

Manual de laboratorio de simulación computacional

Práctica N°5: El Flujo uniforme y el Coeficiente de Rugosidad de Manning

Fuente del recurso: Ejemplo adaptado del libro Hidráulica de Canales (Villón, 1995) por, el estudiante UIS, Eliel David Malaver Nieto en el desarrollo de su trabajo de grado

1. Objetivos de la simulación

- ✓ Comprender los conceptos del flujo uniforme y los coeficientes de rugosidad en canales abiertos mediante la implementación de una simulación en la herramienta computacional HEC-RAS.
- ✓ Aplicar los conceptos adquiridos sobre el flujo uniforme y los coeficientes de rugosidad mediante el desarrollo de un ejemplo orientador utilizando HEC-RAS.
- ✓ Analizar los conceptos del flujo uniforme y los coeficientes de rugosidad mediante la solución de preguntas orientadoras.
- ✓ Fortalecer las capacidades de uso apropiado de herramientas tecnológicas aplicadas a la ingeniería civil, en particular la herramienta HEC-RAS, fortaleciendo el conocimiento teórico-práctico del flujo uniforme y los coeficientes de rugosidad.

2. Requerimientos para la simulación

- ✓ Sistema operativo Windows 7 64-bit (o superior) o Linux
- ✓ Seguir la guía número 1 que hace referencia a la descarga e instalación del programa HEC-RAS
- ✓ Preferiblemente poseer la versión 5.0.7 del programa HEC-RAS

3. Introducción

En el diseño de canales se hace necesario conocer el impacto o la influencia que la rugosidad del canal ejerce en el flujo. Es evidente que la rugosidad de los canales varía de acuerdo con su forma, su construcción, entendiéndose aquí como los materiales que recubren las paredes y el fondo del canal ya sea piedra, mampostería, concreto liso, tierra o incluso vegetación. Para determinar el impacto de estos factores en el flujo se han establecido valores fijos según el tipo de material denominados coeficientes. Dichos valores son el resultado de numerosos ensayos que en todo caso son solo aproximados, ya que estos materiales, sufren alteraciones en forma y tamaño por efectos ambientales como el mismo flujo y el paso del tiempo.

No existe realmente un procedimiento exacto para la determinación correcta del coeficiente de rugosidad. Para el personal de ingeniería con experiencia esto implica aplicar sus criterios técnicos y conocimientos adquiridos en el ejercicio de su profesión, esto significa que se recurre a la estimación basada en resultados obtenidos en diseños anteriores. Sin embargo, para los ingenieros que recién enfrentan este desafío, la determinación del coeficiente de rugosidad de un canal es realmente un asunto que prácticamente queda por definir y, en ese sentido, distintas personas pueden obtener resultados muy distintos para un mismo diseño.

Para disminuir el nivel de incertidumbre y la imprecisión se deben tener en cuenta cuatro enfoques generales que ayudarán en la determinación correcta del coeficiente de rugosidad. Lo primero es entender los factores que afectan el coeficiente de rugosidad, este conocimiento básico ayuda en la resolución del problema. En segundo lugar, es necesario consultar una tabla de valores comunes de coeficiente de rugosidad para canales de distintos tipos. En tercer lugar, familiarizarse con la apariencia de canales comunes de los cuales se conozca el coeficiente de rugosidad y, finalmente, en cuarto lugar, determinar el coeficiente de rugosidad mediante un proceso analítico basado en la distribución de velocidades teóricas en la sección transversal de un canal (Chow, 1994).

La ecuación más utilizada para la determinación del coeficiente de rugosidad de un canal, por su simplicidad y por los resultados satisfactorios que ofrece en aplicaciones prácticas, es la ecuación de Manning, la cual fue desarrollada a partir de siete ecuaciones diferentes y verificada mediante 170 observaciones (Chow, 1994).

4. Marco Teórico

4.1 Flujo uniforme

La comprensión del flujo uniforme es fundamental en la hidráulica de canales, ya que permite entender la influencia de las condiciones físicas y geométricas del canal en el establecimiento del flujo uniforme y su comportamiento a través de ecuaciones empíricas o semi-empíricas.

Se considera que el flujo uniforme tiene las siguientes características principales: 1) la profundidad, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección del canal son constantes; y 2) la línea de energía, la superficie del agua y el fondo del canal son paralelos; es decir, sus pendientes son todas iguales, o $S_f = S_w = S_o = S$. Para propósitos prácticos, el requerimiento de una velocidad constante puede interpretarse como la necesidad de que el flujo tenga una velocidad media constante. Sin embargo, en un sentido más riguroso, esto implica que el flujo tiene una velocidad constante en cada punto de la sección del canal dentro del tramo del flujo uniforme. En otras palabras, la distribución de velocidades a través de la sección del canal no se altera dentro del tramo. (Chow, 1994).

4.2 Establecimiento del flujo uniforme

Cuando el flujo ocurre en un canal abierto, el agua encuentra resistencia a medida que fluye aguas abajo, la cual es contrarrestada por los componentes de fuerzas gravitacionales que actúan sobre el cuerpo de agua en la dirección del movimiento (*Figura 1*). Un flujo uniforme se desarrollará si se crea un balance entre las fuerzas resistentes y las fuerzas gravitacionales. La magnitud de la resistencia, cuando otros factores físicos del canal se mantienen constantes, depende de la velocidad del flujo (Chow, 1994).

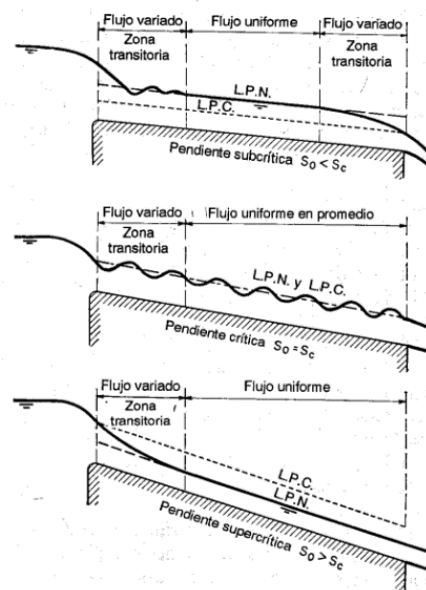


Figura 1 Establecimiento del flujo uniforme en un canal largo (Chow, 1994)

4.3 Ecuaciones para la velocidad en flujo uniforme

A excepción de la ecuación de Antoine Chézy, todas las ecuaciones para el cálculo de la velocidad del flujo uniforme son de carácter empírico (Marbello, 2005) y tienen la siguiente estructura:

$$V = K * R_H^x * S_o^y \quad (1)$$

Donde:

V: Es la velocidad del flujo uniforme

K: Es un coeficiente de resistencia. Es constante y depende del número de Reynolds, R, y de la forma y rugosidad del canal

x,y: Son exponentes empíricos

R_h : Hace referencia al radio hidráulico de la sección del flujo

S_o : Es la pendiente longitudinal del fondo del canal

4.4 Ecuación de Chèzy

En 1769 el ingeniero francés Antoine Chèzy desarrolló tal vez la primera ecuación del flujo uniforme, con el ánimo de encontrar una expresión para la velocidad, la famosa ecuación de Chèzy, que a menudo se expresa de la siguiente manera:

$$V = C\sqrt{RS} \quad (2)$$

Donde V es la velocidad media en pies por segundo, R es el radio hidráulico en pies, S es la pendiente de la línea de energía y C es un factor de resistencia al flujo, conocido como C de Chezy. Esta ecuación parte de dos suposiciones: la primera establece que la fuerza que resiste el flujo por unidad de área del lecho de la corriente es proporcional al cuadrado de la velocidad; la segunda suposición es el principio básico del flujo uniforme, que establece que en el flujo uniforme la componente efectiva de la fuerza gravitacional que causa el flujo debe ser igual a la fuerza total de resistencia (Chow, 1994).

4.4.1 Cálculo del factor de resistencia de Chèzy

Algunos académicos buscaron la manera de encontrar el valor del factor de resistencia de Chèzy, y esto lo hicieron mediante la implementación de diversas variables. En la *Tabla 1*, se muestran diversas fórmulas para el cálculo del coeficiente de fricción de Chèzy.

AUTOR	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
Ganguillet y Kutter (1869)	$C = \frac{41.65 + 0.00281 / S_0 + 1.811 / n}{1 + \frac{n}{R_H^{1/2}} (41.65 + 0.00281 / S_0)}$	Recomendable para canales naturales; cambios pequeños de n originan cambios grandes en C . R_H en pie; C en $\text{pie}^{1/2}/\text{s}$. n : coeficiente de rugosidad, de Manning (adim.).
Kutter	$C = \frac{100 R_H^{1/2}}{m + R_H^{1/2}}$	Es una simplificación de la ecuación de Ganguillet. m : coeficiente de rugosidad (adim.). R_H en pie; C en $\text{pie}^{1/2}/\text{s}$.
Bazin (1897)	$C = \frac{157.6}{1 + m / R_H^{1/2}}$	Basada en un gran número de datos experimentales. m : coeficiente de rugosidad (adim.).
Koseny	$C = 20 \log y + N_c$	Basada en datos experimentales, análoga a la de los tubos. y : profundidad hidráulica. N_c : coeficiente de rugosidad.
Manning y Strickler (1890)	$C = \frac{\phi R_H^{1/6}}{n}$	Es la ecuación más empleada. Se obtuvo a partir de siete fórmulas diferentes, basadas en los ensayos de Bazin. n : coeficiente de rugosidad, de Manning. ϕ : constante que depende del sistema de unidades empleado; véase el numeral 7.3.2.3.
Pavlovskij	$C = \frac{R_H^z}{n^{0.6}}$	Considera que el exponente de la ecuación de Manning no es constante. Si $R_H \leq 1 \text{ m}$, $z = 1.5n$. Si $R_H > 1 \text{ m}$, $z = 1.3 n^{0.6}$. Válida en el sistema métrico.
Martínez	$C = 17.7 \log \frac{R_H}{d} + 13.6$	d : diámetro (m) del grano del fondo del material del río. Válida para $0.15 \text{ m} \leq R_H \leq 2.25 \text{ m}$.

Tabla 1 Formulas para el cálculo del coeficiente de fricción de Chèzy (Marbello, 2005)

4.5 La ecuación de Manning

En 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning presentó una ecuación, la cual se modificó varias veces hasta llegar a su bien conocida forma actual:

$$V = \frac{1.49 R_H^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (3)$$

Donde V es la velocidad media en pies por segundo, E es el radio hidráulico en pies, S es la pendiente de la línea de energía y n es el coeficiente de rugosidad, específicamente conocido como n de Manning (para unidades en el sistema internacional [m/s], el valor de 1.49 desaparece). Esta ecuación fue desarrollada a partir de 7 ecuaciones diferentes, basada en los datos experimentales de Bazin y además verificada mediante 170 observaciones (Chow, 1994).

4.6 Selección del coeficiente de rugosidad de Manning

Es de suma importancia seleccionar adecuadamente el valor del coeficiente de rugosidad de Manning, sin embargo, no existe un método exacto para hacerlo.

Hay cuatro enfoques para determinarlo: 1) entender los factores que afectan el valor de n con el fin de adquirir el conocimiento básico del problema y disminuir el rango de incertidumbre, 2) consultar una tabla de valores comunes de n para canales de diferentes tipos, 3) examinar y familiarizarse con la apariencia de algunos canales comunes cuyos coeficientes de rugosidad se conocen, y 4) determinar el valor de n mediante un procedimiento analítico basado en la distribución de velocidades teóricas, en la sección transversal de un canal y en los datos de medición de velocidad o de rugosidad (Chow, 1994).

4.7 Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning

A continuación, se presentan los principales factores que afectan el valor del coeficiente de rugosidad, n , de un canal:

- ✓ La rugosidad, n , varía con la profundidad del flujo. Se ha comprobado que con el aumento de la profundidad disminuye el valor del coeficiente n . Sin embargo, cuando el nivel del agua alcanza las orillas de un cauce natural, y éstas presentan material grueso, el coeficiente de rugosidad, n , aumenta apreciablemente.
- ✓ La rugosidad depende de las irregularidades del canal, de los cambios en la forma geométrica de la sección transversal y de los cambios en las dimensiones de ésta.
- ✓ La rugosidad varía con los cambios en el alineamiento de canal. Efectivamente, n varía con los cambios en el alineamiento horizontal del canal y con los cambios en la pendiente longitudinal del mismo.
- ✓ La presencia de obstáculos en el cauce modifica el valor de la rugosidad del canal. Es decir, n aumenta con el número y distribución de los obstáculos.
- ✓ Los procesos de erosión y sedimentación activos producen cambios en la rugosidad. Obviamente estos procesos modifican continuamente la forma de la sección transversal del cauce natural de la corriente, con lo cual se altera el valor del coeficiente de rugosidad.
- ✓ Las variaciones del caudal y, por tanto, de la profundidad, y el número de Reynolds, también producen cambios en el valor de la rugosidad.

