.3 LaCristalina TramoArriba RS: 12 Profile: PF 1				
Element	Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	168.68			
Vel Head (m)	0.04	0.100	0.040	0.100
W.S. Elev (m)	168.63	Reach Len. (m)	15.49	15.49
Crit W.S. (m)	168.58	Flow Area (m2)	13.59	2.45
E.G. Slope (m/m)	0.006531	Area (m2)	13.59	2.45
Q Total (m3/s)	7.23	Flow (m3/s)	4.00	3.21
Top Width (m)	72.04	Top Width (m)	61.91	4.16
Vel Total (m/s)	0.45	Avg. Vel. (m/s)	0.29	1.31
Max Chl Dpth (m)	0.98	Hydr. Depth (m)	0.22	0.59
Conv. Total (m3/s)	89.5	Conv. (m3/s)	49.5	39.8
Length Wtd. (m)	15.49	Wetted Per. (m)	62.13	4.68
Min Ch El (m)	167.65	Shear (N/m2)	14.01	33.51
Alpha	4.08	Stream Power (N/m s)	4.13	43.96
Frch Loss (m)	0.11	Cum Volume (1000 m3)	5.36	1.49
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	28.55	3.76
Errors, Warnings and Notes				
Warning: Divided flow computed for this cross-section.				
Enter to move to next downstream river station location				

(a)

Cross Section Output				
File Type Options Help				
River:	LaCristalina	Profile:	PF 1	
Reach:	TramoArriba	RS:	8	Plan: 0.3
Plan: 0.3 LaCristalina TramoArriba RS: 8 Profile: PF 1				
Element	Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	166.72			
Vel Head (m)	0.05	Wt. n-Val.	0.100	0.040
W.S. Elev (m)	166.67	Reach Len. (m)	14.87	15.49
Crit W.S. (m)	166.63	Flow Area (m2)	11.06	3.90
E.G. Slope (m/m)	0.009538	Area (m2)	11.06	3.90
Q Total (m3/s)	7.63	Flow (m3/s)	2.91	4.67
Top Width (m)	97.07	Top Width (m)	79.08	11.06
Vel Total (m/s)	0.50	Avg. Vel. (m/s)	0.26	1.20
Max Chl Dpth (m)	0.82	Hydr. Depth (m)	0.14	0.35
Conv. Total (m3/s)	78.1	Conv. (m3/s)	29.8	47.8
Length Wtd. (m)	15.29	Wetted Per. (m)	79.12	11.36
Min Ch El (m)	165.85	Shear (N/m2)	13.07	32.11
Alpha	3.65	Stream Power (N/m s)	3.44	38.43
Frch Loss (m)	0.15	Cum Volume (1000 m3)	3.27	0.93
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	15.10	2.11
Errors, Warnings and Notes				
Select River Station				

(b)

Figura 63. Verificación de resultados.

A continuación, se muestra la tabla de resultados obtenida.



Universidad
Industrial de
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
HIDRÁULICA



