

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 video “Curso Básico de HEC-RAS – Clase N°03: Simulación Hidráulica de un Canal Rectangular” desarrollado por el canal **HidroGIS (2019)**, disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=iUD1JaQhQtQ>. Adaptado y aplicado al Laboratorio de Hidráulica de la **Universidad Industrial de Santander (UIS)** por el estudiante **Marlon Yadir Gonzalez Santos y Silvia Fernanda Jaimes Toloza** como práctica de simulación computacional.

Las guías de simulación desarrolladas en el presente trabajo se basan en el trabajo de grado de Malaver Nieto (2023), adaptando su metodología a las condiciones y objetivos del presente estudio.

1. Objetivos de la simulación

- ✓ Desarrollar una simulación hidráulica de un canal rectangular mediante el uso del software HEC-RAS, con el propósito de analizar el comportamiento del flujo uniforme y la influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en los parámetros hidráulicos fundamentales, y comparar los resultados obtenidos con los generados en el programa H-Canales para fortalecer la comprensión práctica de la hidráulica de canales abiertos.
- ✓ Analizar el comportamiento del flujo uniforme y subcrítico en el canal, identificando parámetros clave como profundidad normal, área hidráulica, velocidad y número de Froude. Analizar los conceptos del flujo uniforme y los coeficientes de rugosidad mediante la solución de preguntas orientadoras.
- ✓ Evaluar la influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en las características hidráulicas del canal y su relación con el régimen de flujo.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos en HEC-RAS con los generados en el software H-Canales, identificando similitudes y diferencias que fortalezcan el proceso de aprendizaje en la modelación de canales abiertos.

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
- ✓ Seguir la guía para la instalación de H-CANALES.

3. Introducción

En el estudio de la hidráulica de canales abiertos, uno de los factores fundamentales para comprender el comportamiento del flujo es la rugosidad de las superficies por donde circula el agua. Este parámetro influye directamente en la resistencia al flujo y, por ende, en la velocidad, la profundidad y el régimen hidráulico alcanzado. La rugosidad está determinada por las características físicas del canal, como el material de sus paredes (tierra, concreto, mampostería, vegetación, entre otros), su forma, y las condiciones naturales a las que se ve expuesto, lo que con el tiempo puede modificar su estructura y afectar el movimiento del agua (Chow, 1994; Henderson, 1966).

La necesidad de cuantificar este efecto ha llevado al desarrollo de diferentes fórmulas empíricas, siendo la ecuación de Manning una de las más utilizadas por su simplicidad y precisión en la predicción del flujo uniforme. Esta expresión permite estimar la velocidad media del flujo considerando el coeficiente de rugosidad, un valor que varía según las condiciones del canal y que ha sido determinado a partir de numerosos ensayos experimentales (Mays, 2011; Sturm, 2010). Sin embargo, la estimación del coeficiente no es un proceso exacto; en la práctica, depende tanto del criterio técnico del ingeniero como de la experiencia acumulada en diseños y observaciones previas (Chow, 1994).

La selección adecuada del coeficiente de rugosidad es esencial para el diseño hidráulico, ya que pequeñas variaciones pueden alterar significativamente el comportamiento del flujo. Por ello, la formación de ingenieros requiere no solo conocer los valores tabulados para distintos materiales, sino también entender los factores que los afectan y cómo aplicarlos en modelos analíticos y numéricos (Henderson, 1966; Sturm, 2010). El uso de herramientas de simulación como HEC-RAS facilita este proceso, al permitir representar de manera precisa el comportamiento del flujo en distintos escenarios y comparar resultados con otros métodos, como los obtenidos con H-Canales, contribuyendo a un aprendizaje más profundo de los fenómenos hidráulicos.

4. Marco Teórico

4.1 Flujo uniforme en canales abiertos

El flujo uniforme en canales abiertos es aquel en el que las características hidráulicas (profundidad del flujo, velocidad media, sección transversal) permanecen constantes a lo largo de un tramo del canal, asumiendo que no hay variaciones de pendiente ni de sección lateral, y que no hay aportes laterales de caudal ni pérdidas significativas aparte de la fricción. Este concepto es fundamental en hidráulica de canales, porque sirve como punto de partida para analizar regímenes más complejos (variaciones graduales, saltos hidráulicos, flujo turbulento, etc.).

4.2 Establecimiento del flujo uniforme

Se denomina **flujo uniforme** al régimen en el que la velocidad media, el caudal y la profundidad se mantienen constantes a lo largo de una longitud determinada del canal. Esto implica que las pendientes de la línea de energía (S_f), de la superficie libre (S_w) y del fondo del canal (S_o) son iguales:

$$S_f = S_w = S_o = S \quad (1)$$

De esta condición se deriva que la fuerza de gravedad que impulsa el flujo es igual a la resistencia hidráulica generada por la fricción con las paredes del canal (Villón, 1995). Este equilibrio caracteriza al flujo uniforme y permite simplificar el análisis hidráulico bajo condiciones estacionarias.

En la **Figura 1** se muestra el proceso de establecimiento del flujo uniforme para distintos tipos de pendiente del canal: subcrítica, crítica y supercrítica (Chow, 1994).

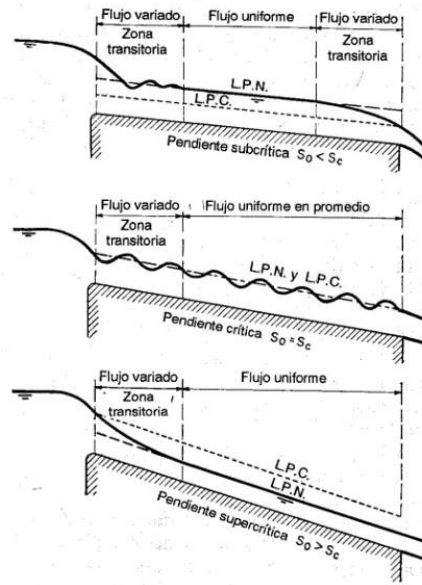


Figura 1. Establecimiento del flujo uniforme en un canal abierto.

Fuente: Adaptado de Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill

4.3 Ecuaciones básicas del flujo uniforme

A lo largo de la historia, se han propuesto diferentes expresiones empíricas para determinar la velocidad media del flujo uniforme. Entre las más utilizadas se encuentran las ecuaciones de Chézy, Darcy-Weisbach y Manning.

4.3.1 Ecuación de Chézy

Desarrollada en 1769 por Antoine Chézy, esta fue una de las primeras relaciones entre la velocidad media, la rugosidad del canal y la pendiente hidráulica. Se expresa como:

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

donde:

V = velocidad media (m/s)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente de la línea de energía

C = coeficiente de Chézy ($m^{1/2}/s$)

Aunque sencilla, su limitación radica en la determinación empírica del coeficiente C , que depende de la rugosidad y de las condiciones del flujo (Chow, 1994).

4.3.2 Ecuación de Darcy-Weisbach

Basada en principios de mecánica de fluidos, la ecuación de Darcy-Weisbach expresa la pérdida de energía por fricción como:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (3)$$

donde:

h_f = pérdida de carga por fricción (m)

f = factor de fricción de Darcy-Weisbach

L = longitud del tramo (m)

D = diámetro hidráulico (4R para canales abiertos)

V = velocidad media (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Esta ecuación es más general y teóricamente rigurosa, pero su aplicación práctica en canales abiertos suele reemplazarse por la ecuación de Manning debido a su simplicidad.

4.3.3 Ecuación de Manning

La ecuación de Manning, presentada en 1889, es una de las expresiones más utilizadas en hidráulica aplicada. Permite determinar la velocidad media o el caudal en función de la rugosidad, el radio hidráulico y la pendiente del canal:

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

O en forma de caudal:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

donde:

V = velocidad media (m/s)

Q = caudal (m³/s)

A = área mojada (m²)

$R = \frac{A}{P}$ = radio hidráulico (m)

S = pendiente de la energía (adimensional)

n = coeficiente de rugosidad de Manning (s/ m^{1/3})

Esta ecuación supone flujo permanente y completamente desarrollado, con velocidad uniforme en la sección transversal. Su simplicidad y precisión la han hecho ampliamente adoptada en ingeniería (Marbello, 2005).

4.4 Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning

El valor del coeficiente de rugosidad n depende de numerosos factores físicos y ambientales que alteran la resistencia al flujo (USGS, 2023; Martínez et al., 2025):

- **Material del lecho:** superficies lisas (concreto) presentan valores bajos de n , mientras que cauces con grava o vegetación incrementan la resistencia.
- **Irregularidades geométricas:** cambios bruscos en la sección transversal, curvas o estrechamientos aumentan n .
- **Vegetación:** la densidad y tipo de cobertura vegetal influyen directamente en la resistencia al flujo.
- **Sedimentación y erosión:** procesos morfodinámicos modifican el perímetro mojado y el radio hidráulico.
- **Profundidad del flujo:** a mayor tirante, la rugosidad relativa tiende a disminuir, reduciendo n .

Estudios recientes incorporan mediciones tridimensionales del lecho mediante escaneo LiDAR y técnicas de visión computarizada para estimar la rugosidad efectiva con alta precisión (Liu & Song, 2025).

4.5 Valores típicos del coeficiente de rugosidad de Manning

Los valores del coeficiente de rugosidad n se obtienen empíricamente y varían según el tipo de material, la vegetación y la condición del canal. Diversos estudios clásicos y actuales (Chow, 1994; Villón, 1995; USGS, 1989) han recopilado rangos de referencia que permiten seleccionar valores adecuados para el diseño y análisis hidráulico.

En la siguiente tabla se presentan **valores típicos comparativos del coeficiente de rugosidad de Manning** para diferentes condiciones de canal, basados en las publicaciones del *United States Geological Survey* (USGS, 1989) y en fuentes académicas complementarias (Marbello, 2005; Martínez et al., 2025).

Tipo de canal o superficie	Valor típico de n ($s/ m^{1/3}$)	Características
Concreto liso	0.010 – 0.014	Superficie uniforme y pulida
Concreto rugoso o mampostería	0.015 – 0.020	Superficie con juntas visibles
Tierra alisada o compacta	0.018 – 0.025	Canal regular sin vegetación
Canal natural con grava	0.025 – 0.035	Fondo irregular
Canal con vegetación moderada	0.035 – 0.060	Densidad media de cobertura
Canal con vegetación densa	0.060 – 0.120	Alta resistencia al flujo

Tabla 1. Valores típicos del coeficiente de rugosidad de Manning(n)

Nota.: Elaboración propia a partir de datos de USGS (1989), Chow (1994) y Marbello (2005)

4.6 Avances recientes en la estimación del coeficiente de rugosidad

La hidráulica moderna ha incorporado nuevas metodologías para la estimación del coeficiente n . Entre ellas se destacan:

- **Métodos basados en LiDAR y fotogrametría:** permiten medir con precisión milimétrica la textura del lecho y calcular la rugosidad equivalente.
- **Modelos híbridos físico-digitales:** combinan ecuaciones hidráulicas con algoritmos de aprendizaje automático para estimar n en función de datos experimentales y de campo (Liu & Song, 2025).
- **Estudios experimentales recientes:** muestran que el tamaño de grano, la pendiente y la densidad de vegetación alteran significativamente el valor de n (Martínez et al., 2025).

Estos avances contribuyen a una estimación más robusta y dinámica de la rugosidad, superando la aproximación estática tradicional.

4.7 Aplicación práctica en el análisis hidráulico

El coeficiente de rugosidad de Manning es esencial en la predicción del comportamiento del flujo en canales. Permite determinar la velocidad, el caudal y la profundidad normal, que son parámetros de diseño fundamentales en proyectos de drenaje y conducción. La elección adecuada de n reduce la incertidumbre en los cálculos hidráulicos y garantiza un diseño eficiente y seguro.

5. Implementación de la simulación

5.1 Descripción del problema

Un canal rectangular de sección transversal $(5 \times 3) \text{ m}^2$, tiene una longitud de 100m, con cota aguas arriba de 2000 y cota aguas abajo de 1000, por el pasa un caudal $Q=12 \text{ m}^3/\text{s}$, teniendo en cuenta un periodo de retorno de (**TR=50 años**), una pendiente de **S=0.1%** y sabiendo que el material del que está hecho es de concreto liso con **$n=0.014$** , hacer la simulación de la situación en HEC-RAS 5.0.7 en flujo permanente y régimen subcrítico y comparar los parámetros como profundidad normal, área hidráulica, velocidad y número de Froude con el programa H-CANALES.

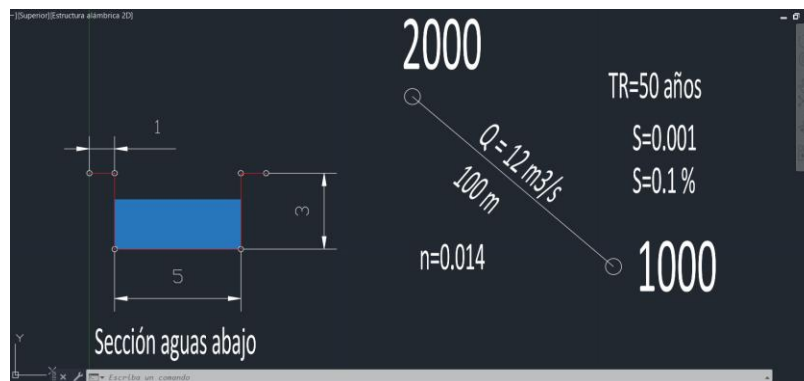


Figura 2. Datos del canal propuesto

5.2 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.