Existen valores del coeficiente de rugosidad comúnmente asignados, dependiendo del tipo de canal y su revestimiento (*Tabla 2*).

Adicionalmente, el USGS desarrolló un documento que ayuda a asignar valores de n para canales naturales, que se puede encontrar en la siguiente dirección web: [Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains \(usgs.gov\)](https://www.usgs.gov/media/factsheet/guide-selecting-manning-roughness-coefficients-natural-channels-flood-plains)

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

Tabla 2 Extracto de una tabla de valores del coeficiente de rugosidad n (Chow, 1994)

5. Implementación de la simulación

5.1 Descripción del problema

En una zona rural de Colombia se quiere mejorar un canal de 10 metros de longitud en un río que está socavando el terreno de las viviendas aledañas. Debido a la ubicación del proyecto, solo hay disponibles 3 materiales: metal corrugado, concreto (lanzado, con sección buena) y ladrillo (barnizado).

Se ha estimado que el caudal que pasará por la sección transversal es $1.5 \text{ [m}^3/\text{s]}$ y, obedeciendo la normativa de la zona, la máxima velocidad del flujo es de 0.8 [m/s] . Inicialmente los ingenieros han pensado en utilizar el material de metal corrugado, debido a su abundancia en la zona.

Para realizar el diseño del canal, los ingenieros acuden a la ecuación de Manning, y tienen presentes los valores de rugosidad de la *Tabla 2*. A partir de ello, han calculado la pendiente necesaria para el proyecto bajo estas condiciones y han llevado a cabo una simulación para asegurarse de que los resultados concuerden con lo que se espera en la realidad.

A continuación, se muestra una sección transversal del canal a utilizar en la zona (*Figura 2*):

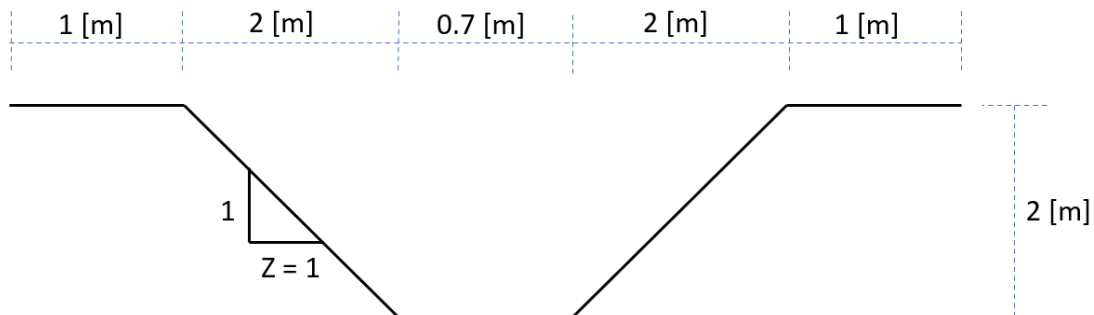


Figura 2 Sección transversal de la canaleta propuesta

5.2 Valor de la pendiente del canal

Para encontrar el valor de la pendiente del canal, puede recurrir a la ecuación de velocidad de Manning, de la siguiente manera:

Datos:

$$Q = 1.5 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]; Z = 1; n = 0.025; b = 0.7 \text{ [m]}; V = 0.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Teniendo en cuenta que para el sistema internacional la ecuación de Manning no posee el valor de 1.49 (se convierte en 1) debido a las unidades, se tiene:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (4)$$

De la ecuación de continuidad $Q = VA$, puede obtener el valor del área:

$$A = \frac{1.5}{0.8} [m^2] \quad (5)$$

$$A = 1.875 [m^2] \quad (6)$$

Recordando la ecuación del área para canales trapezoidales:

$$A = by + zy^2 \quad (7)$$

Reemplazando el valor del área y los valores de ancho de la solera ($b=0.7$) y el talud ($Z=1$), se tiene una ecuación cuadrática:

$$1.875 = 0.7y + y^2 \quad (8)$$

Si se desarrolla esta ecuación por cualquiera de los métodos conocidos, se obtienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} y_1 &= 1.0633 [m] \\ y_2 &= -1.7633 [m] \end{aligned} \quad (9)$$

Conociendo que físicamente no es posible tener un valor negativo, se encuentra que el valor del tirante hidráulico es de 1.0633 [m].

Sin embargo, para entrar a la ecuación de Manning, es necesario conocer el valor del radio hidráulico, conociendo el valor del área de la sección ahora es necesario conocer el valor del perímetro mojado.

Debe recordar que, para canales trapezoidales, el valor del perímetro mojado se halla de la siguiente manera:

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (10)$$

Encontrando que:

$$P = 0.7 + (2)(1.0633)\sqrt{2} \quad (11)$$

$$P = 3.7074 [m] \quad (12)$$

Así, el perímetro mojado es de 3.7074 [m]. Calculando el radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{P} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{1.875 m^2}{3.7074 m} \\ R &= 0.5057 [m^2/m] \end{aligned} \quad (14)$$

Si se llevan todos estos valores a la ecuación de Manning, se puede encontrar el valor de la pendiente para este caso específica en el canal, siendo esto:

$$S = \left(\frac{n * V}{\frac{2}{R^{\frac{2}{3}}}} \right)^2 \quad (15)$$

Reemplazando:

$$S = \left(\frac{0.025 * 0.8}{\frac{2}{0.5057^{\frac{2}{3}}}} \right)^2 \quad (16)$$

Se halla que:

$$S = 0.001 \quad (17)$$

Por lo tanto, la pendiente para las condiciones presentadas en el canal y un flujo uniforme en este es de 0,001 [m/m].

5.3 Proceso de simulación

Este se llevará a cabo en HEC-RAS, versión 5.0.7 (HEC-RAS, 2008), en el cual se deberán ingresar datos como la geometría del canal, valores de flujo (entre ellos condiciones de contorno) y un plan de simulación el cual tomará todos los datos anteriores y efectuará el proceso de simulación.

5.3.1 Abrir el programa HEC-RAS

Busque el acceso directo que se creó al instalar HEC-RAS, y ejecute el programa.

5.3.2 Creación del proyecto

En este paso proceda a crear el proyecto de tal manera que se guarde en una ubicación segura dentro del ordenador:

- ✓ Ingrese al programa HEC-RAS, dé clic en *File* y luego en *New Project* (Figura 3)

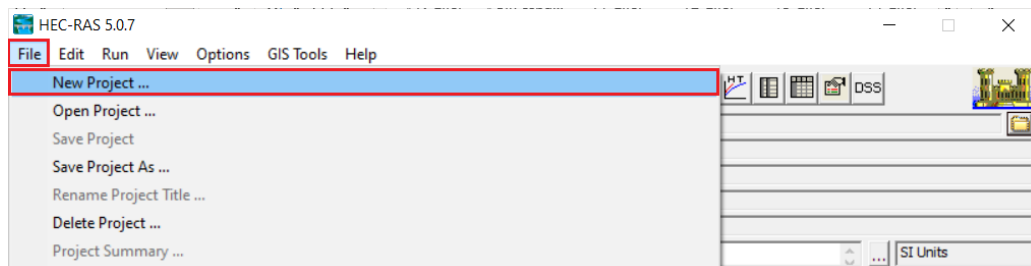


Figura 3 Ventana para la creación de un nuevo proyecto

- ✓ Dé clic en el botón *Default Project Folder*, y luego de esto dé clic en el botón *Create Folder* (Figura 4)

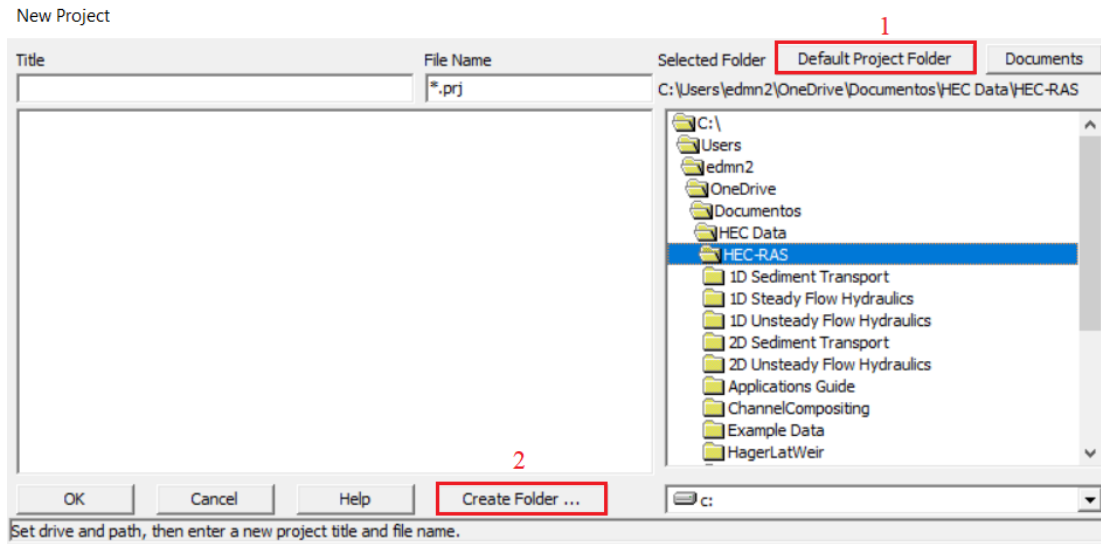


Figura 4 Ventana de creación de un nuevo proyecto

- ✓ En la ventana emergente coloque el nombre de la carpeta *Simulación 5* (Figura 5)

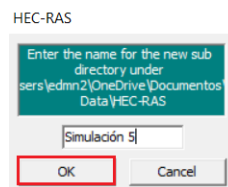


Figura 5 Ventana para nombrar la nueva carpeta

- ✓ Dé clic en “OK”. La nueva carpeta se muestra en la ruta seleccionada (Figura 6)

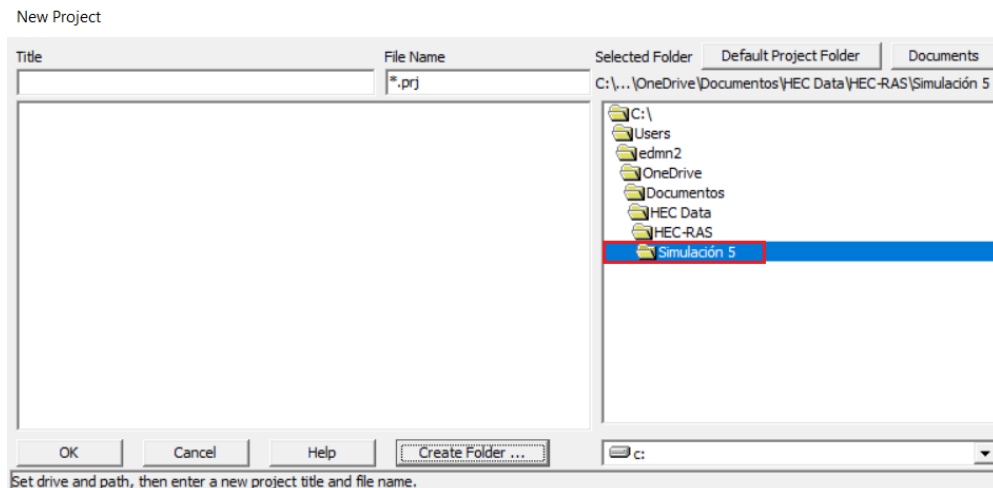


Figura 6 Ventana del proyecto con una nueva carpeta asignada

- ✓ Ingrese el nombre del proyecto “*Práctica_5*” en el campo Title. Acepte la asignación del nombre presionando la tecla “OK” (Figura 7)

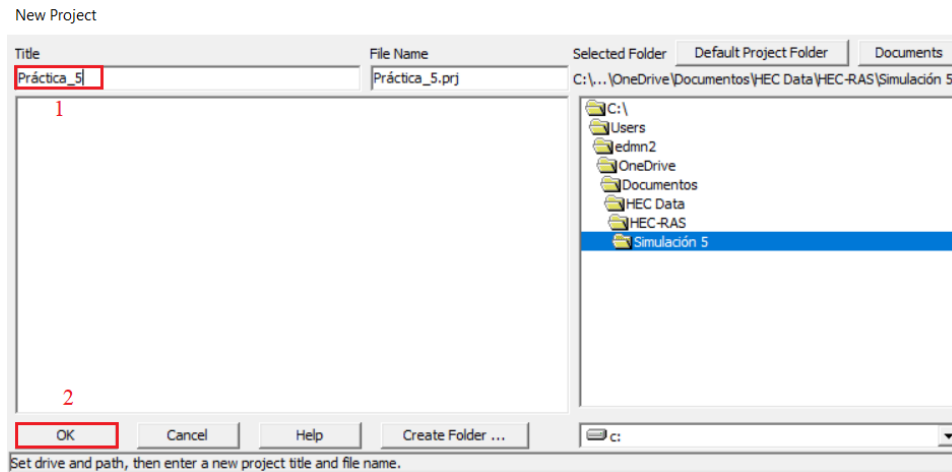


Figura 7 Ventana del nombre y guardado del proyecto

- ✓ La ventana emergente busca confirmar la creación del proyecto en la ruta seleccionada. Si está de acuerdo, seleccione “Aceptar” (Figura 8)

