Universidad de Granada
Área de Ingeniería Hidráulica
Área de Urbanismo y Ordenación del Territorio

Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1

Leonardo S. Nanía
Emilio Molero

Curso de Especialización
Modelación de Ríos con HEC-RAS y SIG: Régimen Permanente 1-D
Granada, 14 al 16 de Febrero de 2007

Edificio Politécnico
Campus de Fuentenueva
18071 Granada

© Leonardo S. Nanía y Emilio Molero
Leonardo S. Nanía Escobar (Editor)

ISBN: 978-84-690-5877-0
Depósito Legal: GR-1127/07

Se permite la difusión electrónica sin cambios del original y su impresión sin omisiones.
Se recomienda imprimir en color y doble cara, sobre papel de 100 gr/m^2.

Índice

1.Introducción 5

2.Desarrollo de un Modelo Hidráulico 5

3.Ejecutar el Programa 5

Cambiar la configuración regional 5

4.Comenzar un Proyecto Nuevo 7

Cambiar el sistema de unidades 8

5.Abrir un Proyecto Existente 8

6.Introducir datos geométricos 9

Crear el tramo 9

Introducir datos de secciones transversales 11

Interpolar secciones transversales 13

7.Introducir los datos hidráulicos (flujo permanente) 15

Introducir las condiciones de contorno 16

8.Crear un plan y ejecutar una simulación (flujo permanente) 16

9.Ver los resultados 18

Secciones transversales 19

Perfiles de las láminas de agua 20

Gráficas de varios parámetros a lo largo de todo el perfil 20

Ver curvas caudal-calado de cada perfil 21

Ver dibujos en perspectiva 21

Ver tablas de detalle 22

Ver tabla de resumen 23

Mensajes 23

Traducción de Avisos más comunes 24

Traducción de Notas más comunes 24

10.Opciones avanzadas 25

Incluir tramos con confluencias 25

Convertir secciones interpoladas en “medidas” 25

Crear el nuevo tramo 25

Introducir secciones desde una hoja de cálculo 27
Colocar las secciones a la cota correcta 28
Interpolación de secciones usando líneas auxiliares 28
Introducir Puentes 30
Definir áreas inefectivas 34
Interpolar las secciones de aproximación del puente 34
Introducir Culverts 35
Crear las áreas inefectivas aguas arriba y aguas abajo 37
Interpolar las secciones de aproximación del culvert 38
Introducir Encauzamientos 39
Definir levees 40
Introducir estructuras en línea 41
Introducir estructuras laterales 44
Introducir obstrucciones al flujo 45
11.¿Qué es HEC-GeoRAS 3.1.1? 47
12.¿Para qué sirve HEC-GeoRAS? 47
13.Instalación de HEC-GeoRAS 47
14.Activación de HEC-GeoRAS 48
15.Cartografía necesaria 49
16.Esquema de trabajo 49
17.Proceso 50
Trabajo previo con ArcView (PreRas) 50
Trabajo con HecRas 55
Trabajo final con ArcView (PostRas) 57
18.Referencias 59

1. Introducción

El presente manual básico fue desarrollado para el uso del programa HEC-RAS versión 3.1.3, tomando como referencia HEC (2002a y 2002b) y la extensión HEC-GeoRAS en su versión 3.1.1 para ArcView 3.2, en el curso de especialización "Modelación de Ríos con HEC-RAS y SIG: Régimen Permanente 1-D", impartido en la Universidad de Granada, España, del 14 al 16 de febrero de 2007.

2. Desarrollo de un Modelo Hidráulico

Para desarrollar el modelo hidráulico de un cauce, canal o río, deben completarse los siguientes pasos:

1. Crear un proyecto nuevo
2. Introducir los datos geométricos
3. Introducir los datos hidráulicos: caudal y condiciones de contorno
4. Crear un plan seleccionando una geometría y unos datos hidráulicos y ejecutar la simulación
5. Ver los resultados

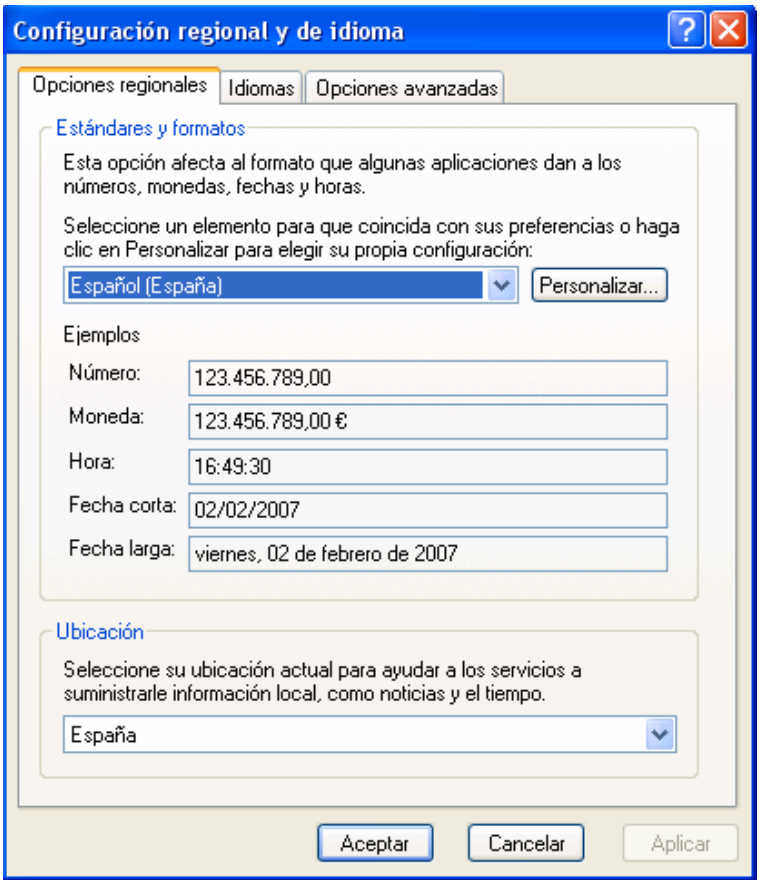
3. Ejecutar el Programa

Al ejecutar el programa, es posible que aparezca la siguiente ventana:

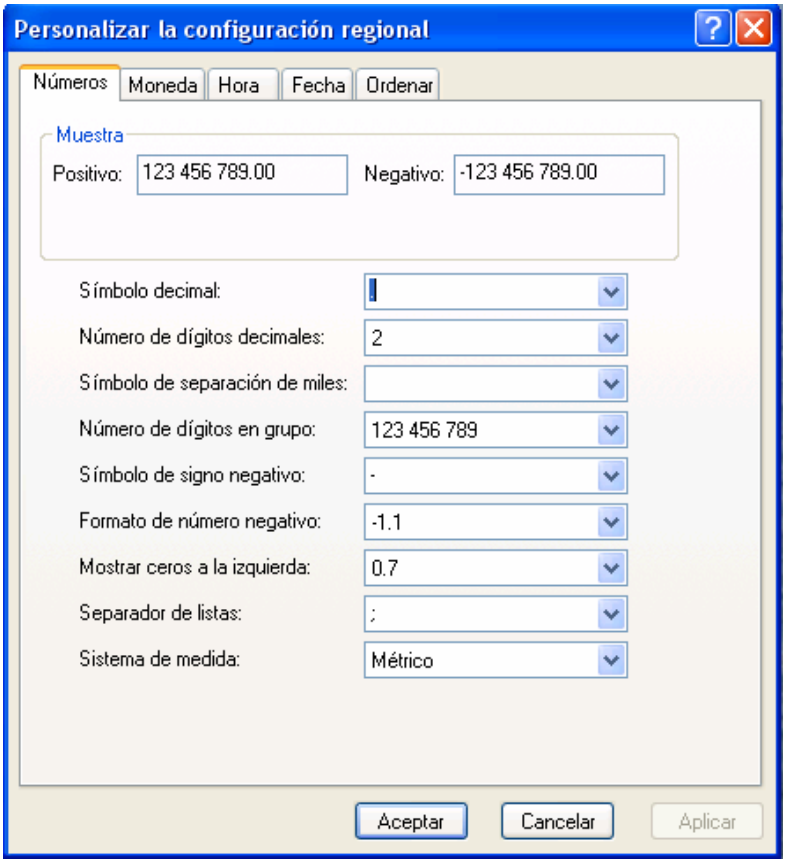
Lo cual significa que la configuración regional de nuestro ordenador tiene la coma como separador de decimales y el punto como separador de miles. HEC-RAS 3.1.3 trabaja sólo con la configuración americana, por lo cual hay que cambiarla antes de continuar.

Cambiar la configuración regional

- Seleccionar Inicio/Panel de Control/Configuración regional y de idioma

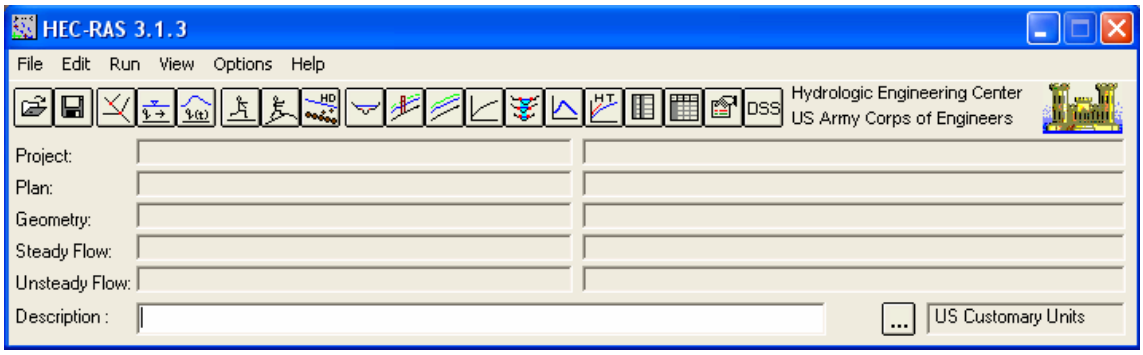


- Seleccionar Personalizar



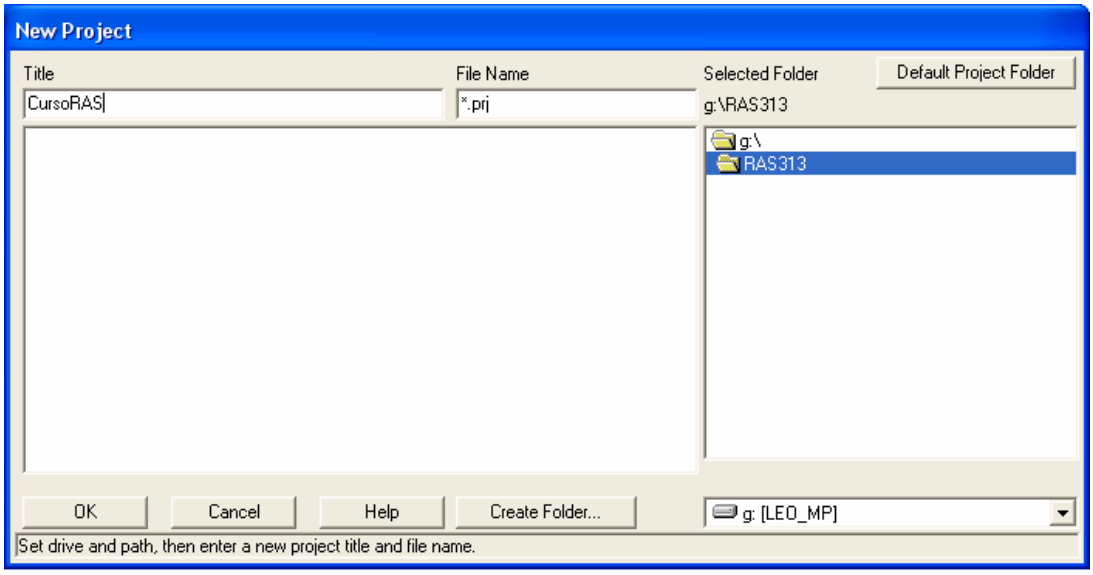
- En la pestaña “Números”, en “Símbolo decimal”, cambiar la coma por el punto y en “Símbolo de separación de miles”, reemplazar el punto por un espacio. Hacer lo mismo en la pestaña “Moneda”.