5.2.1 Abrir el programa HEC-RAS

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

5.2.2 Creación del proyecto

Vamos a crear un nuevo proyecto, para esto hacemos:

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



Figura 3. Ventana para la creación del nuevo proyecto

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

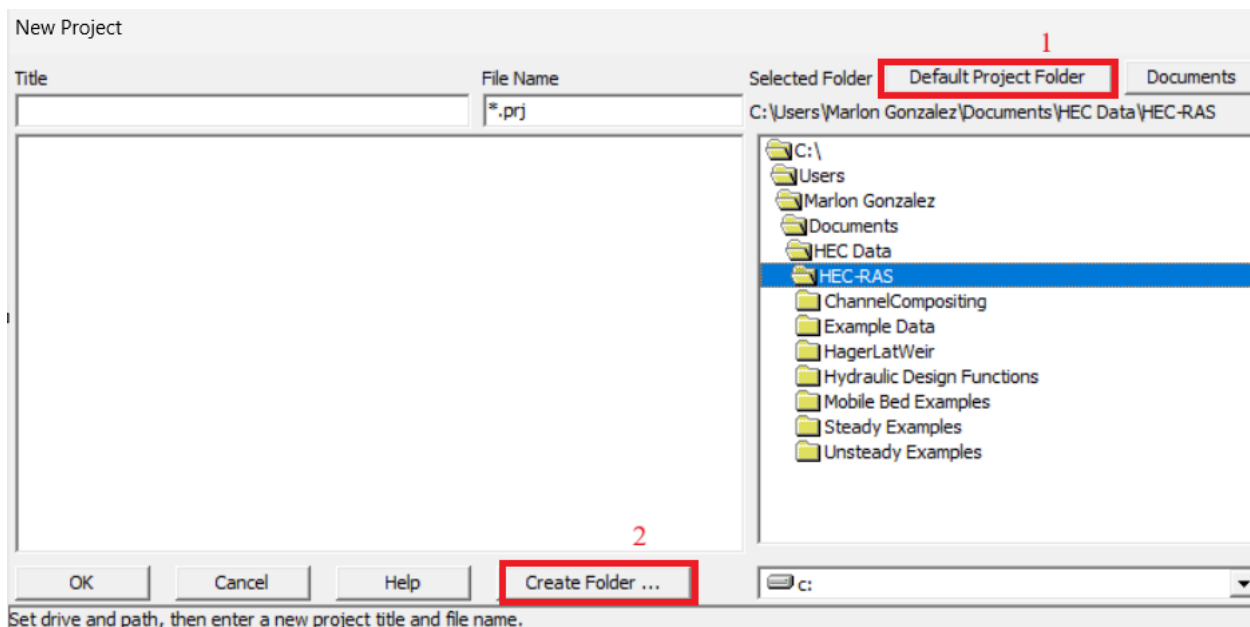


Figura 4. Ventana de creación de un nuevo proyecto

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

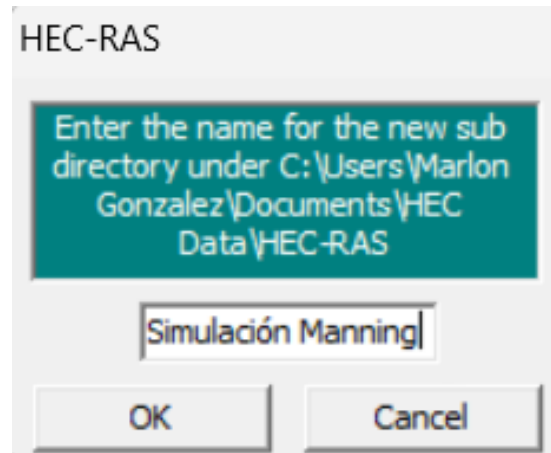


Figura 5. Ventana para nombrar la nueva carpeta

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

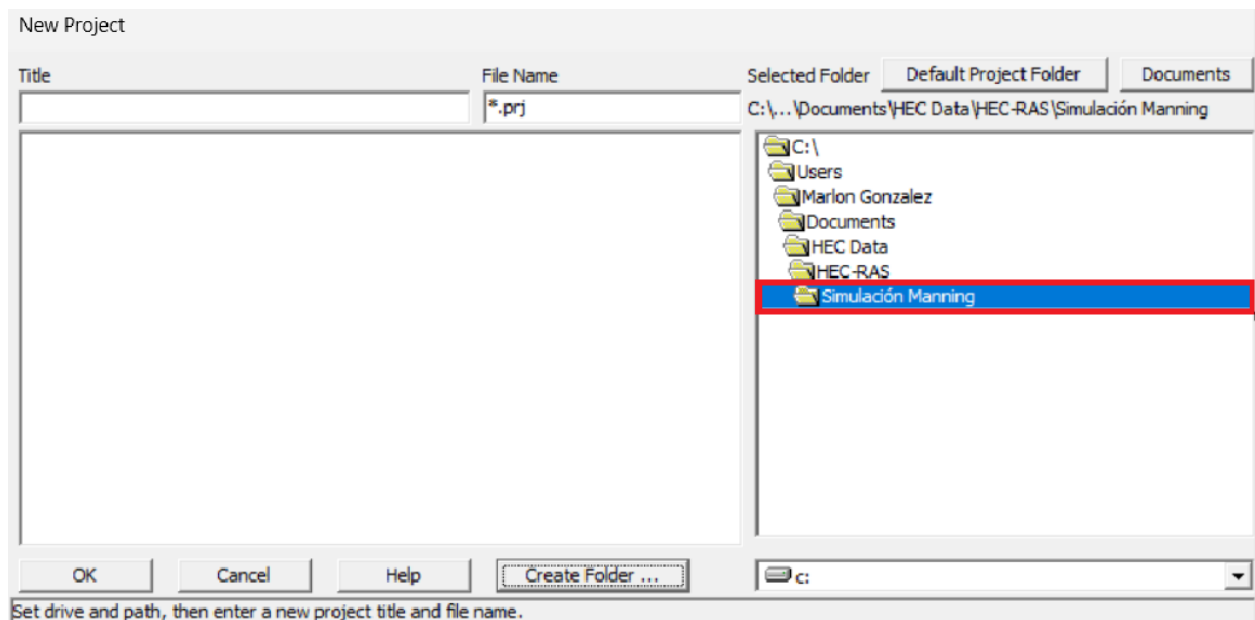


Figura 6. Ventana del proyecto con una nueva carpeta asignada

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

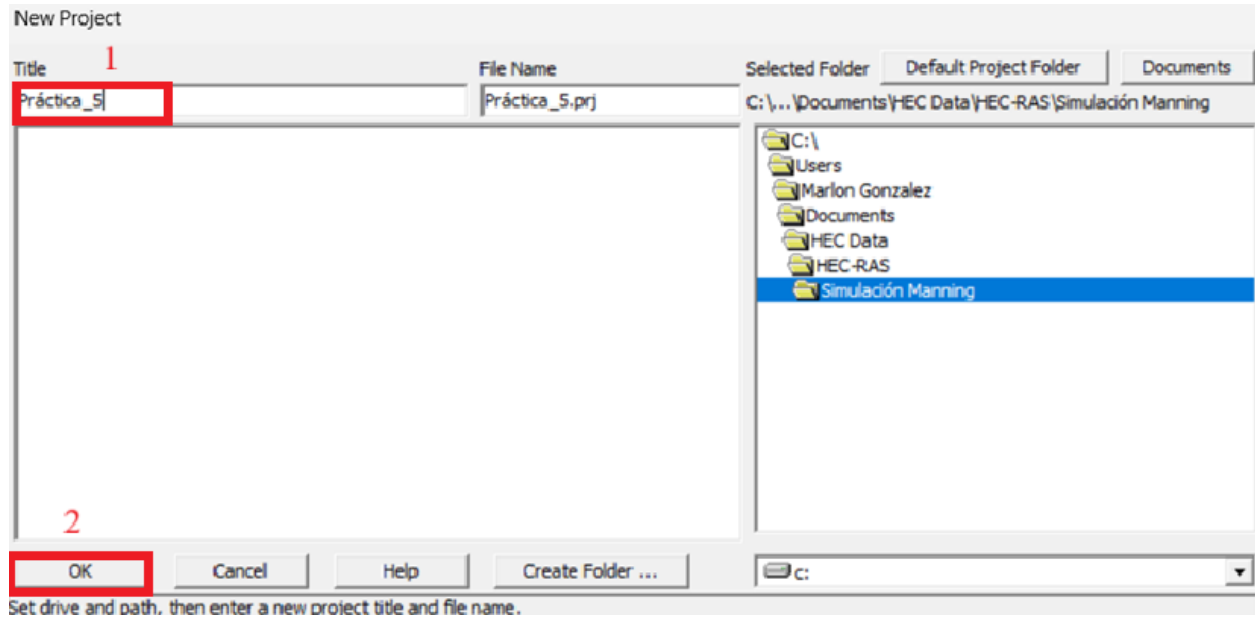


Figura 7. Ventana del nombre para guardar el proyecto

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

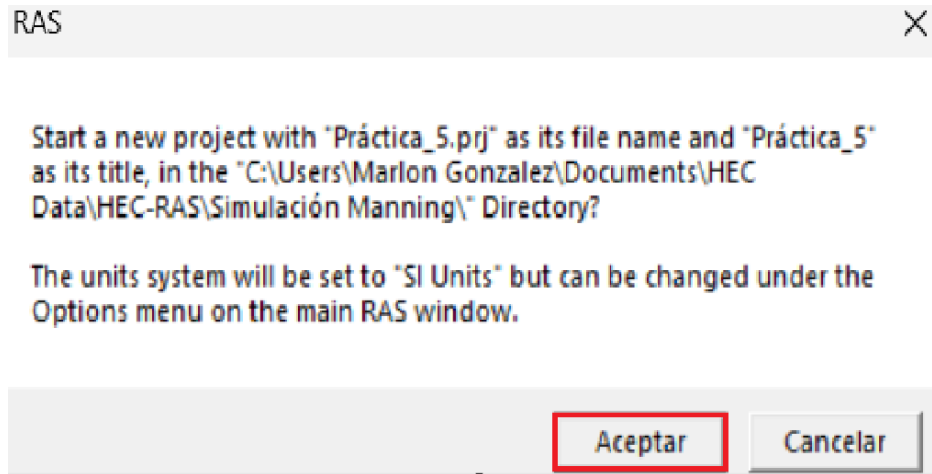


Figura 8. Ventana de carpeta final de destino y sistema de unidades

- ✓ 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)

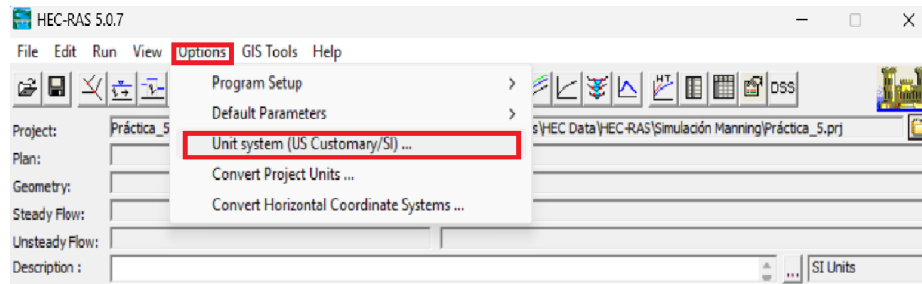


Figura 9. Ventana para configurar las unidades

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

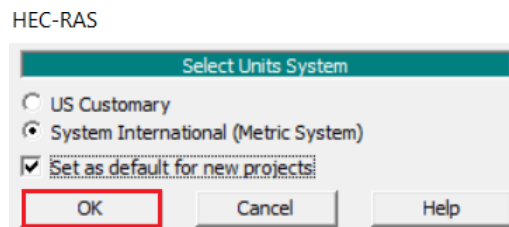


Figura 10. Ventana para selección de unidades

- ✓ Con el sistema de unidades configurado ya se tiene una carpeta en la cual se guardarán todos los archivos de la simulación

5.2.3 Datos geométricos

Creación de la secciones transversales:

- ✓ **Primera sección transversal**
- ✓ Clic en el icono *View/Edit geometric data* que se detalla en la Figura 11

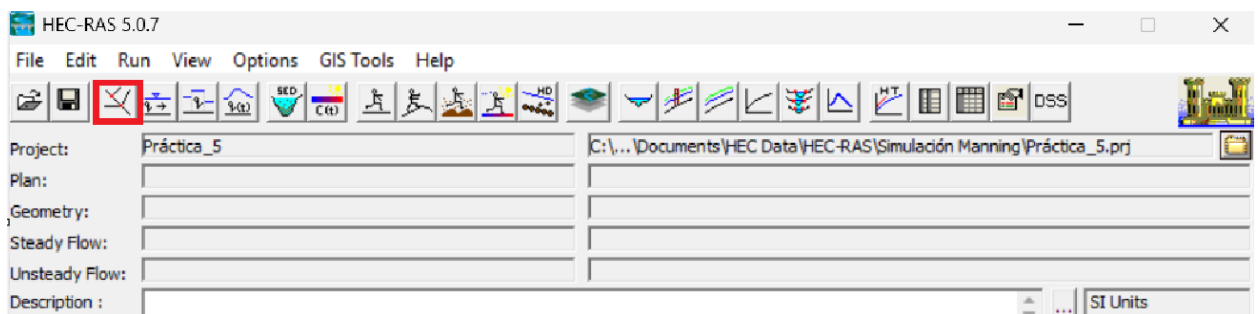


Figura 11. View/ Edit geometric data

- ✓ Se abrirá la siguiente ventana (Figura 12)