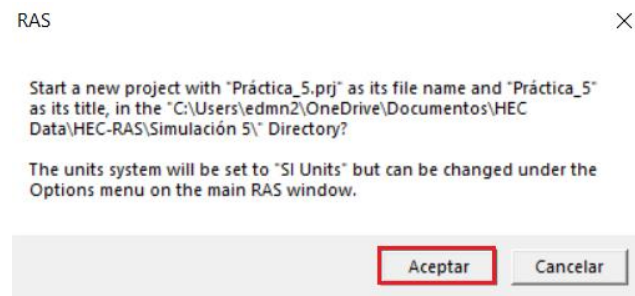


Figura 8 Ventana de carpeta final de destino y sistema de unidades establecido para este proyecto

- ✓ Configure el sistema de unidades a métrico a través de la opción “Unit system (US Customary/SI)” localizado en el menú de opciones del programa (Figura 9)

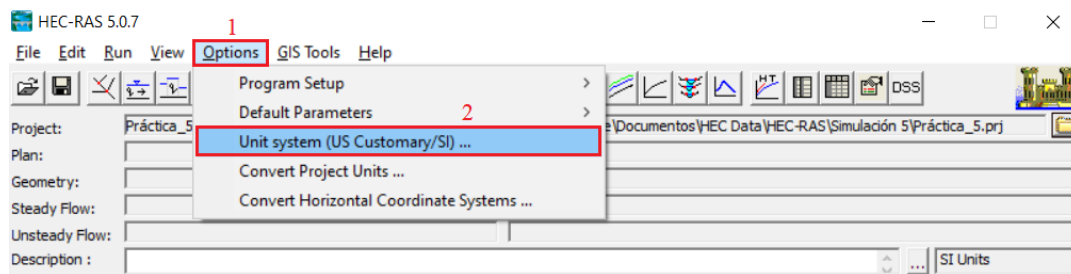


Figura 9 Ventana para la configuración del sistema de unidades

- ✓ Seleccione el sistema métrico internacional (“System international”). Puede dejar esta selección por defecto para nuevos proyectos y aceptar dando clic en “OK” (Figura 10)

HEC-RAS

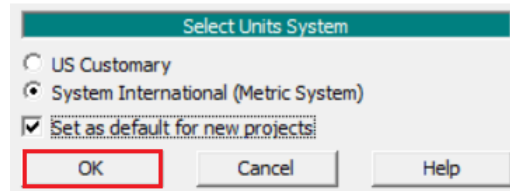


Figura 10 Ventana de selección del sistema de unidades

- ✓ De esta manera ya tiene el sistema de unidades configurado y una carpeta en la cual se guardarán todos los archivos de la práctica

5.3.3 Datos geométricos

Primera sección transversal

- ✓ Dé clic en el icono de *Geometry Data* que se muestra en la Figura 11



Figura 11 Icono de datos geométricos

- ✓ Se abrirá la siguiente ventana (Figura 12)

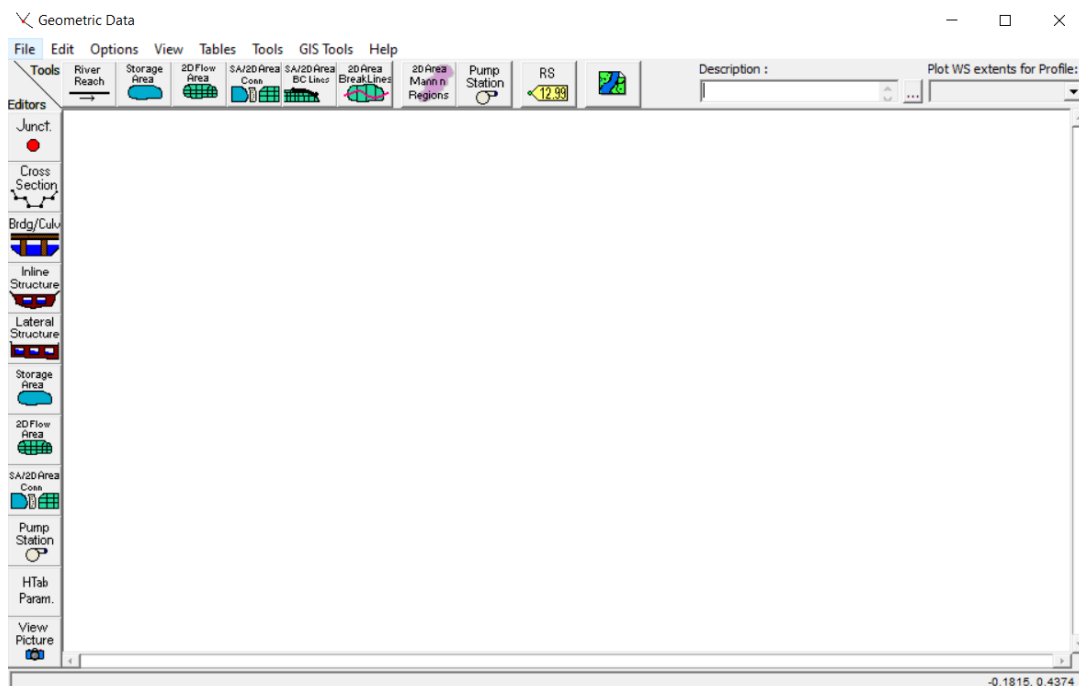


Figura 12 Ventana de Geometry Data

- ✓ Dé clic en el icono de *River Reach* (Figura 13) y el puntero del ratón se convertirá en un lápiz de tal manera que permitirá dibujar en la ventana de datos geométricos



Figura 13 Icono de River Reach

- ✓ Seguido a esto dé un clic izquierdo en la parte superior izquierda de la ventana y trace una diagonal de tal manera que, en la parte inferior derecha, dará doble clic izquierdo (Figura 14)

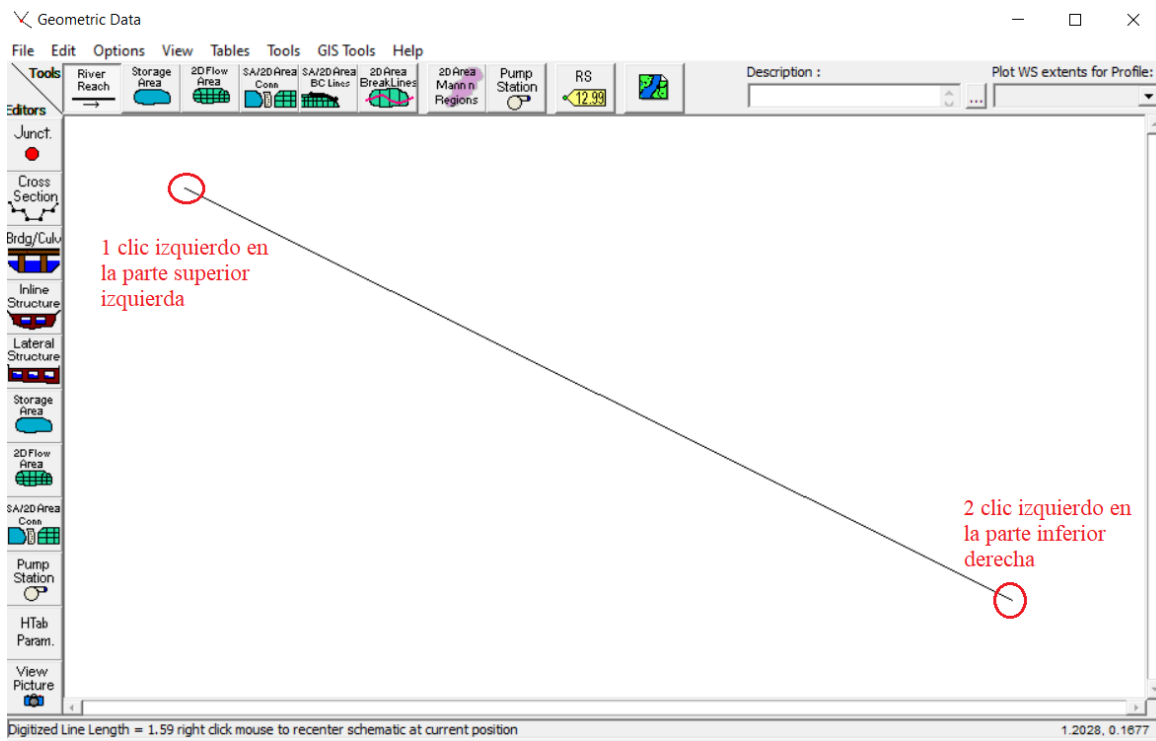


Figura 14 Ventana para el dibujo del tramo del río

- ✓ Al hacer doble clic izquierdo en la parte inferior derecha, aparecerá una ventana en la cual se nombrará el río y el canal. En *River* coloque el nombre de *Río* y en *Reach* coloque el nombre de *Canal* (Figura 15)

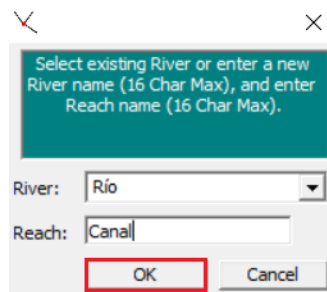


Figura 15 Ventana para nombrar el río y el canal

- ✓ Obtendrá el siguiente resultado (Figura 16)

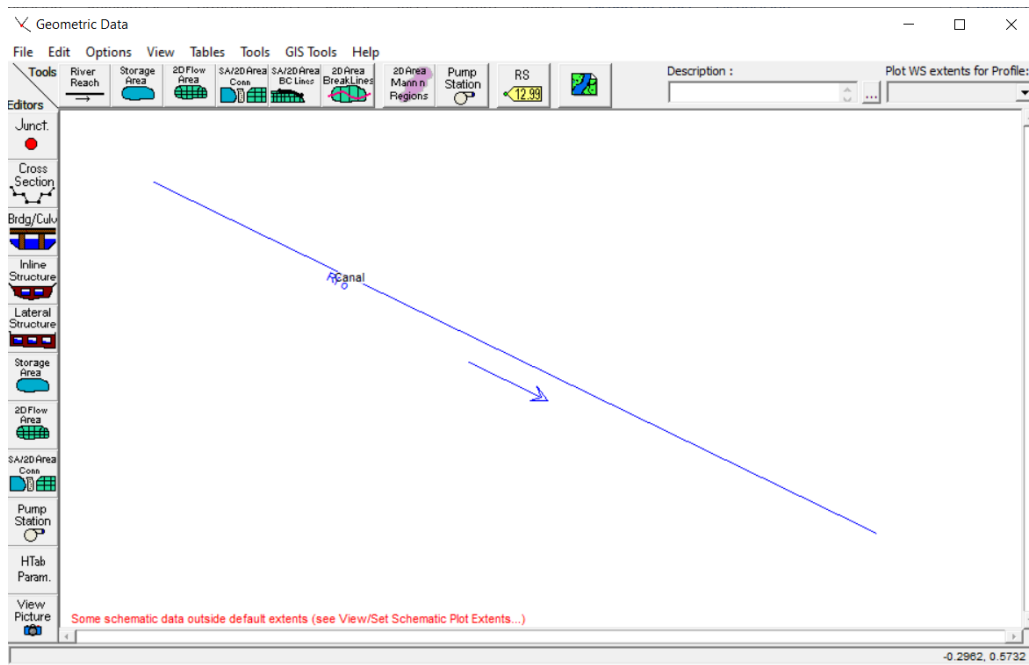


Figura 16 Ventana de creación del río en los datos geométricos

- ✓ Ubique el icono de *Cross Section* y dé clic sobre este (Figura 17)

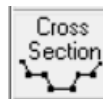


Figura 17 Icono de Cross Section

- ✓ Aparecerá la siguiente ventana en la cual podrá agregar datos de secciones transversales (Figura 18)