HEC-RAS Plan: 0.3 River: LaCristalina Reach: TramoArriba Profile: PF 1											
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 ²)	Froude # Chl
TramoArriba 12	12	PF 1	7.23	167.65	168.63	168.58	168.68	0.006531	1.31	16.20	72.04
TramoArriba 11.667*	11.667*	PF 1	7.23	167.56	168.50	168.47	168.56	0.007554	1.43	13.63	72.88
TramoArriba 11.333*	11.333*	PF 1	7.23	167.47	168.32	168.31	168.42	0.011101	1.60	9.47	56.96
TramoArriba 11	11	PF 1	7.23	167.38	168.20	168.15	168.27	0.008011	1.33	10.96	48.27
TramoArriba 10.667*	10.667*	PF 1	7.23	167.18	168.04	167.99	168.11	0.012328	1.46	12.00	78.84
TramoArriba 10.333*	10.333*	PF 1	7.23	166.99	167.84	167.82	167.89	0.015887	1.34	13.59	84.45
TramoArriba 10	10	PF 1	7.23	166.79	167.68	167.58	167.69	0.009576	0.86	18.49	90.79
TramoArriba 9.6667*	9.6667*	PF 1	7.23	166.61	167.53	167.46	167.55	0.009286	0.92	18.45	99.34
TramoArriba 9.3333*	9.3333*	PF 1	7.23	166.44	167.36	167.31	167.39	0.011043	1.05	17.23	105.95
TramoArriba 9	9	PF 1	7.23	166.26	167.19	167.16	167.22	0.010189	1.07	16.98	107.00
TramoArriba 8.6667*	8.6667*	PF 1	7.23	166.12	167.01	166.99	167.06	0.010724	1.21	15.39	111.93
TramoArriba 8.3333*	8.3333*	PF 1	7.23	165.99	166.83	166.82	166.89	0.011434	1.28	13.64	100.19
TramoArriba 8	8	PF 1	7.63	165.85	166.67	166.63	166.72	0.009538	1.20	15.34	97.07
TramoArriba 7.6667*	7.6667*	PF 1	7.63	165.63	166.48	166.45	166.56	0.010517	1.47	11.26	59.15
TramoArriba 7.3333*	7.3333*	PF 1	7.63	165.41	166.36	166.30	166.43	0.007295	1.47	12.61	51.21
TramoArriba 7	7	PF 1	7.63	165.19	166.21	166.19	166.30	0.009766	1.83	12.37	45.19
TramoArriba 6.6667*	6.6667*	PF 1	7.63	165.11	166.04	166.02	166.14	0.010268	1.82	10.76	40.26
TramoArriba 6.3333*	6.3333*	PF 1	7.63	165.02	165.90	165.85	165.99	0.008733	1.64	10.53	36.13
TramoArriba 6	6	PF 1	7.63	164.94	165.70	165.68	165.82	0.012675	1.78	8.38	30.29
TramoArriba 5.8000*	5.8000*	PF 1	7.63	164.83	165.58	165.56	165.69	0.012924	1.80	8.76	33.36
TramoArriba 5.6000*	5.6000*	PF 1	7.63	164.72	165.45	165.44	165.56	0.013253	1.81	9.12	35.82
TramoArriba 5.4000*	5.4000*	PF 1	7.63	164.60	165.33	165.31	165.43	0.012455	1.76	9.87	38.21
TramoArriba 5.2000*	5.2000*	PF 1	7.63	164.49	165.19	165.18	165.29	0.014553	1.84	9.88	42.21
TramoArriba 5	5	PF 1	7.63	164.38	165.10	165.05	165.17	0.009229	1.52	13.23	51.87
TramoArriba 4.6667*	4.6667*	PF 1	7.63	164.21	164.96	164.90	165.01	0.009037	1.40	13.73	56.22
TramoArriba 4.3333*	4.3333*	PF 1	7.63	164.04	164.82	164.75	164.87	0.008492	1.27	14.55	59.42
TramoArriba 4	4	PF 1	7.63	163.87	164.68	164.61	164.71	0.009478	1.22	14.68	63.55
TramoArriba 3.6667*	3.6667*	PF 1	7.63	163.76	164.52	164.47	164.57	0.009164	1.28	13.84	62.34
TramoArriba 3.3333*	3.3333*	PF 1	7.63	163.65	164.39	164.23	164.44	0.007784	1.20	14.37	60.68
TramoArriba 3	3	PF 1	7.63	163.54	164.23	164.19	164.28	0.012546	1.34	12.65	61.47
TramoArriba 2.6667*	2.6667*	PF 1	7.63	163.36	164.04	163.99	164.08	0.012282	1.34	12.69	55.84
TramoArriba 2.3333*	2.3333*	PF 1	7.63	163.18	163.83	163.74	163.87	0.014318	1.38	12.44	52.54
TramoArriba 2	2	PF 1	7.63	163.00	163.66	163.55	163.68	0.009437	1.12	16.19	63.08
TramoArriba 1.6667*	1.6667*	PF 1	7.63	162.81	163.51	163.38	163.54	0.009333	1.22	16.12	64.13

Figura 64. Tabla de resultados.

6. 9 Resultados gráficos

Ingrese al visor del perfil longitudinal de la lámina de agua con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 65. Visor perfil longitudinal lámina de agua.

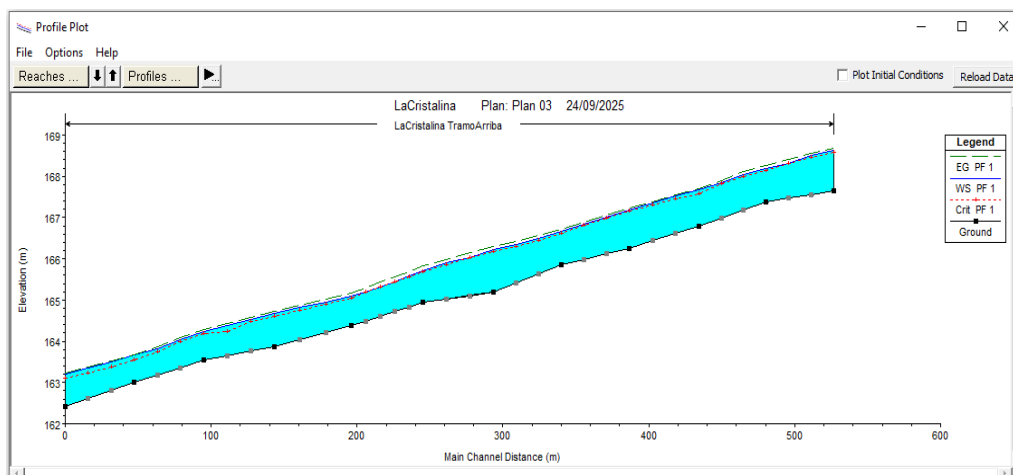


Figura 66. Gráfico longitudinal de la lámina de agua.