Una vez solucionado el problema con la configuración regional, aparecerá la pantalla principal del programa.

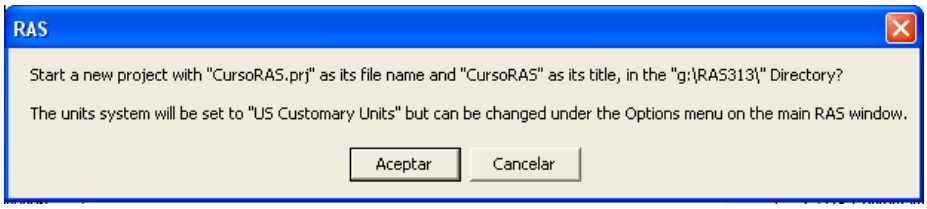


4. Comenzar un Proyecto Nuevo

Para comenzar a trabajar es necesario crear un proyecto nuevo, seleccionando File/New Project

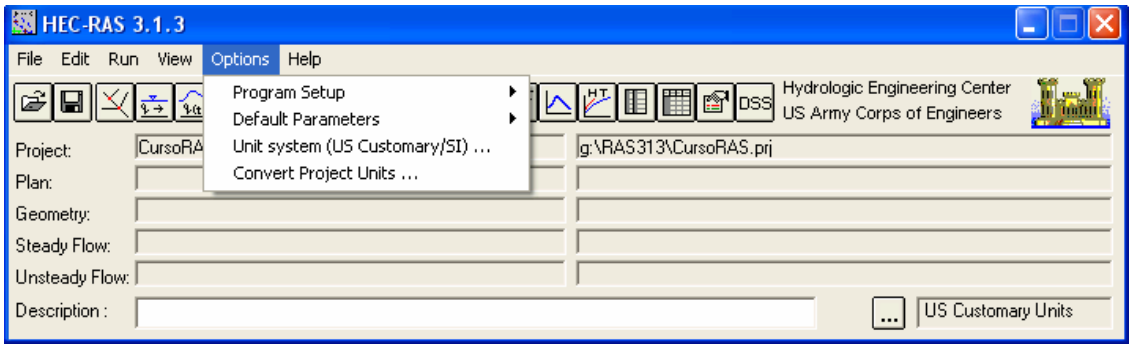


- Creamos o seleccionamos una carpeta donde crear nuestro nuevo proyecto y lo creamos colocando un nombre en “Title” y un nombre en “File Name”, con la extensión .prj.
- OK para aceptar.
- Aparecerá una ventana que nos pregunta si queremos crear un proyecto con el nombre y título dados. Nos avisa que por defecto el proyecto está configurado para trabajar con unidades inglesas.
- Aceptamos.

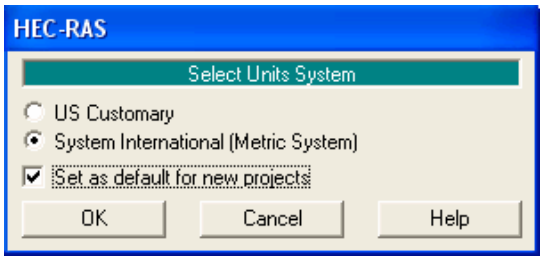


Cambiar el sistema de unidades

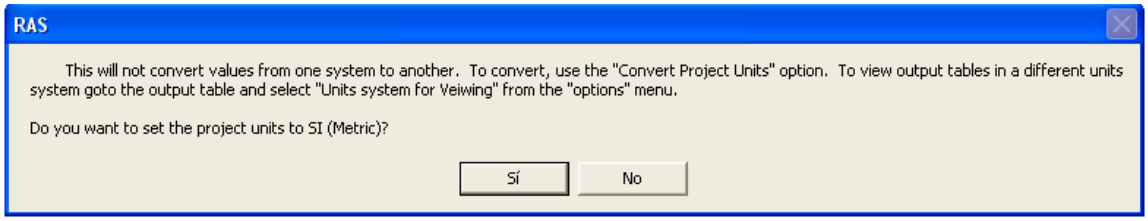
- Seleccionamos Options/Unit system (US Customary/SI)



Aparecerá la ventana



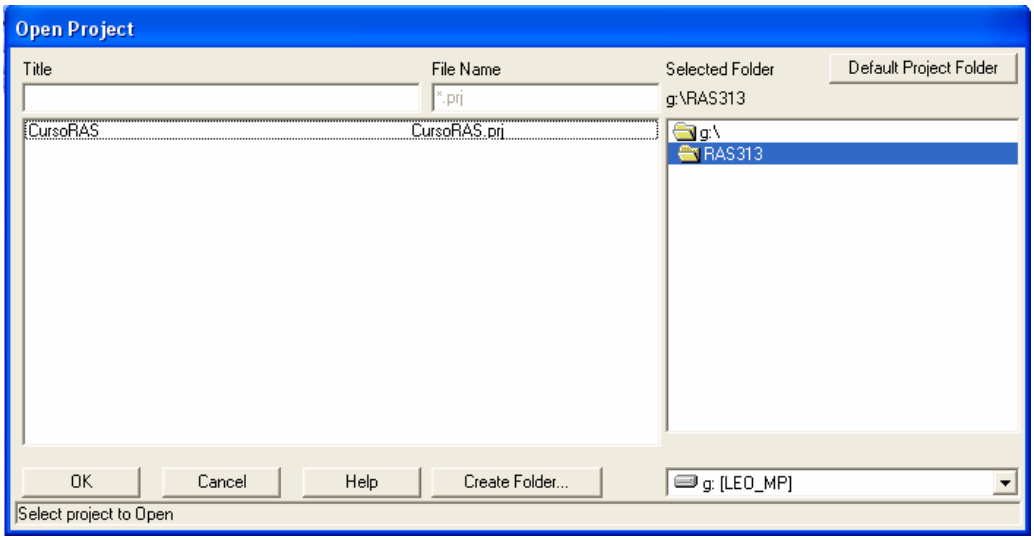
- Seleccionar la opción System Internacional (Metric System).
- Si seleccionamos también “Set as default for new projects”, todos los nuevos proyectos que se creen serán con unidades del sistema internacional.
- OK para aceptar



Nos avisa que esa opción sólo configura el sistema de unidades pero NO CONVIERTE las unidades de un proyecto abierto.

5. Abrir un Proyecto Existente

- Seleccionar File/Open Project

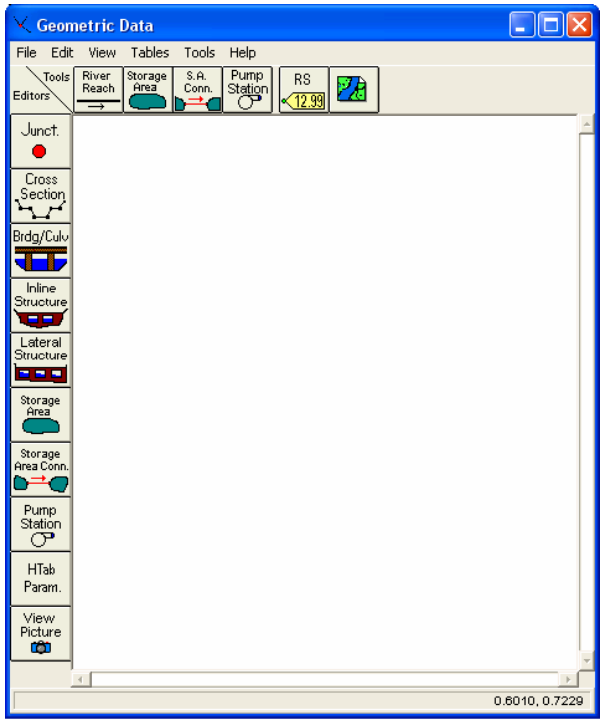


Desde esta ventana podemos navegar por el ordenador hasta encontrar el fichero del proyecto que deseamos abrir.

6. Introducir datos geométricos

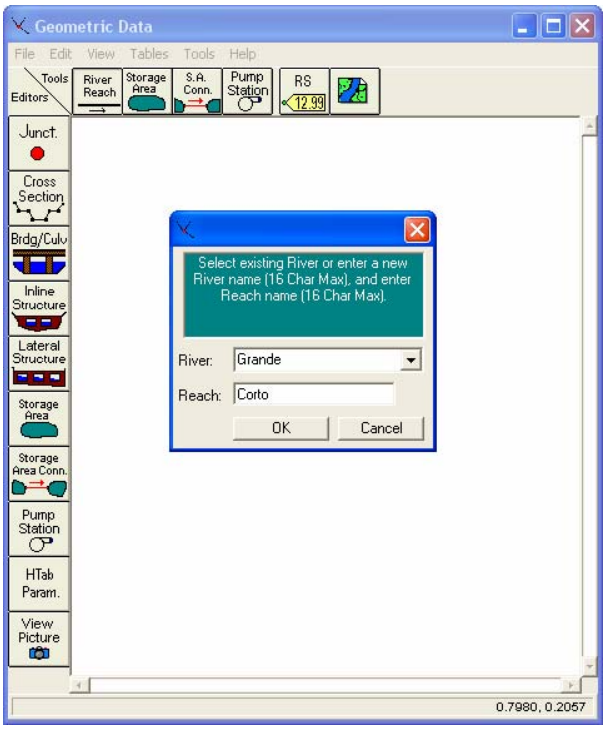
Crear el tramo

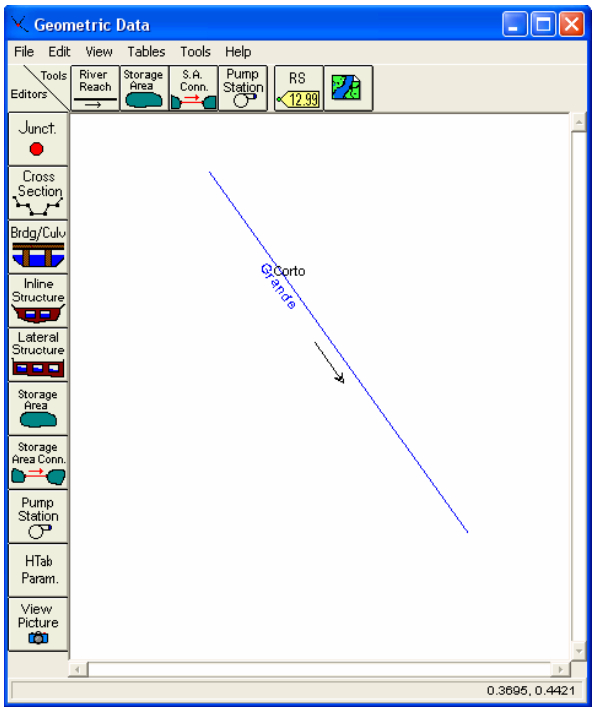
- Seleccionar Edit/Geometric Data o bien el icono



- Para comenzar a trabajar, es necesario crear en esta ventana el esquema del río o cauce de tramo a tramo.
- Para ello activar el icono “River Reach” dentro de la ventana “Geometric Data”.