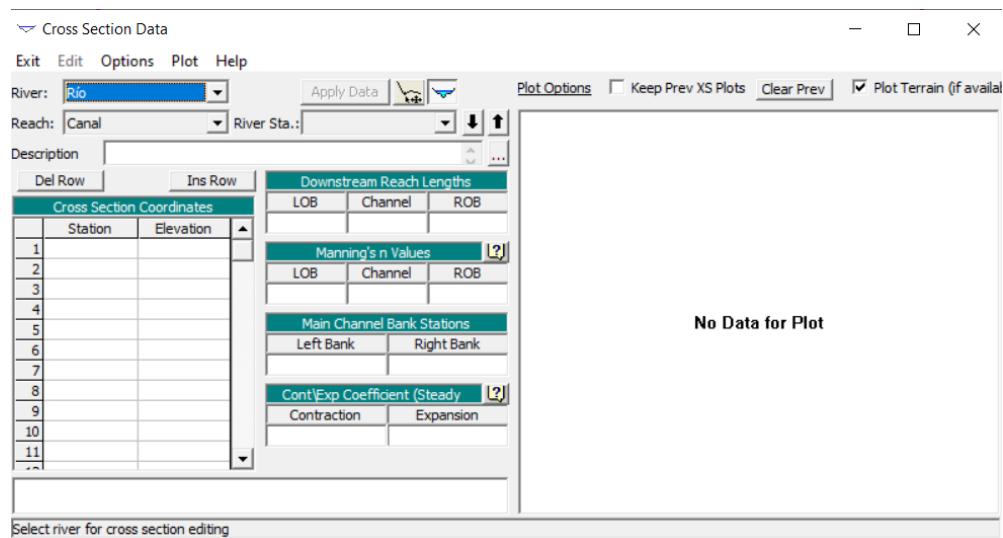


Figura 18 Ventana de secciones transversales

- ✓ Dé clic en *Options > Add a new Cross Section (Figura 19)*

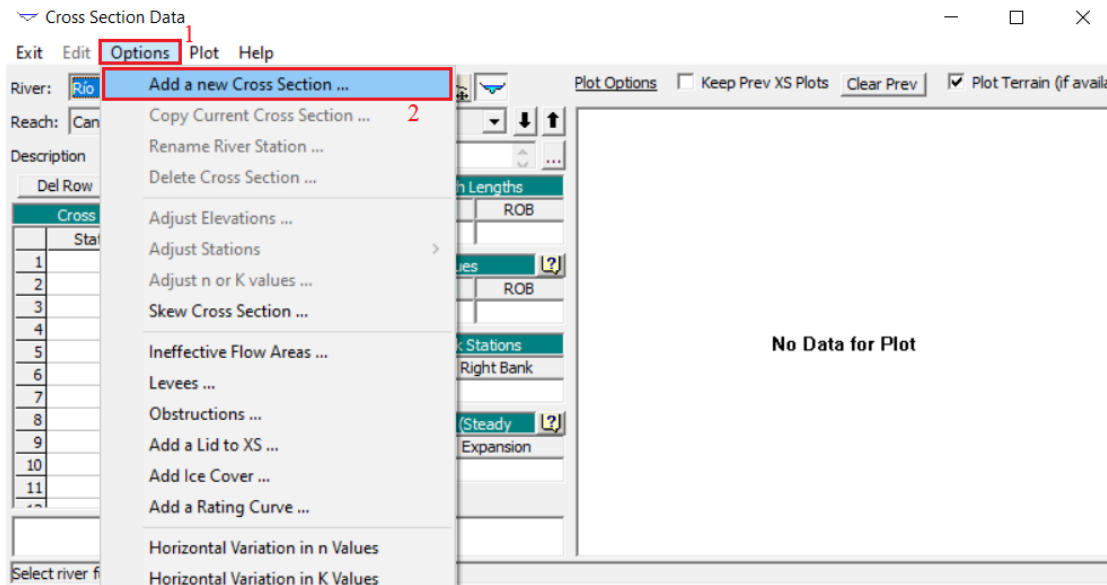


Figura 19 Ventana para añadir una nueva sección transversal

- ✓ Se abrirá una nueva ventana emergente la cual solicita un indicativo para esta nueva sección transversal, en esta ventana coloque el número *1* ya que hace referencia a que es la primera sección transversal (Figura 20)

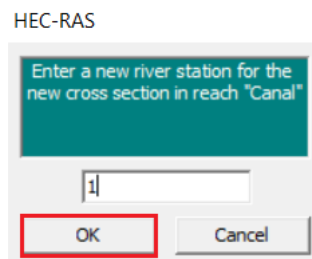


Figura 20 Ventana del identificador de la primera sección transversal

- ✓ Luego de esto se abrirá una nueva ventana similar a la mostrada en la *Figura 18*. Proceda a llenar los datos de la siguiente manera.
- ✓ En la sección de *Description* coloque *Sección 1*. Ya que hace referencia a que es la primera sección transversal (Figura 21)



Figura 21 Ventana de la descripción

- ✓ Luego, en la sección de *Downstream Reach Lengths*, coloque el valor de *0* ya que no hay secciones transversales aguas debajo de la sección 1 (Figura 22)

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
0	0	0

Figura 22 Ventana de valores de distancia hasta la sección inmediata aguas abajo

- ✓ En la sección de *Cross Section Coordinates* coloque los valores que hacen referencia a la sección transversal (Figura 23)

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	-3.35	2
2	-2.35	2
3	-0.35	0
4	0.35	0
5	2.35	2
6	3.35	2

Figura 23 Ventana con los datos de la sección transversal

- ✓ Cabe resaltar que los números y palabras aparecen en rojo ya que no se han aplicado los datos a la sección, pero esto se realizará más adelante
- ✓ En la sección de *Manning's n Values* se colocarán los valores del coeficiente de Manning en la sección de la siguiente manera (Figura 24)

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.025	0.025	0.025

Figura 24 Valores del coeficiente de Manning

- ✓ Las secciones de LOB, Channel y ROB, hacen referencia a left over bank, canal principal y right over bank; es decir el valor de Manning a la izquierda del canal, en el centro del canal y a la derecha de este

En la sección de *Main Channel Bank Stations* ingresará los siguientes valores que se refieren a la necesidad del programa de establecer el canal principal por el cual correrá el fluido, la sección que queda fuera de esta zona es tomada como sobre ancho del canal, y sirve para estudios de inundación (Figura 25)

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
-2.35	2.35

Figura 25 Ventana para establecer el canal principal

- ✓ En la sección final se encontrarán los valores de contracción y expansión que se dejarán por defecto (Figura 26)

Cont\Exp Coefficient (Steady)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3

Figura 26 Ventana de los coeficientes de contracción y expansión

Los coeficientes de contracción y expansión hacen referencia a las pérdidas en alcantarillas

- ✓ Obtendrá una ventana como se muestra a continuación y dará clic en *Apply Data* para aplicar los datos. En la parte derecha de la ventana se puede observar la sección transversal dibujada (Figura 27)

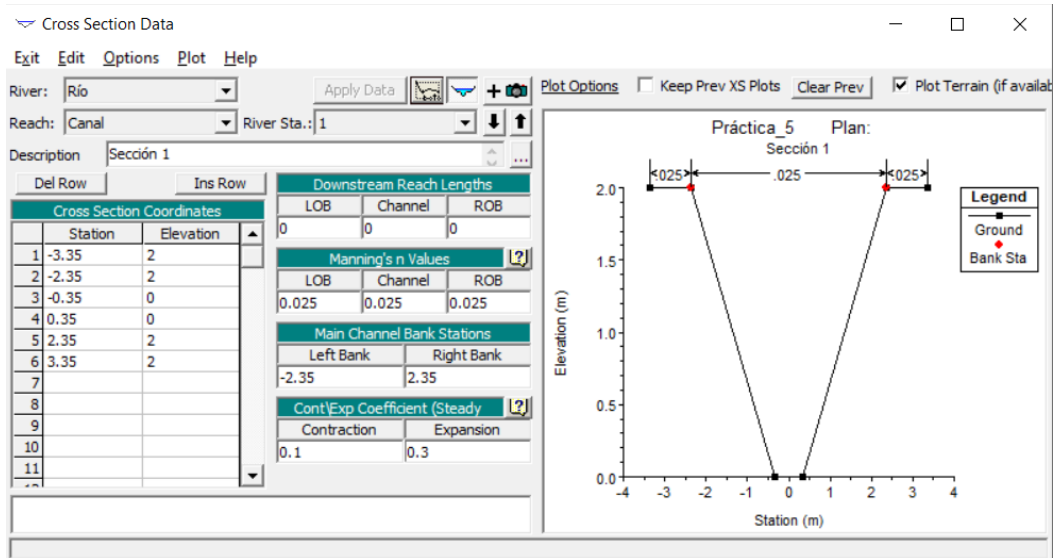


Figura 27 Ventana final para la primera sección transversal

Segunda sección transversal

- ✓ Para crear la segunda sección transversal, estando en la ventana de la Figura 27, proceda a dar clic en *Options* y luego en *Copy Current Cross Section* (Figura 28)

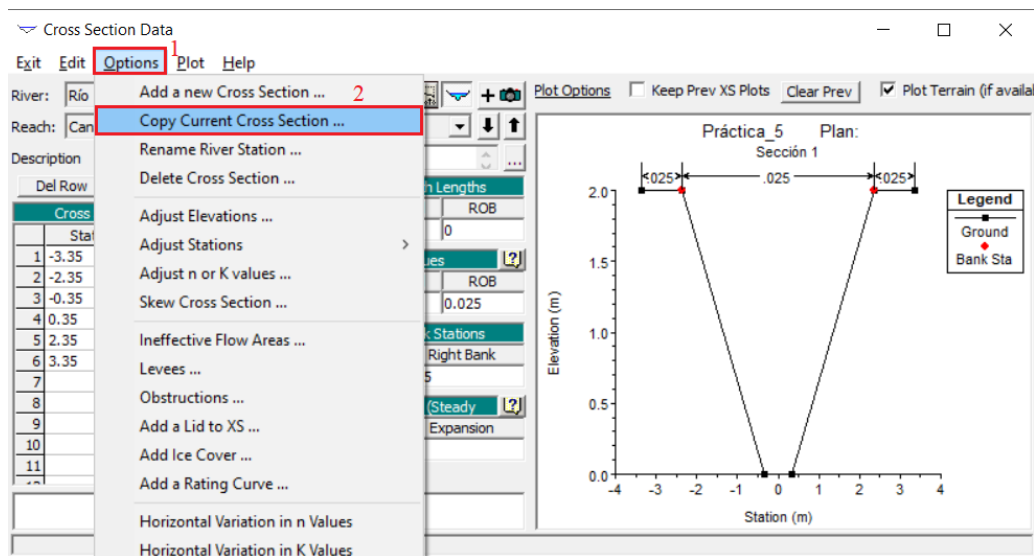


Figura 28 Ventana para copiar la actual sección transversal

- ✓ Luego de esto aparecerá una ventana en la que nuevamente se solicitará un indicativo para esta segunda sección transversal, en este caso se utilizará el número 2 (Figura 29)

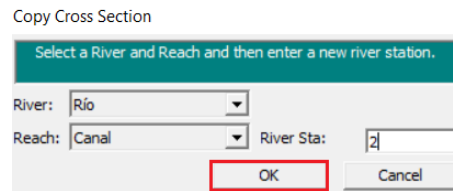


Figura 29 Ventana para el indicativo de la segunda sección transversal

- ✓ Para finalmente dar clic en *Ok*.
- ✓ Luego de esto aparecerá una nueva sección transversal, con los mismos datos de la sección 1, que deberá cambiar de la siguiente manera
- ✓ En la sección de *Description* coloque *Sección 2* (Figura 30)



Figura 30 Ventana para la descripción de la segunda sección transversal

- ✓ En la sección de *Downstream Reach Lengths* coloque el valor de 10, ya que la sección inmediatamente aguas debajo de la sección 2, está a 10 metros de distancia como lo dicta el problema (Figura 31)

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
10	10	10

Figura 31 Ventana para definir la distancia hasta la sección aguas abajo

- ✓ Para el caso de la ubicación de la sección transversal se procederá a desarrollar el siguiente procedimiento

Dé clic en *Options* y luego en *Adjust Elevations*, lo cual permitirá ajustar los valores de elevación en la sección transversal (Figura 32)

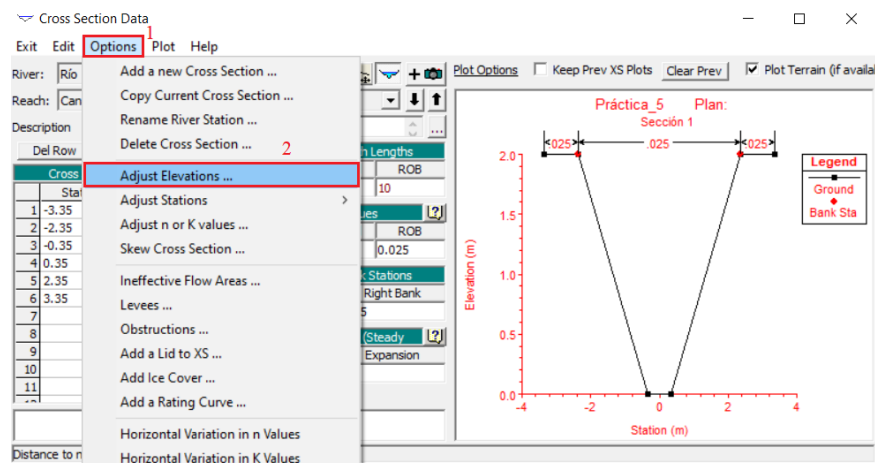


Figura 32 Ventana para el ajuste de las elevaciones para la sección 2

Del desarrollo del problema se encontró que el valor de la pendiente es de 0.001, por lo tanto, al tener una distancia de 10 metros y multiplicarla por el valor de la pendiente, se encontrará la

altura a la cual se encuentra la sección 2. Dando como resultado que la sección 2 se encuentra a 0.01 metros