Universidad
Industrial de
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
HIDRÁULICA



Ingresa al visor de variación de distancias a lo largo del cauce con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 67. Visor de variación de distancias a lo largo del cauce

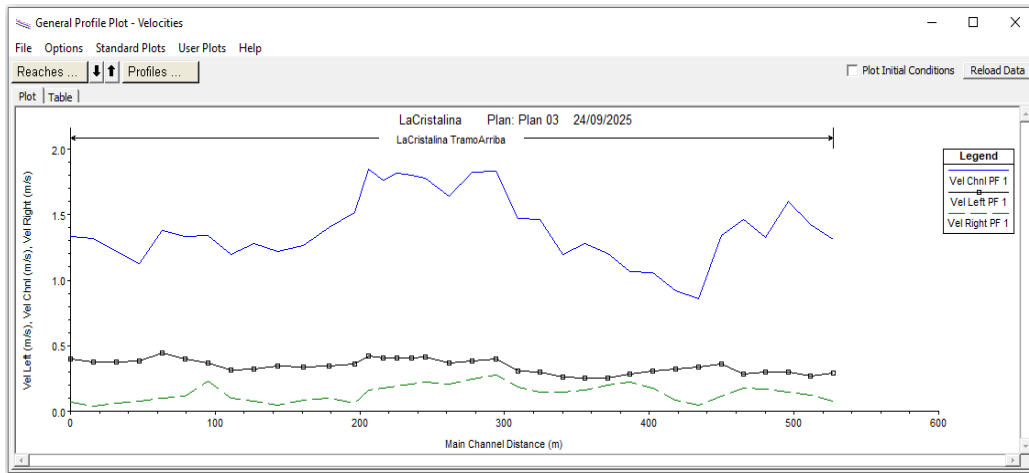


Figura 68. Variación de distancias a lo largo del cauce

Ingresa al visor de resultados del análisis de las secciones transversales con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 69. Visor de resultados del análisis de las secciones transversales.

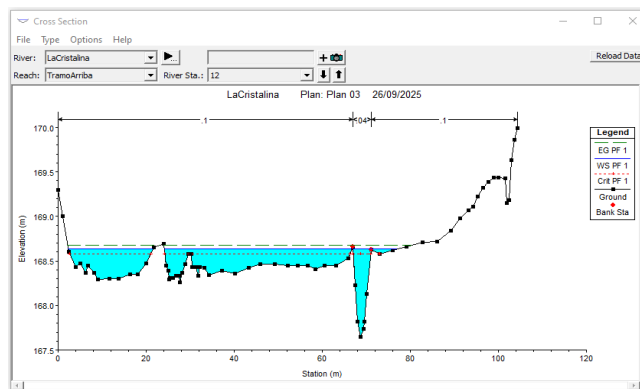


Figura 70. Resultados del análisis de las secciones transversales

Ingresa al icono de gráficos de perspectiva 3D con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Universidad
Industrial de
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
HIDRÁULICA