- El puntero del ratón se convertirá en un lápiz. Dibujar un tramo de cauce, haciendo clic en un punto para definir el extremo de aguas arriba y dos clics en otro punto para definir el extremo de aguas abajo del tramo.
- También podemos hacer quiebres en el esquema, definiendo puntos intermedios con un solo clic del ratón. Recordar que aunque dibujemos una curva en nuestro esquema, el programa calcula siempre flujo 1-D.
- Cuando definamos el extremo de aguas abajo aparece una ventana donde debemos introducir el nombre del río (hasta 32 caracteres) y el nombre del tramo (hasta 12 caracteres).
- OK para aceptar.

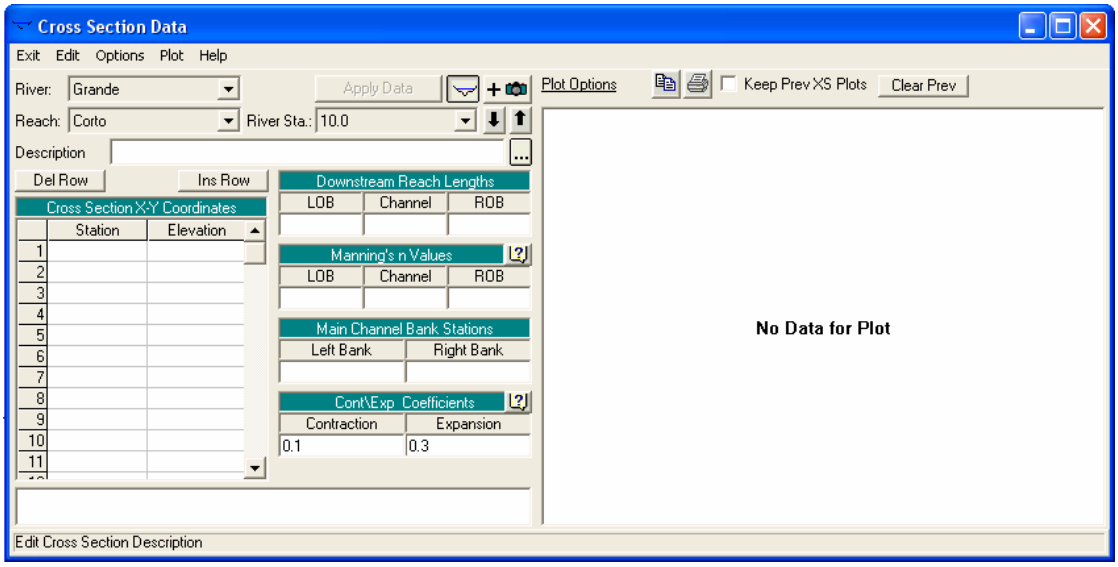




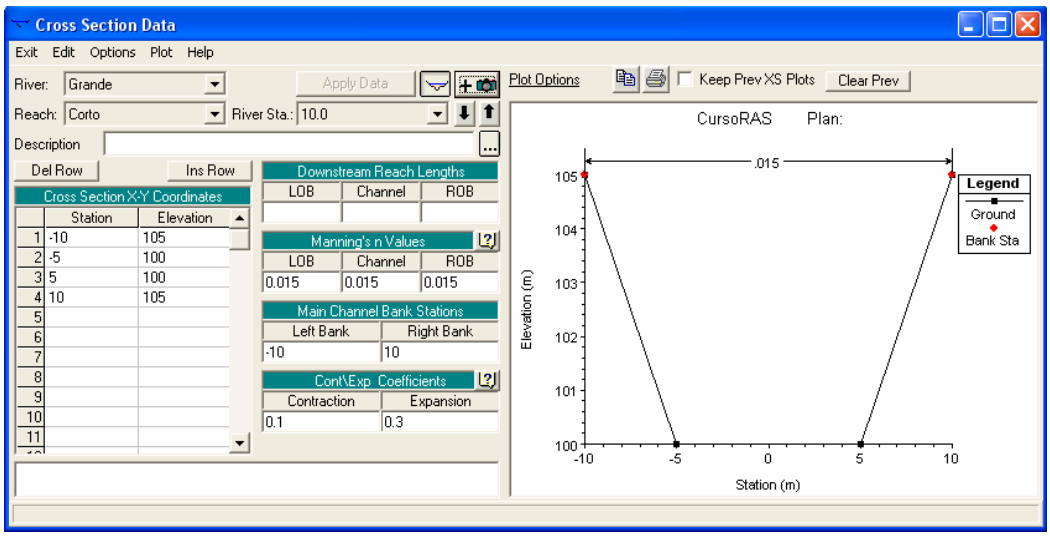
Introducir datos de secciones transversales

- En la ventana “Geometric Data” seleccionar el icono “Cross Section”
- Aparecerá una ventana con un espacio en blanco
- Para introducir la primera sección transversal, seleccionar Options/Add a new Cross Section
- Aparecerá una ventana pidiendo un identificador para la sección transversal
- Introducir un número que representará su posición relativa con respecto a las demás secciones.

Se recomienda que sea un punto kilométrico o una referencia fácilmente reconocible en un mapa. El orden como se ordenan las secciones es aguas arriba las que tienen número mayor y aguas abajo las que tienen número menor.



- Si se desea se puede incluir una descripción en el campo “Description”.
- Construir la sección transversal introduciendo la abscisa en “Station” y la cota en “Elevation”. Si se trata de una sección simétrica, es conveniente considerar el 0 de las abscisas coincidente con el eje del canal.
- Cada vez que cliquemos sobre “Apply Data” los datos serán introducidos y representados en el espacio de la derecha.

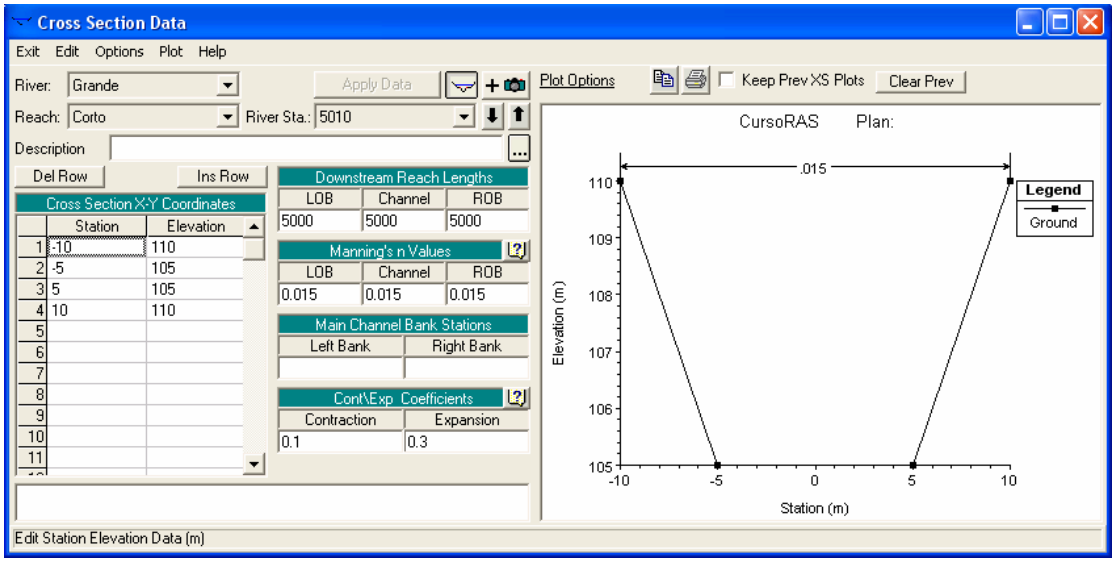


Para crear un canal prismático con una pendiente determinada, podemos copiar la sección que hemos creado y cambiar las cotas o las abscisas (station) en bloque con los comandos. Por ejemplo, supongamos que la sección de aguas arriba está a 5000 m y como el canal tiene una pendiente de 0,001, se encuentra 5 m más arriba que la que hemos introducido. Para crear esa sección:

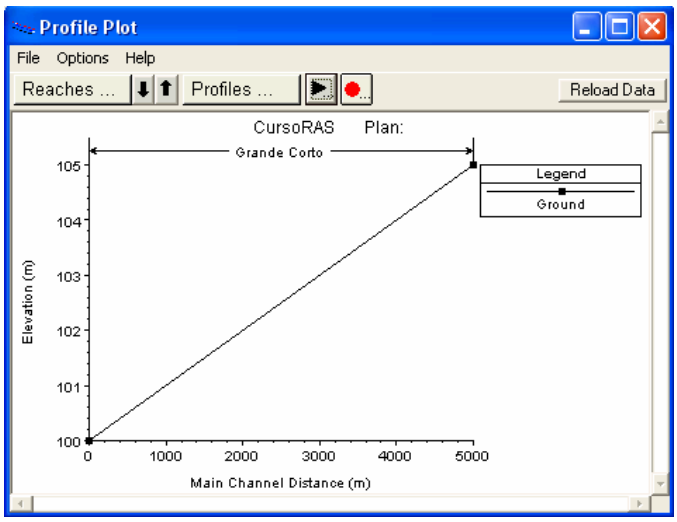
- Seleccionamos Options/Copy Current Cross Section
- Introducimos el número identificador de la posición relativa de la sección (River Station)
- En "Downstream Reach Lengths" introducimos la distancia hasta la sección de aguas abajo en metros (En este caso, 5000)