- ✓ Se abrirá la siguiente ventana en la que deberá ingresar el valor de 0.01 y dar clic en *OK* (Figura 33)

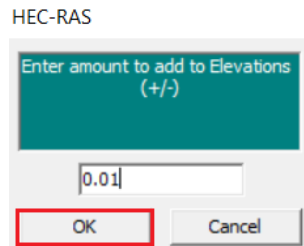


Figura 33 Ventana para el ajuste de la elevación en la sección 2

- ✓ Se encontrará con una ventana como la siguiente, la cual poseerá todos los datos y finalmente dará clic en *Apply Data* (Figura 34)

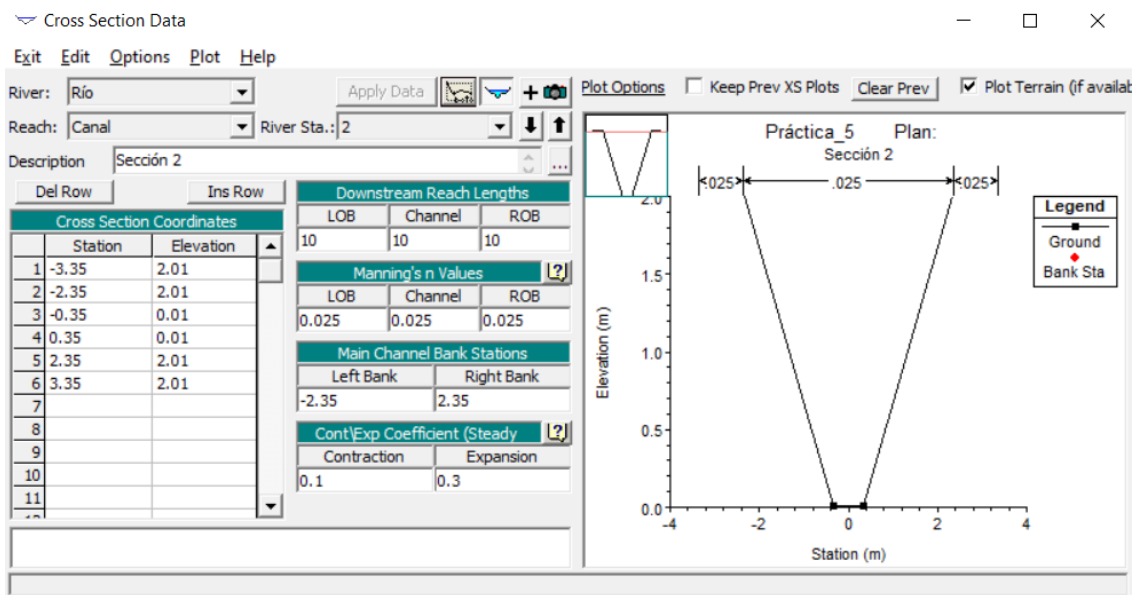


Figura 34 Ventana para la segunda sección transversal

- ✓ Cierre la ventana presente en la Figura 34
- ✓ Obtendrá una ventana como se muestra a continuación en la Figura 35

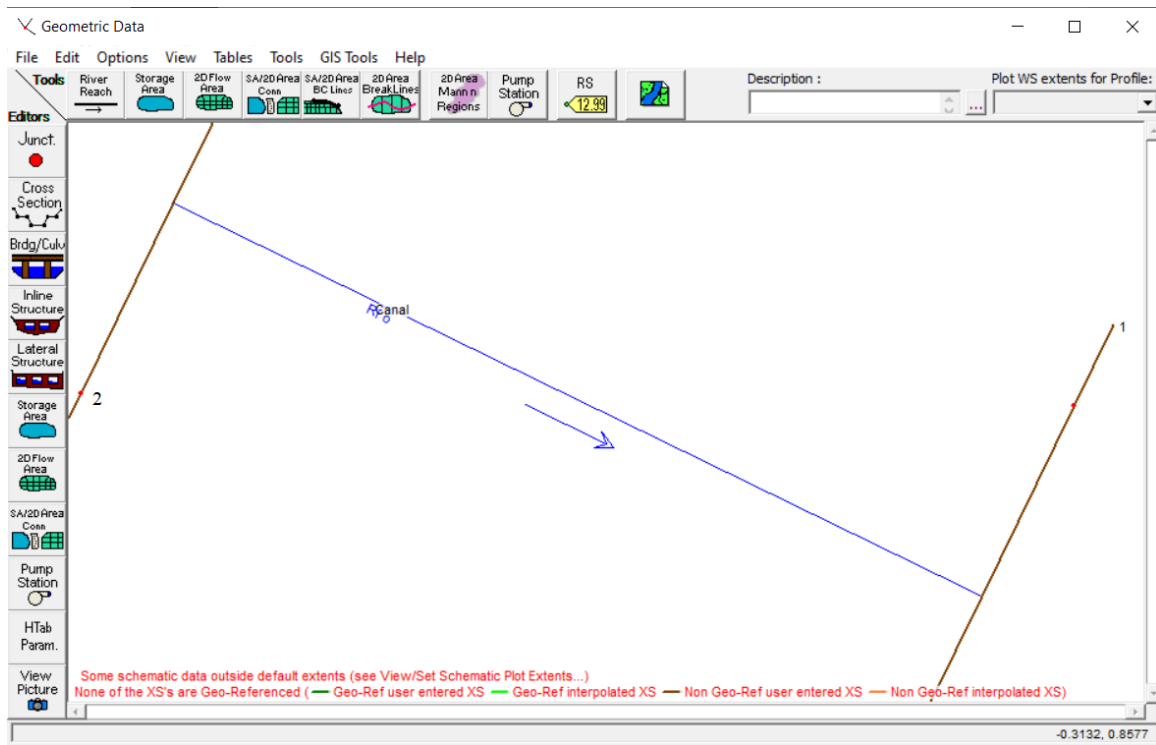


Figura 35 Ventana final de los datos geométricos

- ✓ Para el guardado de los datos geométricos proceda a dar clic en *File* y luego en *Save Geometry Data* (Figura 36)

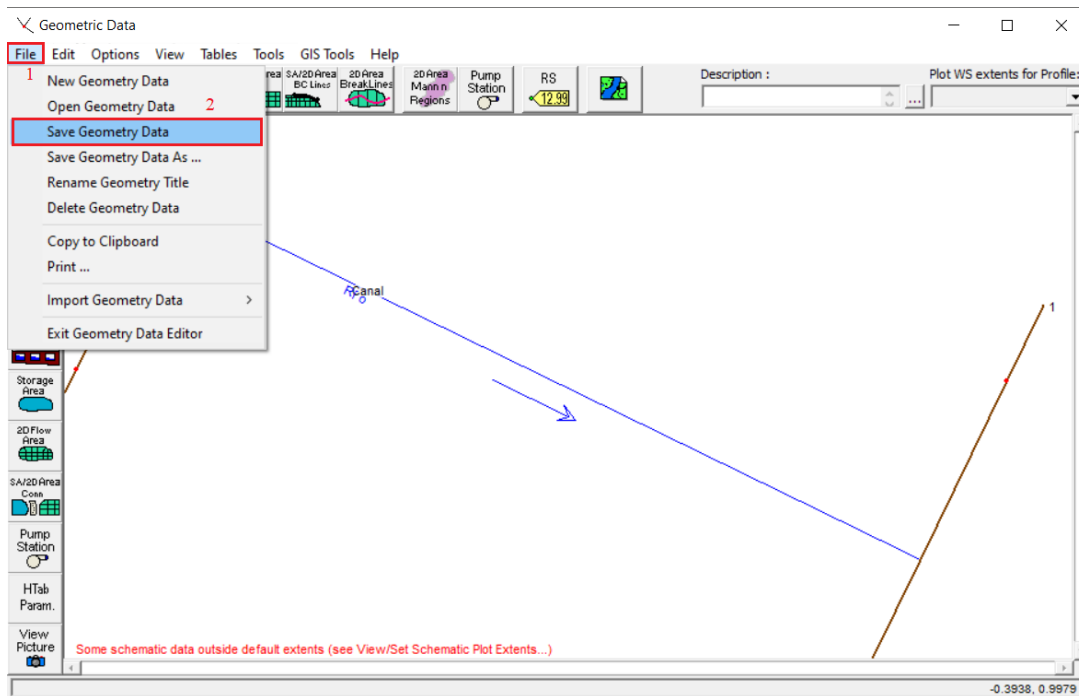


Figura 36 Ventana para el guardado de los datos geométricos

- ✓ Aparecerá la siguiente ventana en la cual deberá ingresar el título de *Geometría_5* para finalmente dar clic en *Ok* (Figura 37)

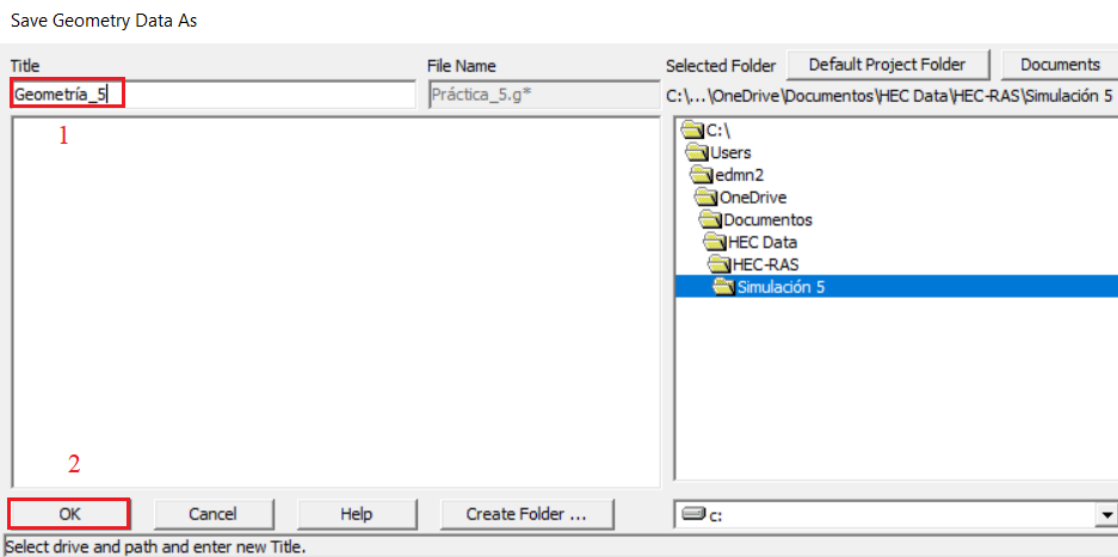


Figura 37 Ventana del guardado de los datos geométricos

- ✓ Al final volverá a la ventana que se muestra en la Figura 35, pero con los datos geométricos guardados (Figura 38)

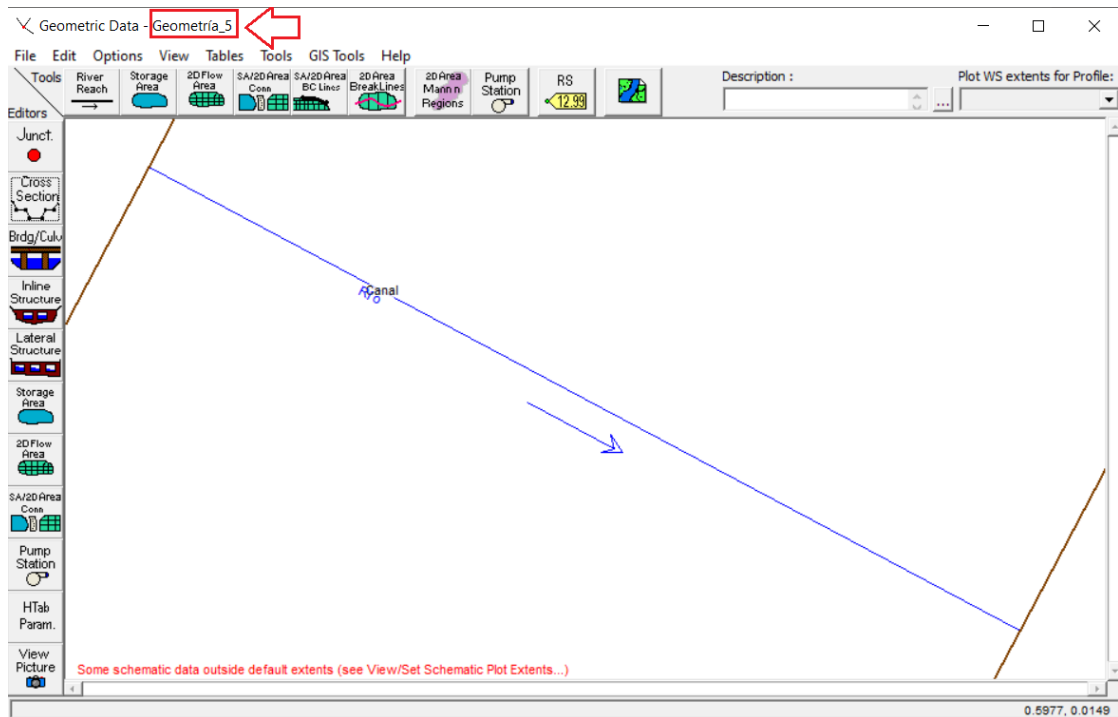


Figura 38 Ventana con los datos geométricos guardados

- ✓ Proceda a cerrar la ventana presentada en la Figura 38 y se le presentará la siguiente ventana del programa HEC-RAS (Figura 39)