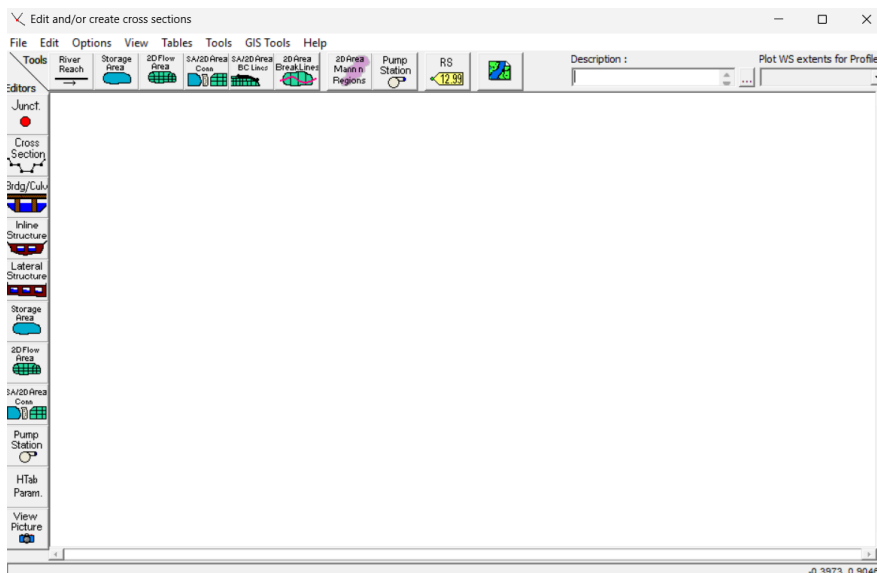


Figura 12. Ventana de Geometric Data

- ✓ 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. Opción River Reach

- ✓ Vamos a dibujar desde aguas arriba hasta aguas abajo

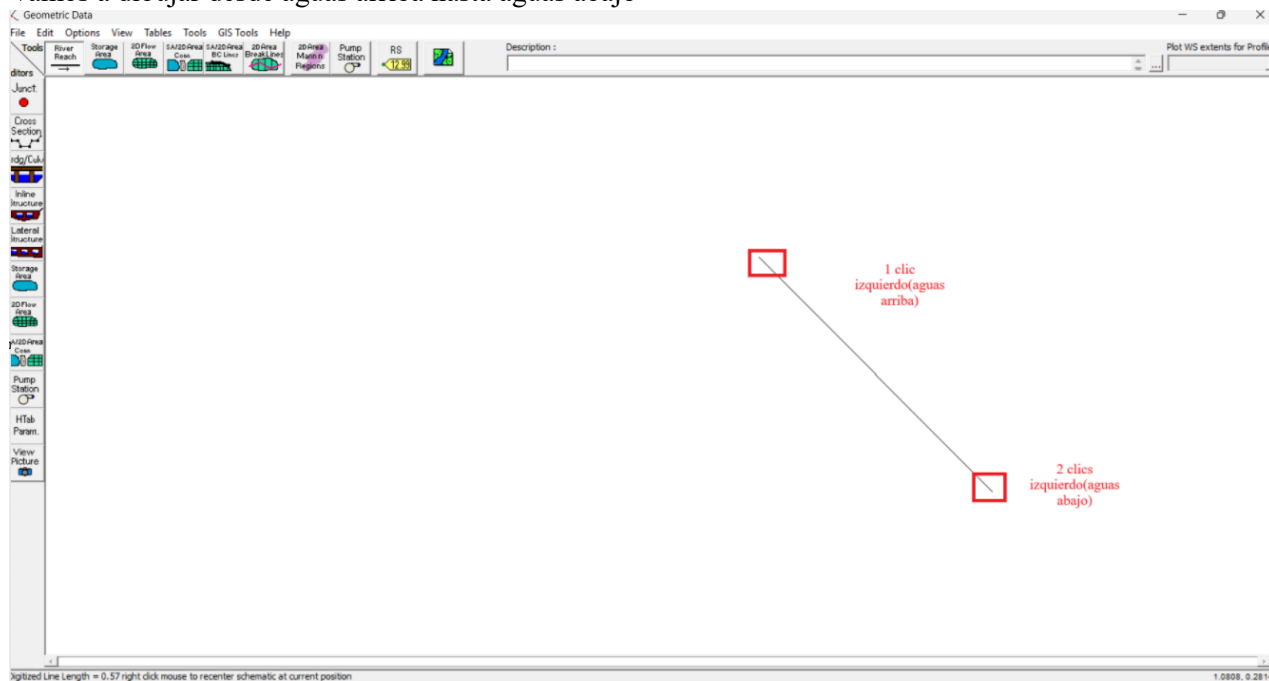


Figura 14. Ventana para dibujar la situación

- ✓ 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 *Canal* y en *Reach* coloque el nombre de *Rectangular* (Figura 15)

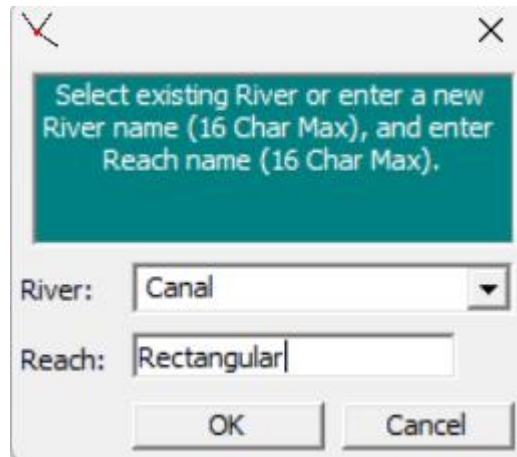


Figura 15. Ventana para nombrar el canal y su particularidad

- ✓ Obtendrá el siguiente resultado (Figura 16)

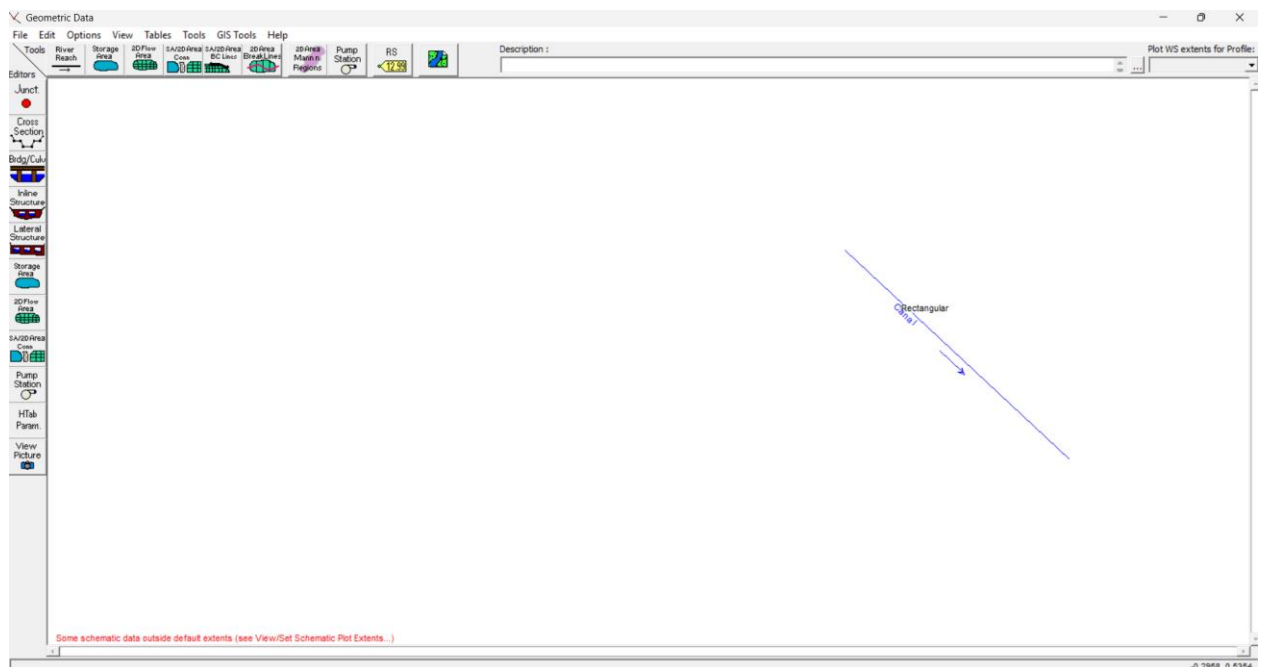


Figura 16. Ventana de creación del canal

- ✓ Pasaremos a ubicar las secciones en el canal, hay que tener en cuenta de acuerdo con el archivo de AutoCAD que tenemos la sección transversal aguas abajo, lo que tenemos que hacer es abrir el archivo de AutoCAD y tener en cuenta las coordenadas que nos da el problema, pero antes de esto hay que dar clic en *Cross Section* en HEC-RAS (Figura 17)

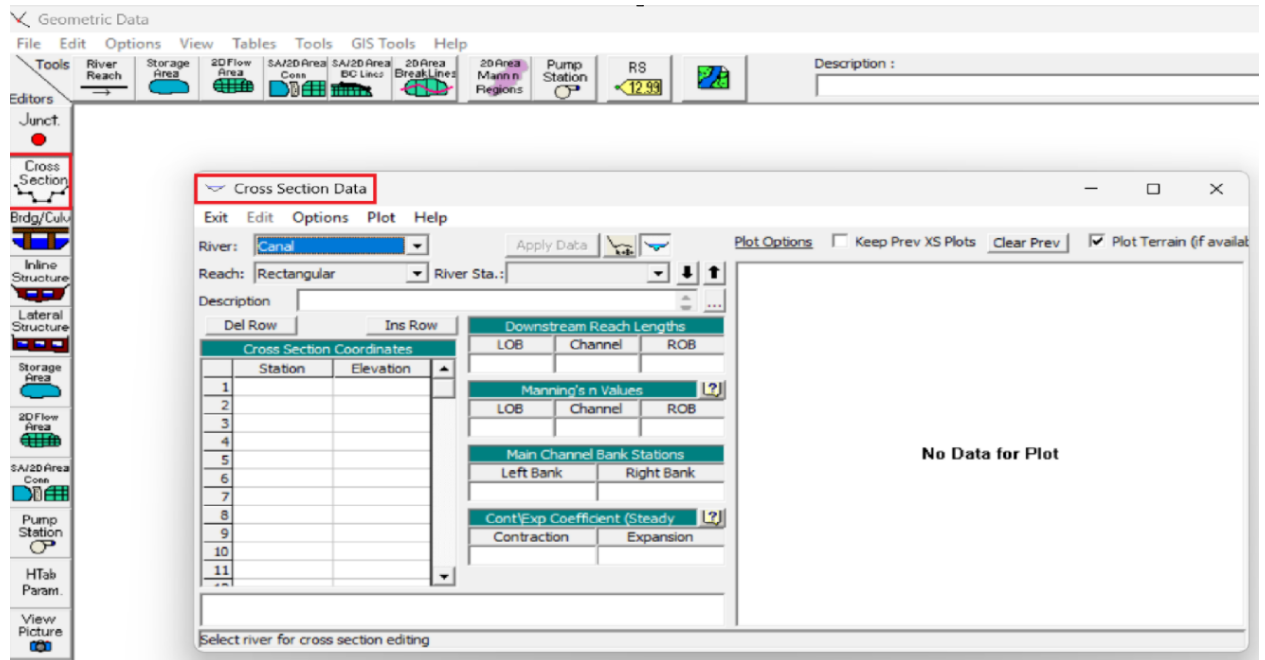


Figura 17. Opción de Cross section

- ✓ Le damos en *Options* para crear la sección aguas abajo y le damos en *Add a new Cross Section* (Figura 18)

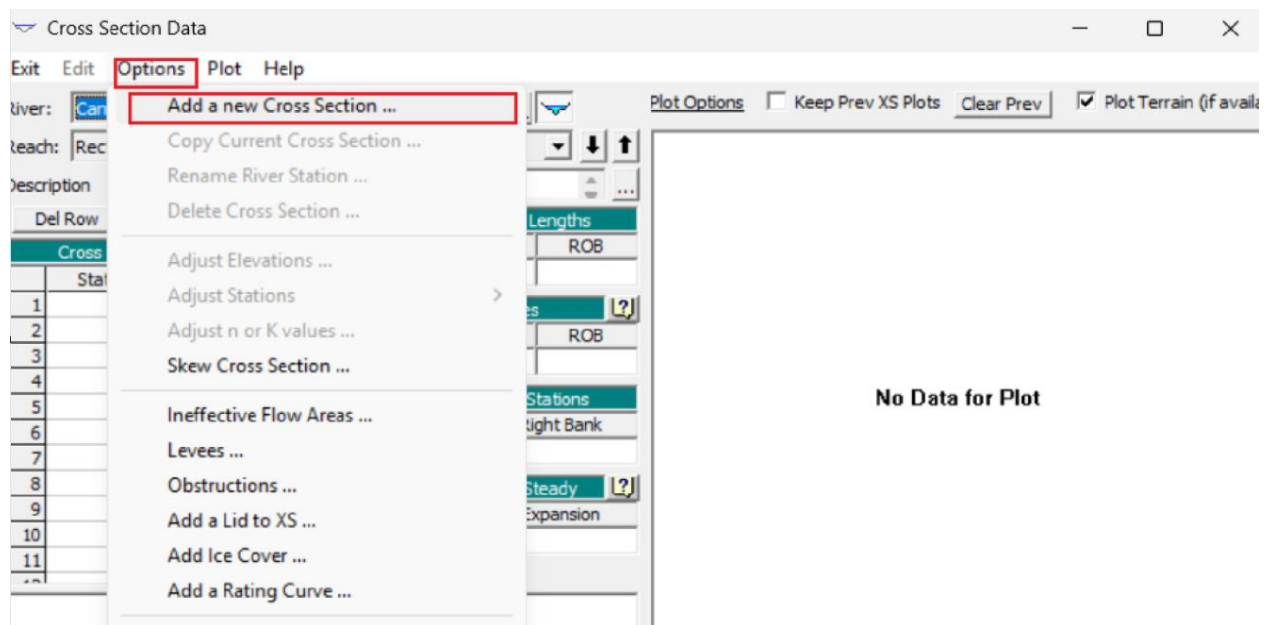


Figura 18. Ventana para añadir sección transversal

- ✓ Se abrirá una nueva ventana emergente la cual solicita un indicativo para esta nueva sección transversal, en esta ventana coloque el número 1000 ya que vamos a crear la sección aguas abajo

y este valor es su cota (*Figura 19*)

Figura 19. Ventana para añadir la cota aguas abajo

- ✓ En la sección de *Description* coloque *Aguas abajo*. Ya que hace referencia a la sección transversal aguas abajo del canal (*Figura 20*)

Figura 20. Ventana de la descripción

- ✓ Ahora si ingresaremos las coordenadas de nuestro canal mirando el AutoCAD de izquierda a derecha mirando cada punto del archivo (*Figura 21*)

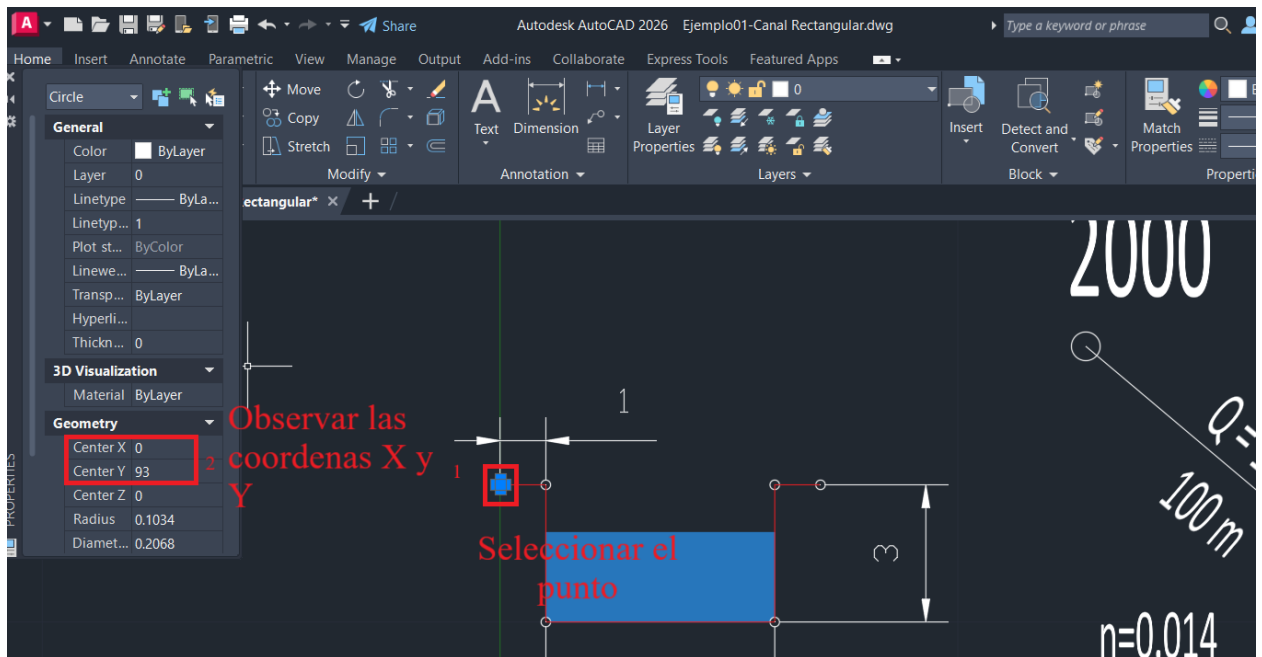


Figura 21. Coordenadas del primer punto en AutoCAD

- ✓ Hacemos lo mismo con cada punto del AutoCAD y miramos sus coordenadas para posteriormente poner esos datos en HEC-RAS (Figura 22)