Se creará una sección transversal idéntica que la anterior a una distancia de 5000 m. Para aumentar la cota de toda la sección:

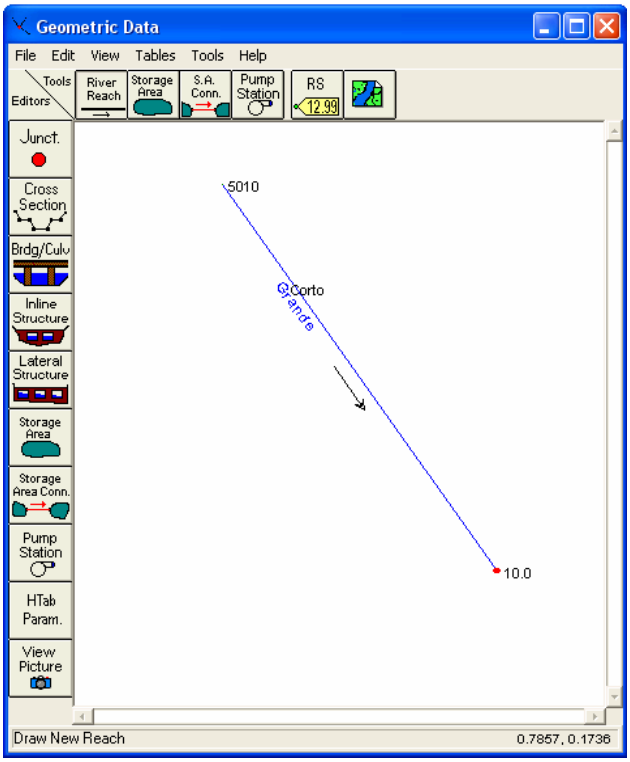
- Seleccionamos Options/Adjust Elevations e introducimos la cantidad en metros que queremos subir o bajar la sección transversal (En este caso, 5).



En cualquier momento de la edición, podemos ver la sección transversal en una ventana aparte seleccionando Plot/Plot Cross Section (in a separate window) y el perfil longitudinal del río seleccionando Plot/Plot Profile.



Una vez hemos introducido por lo menos 2 secciones transversales, aparecerán ambas indicadas en la ventana "Geometric data".



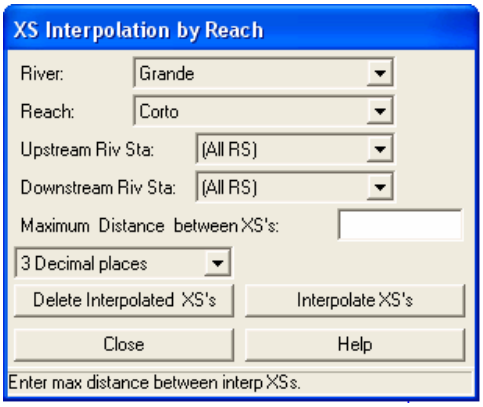
Interpolar secciones transversales

Como deseamos obtener datos de la lámina de agua en este canal prismático cada 50 m, interpolaremos secciones transversales cada esa distancia.

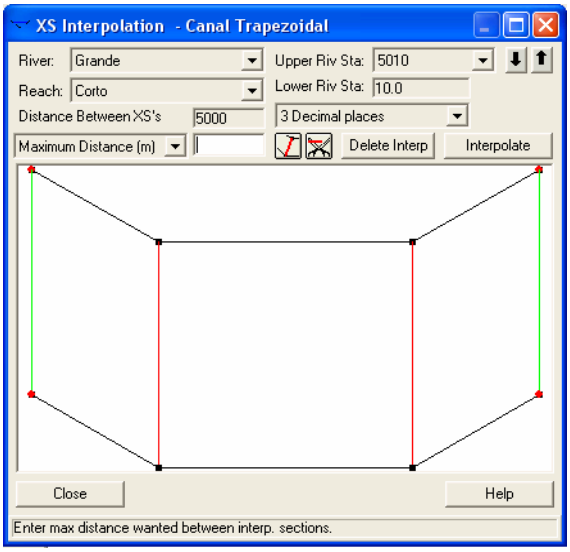
- En la ventana "Geometric Data", seleccionamos Tools/XS interpolation.

Aparecen 2 opciones: "Within a Reach" (dentro de un tramo) y "Between 2 XS's" (Entre 2 secciones transversales.

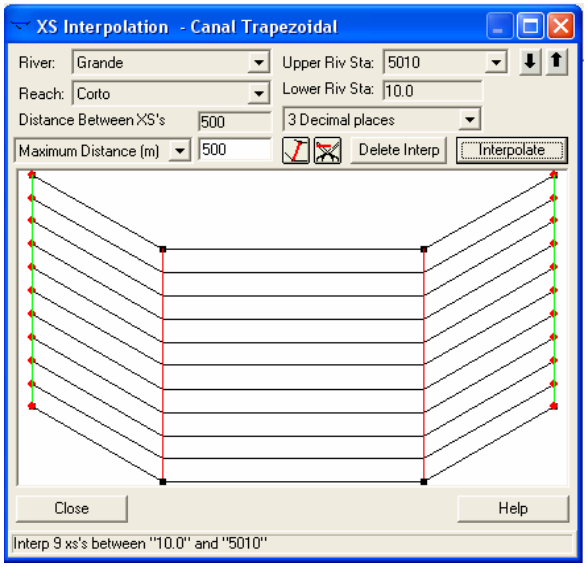
Con la opción "Within a Reach" aparece una ventana donde podemos elegir río (River), tramo (Reach), sección de aguas arriba (Uptream Riv Sta), sección de aguas abajo (Downstream Riv Sta), distancia máxima entre secciones transversales (Maximum distance between XS's) y elegir el número de decimales a usar en la distancia final entre secciones.

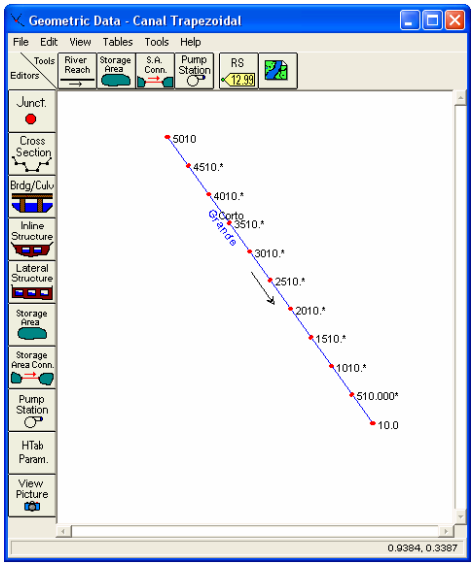


Con la opción “Between 2 XS’s” aparece una ventana con esencialmente las mismas características que la anterior, excepto que esta incluye un dibujo de ambas secciones y unas herramientas que sirven para crear y eliminar “cuerdas” o líneas auxiliares para controlar la interpolación (Ver opciones avanzadas más adelante).



Una vez realizada la interpolación, el aspecto de la ventana de interpolación y de la ventana de datos geométricos es el siguiente:

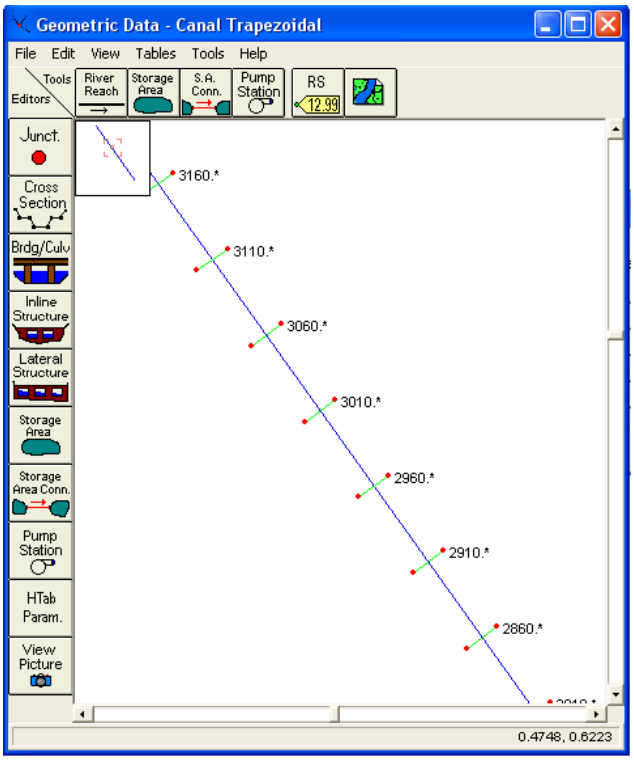




Cada sección interpolada aparece con un asterisco (*) luego del número de identificación. Todas las características de las secciones se interpolan, incluyendo el coeficiente n de Manning.

En cualquier momento se puede cambiar la interpolación, para lo cual es necesario borrar la anterior seleccionando el icono correspondiente en las ventanas de interpolación.

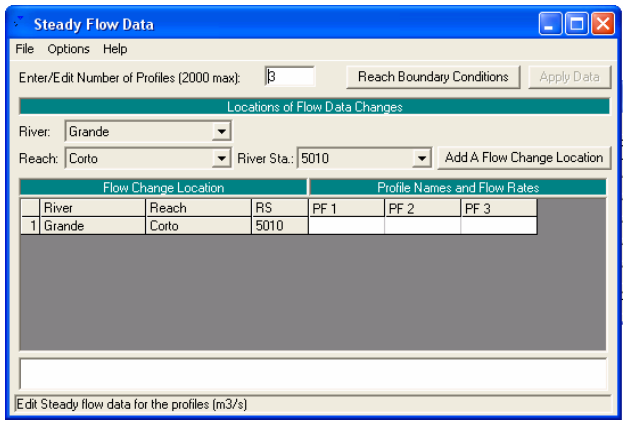
- Si las secciones que definen nuestro canal están muy juntas como para verlas todas a la vez en la ventana de datos geométricos, podemos hacer un acercamiento, seleccionando View/Zoom in y definiendo a continuación una ventana con el ratón.



Aparecerá en la esquina superior izquierda un pequeño plano de situación de la zona acercada.