Figura 71. Gráficos de perspectiva 3D

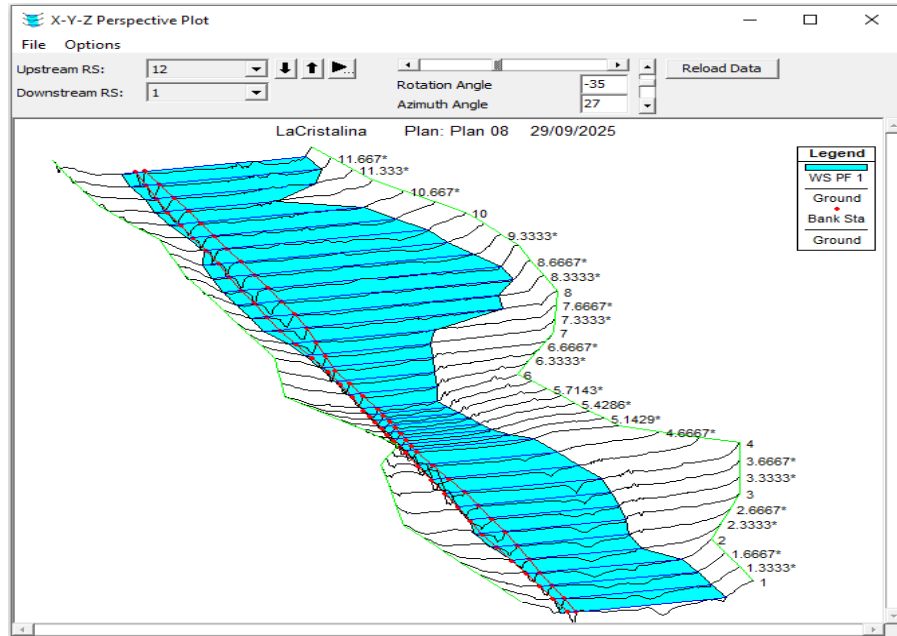


Figura 72. Resultados en 3D

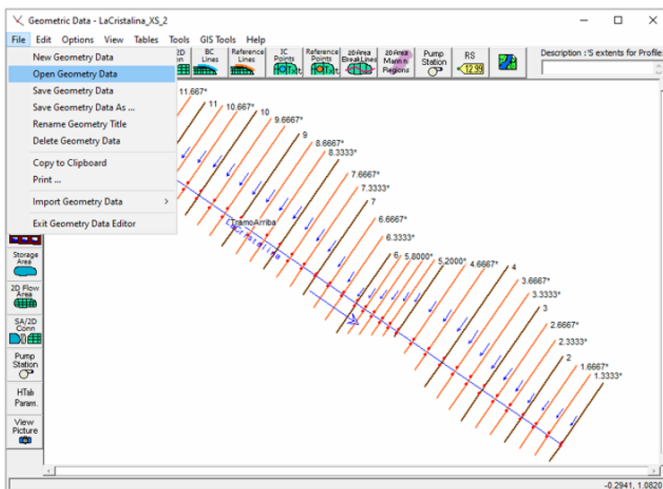


PARTE 2

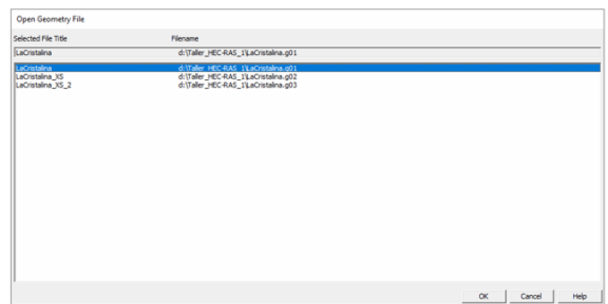
Se pretende modificar el canal principal con una sección trapezoidal de concreto liso con un valor de Manning de 0.015, cuya altura es de 1.5 m, ancho de 6 m y pendiente en los taludes 2:1.

6. 10 Modificación de las secciones transversales

- En la ventana de “Geometric Data”, oprima la pestaña desplegable de “File” y seleccione “Open Geometry Data”, donde se cargarán los datos geométricos guardados antes de interpolar las secciones.
- En la ventana de selección se busca el archivo correspondiente a la geometría básica del canal natural; se usa la geometría principal de la quebrada “La_Cristalina” como criterio de diseño en nuestro canal artificial.



(a)



(b)

Figura 73. Carga de datos de geometría.

- Una vez cargada la información de la quebrada “La_Cristalina”, en el menú principal de la ventana “Geometric Data”, en la pestaña “Tools”, se hace uso de la herramienta “Channel Design/Modification”.
- En la ventana desplegable de “Channel Design/Modification” se creará una plantilla con la geometría del canal artificial (Trapezoidal); oprima el botón “Template Design” el cual permite acceder a la ventana de edición de plantilla.

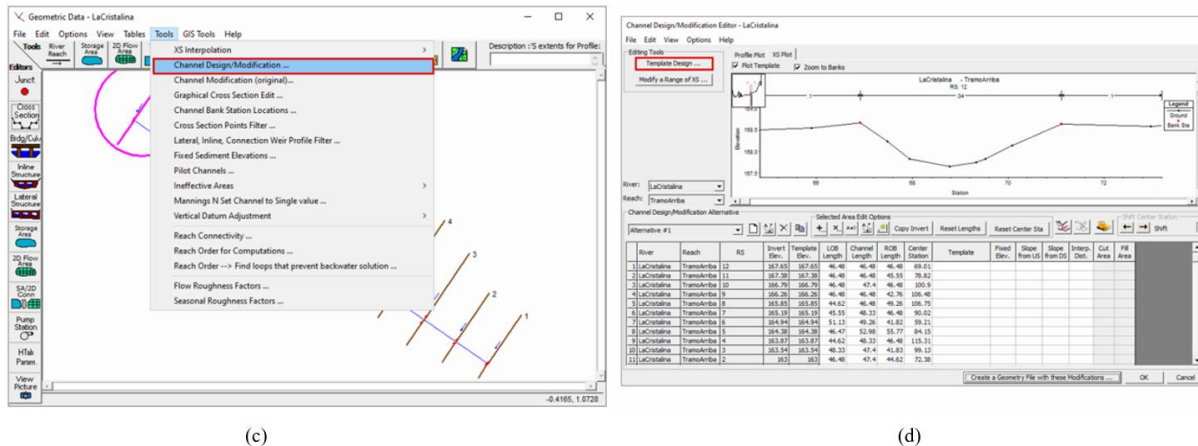


Figura 74. Edición de plantillas.