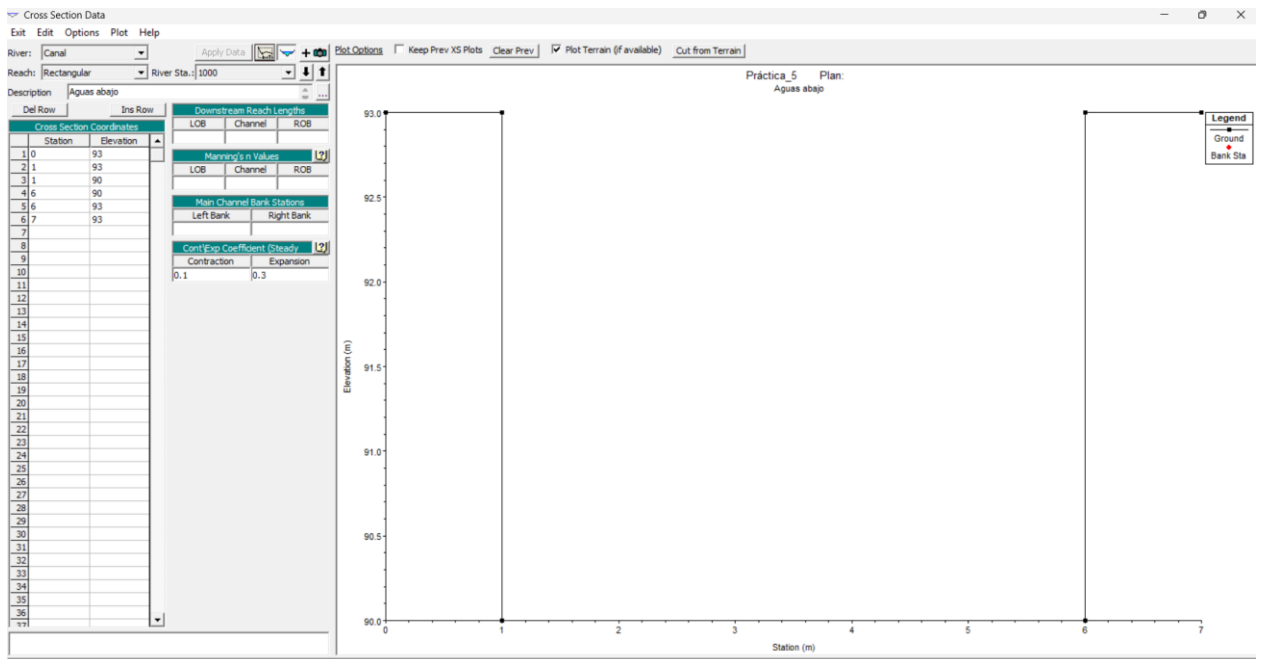


Figura 22. Sección transversal del canal aguas abajo en HEC-RAS

- ✓ Se prosigue a crear el coeficiente de Manning para las margen izquierda, centro y derecha poniendo 0.014 en Manning 's n values en LOB, CHANNEL Y ROB ; y a su vez para justo donde

empieza la sección y donde termina de acuerdo con el eje X que sería en 1 y 6, esto se hace en la opción *Main Channel Bank Stations* y en *Left Bank* se pone 1 y en *Right Bank* 6 (Figura 23)

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	0	93
2	1	93
3	1	90
4	6	90
5	6	93
6	7	93
7		
8		
9		
10		
11		

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.014	0.014	0.014

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
1	6

Cont/Exp Coefficient (Steady)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3

Figura 23. Ventana para añadir el coeficiente de maning

- ✓ Luego se le da en *Apply Data* y se puede observar el coeficiente de Manning ya aplicado (Figura 24)

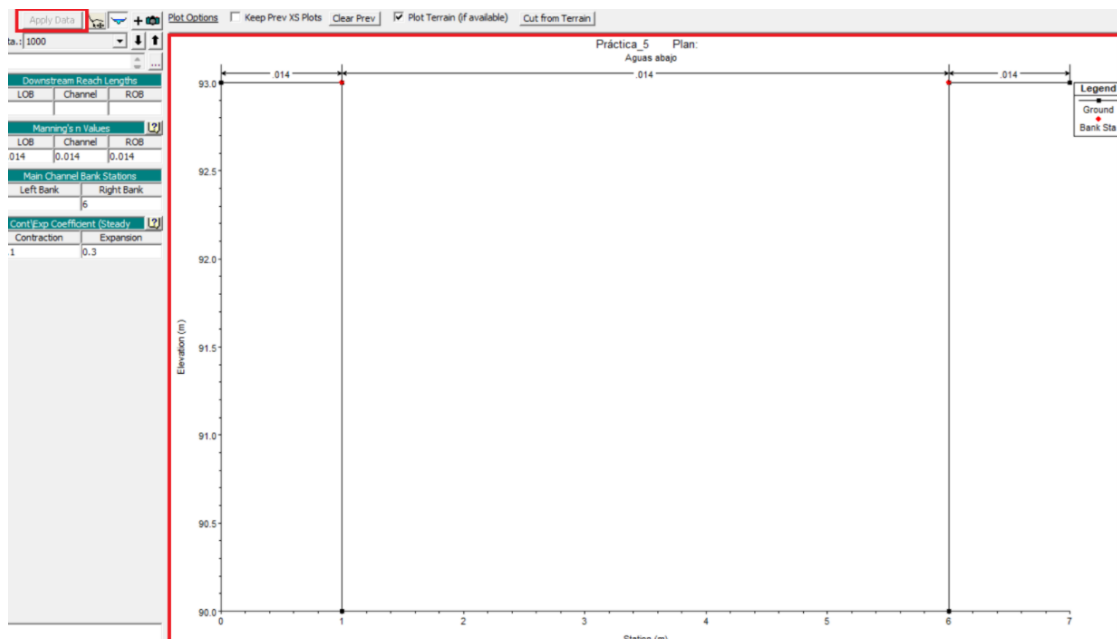


Figura 24. Ventana de la sección transversal aguas abajo con el coeficiente de Manning

- ✓ Como esta sección hace referencia a la de aguas abajo en la herramienta *Downstream Reach Lengths*, coloque el valor de 0 en *LOB*, *Channel* y *ROB* ya que no hay secciones transversales aguas debajo de la sección (Figura 25)

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
0	0	0

Figura 25. Ventana de valores de distancia hasta la sección inmediata aguas abajo

- ✓ Volvemos a dar en *Apply Data* para ejecutar el programa (Figura 26)



Figura 26. Ventana para ejecutar nuevamente la sección

- ✓ **Segunda sección transversal**
- ✓ Ahora vamos a crear la sección del canal aguas arriba, para esto damos clic *Options* y posteriormente en *Copy Current Cross Section* (Figura 27)

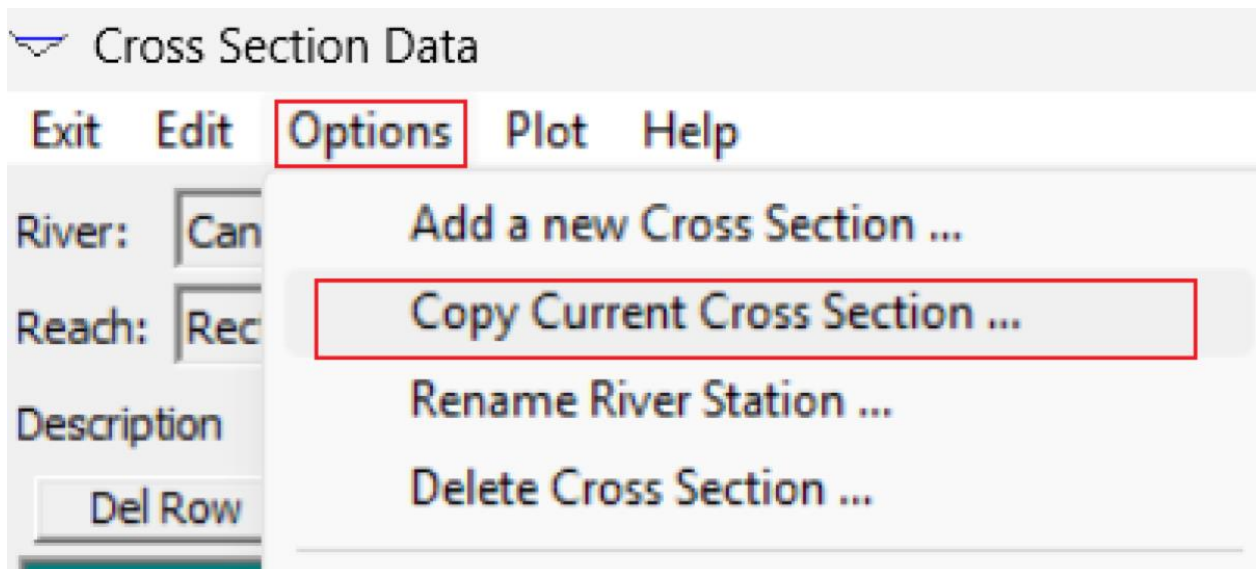


Figura 27. Ventana para añadir la sección aguas arriba

- ✓ En la nueva ventana que aparece en *River Sta* ponemos 2000 ya que corresponde a la cota aguas arriba del canal y le damos luego en *OK* (Figura 28)

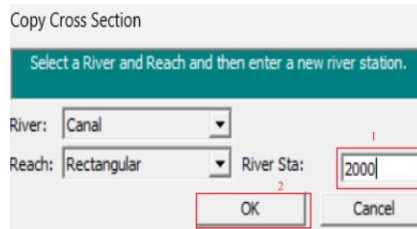


Figura 28. Ventana para poner la cota aguas arriba

- ✓ En la parte superior izquierda, en la opción *Description* ponemos Aguas Arriba



Figura 29. Ventana para cambiar el nombre de la sección

- ✓ Vamos a acomodar ahora la elevación ya que como ahora estamos en la parte de arriba es diferente, para esto, lo que hacemos es lo siguiente:

Sabemos que la pendiente es igual a: $m = \frac{y}{x}$ (6)

Y que la hipotenusa es, $h^2 = x^2 + y^2$ (7)

En (6) despejamos x: $x = \frac{y}{m}$ (8)

En (7) reemplazamos x: $h^2 = (y/m)^2 + y^2$ (9)

Despejamos y de (9): $y = \frac{hm}{\sqrt{1+m^2}}$ (10)

Entonces Siendo $h=100\text{m}$, $S=0.001$

$$y = \frac{100 \cdot 0.001}{\sqrt{1+0.001^2}} = 0.09999999 \approx 0.1$$

Siendo $h=100\text{m}$, $S=0.001$

Otra forma de hacerlo es simplemente multiplicando la longitud del canal de 100m por la pendiente:

$$y = 100 \cdot 0.001 = 0.1$$

Esto es lo que va a aumentar la elevación respecto a la de aguas abajo, entonces a las coordenadas de la sección aguas abajo se le va a sumar 0.1 a sus alturas o elevaciones en Y:

- ✓ Vamos a HEC-RAS, damos clic en *Options* y luego en *Adjust Elevations* (Figura 30)

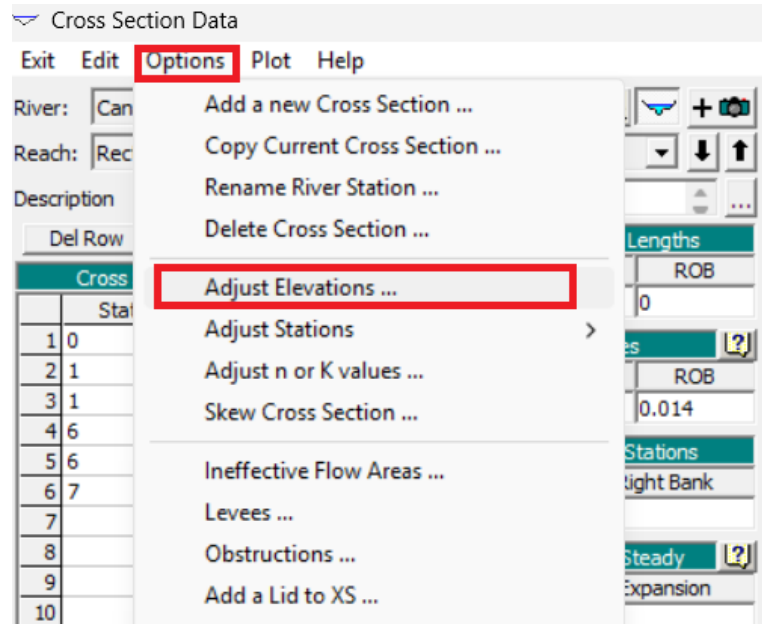


Figura 30. Ventana para modificar las elevaciones

- ✓ Nos arroja la ventana *Enter amount add to Elevations (+/-)*, ahí ponemos 0.1 ya que estamos creando la sección aguas arriba y le damos OK (Figura 31)

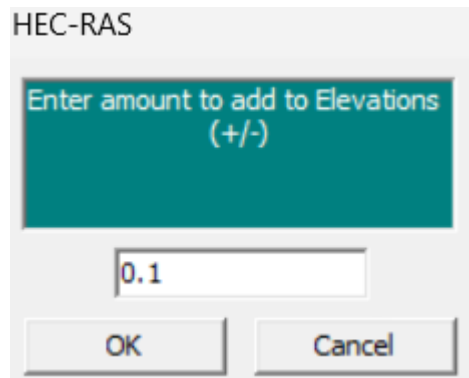


Figura 31. Ventana para añadir el valor de la elevación

- ✓ Podemos observar que la elevation cambió (Figura 32)

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	0	93.1
2	1	93.1
3	1	90.1
4	6	90.1
5	6	93.1
6	7	93.1
7		

Figura 32. Ventana para visualizar las coordenadas

- ✓ En la opción *Downstream Reach Lengths* ponemos el valor de 100 en *LOB*, *Channel* y *ROB*, ya que esa es la longitud agua arriba del canal y posteriormente se le da clic a *Apply Data* (Figura 33)