7. Introducir los datos hidráulicos (flujo permanente)

- Seleccionar Edit/Steady Flow Data o el icono
- Aparecerá una ventana que nos permite:
- Definir el número de perfiles (hasta 2000), cada uno de los cuales corresponde a un caudal diferente (Enter/Edit Number of Profiles)
- Definir las condiciones de contorno (Reach Boundary Conditions)
- Introducir cambios en los caudales en determinadas secciones (Add a Flow Change Location). Ya que considera que el caudal no cambia hacia aguas abajo hasta que se encuentra con otro valor en otra sección
- Definir los caudales de cada perfil en cada sección donde se produce un cambio de caudal (no permite introducir cambios de caudales en secciones interpoladas)



Por ejemplo, en nuestro canal deseamos la lámina de agua para caudales de 100, 200 y 300 m^3/s que entran en el extremo de aguas arriba (sección 5010). Las condiciones de contorno son de calado crítico aguas abajo con los 3 caudales, pero también se quiere simular el caudal menor con una condición de contorno de aguas abajo de calado de 4 m (nivel de agua = 104 m). Las condiciones de contorno de aguas arriba será de calado normal con la pendiente del canal (S = 0,001)

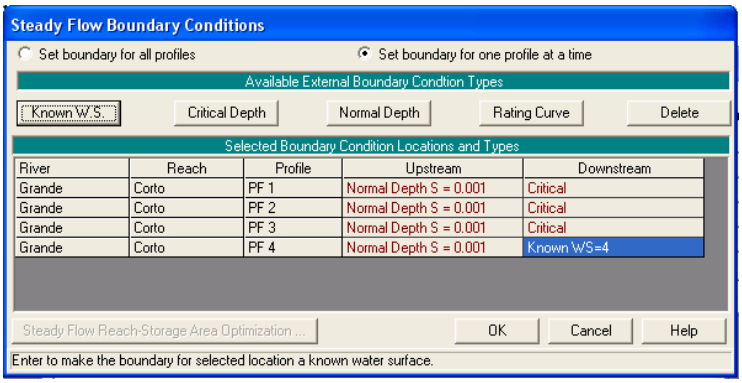
Introducir las condiciones de contorno

Las condiciones de contorno que se admiten son:

- Nivel de agua conocido (Known W.S.): adecuada si se conoce un nivel en alguna sección transversal. Es importante destacar que el programa exige NIVEL, por lo que hay que introducir el calado más la cota más baja de la sección.
- Calado crítico (Critical Depth): adecuada si existe alguna sección de control. En esta opción no se exige ningún dato adicional.
- Calado normal (Normal Depth): adecuada para situaciones donde el flujo se aproxime al uniforme. Exige introducir la pendiente del tramo de influencia.
- Curva de Gasto (Rating Curve): adecuada si existe alguna sección de control con una relación entre calado y caudal fija.

- Seleccionando el icono “Reach Boundary Conditions” aparece la ventana para introducir las condiciones de contorno.

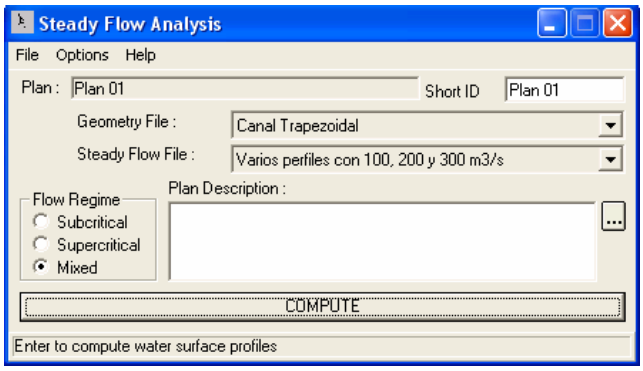
Pueden introducirse condiciones para todos los perfiles a la vez o uno a uno. En este caso conviene seleccionar la opción de todos los perfiles a la vez (Set boundary for all profiles), completar las condiciones de aguas arriba y aguas abajo y luego seleccionar la opción de un perfil por vez (Set boundary for one profile at a time). Con ello logramos que todos los perfiles tengan las mismas condiciones. Luego cambiamos la de aguas abajo sólo del perfil 4 para adaptarla a nuestros requisitos (nivel conocido igual a 104 m).



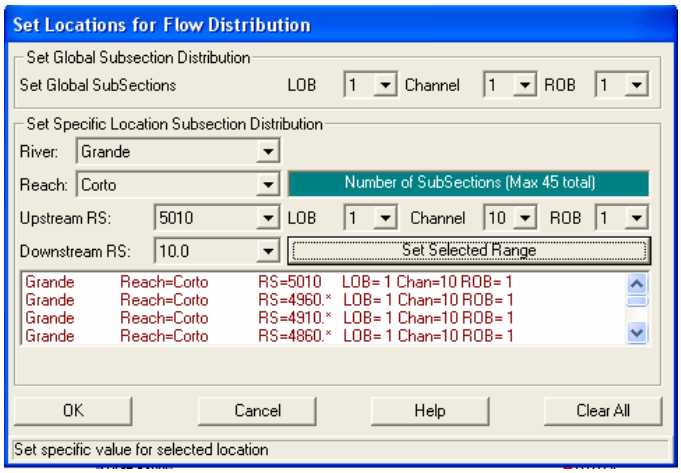
8. Crear un plan y ejecutar una simulación (flujo permanente)

Para realizar una simulación hidráulica del cauce es necesario crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos.

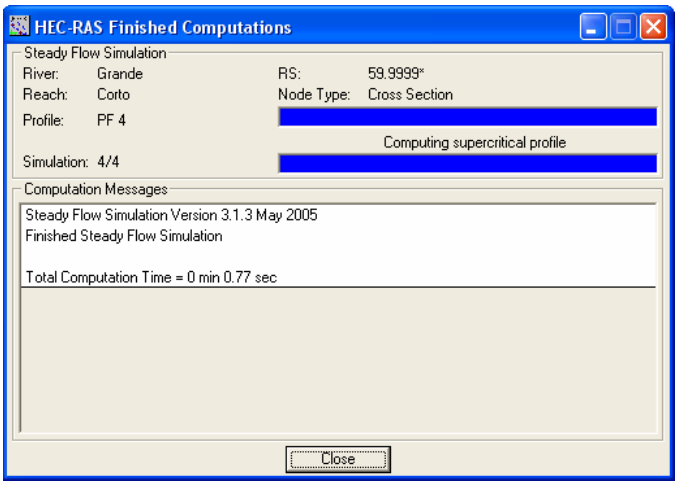
- Para ello, seleccionamos Run/Steady Flow Analysis o bien el icono
- Aparecerá una ventana donde podemos introducir un identificador. Si no lo hacemos aparecerá uno por defecto
- Seleccionamos un fichero de datos geométricos y uno de datos hidráulicos de entre los existentes
- Seleccionamos el régimen del flujo que se espera encontrar (Subcrítico, Supercrítico o Mixto). Si no estamos seguros se recomienda usar la opción "Mixed", pero debemos tener en cuenta que esta opción exige condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo
- Ejecutamos la simulación seleccionando "Compute"



- Si deseamos que el programa calcule la distribución de velocidades en horizontal, en la ventana "Steady Flow Analysis" seleccionamos Options/Flow Distribution Locations, donde podemos seleccionar el río (River), el tramo (Reach), desde qué sección hasta qué sección (Upstream RS y Downstream RS) y el número de subsecciones donde el programa debe calcular la velocidad media. Permite seleccionar subsecciones por separado para la llanura de inundación izquierda (LOB), el cauce principal (Channel) y la llanura derecha (ROB). No olvidemos clicar sobro el icono "Set Selected Range" para agregar las secciones al cálculo.



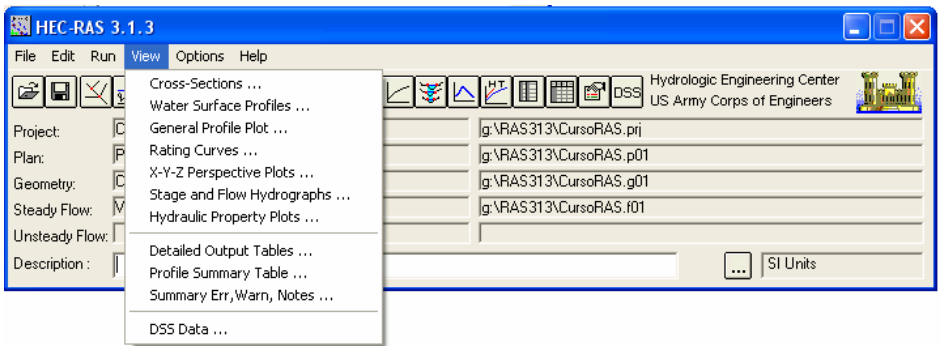
Una vez ejecutada la simulación correctamente, se mostrará la siguiente ventana



- Seleccionar “Close” para cerrar la ventana.

9. Ver los resultados

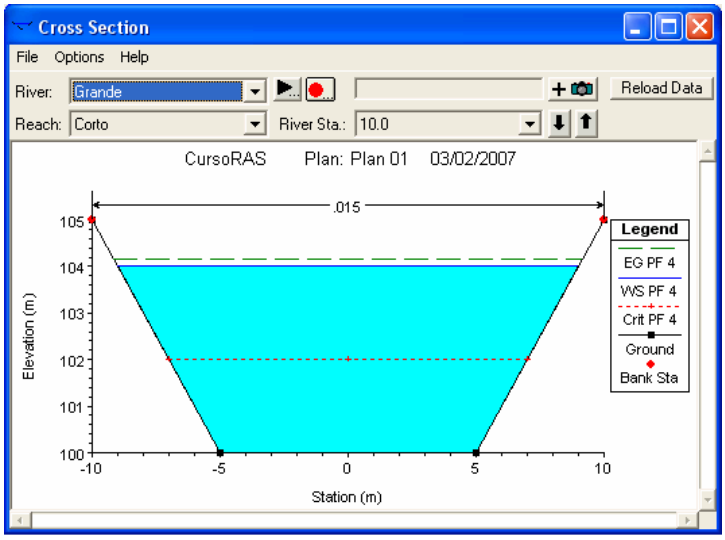
Una vez ejecutada la simulación correctamente, se pueden ver los resultados de varias maneras. Dentro del menú “View” se tienen las siguientes opciones, que son accesibles también a través de iconos:



- Ver las secciones transversales (Cross-Sections)
- Ver los perfiles de las láminas de agua (Water Surface Profiles)
- Ver gráficas de varios parámetros a lo largo de todo el perfil (General Profile Plot)
- Ver curvas caudal-calado de cada perfil (Rating Curves)
- Ver dibujos en perspectiva (X-Y-Z Perspective Plots)
- Ver hidrogramas de caudal y calado (sólo cuando se ejecutan simulaciones con flujo no permanente) (Stage and Flow Hydrographs)
- Ver gráficas de propiedades hidráulicas (Hydraulic Property Plots)
- Ver tablas de detalle (Detailed Output Table)
- Ver tabla de resumen (Profile Summary Table)
- Ver resumen de errores, avisos y notas (Summary Err, Warn, Notes)
- Ver datos en formato DSS (DSS Data)