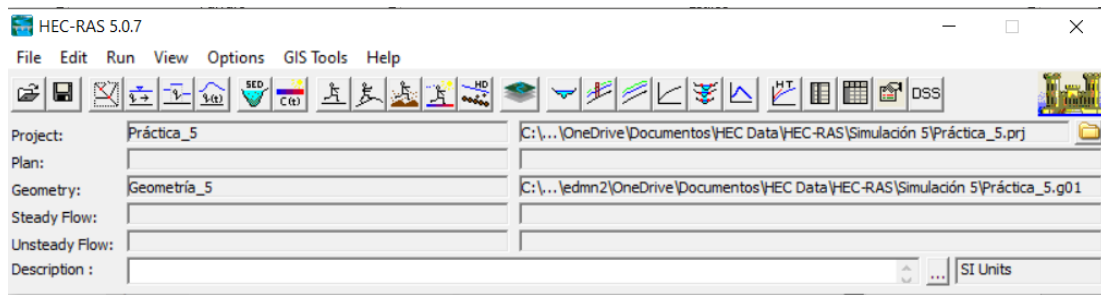


Figura 39 Ventana de HEC-RAS con los datos geométricos guardados

5.3.4 Datos del flujo

En este punto, se procederá a ingresar el valor del caudal y las condiciones de contorno que para este caso será la pendiente. Hay que tener en cuenta que a la hora de ingresar valores en el programa HEC-RAS, se deben tener en cuenta, una serie de reglas en el ingreso de las condiciones de contorno que se pueden consultar a profundidad en la siguiente página web:

- ✓ Página de Hidrojing (*Condiciones de contorno en HEC-Ras, simulación en régimen permanente* - HidrojING, 2013): www.hidrojing.com

Datos del flujo

- ✓ Para ingresar los datos del flujo, dé clic en el icono de *Steady Flow Data*, de la ventana principal de HEC-RAS (Figura 40)

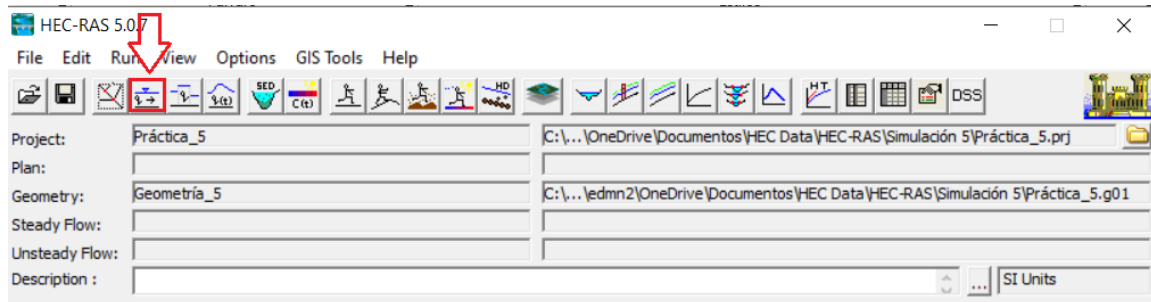
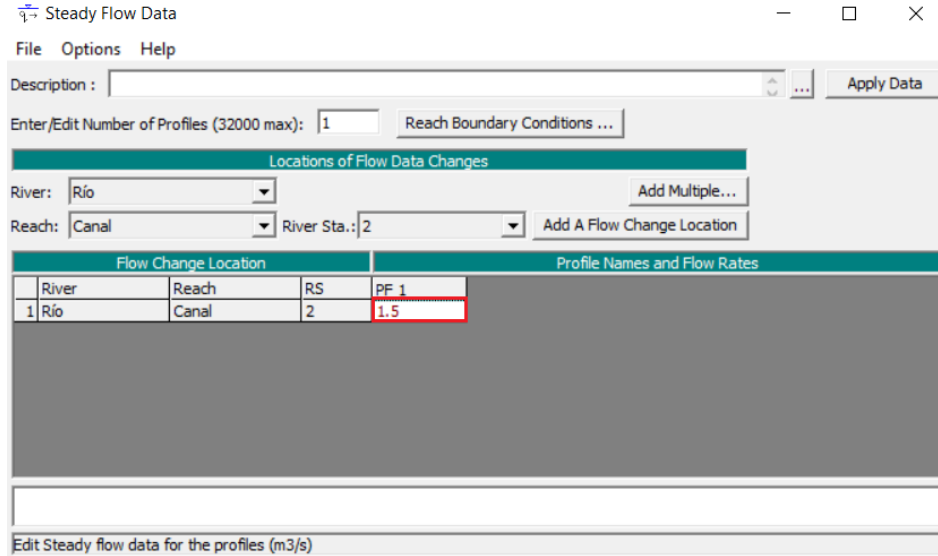


Figura 40 Ventana del programa HEC-RAS y el icono Steady Flow Data

- ✓ Se abrirá la siguiente ventana en la cual procederá a ingresar el valor del caudal que es de 1.5 [m³/s] en la casilla especificada (Figura 41)



Steady Flow Data

File Options Help

Description :

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):

Locations of Flow Data Changes

River:

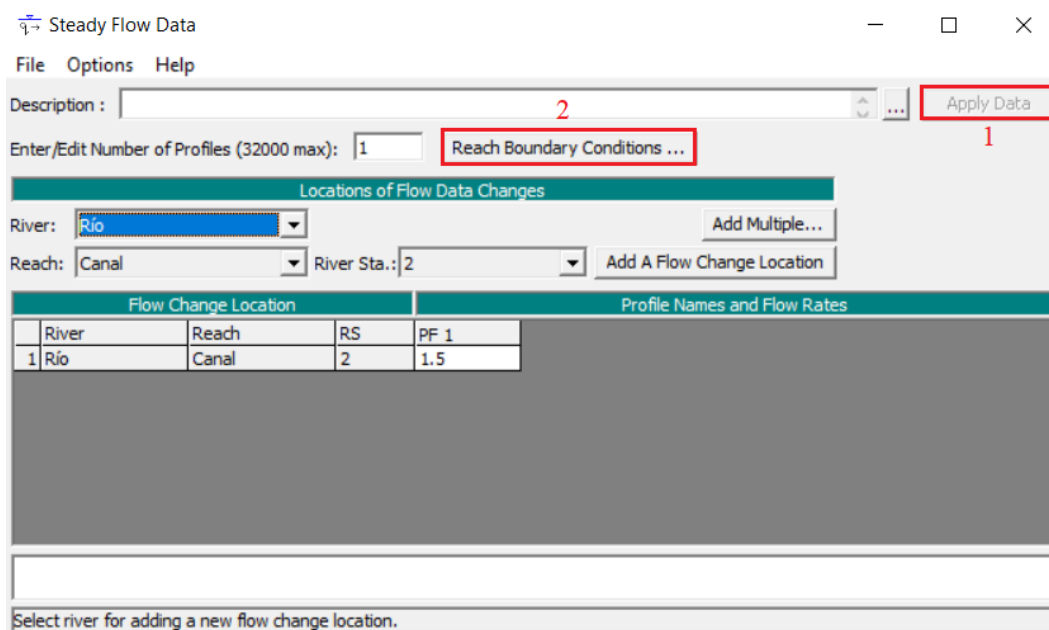
Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates
River	Reach	RS	PF 1
1 Río	Canal	2	1.5

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Figura 41 Ventana para el ingreso del valor del caudal

- ✓ Luego dé clic en *Apply Data* y luego en *Reach Boundary Conditions* (Figura 42)



Steady Flow Data

File Options Help

Description : 1

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 2

Locations of Flow Data Changes

River:

Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates
River	Reach	RS	PF 1
1 Río	Canal	2	1.5

Select river for adding a new flow change location.

Figura 42 Ventana de aplicación de datos y botón de condiciones de contorno

- ✓ Se abrirá una nueva ventana de condiciones de contorno, y si se ha leído la página web que se especificó en esta sección al comienzo (**5.3.4 Datos del flujo**), se encontrará que cuando se realizan simulaciones en flujo subcrítico en HEC-RAS, las condiciones de contorno deben establecerse en la sección aguas abajo del canal (Figura 43)

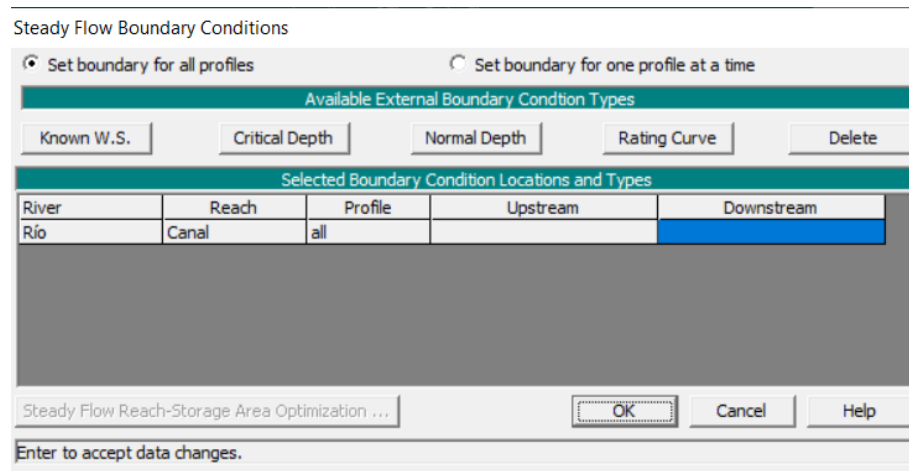


Figura 43 Ventana de condiciones de contorno para flujo uniforme

- ✓ En la ventana de la *Figura 43*, dé clic en la casilla que se encuentra debajo de la casilla de *Downstream* y esta se resaltará en azul, luego de esto dé clic en *Normal Depth* como se muestra en la *Figura 44*

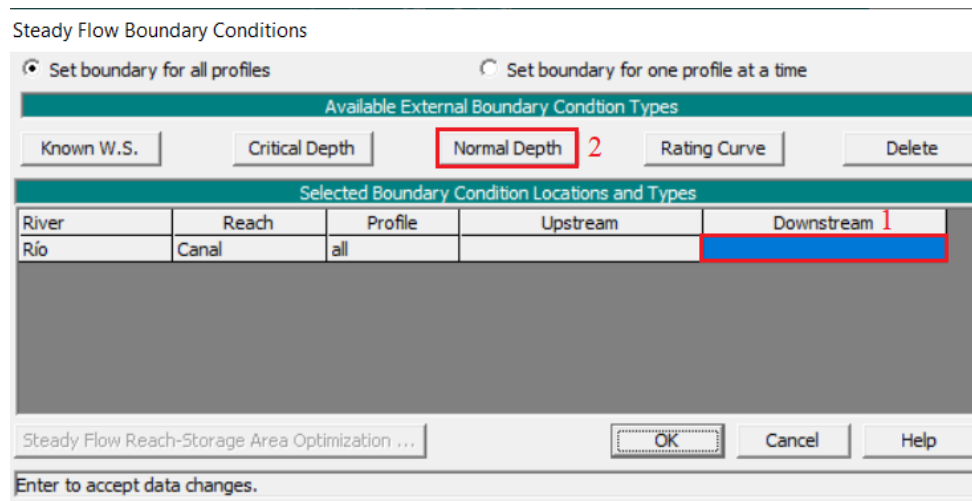


Figura 44 Ventana para establecer las condiciones de contorno en la sección aguas abajo del tramo a estudiar

- ✓ Se abrirá la siguiente ventana en la cual se establecerá el valor de la pendiente del canal, en la cual ingresará el valor de la pendiente encontrada que es de 0.001 (*Figura 45*)

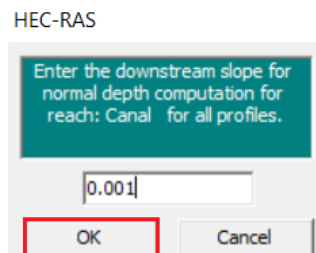


Figura 45 Ventana para definir el valor en la pendiente de la sección aguas abajo del canal