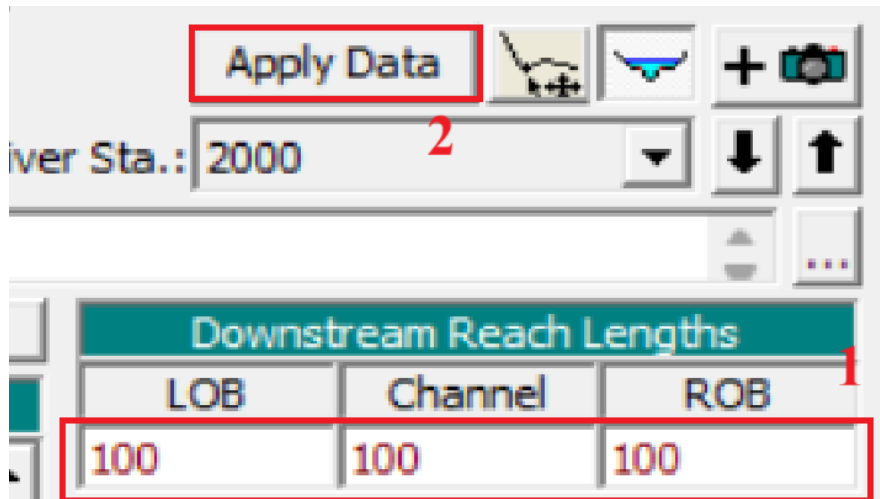


Figura 33. Ventana para añadir la longitud y ejecutar

- ✓ Se puede observar que el canal subió un poco (Figura 34)

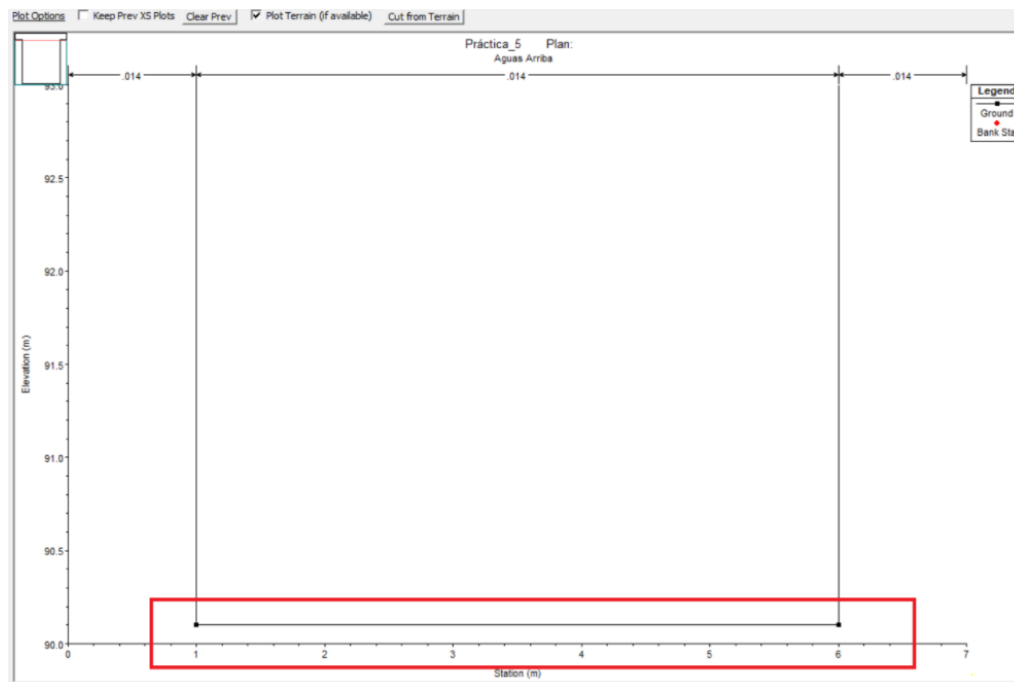


Figura 34. Vista para ver la nueva sección

- ✓ Cerramos la ventana que estamos trabajando y volvemos a la ventana *Geometric Data*, se puede observar el nuevo canal creado aguas arriba y aguas abajo (Figura 35)

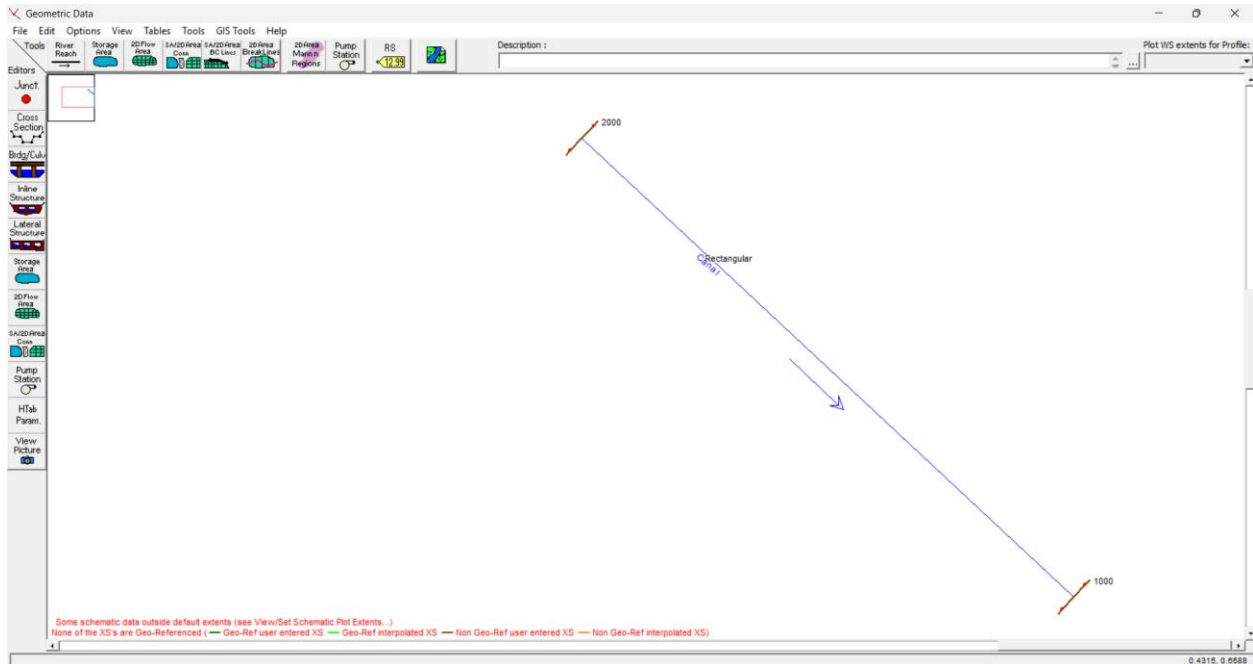


Figura 35. Vista del canal rectangular creado

- ✓ Ahora se debe guardar los cambios, para esto de clic en *File* y luego en *Save Geometry Data* (Figura 36)

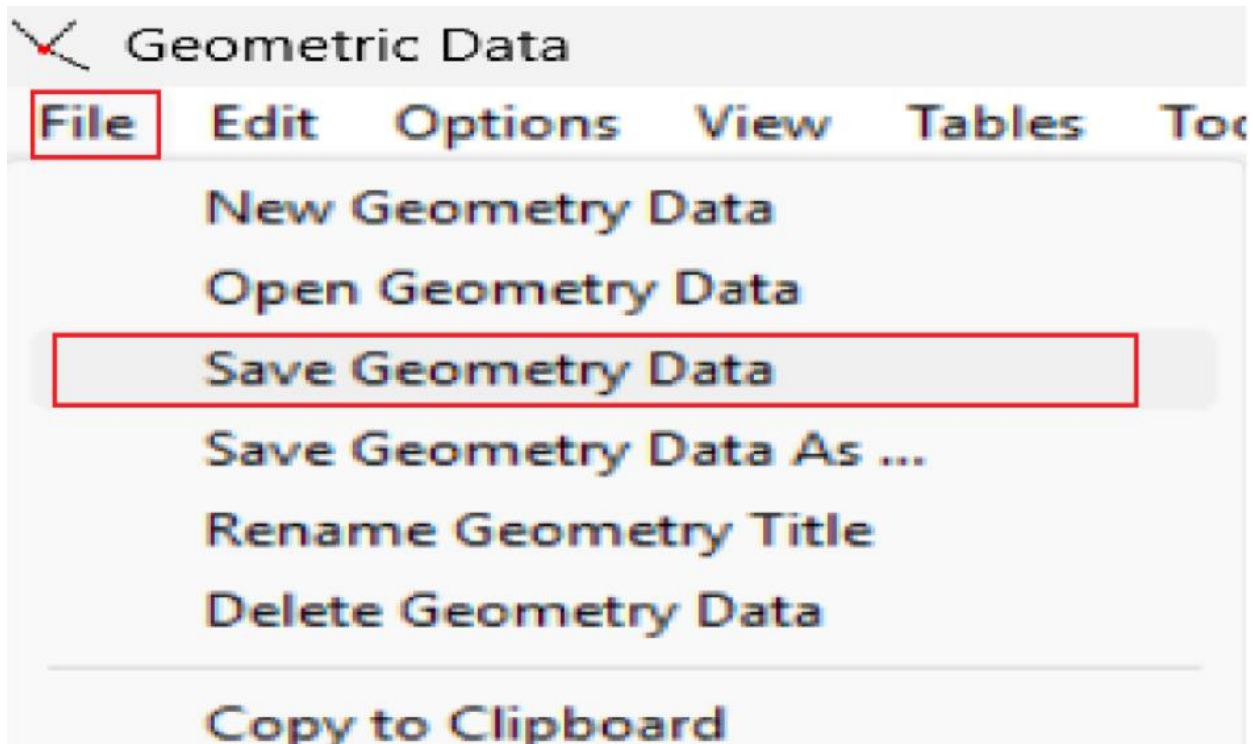


Figura 36. Ventana para guardar los cambios de la geometría

- ✓ Se pone en *title* el nombre *Canal_rectangular* y se la en *OK* (Figura 37)

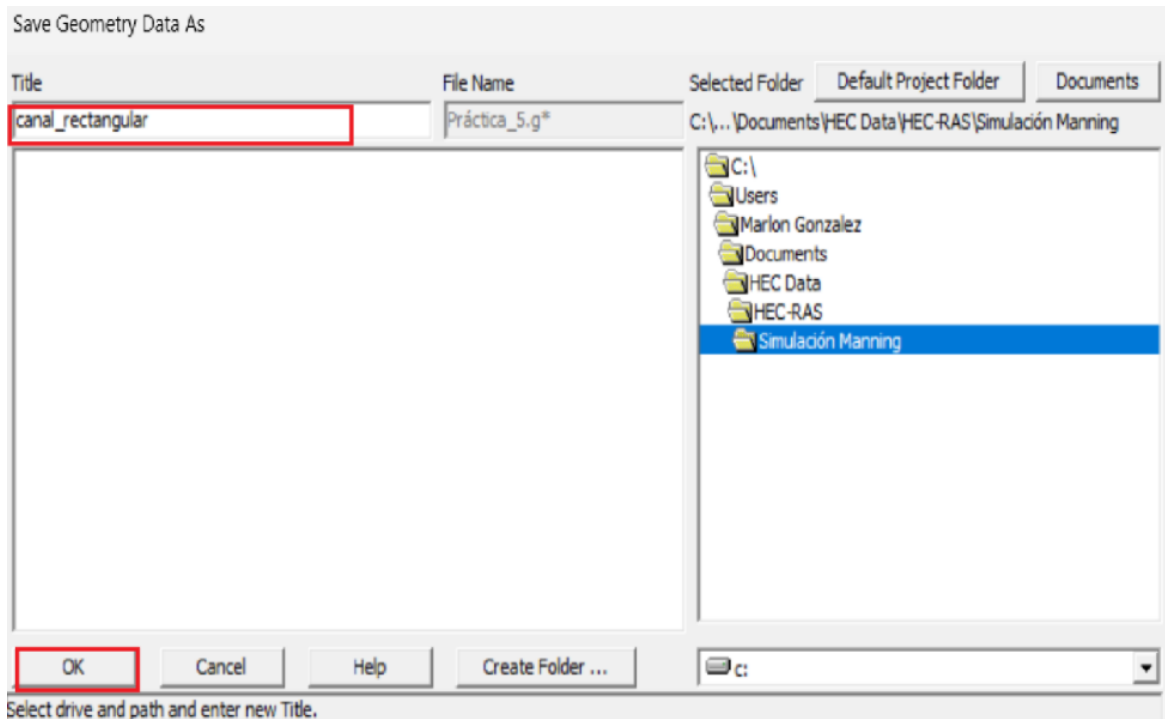


Figura 37. Ventana Save Geometry Data As

5.2.4 Datos del flujo

- ✓ Cerramos la ventana ya que las geometrías y secciones ya quedaron guardadas, y nos mantenemos en la ventana principal de HEC-RAS 5.0.7, ahora le pondremos las condiciones de caudal y tipo de flujo a la simulación, para esto damos clic en *Edit* y luego en *Steady Flow Data* ya que haremos un flujo permanente (Figura 38)

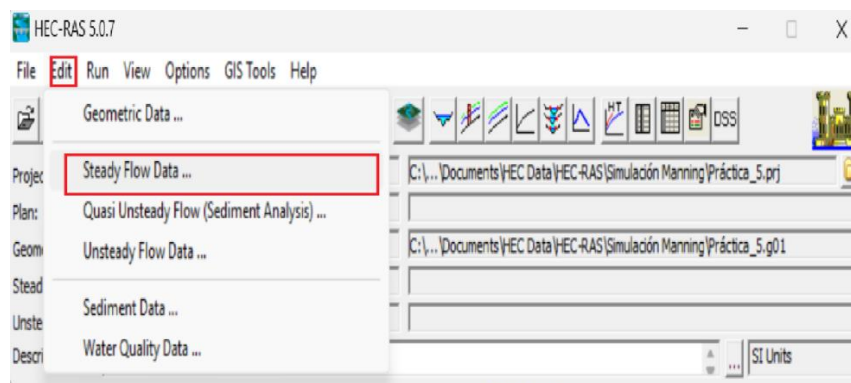


Figura 38. Ventana para añadir el caudal y el periodo de retorno

- ✓ Cambie el nombre de *PF 1* por *T50* (Figura 39)