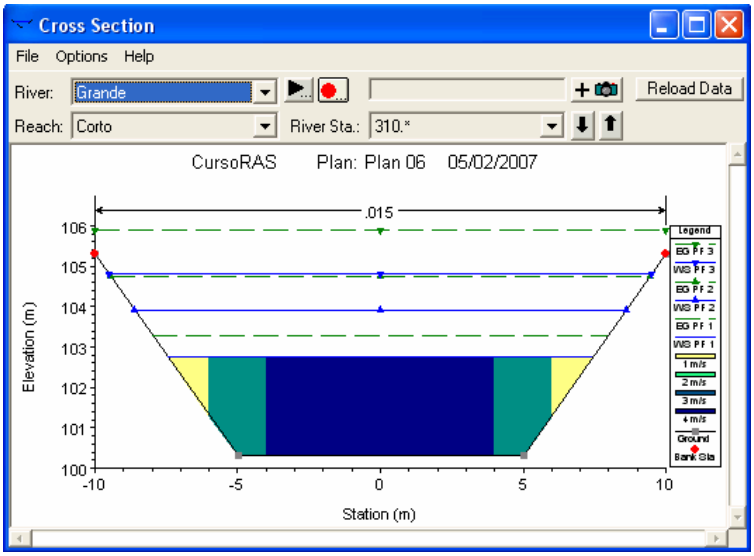
Secciones transversales

- En el menú "View" o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



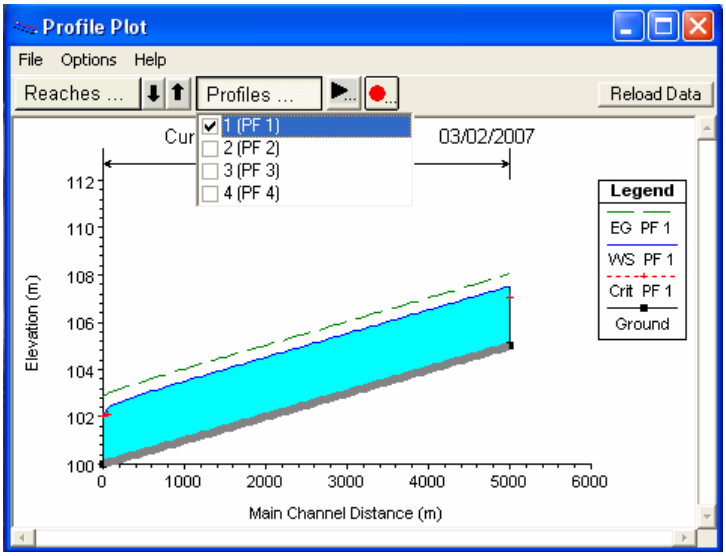
En el menú "Options" existen muchas posibilidades para personalizar esta gráfica como por ejemplo:

- Elegir el Plan
- Elegir el Perfil
- Ver o no secciones interpoladas
- Elegir las variables para ver
- Si hemos seleccionado la opción "Flow Distribution Locations" para ver la distribución del flujo en horizontal, debemos seleccionar en la ventana "Cross Section", Options/Velocity Distribution" e introducir un criterio para mostrar los colores.



Perfiles de las láminas de agua

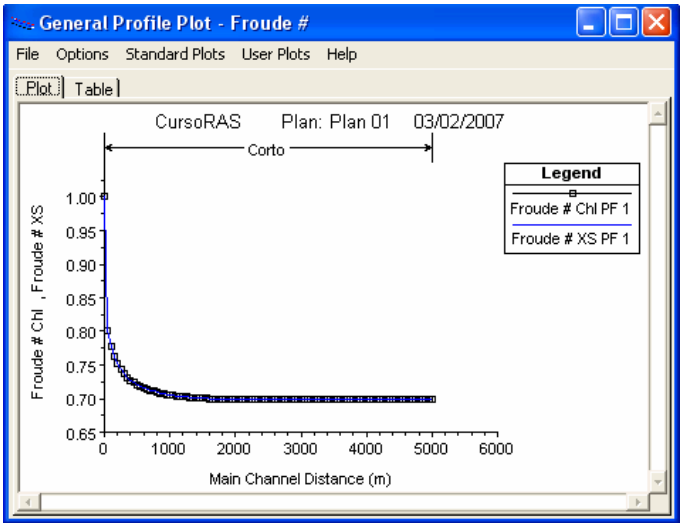
- En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



De nuevo en el menú “Options” tenemos todo tipo de posibilidades similares a las que tenemos con las secciones transversales. Es posible incluso hasta cambiar la escala de ambos ejes.

Gráficas de varios parámetros a lo largo de todo el perfil

- En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



Podemos elegir ver gráficas estándar seleccionando entre las opciones del menú “Standard Plots”, entras las cuales tenemos:

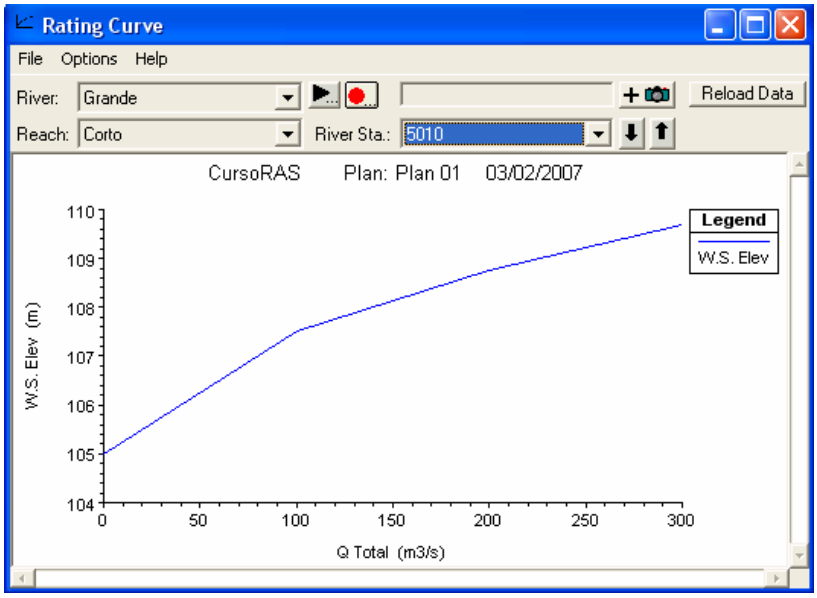
- Velocidad (Velocity)
- Caudal (Flow)
- Área de la sección transversal (Area)
- Coeficiente de Manning ponderado (Weighted n)

- Número de Froude (Froude #)
- Calado hidráulico (Hydraulic Depth)
- Tensión de corte (Shear)
- Área de la superficie (Surface Area)
- Volumen de agua (Volume)
- Potencia del flujo (Stream Power)

Podemos también definir gráficas personalizadas eligiendo cualquier parámetro calculado del problema. En todas las gráficas podemos elegir también la opción de verlo en formato tabla, seleccionando la pestaña "Table".

Ver curvas caudal-calado de cada perfil

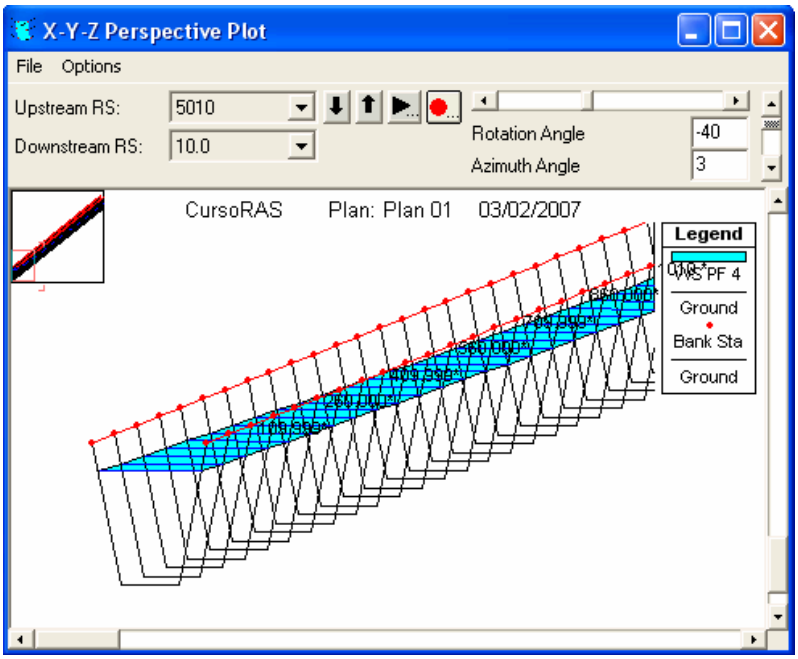
- En el menú "View" o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



Aquí se nos presentan las mismas posibilidades de la ventana "Cross Section".

Ver dibujos en perspectiva

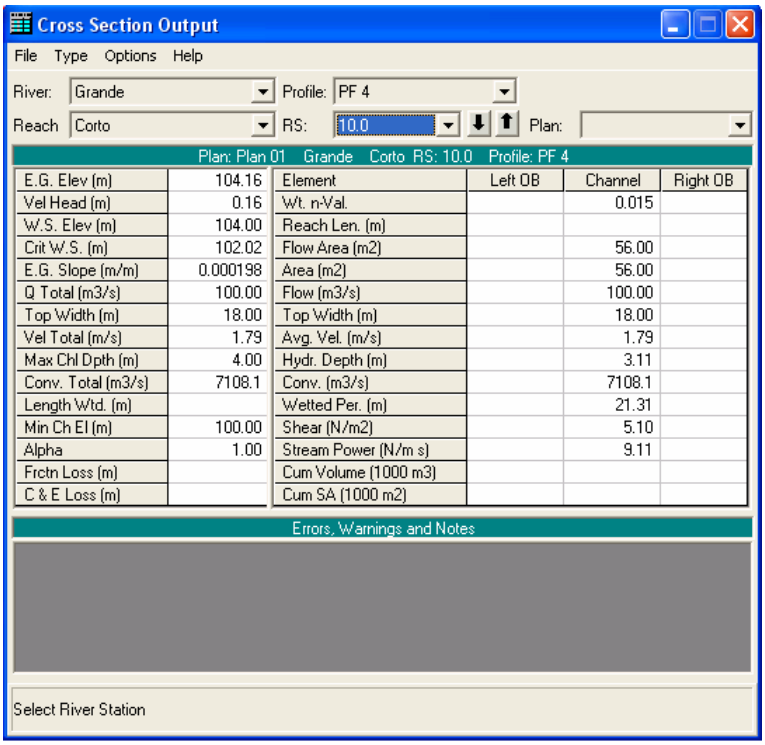
- En el menú "View" o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



Aquí, en el menú “Options” también podemos seleccionar el plan, el perfil (incluso varios o todos), hacer acercamientos, animaciones, etc. En la ventana podemos configurar la vista cambiando el ángulo horizontal (Rotation Angle) o el ángulo vertical (Azimuth Angle)

Ver tablas de detalle

- En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



E.G. Elev (m)	104.16	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.16	Wt. n-Val.		0.015	
W.S. Elev (m)	104.00	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	102.02	Flow Area (m2)		56.00	
E.G. Slope (m/m)	0.000198	Area (m2)		56.00	
Q Total (m3/s)	100.00	Flow (m3/s)		100.00	
Top Width (m)	18.00	Top Width (m)		18.00	
Vel Total (m/s)	1.79	Avg. Vel. (m/s)		1.79	
Max Chl Dpth (m)	4.00	Hydr. Depth (m)		3.11	
Conv. Total (m3/s)	7108.1	Conv. (m3/s)		7108.1	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		21.31	
Min Ch El (m)	100.00	Shear (N/m2)		5.10	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		9.11	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

Aquí se ve un resumen de los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones, con las opciones de incluir los mensajes de error, avisos y notas en la misma ventana y cambiar el sistema de unidades para la visualización.