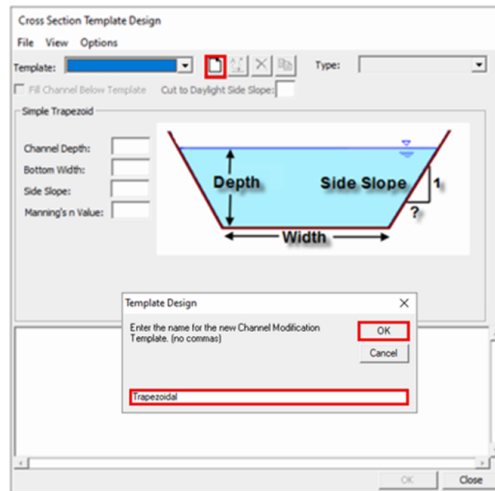
- (e) Se abrirá la ventana “**Cross Section Template Design**” la cual permite crear una nueva plantilla con en el botón representado por una hoja en blanco, se asigna un nombre a la plantilla y se confirma con el botón OK
- (f) Una vez creada la plantilla asignamos un tipo de formato, entre las opciones se encuentran “**Simple Trapezoid**” y “**User entered table**”. Se selecciona la opción de “**Simple Trapezoid**” que tiene como parámetros de diseño:

- “**Channel Depth**”: La profundidad del canal, medida desde el fondo hasta la parte superior de los taludes. En el ejemplo, el valor es 1.5.
- “**Bottom Width**”: El ancho del fondo del canal. El valor es 6 para fines del ejemplo.
- “**Side Slope**”: La relación de la pendiente de los lados del canal (horizontal:vertical). Un valor de 2 significa que, por cada 1 unidad de cambio vertical, el talud se extiende 2 unidades horizontalmente.
- “**Manning's n Value**”: Este es un parámetro de rugosidad de la superficie del canal, crucial para los cálculos de flujo. Un valor más alto indica una superficie más rugosa y una mayor resistencia al flujo. El valor 0.015 es típico de un canal de concreto liso.

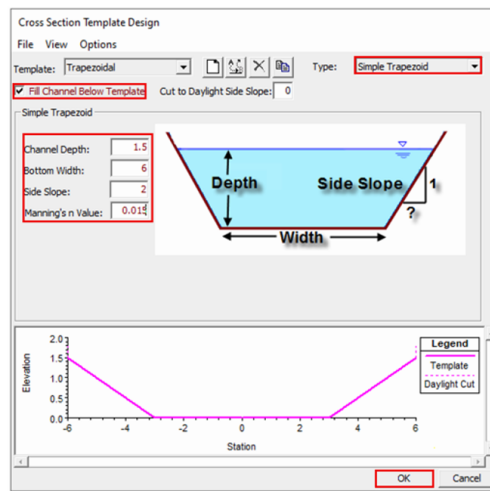
Adicional a la geometría, “**Fill Channel Below Template**” y “**Cut to Daylight Side Slope**”, son opciones clave en HEC-RAS que definen cómo el software modifica el terreno existente para crear una sección de canal:

- “**Fill Channel Below Template**”: Esta opción está diseñada para rellenar el canal principal existente antes de aplicar el nuevo diseño de la plantilla.
- “**Cut to Daylight Side Slope**”: Esta opción controla cómo los taludes del nuevo canal se conectan con el terreno circundante o la llanura de inundación. Define la pendiente de los taludes laterales del nuevo canal (el “corte”) que se extienden hasta que encuentran la superficie del terreno original.

Definida la geometría del canal, la nueva sección se puede evidenciar en la ventana de visualización. Una vez verificados los datos se finaliza con el botón OK.