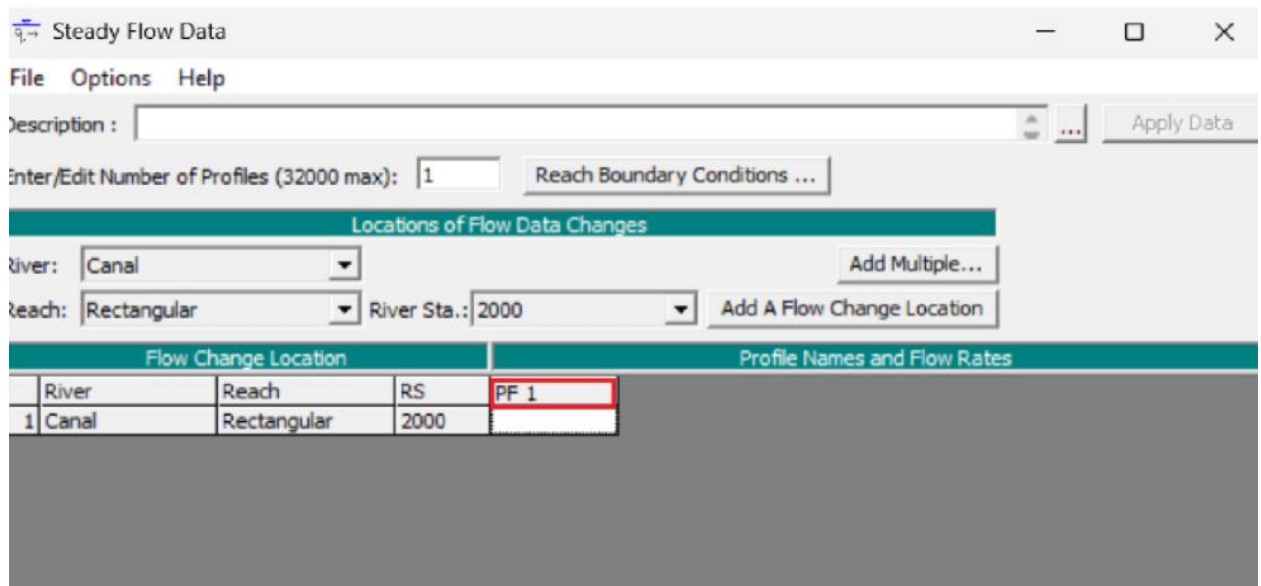


Figura 39. Vista del nombre que queremos cambiar

- ✓ De clic en *Options* y luego en *Edit Profile Names* (Figura 40)

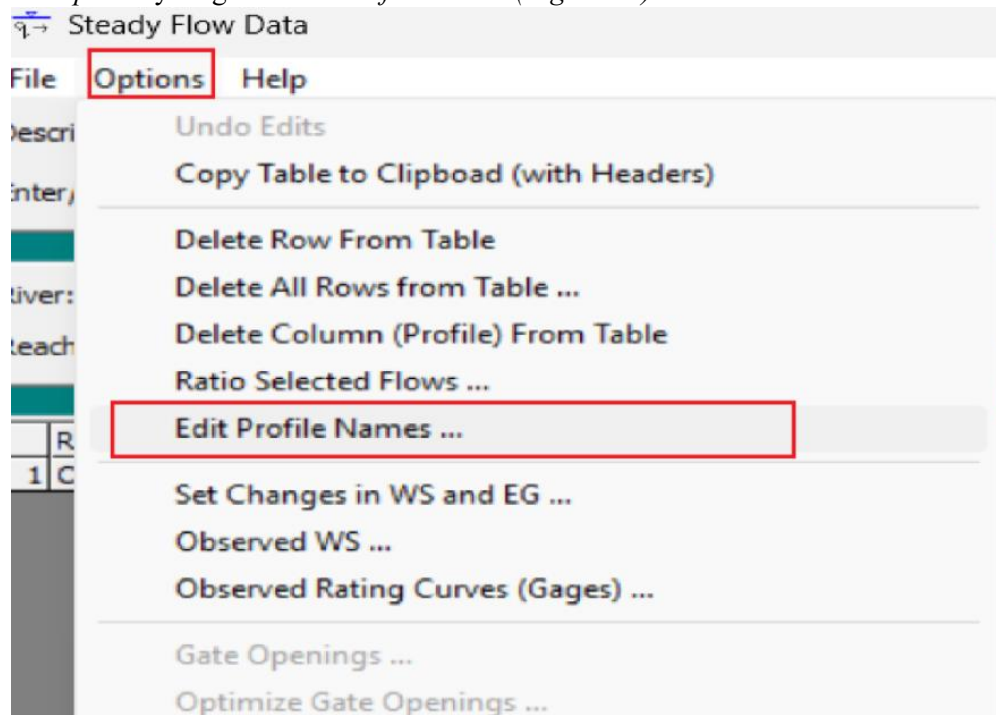


Figura 40. Ventana para editar el nombre

- ✓ Se pone el nuevo nombre y se le da en *OK* (Figura 41)

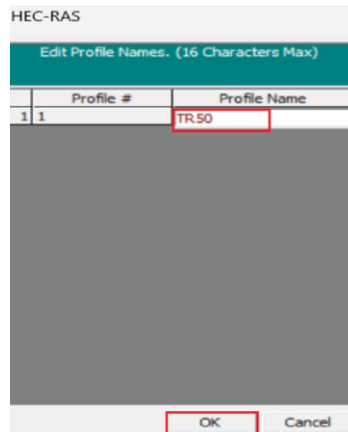


Figura 41. Ventana para finalmente guardar el nuevo nombre TR50

- ✓ En TR50 ponga el valor de 12, que corresponde al caudal dado por el problema

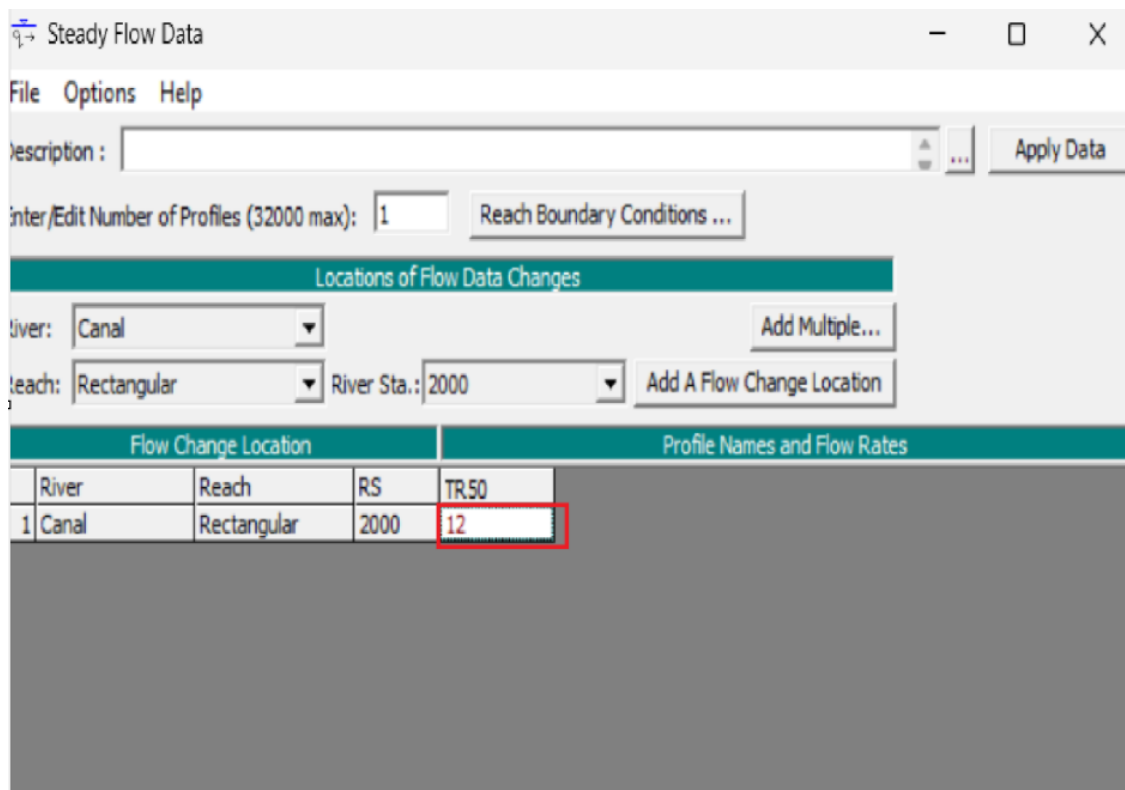


Figura 42. Ventana para poner el caudal

- ✓ Ahora se deben poner las condiciones de contorno para esto se da clic en *Reach Boundary Conditions* (Figura 43)

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
River	Reach	RS	TR.50	
1 Canal	Rectangular	2000	12	

Figura 43. Ventana para poner condiciones de contorno

- ✓ Como el problema planteado se trata de un régimen subcrítico y flujo permanente, se dan las condiciones aguas abajo por eso se da clic izquierdo en *Downstream* y luego en *Normal Depth* ya que esa opción es la usada en canales; “si fuese un régimen supercrítico se dan las condiciones aguas arriba en Upstream y luego nuevamente se le daría clic en Normal Depth” (Figura 44)

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Canal	Rectangular	all		

Figura 44. Ventana para añadir las condiciones de flujo permanente y régimen subcrítico

- ✓ En la ventana nueva ponemos el valor de la pendiente aguas abajo la cual es 0.001 y le damos OK (Figura 45)

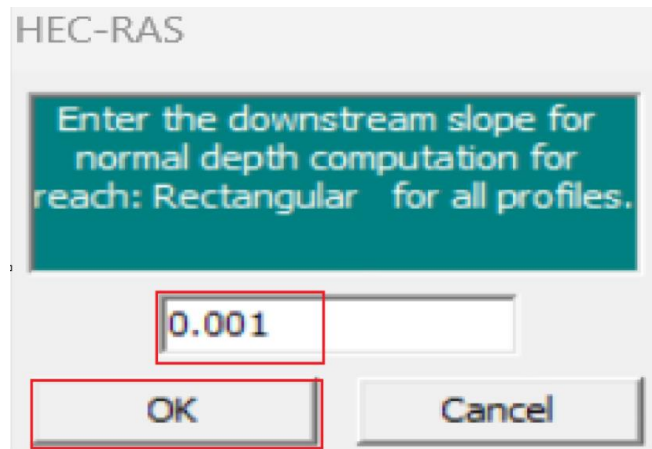


Figura 45. Ventana para añadir pendiente

- ✓ Damos en OK en la venta de Condiciones de contorno (Figura 46)

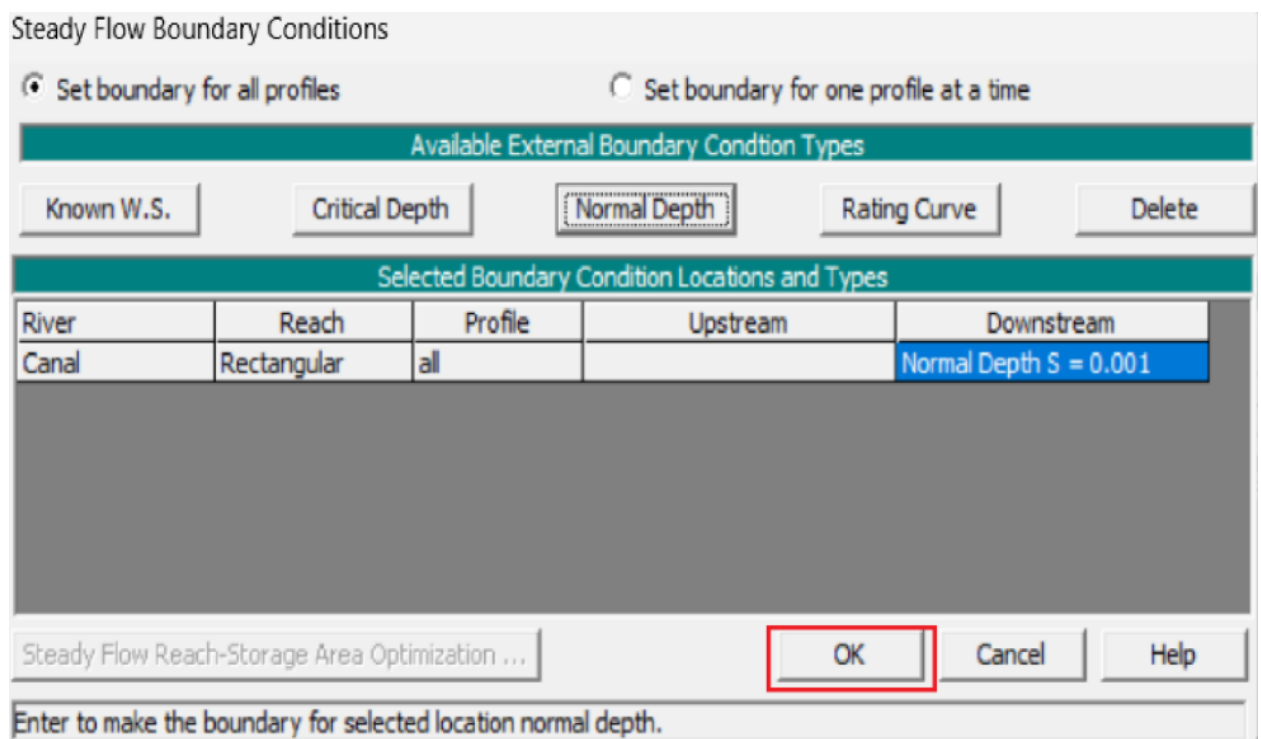


Figura 46. Ventana de Condiciones de contorno

- ✓ Vamos a guardar las condiciones de contorno, de clic en *File* y luego en *Save Flow Data* (Figura 47)

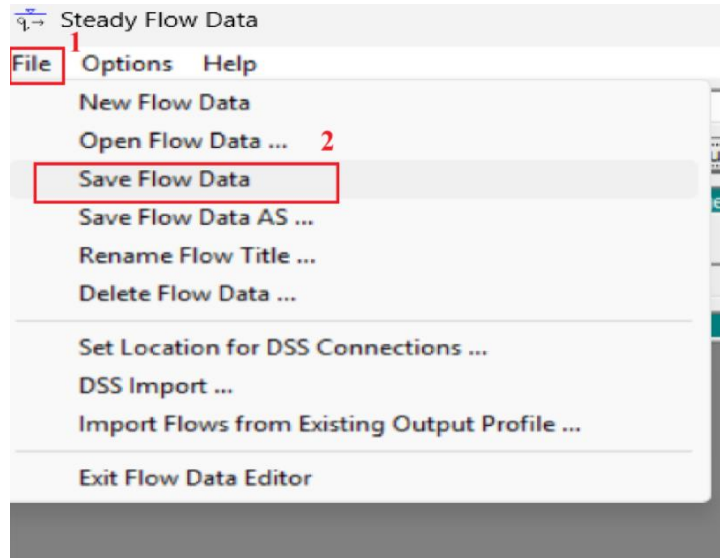


Figura 47. Ventana para guardar

- ✓ En title poner *FLOW_canal* y darle en *OK* (Figura 48)