Ver tabla de resumen

- En el menú "View" o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Grande Reach: Corto Profile: PF 4 Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Corto	5010	PF 4	100.00	105.00	107.52	107.02	108.03	0.000997	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4960.*	PF 4	100.00	104.95	107.47		107.98	0.000997	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4910.*	PF 4	100.00	104.90	107.42		107.93	0.000996	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4860.*	PF 4	100.00	104.85	107.37		107.88	0.000996	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4810.*	PF 4	100.00	104.80	107.32		107.83	0.000996	3.16	31.61	15.05	0.70
Corto	4760.*	PF 4	100.00	104.75	107.27		107.78	0.000995	3.16	31.61	15.05	0.70
Corto	4710.*	PF 4	100.00	104.70	107.22		107.73	0.000995	3.16	31.61	15.05	0.70
Corto	4660.*	PF 4	100.00	104.65	107.17		107.68	0.000995	3.16	31.62	15.05	0.70
Corto	4610.*	PF 4	100.00	104.60	107.12		107.63	0.000994	3.16	31.62	15.05	0.70
Corto	4560.*	PF 4	100.00	104.55	107.08		107.58	0.000994	3.16	31.63	15.05	0.70
Corto	4510.*	PF 4	100.00	104.50	107.03		107.53	0.000994	3.16	31.63	15.05	0.70
Corto	4460.*	PF 4	100.00	104.45	106.98		107.48	0.000993	3.16	31.64	15.05	0.70
Corto	4410.*	PF 4	100.00	104.40	106.93		107.44	0.000993	3.16	31.64	15.05	0.70
Corto	4360.*	PF 4	100.00	104.35	106.88		107.39	0.000992	3.16	31.65	15.05	0.70
Corto	4310.*	PF 4	100.00	104.30	106.83		107.34	0.000992	3.16	31.65	15.05	0.70
Corto	4260.*	PF 4	100.00	104.25	106.78		107.29	0.000991	3.16	31.66	15.05	0.70
Corto	4210.*	PF 4	100.00	104.20	106.73		107.24	0.000990	3.16	31.67	15.06	0.69
Corto	4160.*	PF 4	100.00	104.15	106.68		107.19	0.000989	3.16	31.68	15.06	0.69
Corto	4110.*	PF 4	100.00	104.10	106.63		107.14	0.000989	3.16	31.69	15.06	0.69
Corto	4060.*	PF 4	100.00	104.05	106.58		107.09	0.000988	3.16	31.70	15.06	0.69
Corto	4010.*	PF 4	100.00	104.00	106.53		107.04	0.000987	3.15	31.70	15.06	0.69
Corto	3960.*	PF 4	100.00	103.95	106.48		106.99	0.000986	3.15	31.71	15.06	0.69

Total flow in cross section.

Aquí, en principio aparece una tabla estándar, pero pueden elegirse entre 21 de ellas o configurar nuestra propia tabla. También nos permite elegir ver las secciones interpoladas o no.

Mensajes

Una vez ejecutada la simulación, el programa genera un registro de incidencias que se clasifican en:

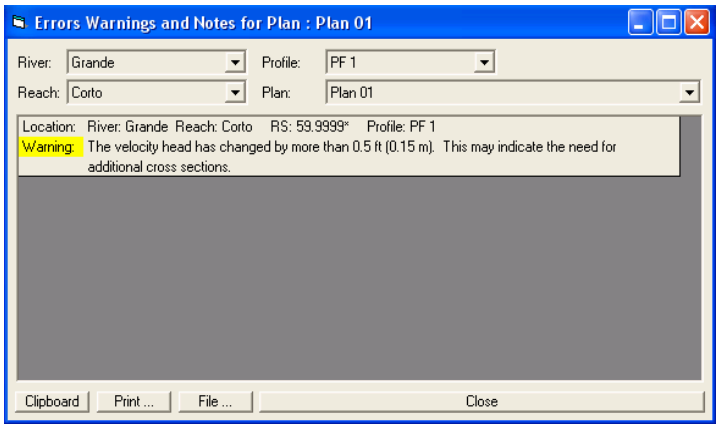
- Errores (Errors): los mensajes de error son enviados únicamente cuando han surgido problemas que han impedido que una simulación se complete

- Avisos (Warnings): los avisos dan información al usuario sobre incidencias que pueden exigir o no acciones de corrección. Cuando aparecen estos mensajes, el usuario debe revisar los resultados hidráulicos de la sección afectada para asegurarse de que sean razonables. A veces pueden ir acompañados de alguna sugerencia que puede hacer desaparecer este mensaje en futuras simulaciones. Los problemas más comunes que suelen hacer aparecer mensajes son:

    - Secciones demasiado espaciadas
    - Secciones que comienzan o terminan a una cota demasiado baja
    - Cota inicial de la lámina de agua incorrecta para el régimen especificado

- Datos de la sección transversal incorrectos

- Notas (Notes): dan información al usuario de cómo se están realizando los cálculos



Traducción de Avisos más comunes

- "Divided flow computed for this section": Fue calculado flujo dividido en esta sección. El flujo puede no ser 1-D
- "The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15m). This may indicate the need for additional cross section": La altura de velocidad ha cambiado más de 0,15 m, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales
- "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 carga fue mayor que 0,3 m entre las secciones transversales actual y anterior, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales
- "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 transporte (transporte aguas arriba partido el transporte aguas abajo) es menor que 0,7 o mayor que 1,4, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales
- "During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth": En las iteraciones del método del paso estándar, cuando la superficie libre fue asumida igual al calado crítico, la superficie calculada arrojó valores de calados inferiores al crítico. Esto indica que no existe una respuesta subcrítica válida. El programa colocó calado crítico
- "The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program selected the water surface that had the least amount of error between computed and assumed values": La ecuación de la energía no pudo ser balanceada con el número especificado de iteraciones. El programa eligió la superficie libre que tuvo el mínimo error entre los valores calculados y asumidos

Traducción de Notas más comunes

- "Program found supercritical flow starting at this cross section": El programa encontró flujo supercrítico a partir de esta sección transversal
- "Multiple critical depths were found at this location. The critical depth with the lowest valid water surface was used": En esta sección se encontraron múltiples calados críticos. Se eligió el calado crítico con el menor calado

- "Hydraulic jump was ocurred between this cross section and the previous upstream section": Un resalto hidráulico ha ocurrido entre esta sección transversal y la de agua arriba

10. Opciones avanzadas

Incluir tramos con confluencias

Copiaremos el fichero de datos geométricos del canal con otro nombre, dentro del mismo proyecto. Para ello, dentro de la ventana "Geometric Data" seleccionaremos File/Save Geometric Data As… y nos pedirá una descripción de la nueva geometría.

Antes de dibujar el nuevo tramo y su confluencia, vamos a acercar la zona de la confluencia, de tal manera que se vean claramente las secciones entre las cuales queremos introducir la confluencia (Por ej. queremos introducirla en el PK 1035, justo en medio de las secciones 1010 y 1060).

Convertir secciones interpoladas en "medidas"

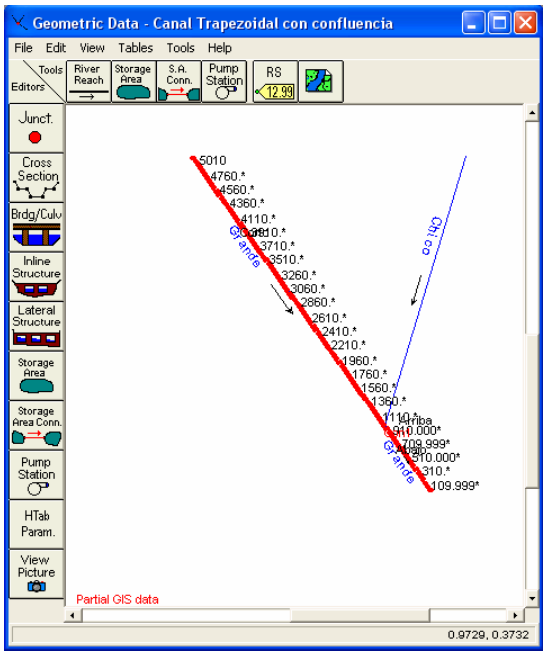
Antes de continuar, dado que conviene situar las confluencias entre secciones "medidas" y no interpoladas, convertiremos las secciones interpoladas en 1010 y 1060 en "medidas", seleccionando las coordenadas de la sección, copiando los datos con "Ctrl+C" y usando la opción Options/Copy Current Cross Section, dando el mismo número de la sección y sobrescribiendo los datos de la sección. Finalmente, copiaremos las coordenadas con "Ctrl+V".

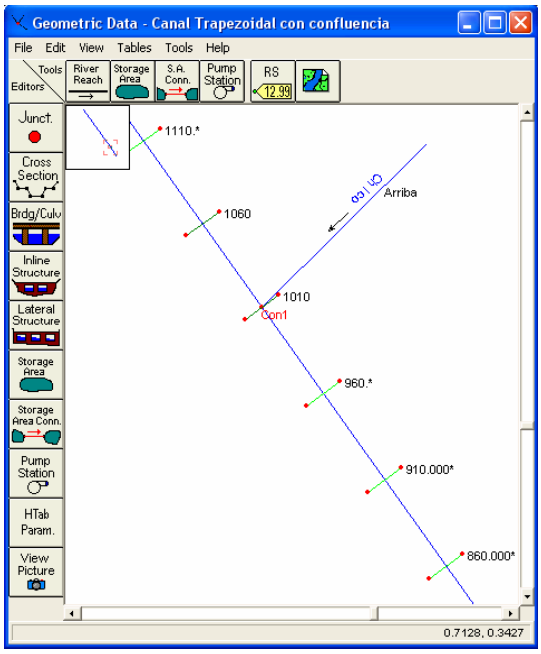
Crear el nuevo tramo

A continuación creamos un tramo nuevo seleccionando el icono "River Reach" en la ventana "Geometric Data", dibujándolo tal como lo hicimos antes, desde aguas arriba hacia aguas abajo y con doble clic un poco arriba de la sección donde queremos introducir la confluencia. Nos preguntará si queremos dividir el tramo aguas abajo de la sección 1060. Aceptamos.

Nos pedirá un nombre de río y de tramo (Por ej. Río: Chico, Tramo: Arriba). Luego nos preguntará si queremos introducir una confluencia (junction) aguas abajo de tal sección transversal.