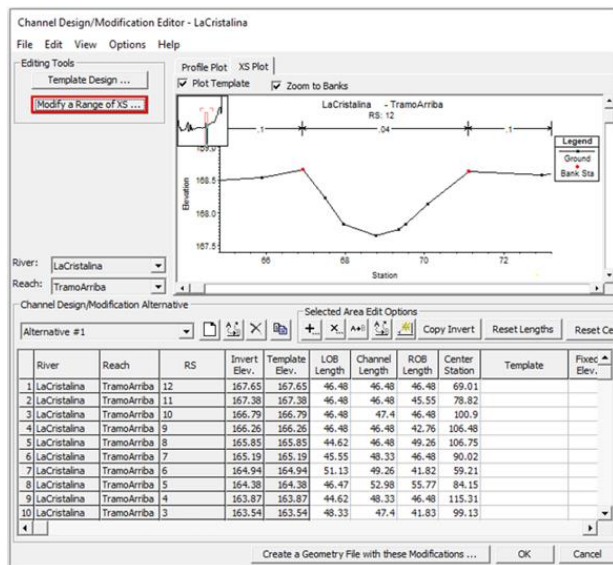
(e)



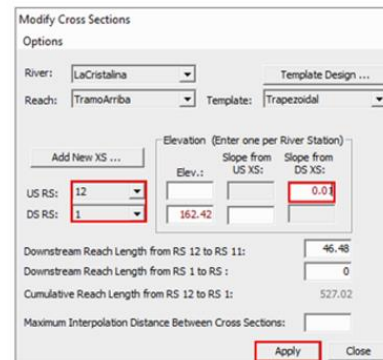
(f)

Figura 75. Geometría del canal.

- (g) Se abrirá la ventana “Channel Desing Modification Editor- LaCristalina”; Oprima la opción “Modify a Range of XS..”.
- (h) Se abrirá la ventana “Modify Cross Sections. Identifique que en los campos River y Reach estén seleccionados acorde al proyecto. La pestaña Template hace referencia a la plantilla que será aplicada para realizar los cortes del terreno natural, se selecciona la plantilla creada anteriormente “Trapezoidal”. Se verifican los tramos a modificar del 12 al 1 y se da valor a la pendiente de 0.01 en la casilla resaltada, de esta manera Hec_Ras tomara la plantilla y la aplica a la última sección aguas abajo y proyectara con la pendiente definida en dirección aguas arriba hasta llegar a la última sección (12). Finalmente, haga clic en Apply.



(g)



(h)

Figura 76. Ingreso de datos.



En la ventana “Channel Design Modification Editor- LaCristalina”, haga clic en la opción “Create a Geometric File with these Modifications...”. Se abrirá una ventana emergente (RAS); dé clic en **Sí**.

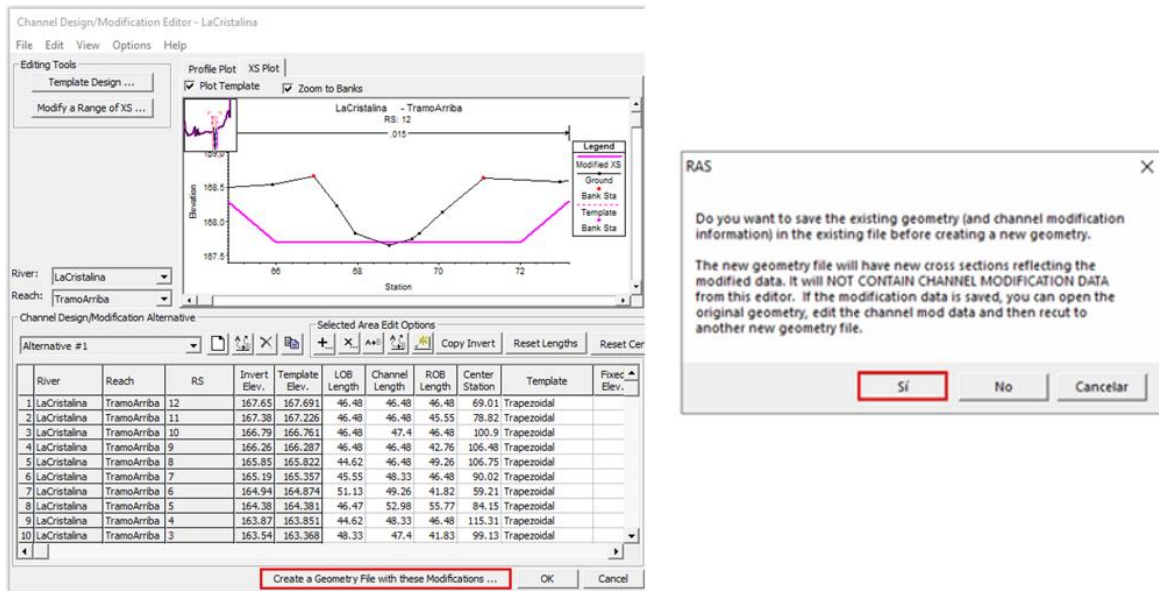


Figura 77. Guardar la nueva geometría.

Nombre la carpeta “LaCristalina_Trapezoidal” y dé clic en Ok. De esta manera queda guardada la sección y se puede ejecutar.