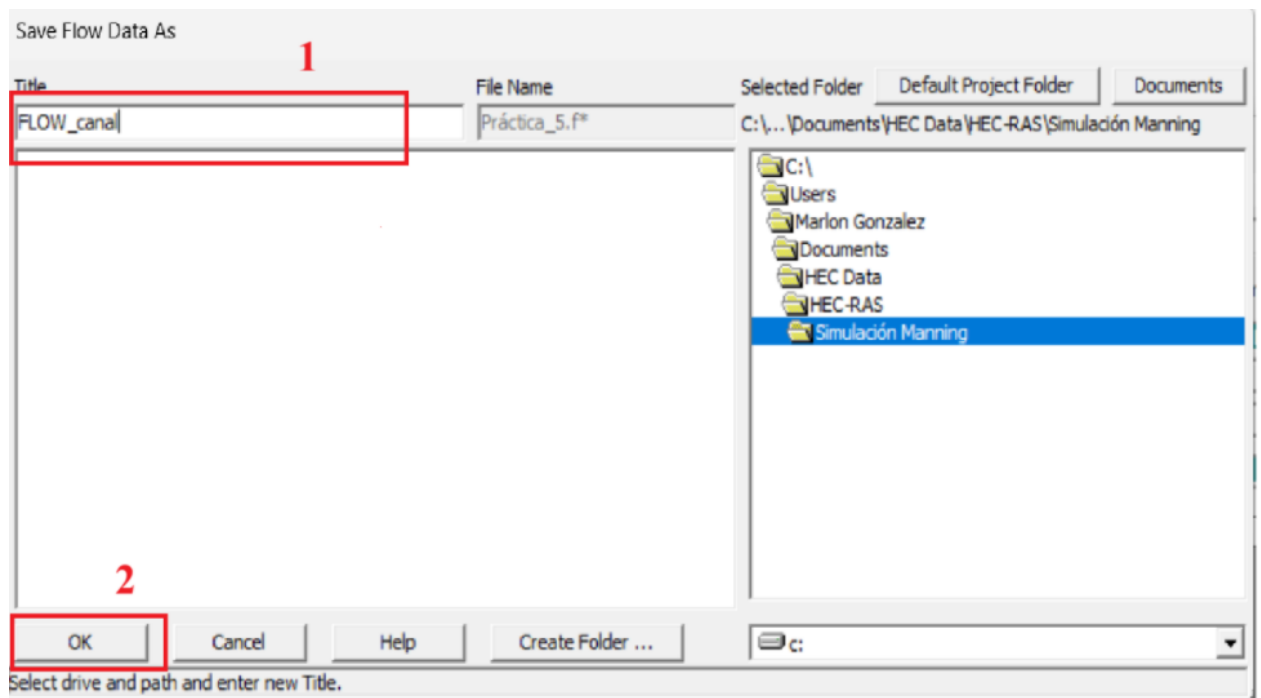


Figura 48. Ventana para poner el nombre de las condiciones de contorno (flujo)

5.2.5 Plan de simulación

- ✓ Lo que queda por hacer es correr la simulación, para esto en la ventana principal del HEC-RAS dar clic en *Run* y luego en *Steady Flow Analysis* ya que es un flujo permanente (Figura 49)

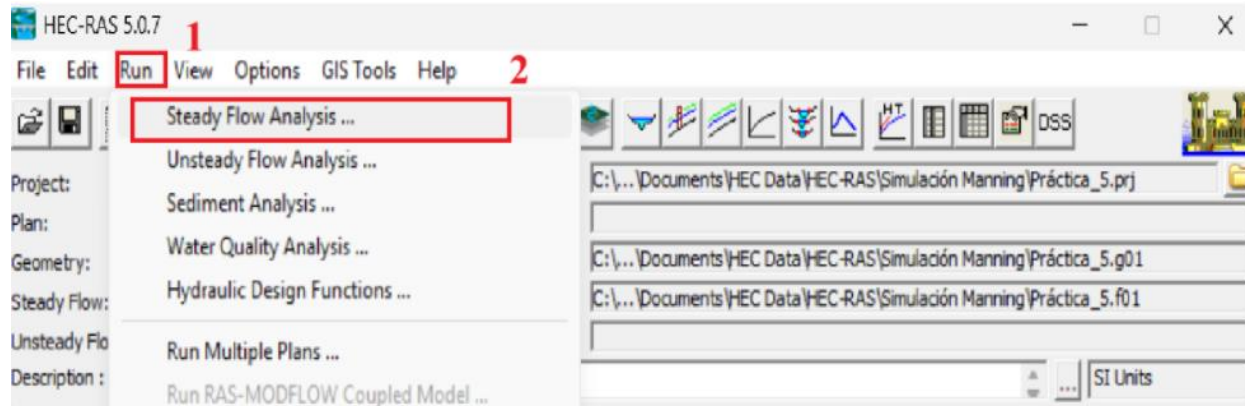


Figura 49. Ventana para ejecutar la simulación

- ✓ En primer lugar se va a guardar la simulación para esto dar clic en *File*, luego *Save Plan* (Figura 50)

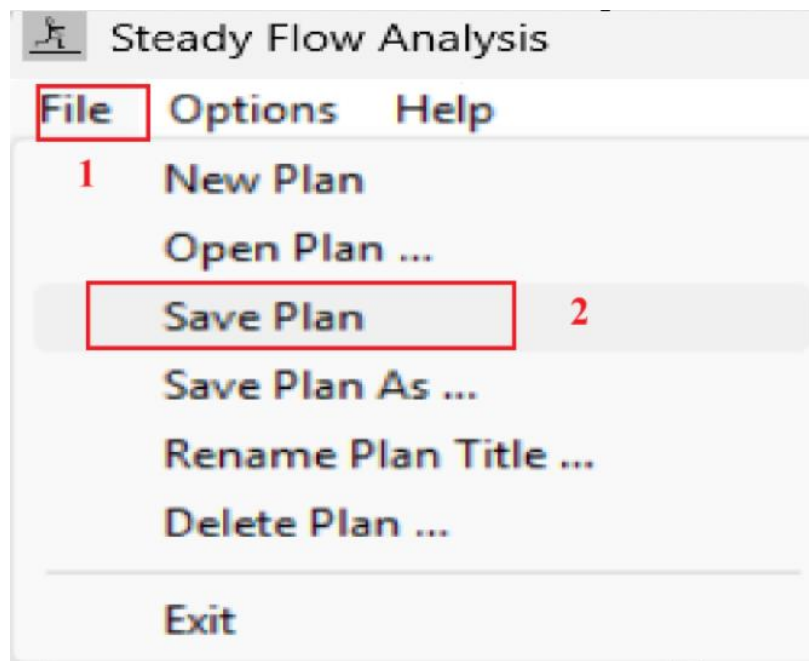


Figura 50. Ventana para guardar la simulación

- ✓ En *Title* poner *Plan_canal* y darle en *OK* (Figura 51)

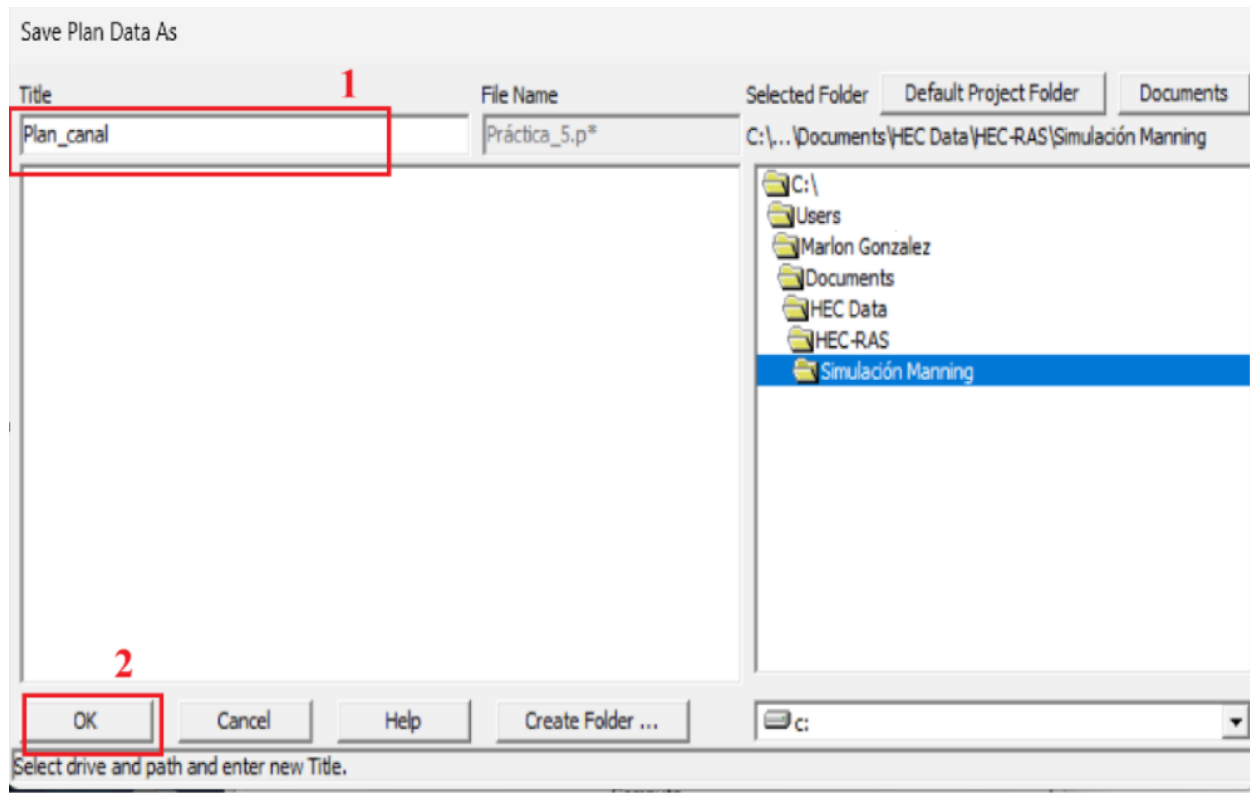


Figura 51. Ventana para poner nombre a la simulación

- ✓ Se pone la identificación del canal en este caso *canal01* y se la en *OK* (Figura 52)

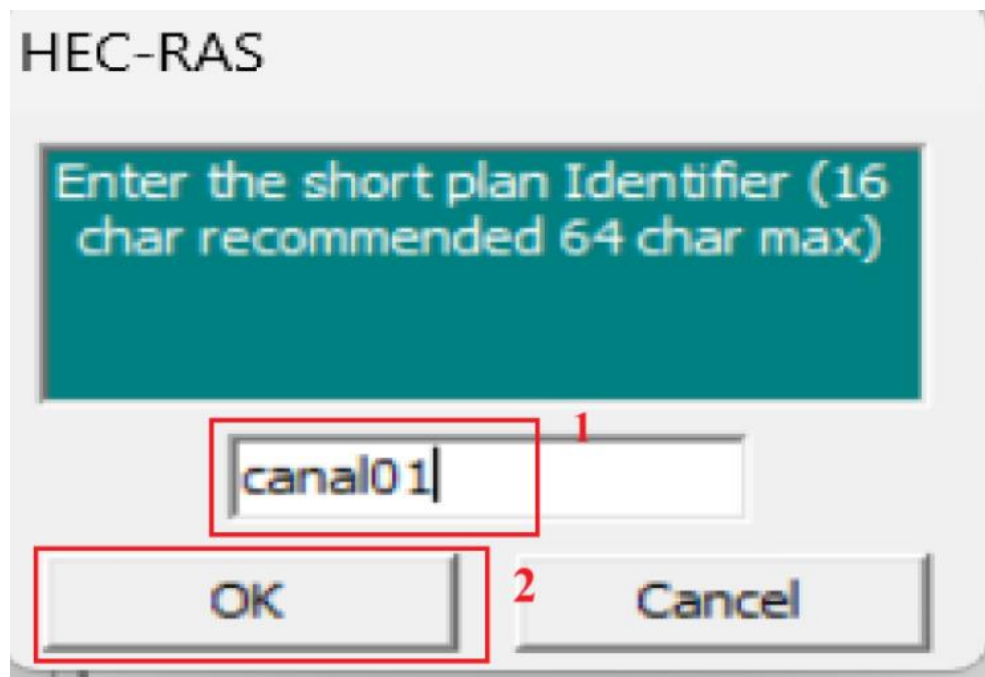


Figura 52. Ventana para identificar el canal

- ✓ Seleccione la opción *Subcritical* y posteriormente añada la opción *Floodplain Mapping* y finalmente dele en *Compute* para correr la simulación (Figura 53)

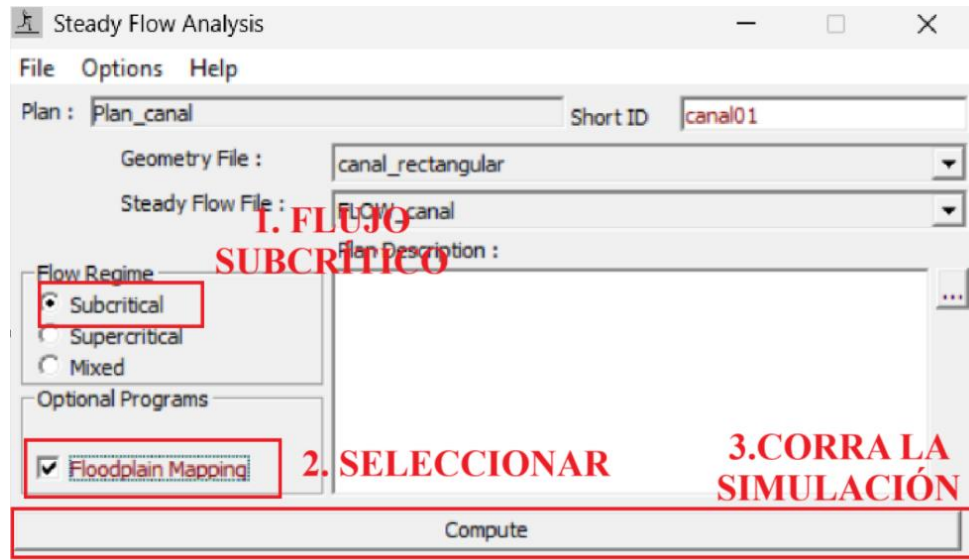


Figura 53. Ventana para finalmente correr la simulación

- ✓ La simulación corrió con éxito, es por ello que se procede a darle *Close* (Figura 54)

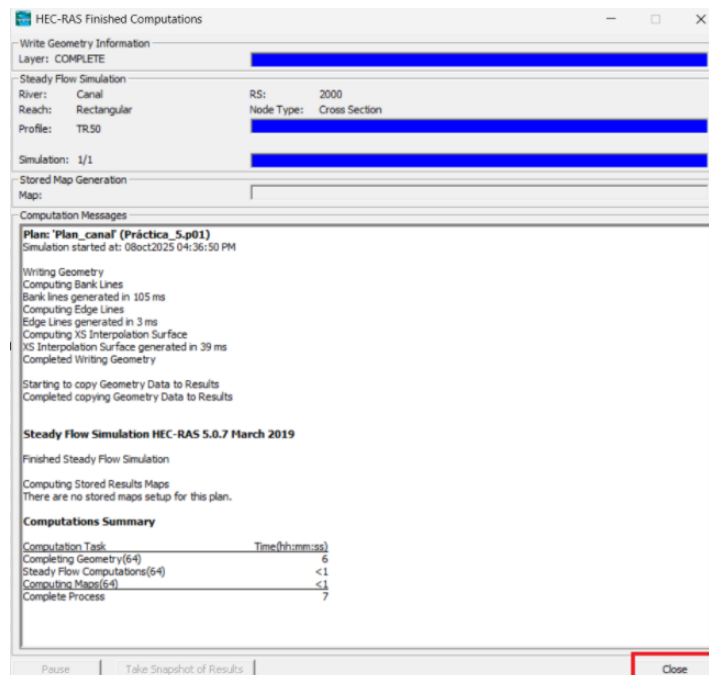


Figura 54. Ventana para dar por terminada la simulación

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.*) ejecutando el paso a paso que

se ha seguido, pero para la situación específica que desea ejecutar, guardar esos datos y luego computar nuevamente el proyecto.