- ✓ Luego de esto se le abrirá la siguiente ventana (*Figura 46*)

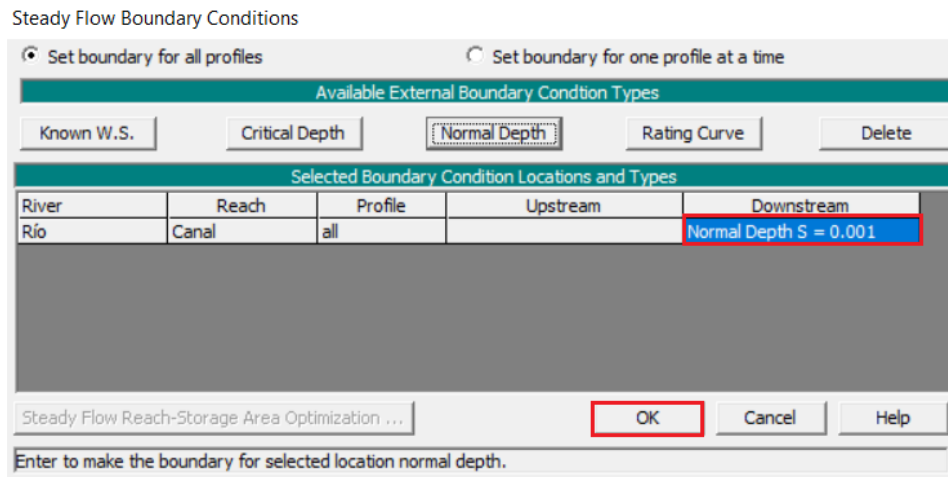


Figura 46 Ventana de las condiciones de contorno establecidas

- ✓ Luego dé clic en *Ok*
- ✓ Volverá a la ventana mostrada en la *Figura 41*. Es aquí donde dará clic en *File* y luego en *Save Flow Data* (*Figura 47*)

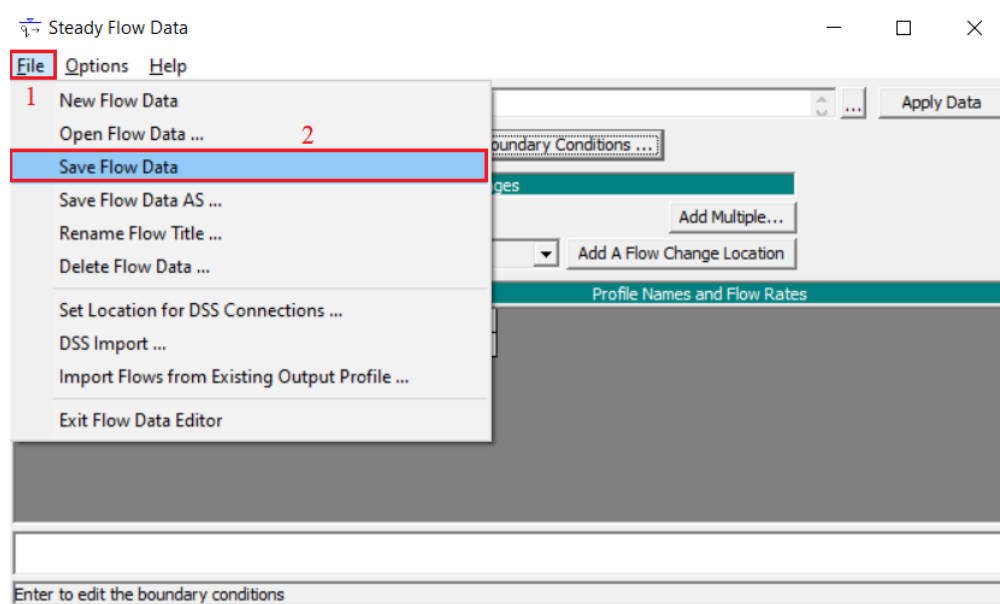


Figura 47 Ventana para el guardado de los datos del flujo

- ✓ Se abrirá la siguiente ventana en la cual pondrá como nombre a los datos del flujo *Flow_5* para luego dar clic en *Ok* (*Figura 48*)

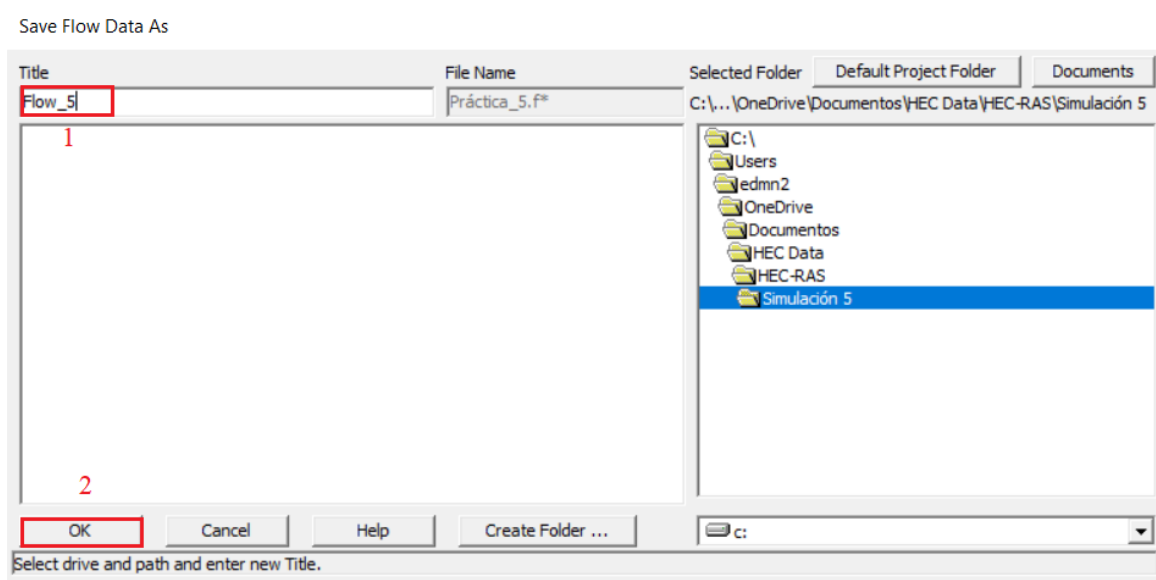


Figura 48 Ventana del guardado final de los datos de flujo

- ✓ Luego de dar clic en *Ok*, encontrará la siguiente ventana (*Figura 49*)

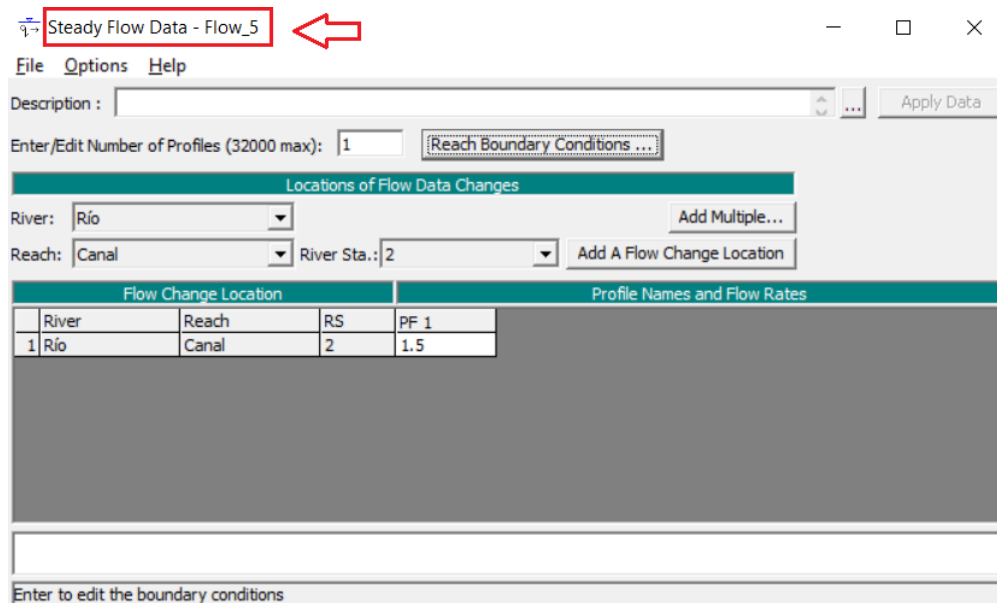


Figura 49 Ventana de los datos del flujo respectivamente guardados

- ✓ Al cerrar la ventana presente en la *Figura 49*, encontrará la ventana principal de HEC-RAS que se presenta en la *Figura 50*

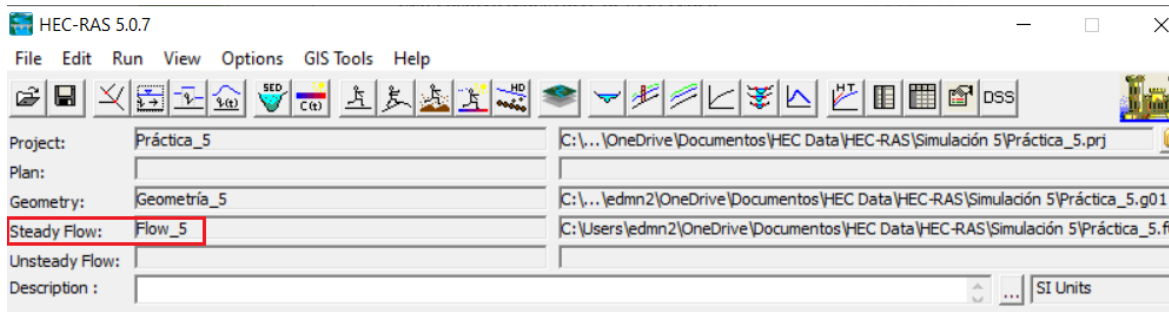


Figura 50 Ventana principal de HEC-RAS con los datos de flujo asociados

- ✓ De esta manera ya tiene configurada la geometría del problema y los datos de flujo asociados a este.

5.3.5 Plan de la simulación

Para realizar el plan de la simulación hay que tener en cuenta que es un flujo subcrítico y se realizará de la siguiente manera:

- ✓ Dé clic en el icono de *Perform a Steady Flow Simulation* (Figura 51)

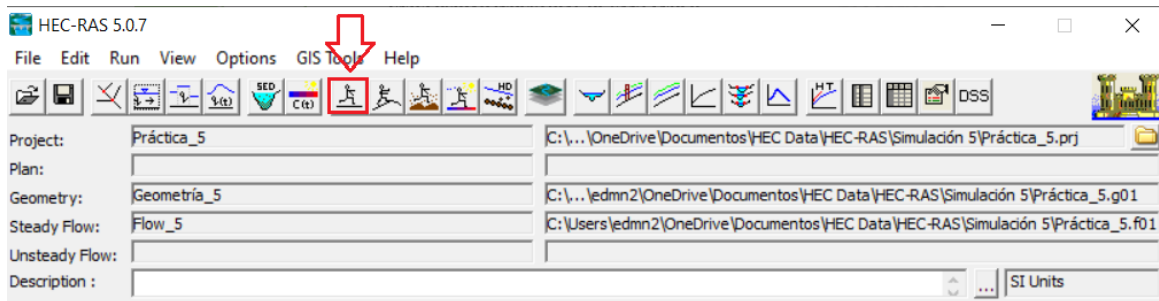


Figura 51 Ventana del programa HEC-RAS y el icono de Perform a Steady Flow Simulation

- ✓ Se abrirá la siguiente ventana en la cual se asegurará que el régimen del flujo sea *Subcritical* (Figura 52)

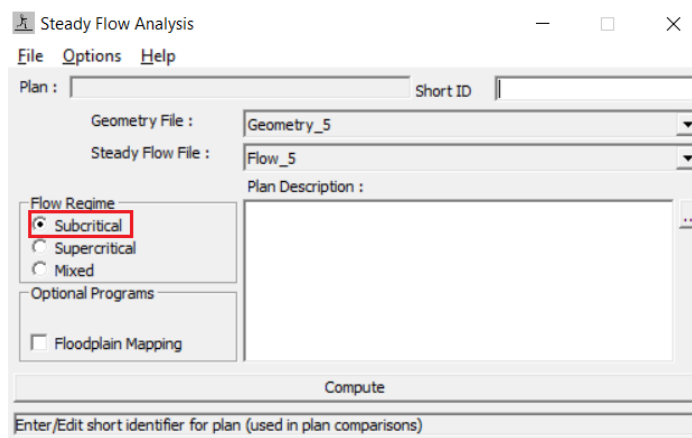


Figura 52 Ventana del análisis del flujo permanente con el régimen subcrítico

- ✓ Luego dé clic en *File>Save Plan* (Figura 53)