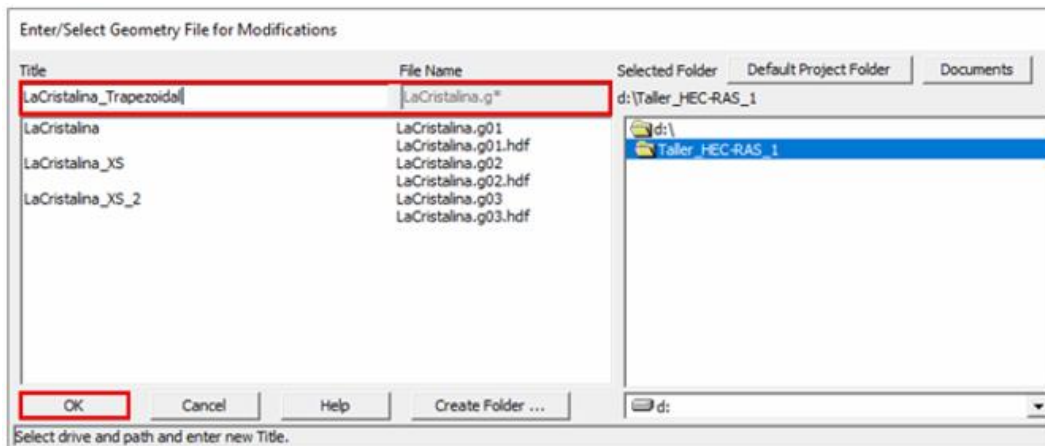


Figura 78. Guardado de carpeta con nueva geometría.

El programa verifica si el canal principal está compuesto por diferentes valores de Manning. El usuario puede solicitar que haga una composición de coeficientes de Manning o trabaje el canal principal con coeficientes de Manning variables horizontalmente para el análisis de flujo. La selección del modo de análisis es criterio del diseñador argumentado en las características de su proyecto. Para hacer el cambio en las características del Manning usado en el análisis siga la ruta



Options > Main channel Manning's n Value Compositing > Do not Composite Main Channel Manning's Values > OK.

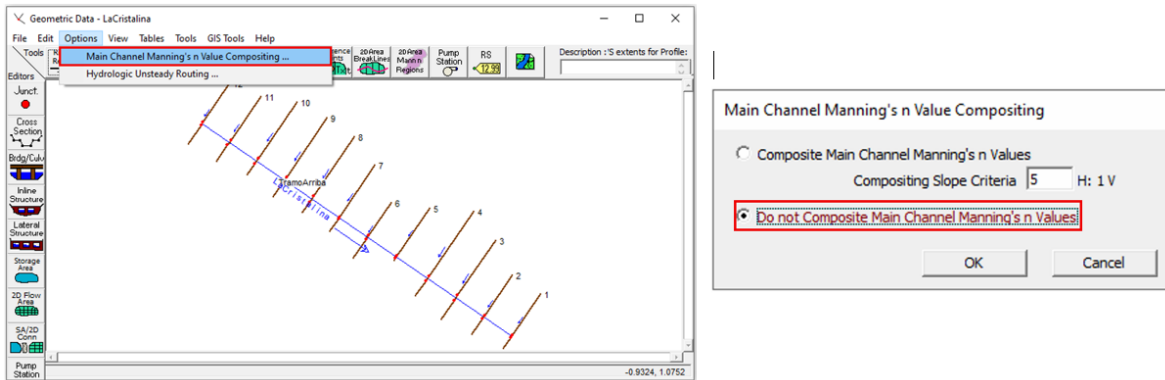


Figura 79. Composición de Manning para el canal principal.

Se debe considerar que el programa realiza los cortes de la nueva sección sobre el terreno natural con sus coeficientes de Manning asignados desde el comienzo del ejercicio. Bajo estas circunstancias el programa puede generar múltiples coeficientes para el canal principal, es por esta razón que se editaran las tablas de Manning para asignar un único valor correspondiente al material de construcción.