5.2.6 Presentación de resultados

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

- ✓ Regrese a la ventana inicial de HEC-RAS (Figura 55) y proceda a ubicar las diferentes herramientas que tiene para la visualización de resultados (Figura 56)

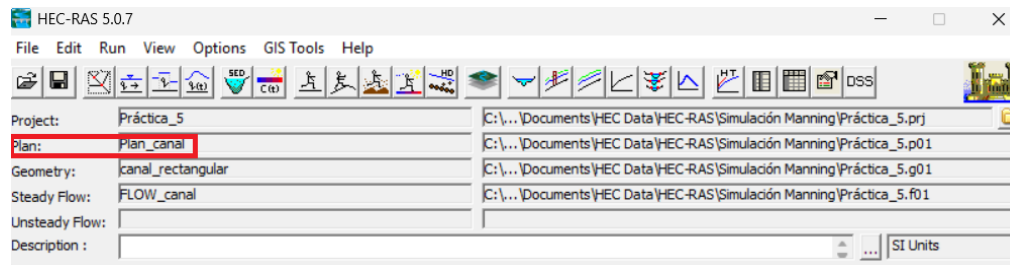


Figura 55. Ventana de HEC-RAS con los datos del plan de simulación añadidos



Figura 56. Iconos de los comandos principales de HEC-RAS

- ✓ Resultados de las secciones transversales (Figura 57)



Figura 57. Secciones transversales

- ✓ Resultados del perfil longitudinal (Figura 58)



Figura 58 . Perfil longitudinal

- ✓ Resultados de la vista 3D del canal (Figura 59)



Figura 59. Vista 3D

- ✓ Tabla resumen de los resultados (Figura 60)



Figura 60. 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.

5.2.7 Guardado final del proyecto

- ✓ Finalmente, para guardar todo el proyecto y demás componentes de este, dé clic en *File>Save Project* (Figura 61)

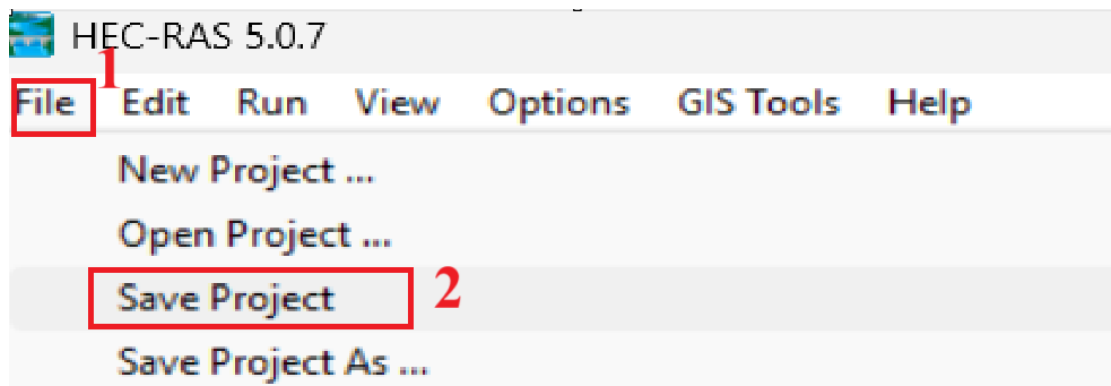


Figura 61. Guardado final del proyecto en HEC-RAS

5.3 Comparación de datos con H-CANALES

- ✓ Instalar HCANALES, posteriormente abrimos el programa, seleccionamos *Tirante- Normal* y *sección Trapezoidal, Rec. Trian* (Figura 62)



Figura 62. Ventana para ejecutar el mismo problema en HCANALES

- ✓ En la nueva venta que arroja el programa en la sección de *Datos*, se ponen todos aquellos datos que se conocen, como el *caudal*, *ancho de solera*, *rugosidad* y *pendiente*; finalmente se procede a darle clic en *Calcular* (Figura 63)

Figura 63. Ventana para añadir los datos conocidos y ejecutar el programa

- ✓ Datos arrojados por HCANALES (Figura 64)

Resultados:

Tirante normal (y):	1.2151	m	Perímetro (p):	7.4302	m
Área hidráulica (A):	6.0756	m ²	Radio hidráulico (R):	0.8177	m
Espejo de agua (T):	5.0000	m	Velocidad (v):	1.9751	m/s
Número de Froude (F):	0.5721		Energía específica (E):	1.4139	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

Figura 64. Datos de HCANALES

- ✓ Para observar los datos desde HEC-RAS seleccionamos la opción *Crosst Section Output* (Figura 65)

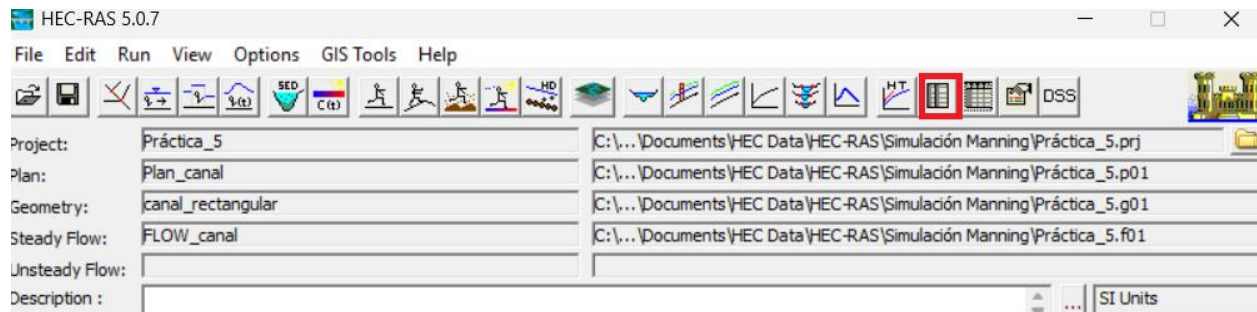


Figura 65. Ventana para ver los datos en HEC-RAS

- ✓ Datos arrojados por HEC-RAS, se debe asegurar que en RS este el valor de la cota aguas arriba que es 2000, luego si pase a mirar los datos correspondientes (Figura 66)

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Canal Profile: TR50

Reach: Rectangular RS: 2000 Plan: canal01

Plan: canal01 Canal Rectangular RS: 2000 Profile: TR50

E.G. Elev (m)	91.51	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.20	Wt. n-Val.		0.014	
W.S. Elev (m)	91.32	Reach Len. (m)	100.00	100.00	100.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)		6.07	
E.G. Slope (m/m)	0.001000	Area (m ²)		6.07	
Q Total (m ³ /s)	12.00	Flow (m ³ /s)		12.00	
Top Width (m)	5.00	Top Width (m)		5.00	
Vel Total (m/s)	1.98	Avg. Vel. (m/s)		1.98	
Max Chl Dpth (m)	1.21	Hydr. Depth (m)		1.21	
Conv. Total (m ³ /s)	379.4	Conv. (m ³ /s)		379.4	
Length Wtd. (m)	100.00	Wetted Per. (m)		7.43	
Min Ch El (m)	90.10	Shear (N/m ²)		8.02	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		15.84	
Frctn Loss (m)	0.10	Cum Volume (1000 m ³)		0.61	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m ²)		0.50	

Errors, Warnings and Notes

Figura 66. Datos de las propiedades hidráulicas en HEC-RAS

- ✓ En estos datos hace falta el número de Froude para así comprobar que es un régimen subcrítico con $F < 1$, para ello de clic en *Profile Output Table* y busque *Froude #Chl* (Figura 67 y 68)

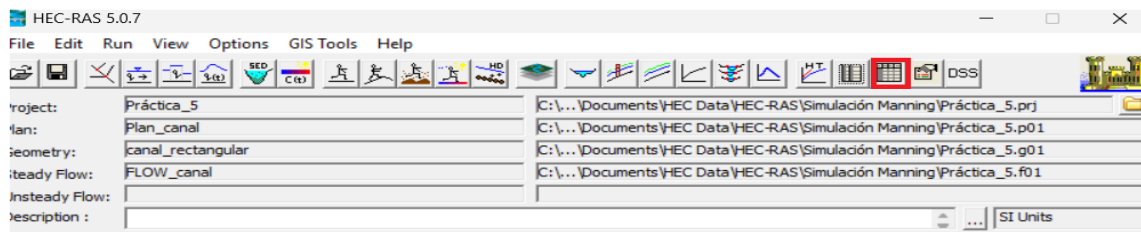


Figura 67. Ventana para seleccionar Profile Output Table

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: canal01 River: Canal Reach: Rectangular Profile: TR50

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)	Top Width (m)	Froude # Chl
Rectangular	2000	TR50	12.00	90.10	91.32		91.51	0.001000	1.98	6.07	5.00	0.57
Rectangular	1000	TR50	12.00	90.00	91.22	90.84	91.41	0.001001	1.98	6.07	5.00	0.57

Figura 68. Ventana para observar el número de froude

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/Gkkxw_JD66A?si=Rcm2Pe6kqw5c8j-t

6. Descripción del entregable

6.1 Entregables de la simulación

Debe entregar un informe de la simulación hecho en WORD y guardarlo como PDF, en este lo que se va a reportar son datos, perfiles, etc. Para esto tome capturas de pantalla de las siguientes cosas:

NOTA: (TENGA EN CUENTA QUE LAS CAPTURAS DEBEN INCLUIR TAMBIEN LA PARTE DEL ADMINISTRADOR DE TAREAS PARA QUE SE PUEDA VER LA FECHA, HORA Y DIA QUE LO HIZO)

- ✓ Ventana donde guardó el proyecto la primera vez (*Figura 69*)
- ✓ Secciones transversales aguas abajo y aguas arriba del canal (*Figura 24 y Figura 34*)
- ✓ Ventana de guardado de los datos geométricos o de sus secciones transversales finales en su respectiva carpeta (*Figura 70*)
- ✓ Ventana con las condiciones de contorno ya aplicadas (*Figura 71*)
- ✓ Ventana de guardados de datos de las condiciones de contorno (Flujo) (*Figura 72*)
- ✓ Ventana para poner nombre a la simulación (plan) (*Figura 51*)
- ✓ Ventana para dar por terminada la ejecución de la simulación (*Figura 73*)
- ✓ Los resultados obtenidos al ver el video de la simulación que se obtienen de la *Figura 57, Figura 58, Figura 59 y Figura 60*
- ✓ Captura de pantalla de los datos correspondientes a propiedades hidráulicas de HCANALES *Figura 64* y los datos de HEC-RAS *Figura 66 y Figura 68*

6.2 Preguntas de análisis

Realice las siguientes actividades sustentando las respuestas con los datos arrojados por el programa:

1. Resumen técnico (Abstract)

Redacte un resumen (150–200 palabras) que describa el contexto del problema, el objetivo de la simulación, la metodología utilizada (HEC-RAS y H-CANALES), los principales resultados y las conclusiones derivadas del análisis.

2. Interpretación del coeficiente de Manning

Explique cómo influye el coeficiente de rugosidad de Manning ($n = 0.014$) en la velocidad y el régimen del flujo dentro del canal rectangular. ¿Qué implicaciones tendría cambiar el material del canal?

3. Sensibilidad al coeficiente de rugosidad

Repita la simulación variando el coeficiente de Manning a valores típicos de otros materiales (por ejemplo, 0.012 y 0.018). Analice cómo varían la velocidad y el número de Froude, y determine en qué condiciones el flujo podría volverse crítico o supercrítico.

4. Evaluación del régimen de flujo

Con base en el número de Froude obtenido en la simulación, determine si el flujo es subcrítico, crítico o supercrítico. ¿Por qué es importante identificar el régimen al diseñar canales abiertos?

5. Influencia de la pendiente

Analice cómo cambiaría la velocidad del flujo si la pendiente se redujera a 0.0005 o aumentara a 0.002. (con el coeficiente de Manning como el del problema inicial el cual fue de 0.014), ¿Qué conclusiones puede extraer sobre el diseño del canal frente a la pendiente?

6. Diseño hidráulico y normativo

Si la normativa local exige una velocidad máxima de 0.8 m/s, ¿el diseño actual la cumple? Si no la cumple, proponga dos soluciones posibles (una geométrica y una relacionada con el material del canal) y analice sus ventajas y desventajas

7. Referencias Bibliográficas

- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.
- HidroGIS. (2019, octubre 31). *Curso básico de HEC-RAS – clase n.º 03: simulación hidráulica de un canal rectangular* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=iUD1JaQhQtQ>
- Liu, X., & Song, T. (2025). *Hybrid modeling of Manning roughness using neural networks*. *arXiv preprint*, arXiv:2502.12396. <https://arxiv.org/abs/2502.12396>
- Malaver Nieto, E. D. (2023). *Desarrollo de simulaciones de modelos hidráulicos como herramienta de soporte de la enseñanza del laboratorio de hidráulica* (Trabajo de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Marbello, R. (2005). *Flujo uniforme y determinación de la rugosidad en canales*. Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez, J., Gómez, L., & Rivera, P. (2025). *Experimental study of flow resistance in macro-rough surfaces*. *Water*, 17(9), 1301. <https://doi.org/10.3390/w17091301>
- United States Geological Survey. (1989). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains* (Water-Supply Paper 2339). <https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>
- Villón, B. (1995). *Hidráulica de canales*. Universidad Nacional de Ingeniería.