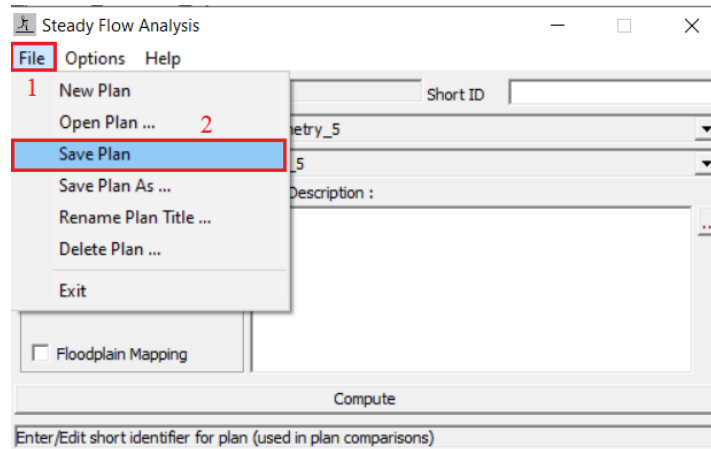


Figura 53 Ventana para el guardado del plan de análisis en flujo permanente

- ✓ Ingrese el nombre del plan “Plan_5” para luego hacer clic en “Ok” (Figura 54)

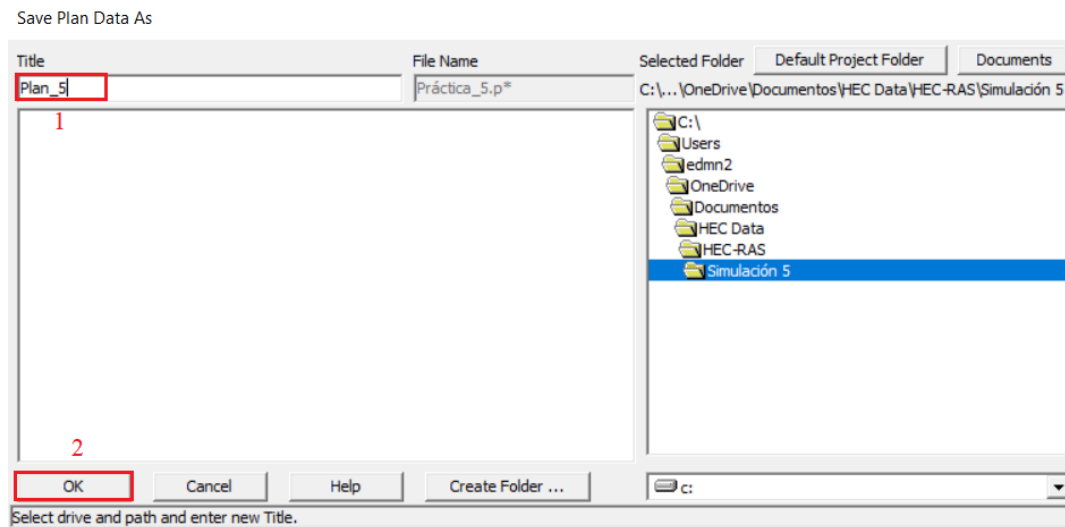


Figura 54 Ventana del guardado del plan de análisis para flujo permanente

- ✓ Ingrese el indicativo “01” y dará clic en “Ok” (Figura 55)

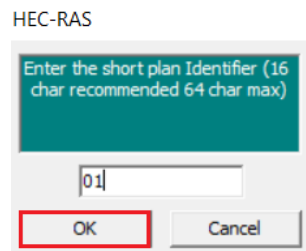


Figura 55 Ventana para el indicativo del plan a realizar

- ✓ Deberá regresar a la ventana mostrada en la Figura 56

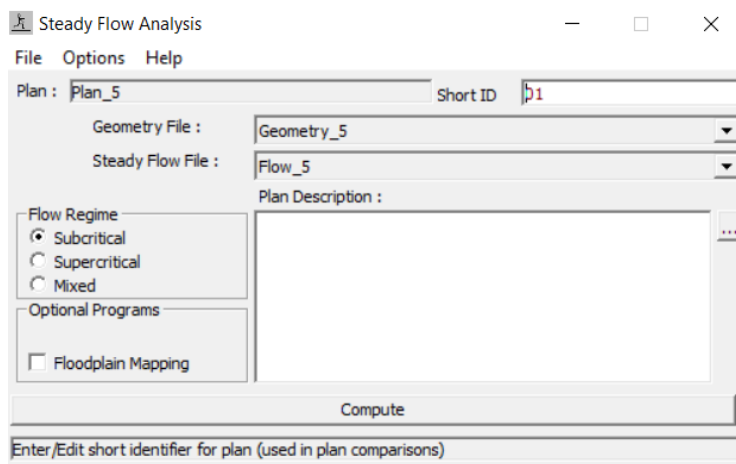


Figura 56 Ventana del plan de análisis para flujo permanente en régimen subcrítico final

Luego de esto dé clic en el icono de computar que se muestra en la *Figura 57*

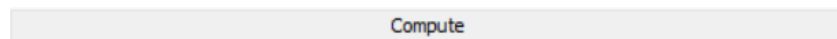


Figura 57 Icono para computar en análisis

Finalmente aparecerá un recuadro donde se evidenciará el avance de la simulación. Al finalizar el proceso dé clic en el icono de *Close* (*Figura 58*)

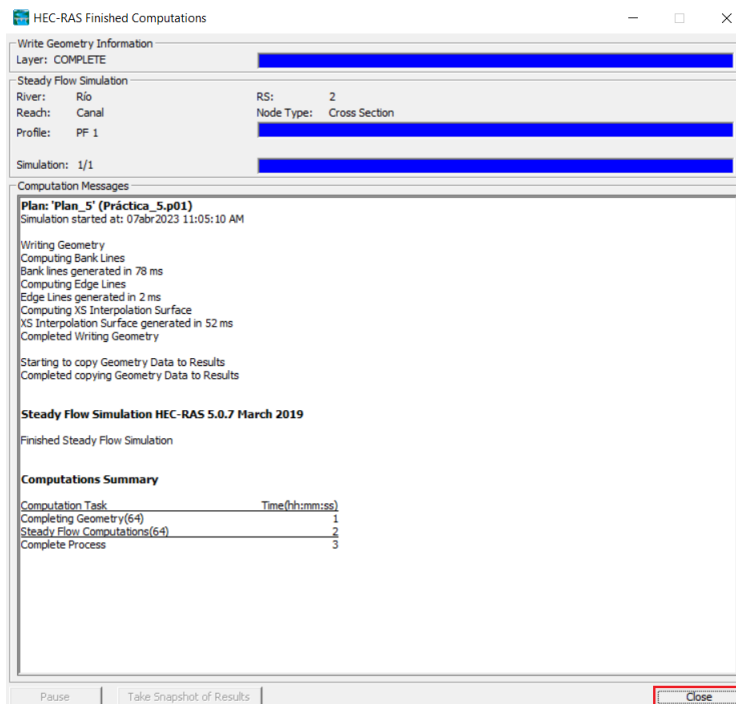


Figura 58 Ventana de computación de la simulación

Nota: Si desea realizar modificaciones en las condiciones de la simulación, solo debe cambiar los datos que desee editar (geometría, flujo, condiciones de frontera, etc), guardar esos datos y luego computar nuevamente el proyecto.

5.3.6 Presentación de resultados

Para conocer los resultados de la simulación, desarrolle el siguiente procedimiento:

- ✓ Regrese a la ventana inicial de HEC-RAS (Figura 59) y proceda a ubicar las diferentes herramientas que tiene para la visualización de resultados (Figura 60)

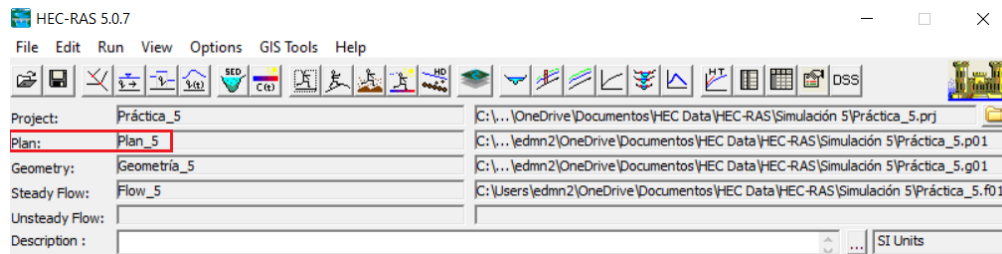


Figura 59 Ventana de HEC-RAS con los datos del plan de simulación añadidos



Figura 60 Iconos de los comandos principales de HEC-RAS

- ✓ Resultados de las secciones transversales (Figura 61)



Figura 61 Secciones transversales

- ✓ Resultados del perfil longitudinal (Figura 62)



Figura 62 Perfil longitudinal

- ✓ Resultados de la vista 3D del canal (Figura 63)



Figura 63 Vista 3D

- ✓ Tabla resumen de los resultados (Figura 64)



Figura 64 Tabla resumen

Importante: Con el ánimo de no extender tanto este documento, la explicación de cómo obtener y visualizar los resultados se explicará a detalle en el video que enmarca el proceso realizado en esta guía.

5.3.7 Guardado final del proyecto

- ✓ Finalmente, para guardar todo el proyecto y demás componentes de este, dé clic en *File>Save Project* (Figura 65)



Figura 65 Guardado final del proyecto en HEC-RAS

5.4 Video de la simulación

A continuación, se presentará el enlace del video que hace referencia a la simulación número cinco presentada en este documento. Este video hace parte de una serie de tutoriales que apoyan al usuario en el manejo del programa computacional abordado en cada una de las simulaciones.

- ✓ Enlace del video: <https://youtu.be/EwnjNNcYq2g>

6. Descripción del entregable

6.1 Entregables de la simulación inicial

Debe entregar en archivo PDF un documento donde se realice una captura de toda la pantalla (no solo una sección del programa computacional sino **TODA LA PANTALLA DEL ESCRITORIO**) de los siguientes pasos durante el proceso.

- ✓ El guardado del proyecto como se muestra en la *Figura 7*
- ✓ Las secciones transversales finales presentadas en la *Figura 27* y *Figura 34*
- ✓ El guardado de los datos geométricos como se muestra en la *Figura 37*
- ✓ La ventana que muestra las especificaciones para las condiciones de contorno, presentada en la *Figura 46*
- ✓ El guardado de los datos del flujo presentado en la *Figura 48*
- ✓ El guardado del plan de simulación presentado en la *Figura 54*
- ✓ La ventana que muestra que la simulación se ha corrido con éxito mostrada en la *Figura 58*
- ✓ Los resultados obtenidos al ver el video de la simulación que se obtienen de la *Figura 61*, *Figura 62*, *Figura 63* y *Figura 64*

6.2 Preguntas de análisis

Desarrolle las siguientes preguntas sustentando **las respuestas necesarias** con los resultados obtenidos del programa.

1. Escriba un párrafo tipo Abstract sobre el trabajo realizado. Recuerde que un abstract u resumen contiene una oración introductoria, una oración que describe el objetivo del trabajo, sigue con la metodología, los resultados, y finaliza con las conclusiones y recomendaciones a partir del análisis de los resultados.
2. A partir de las secciones **4.5 – 4.6** y **4.7** del marco teórico de este documento que tratan sobre la ecuación de Manning, ¿qué logra inferir sobre esta información y de qué manera es útil para el cálculo de la velocidad en una sección transversal?
3. Considerando la nota presentada al final de la sección **5.3.5 Plan de simulación**, ¿qué ajustes se deben hacer en una nueva simulación si la normativa permitiera una velocidad de 1.5 [m/s] para el canal? Para responder esto, realice una nueva simulación utilizando un coeficiente de rugosidad de 0.025 y tenga en cuenta las ecuaciones presentadas en la sección **5.2 Valor de la pendiente del canal** (presente evidencias de la nueva simulación). Además, destaque las diferencias encontradas en la nueva simulación en comparación con la simulación inicial y presente sus conclusiones sobre las diferencias encontradas (pista: tenga en cuenta que también se debe realizar un ajuste en la sección de **Condiciones de contorno** al momento de realizar la nueva simulación).

7. Referencias Bibliográficas

- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*.
https://www.academia.edu/43519012/Ven_Te_Chow_HIDRAULICA_DE_CANALES_ABIERTO
S
- Condiciones de contorno en HEC-Ras, simulación en régimen permanente—Hidrojing*. (2013, marzo 25). <https://www.hidrojing.com/condiciones-de-contorno-en-hec-ras/>
- HEC-RAS*. (2008, marzo). <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- Marbello, R. (2005). 7. *Flujo uniforme y determinación de la rugosidad en canales*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%2011.pdf?sequence=14&isAllowed=y>
- Villón, B. (1995). *Hidráulica de canales*. <https://uis-odilotk-es.bibliotecavirtual.uis.edu.co/>.
<https://pdfb9c6919cf9985b759bfeca2ebb3e1fa1.odilo.us/#/e81c25ea3bb04acc86cfe4f557ac2fae/18955710ff93c4e1ea3445e0c6c773fc3fa6b9587e23c2b8572103ae049747ae>