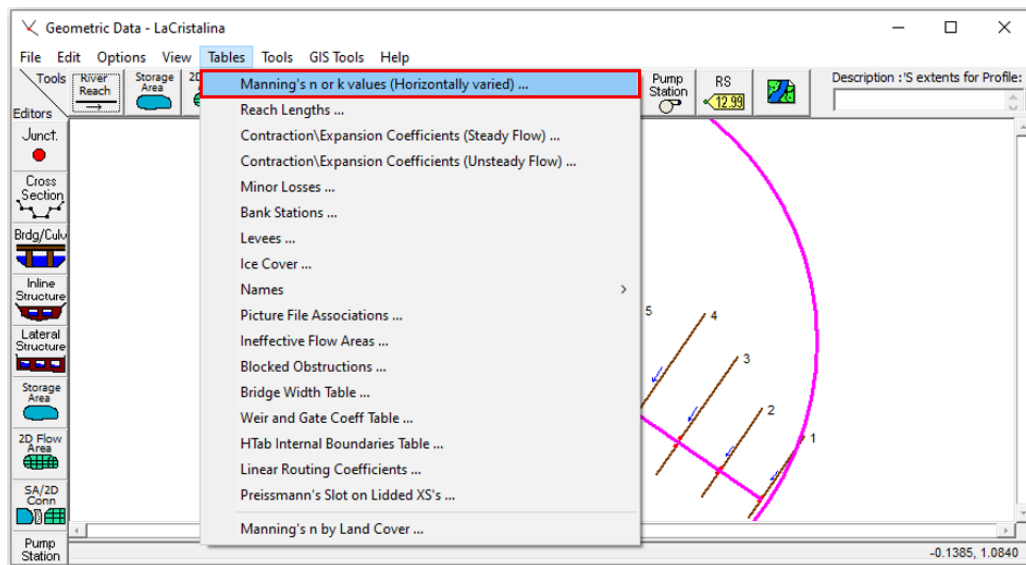


Figura 80. Tablas para coeficientes de Manning.

Para establecer un único valor al coeficiente de Manning de canal principal, siga la ruta: Menú principal en la venta **Geometric Data** > **Tables** > **Manning's n or k values**.

En la ventana principal de **Edit Manning's n or k values**, se selecciona la tabla de datos y se usa el botón **Reduce to L Ch R** para definir solo tres valores relevantes (bancos de inundación y canal



principal). Este proceso reduce el número de coeficientes de Manning asignados al canal principal dejando un único valor (coeficiente de Manning para concreto liso 0.015). Por último, se confirman los cambios realizados con el botón OK.

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3	n #4	n #5	n #6	n #7	n #8
1 12	n	0.1	0.015	0.1					
2 11	n	0.1	0.015	0.1					
3 10	n	0.1	0.015	0.1					
4 9	n	0.1	0.04	0.015	0.04	0.1			
5 8	n	0.1	0.04	0.015	0.04	0.1			
6 7	n	0.1	0.015	0.1					
7 6	n	0.1	0.015	0.1					
8 5	n	0.1	0.015	0.1					
9 4	n	0.1	0.015	0.1					
10 3	n	0.1	0.04	0.015	0.015	0.015	0.015	0.04	0.1
11 2	n	0.1	0.015	0.015	0.1				
12 1	n	0.1	0.015	0.015	0.1				

(a)

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 12	n	0.1	0.015	0.1
2 11	n	0.1	0.015	0.1
3 10	n	0.1	0.015	0.1
4 9	n	0.1	0.015	0.1
5 8	n	0.1	0.015	0.1
6 7	n	0.1	0.015	0.1
7 6	n	0.1	0.015	0.1
8 5	n	0.1	0.015	0.1
9 4	n	0.1	0.015	0.1
10 3	n	0.1	0.015	0.1
11 2	n	0.1	0.015	0.1
12 1	n	0.1	0.015	0.1

(b)

Figura 81. Valores de Manning del canal.

Posteriormente se guarda la geometría como "LaCristalina_Trapezoidal" y se repiten los pasos del ítem 6.6 para correr el programa.



7. ENTREGABLE

1. Análisis de resultados

Redacte un párrafo donde analice los resultados de la simulación hidráulica considerando las modificaciones en las secciones transversales. Para ello, base su análisis en las gráficas y en la tabla de resultados, identificando el régimen de flujo en cada sección y evaluando el comportamiento del cauce a partir de la interpretación de los perfiles de agua.

2. Entregar los resultados

- La tabla de resumen de resultados principales de la simulación.
- Los gráficos de perfil longitudinal lámina de agua, variación de distancias a lo largo del cauce y 3D.

3. Comparativa de resultados

Analice y describa las variaciones observadas en los resultados de la simulación como consecuencia de las modificaciones implementadas en la geometría de la sección transversal durante la segunda fase del proyecto.

4. Errores y advertencias

Identifique y describa brevemente las alertas o mensajes de error generados por el software tras la ejecución de la segunda fase del proyecto.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Chow, V. Te. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Editorial McGraw-Hill.

Béjar, M. V. (1995). *Hidráulica de canales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cowan, W. L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural engineering*. Vol 37. N°7. Pp. 473-475.

Hydrologic Engineering Center, 2021. HEC-RAS River Analysis System, HEC-RAS Applications Guide, U.S. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasappguide/latest/critical-creek-example-1>

Hydrologic Engineering Center, 2021. HEC-RAS River Analysis System, HEC-RAS Applications Guide, U.S. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasappguide/latest/channel-modification-example-16>