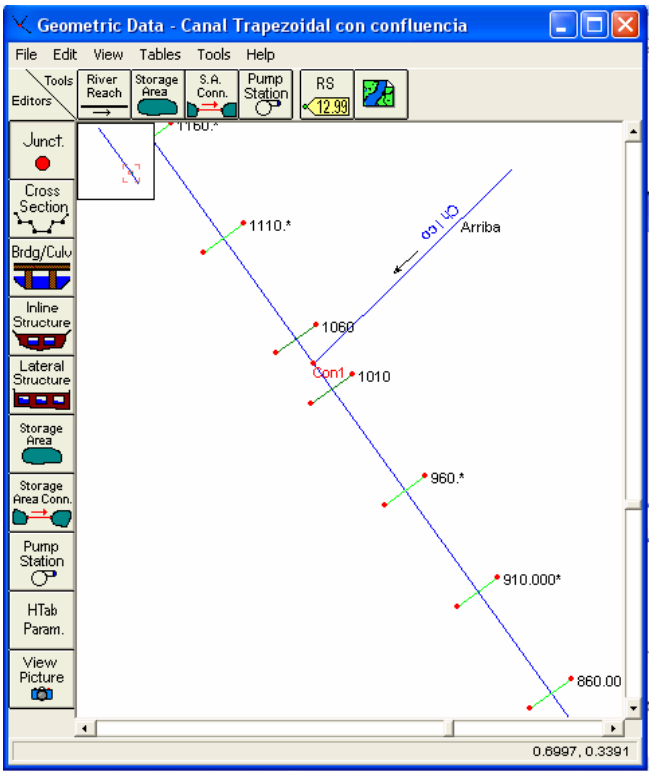
Como al introducir una unión, el tramo de cauce queda dividido en 2 tramos, uno aguas arriba y otro aguas abajo, nos pedirá el nombre del nuevo río y tramo. El nombre del río puede ser el mismo que el del tramo dividido (Por ej. Río: Grande, Tramo: Abajo). Luego nos pedirá que introduzcamos el nombre de la confluencia entre los tramos "Corto" y "Abajo".





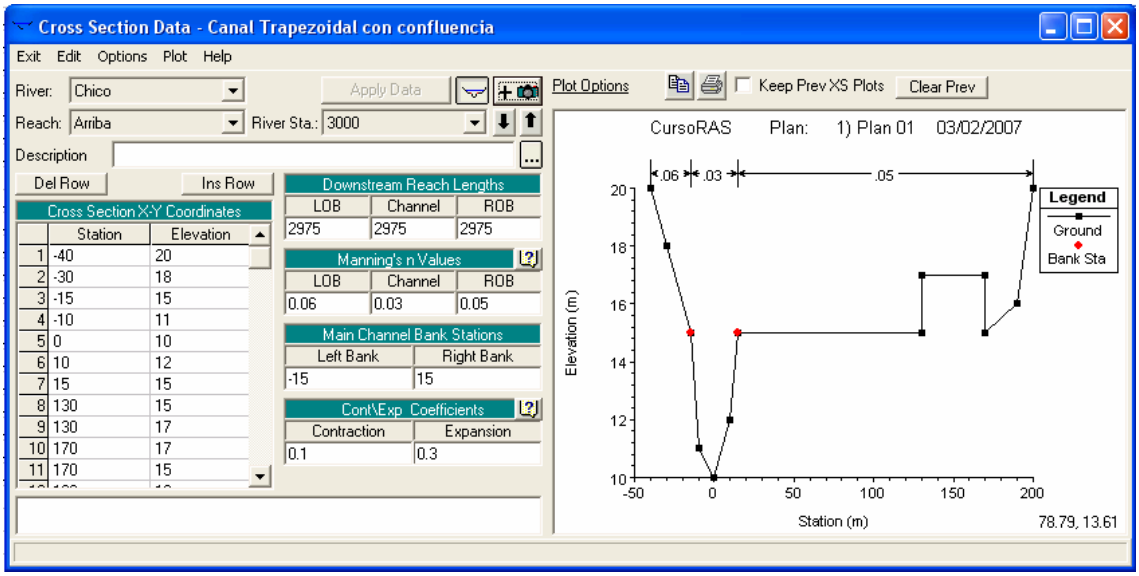
Clicando sobre la confluencia aparecerá un menú y seleccionando "Edit Junction" podemos editar las características de la confluencia. Para centrar la confluencia entre las secciones 1010 y 1060, cambiamos la distancia entre la unión y los tramos de aguas arriba y aguas abajo de la unión.

Con lo que quedará la confluencia posicionada de la siguiente manera:



Introducir secciones desde una hoja de cálculo

- En la ventana “Geometric Data” seleccionar el icono “Cross Section”
- Seleccionar el río y el tramo en el cual deseamos crear las secciones (Por ej. Río: Chico; Tramo: Arriba)
- En la ventana “Cross Section” seleccionar Options/Add a New Cross Section”.
- Introducir el número de sección (Por ej. 3000)
- Ir a la hoja de cálculo, copiar las columnas de los valores de x e y
- Volver a la ventana “Cross Section”, seleccionar todas las columnas
- Pegar las celdas copiadas con “Ctrl+V”

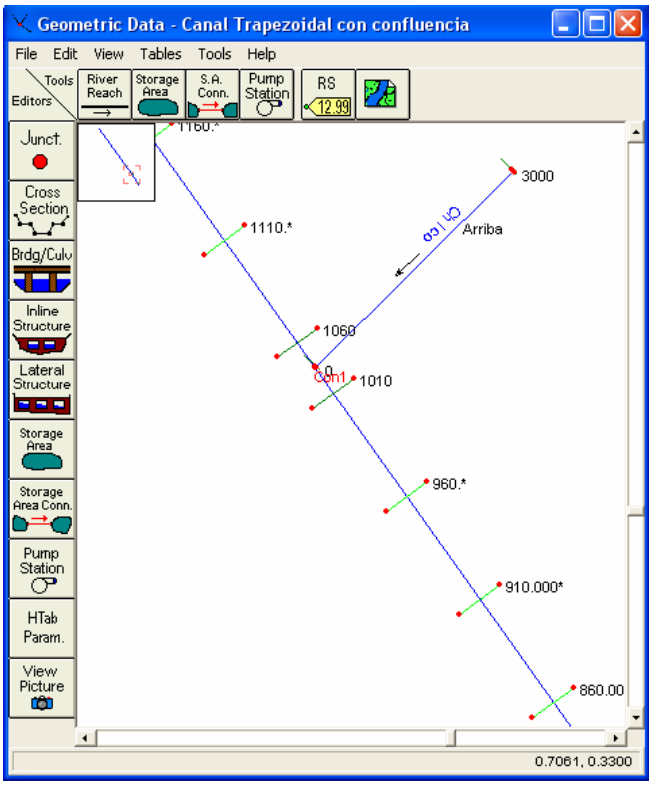


Hacer lo mismo con la sección de PK 25 en el río Chico y cada vez que deseemos agregar una nueva sección transversal.

Colocar las secciones a la cota correcta

En nuestro ejemplo ambas secciones tienen la misma cota inferior (10 m). Dado que la confluencia se encuentra entre las secciones 1010 y 1060 del río Grande (con cotas 101 y 101,05 m, respectivamente), debemos reposicionar las secciones del río Chico. Colocaremos la sección 25 a 101 m y la 3000 a 104 m, para representar una pendiente de 0,001.

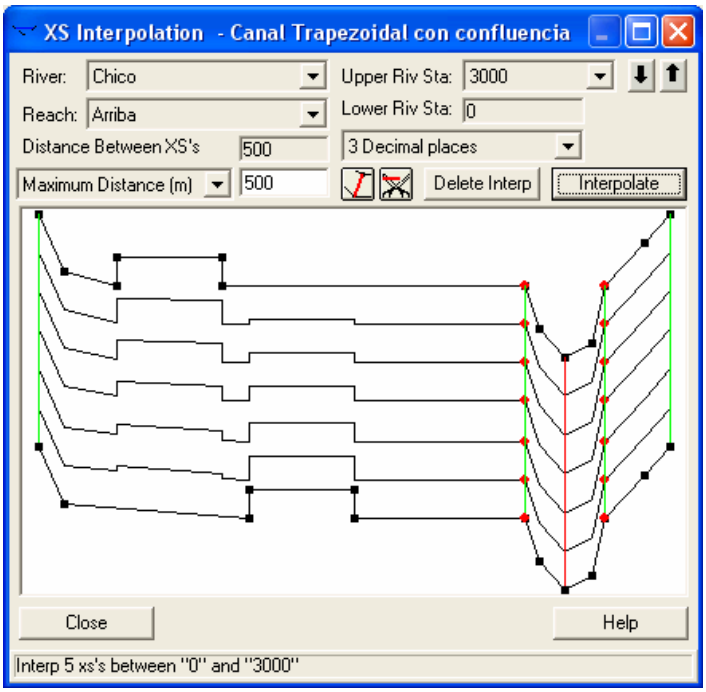
- Para ello usaremos la herramienta Options/Adjust Elevations.



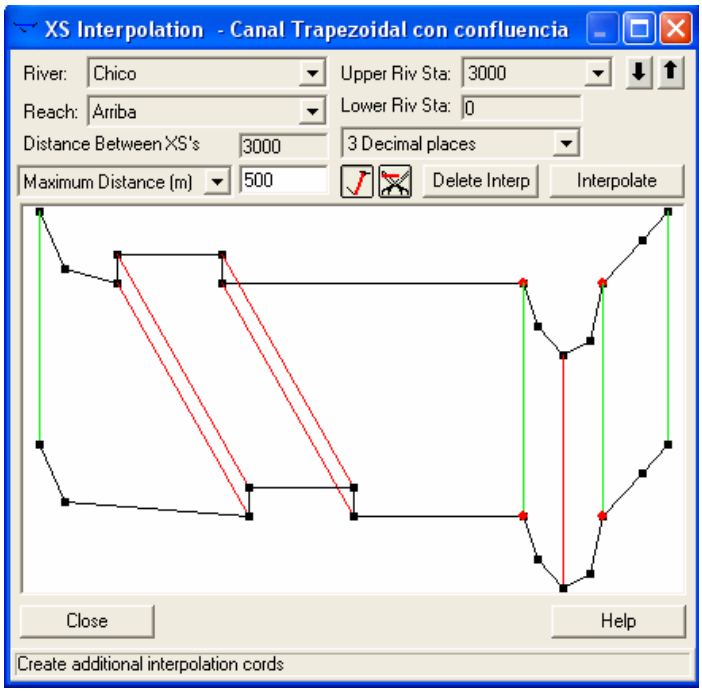
Interpolación de secciones usando líneas auxiliares

Ya hemos visto anteriormente que para interpolar secciones transversales podemos utilizar la opción Tools/XS Interpolation en la ventana “Geometric Data”.

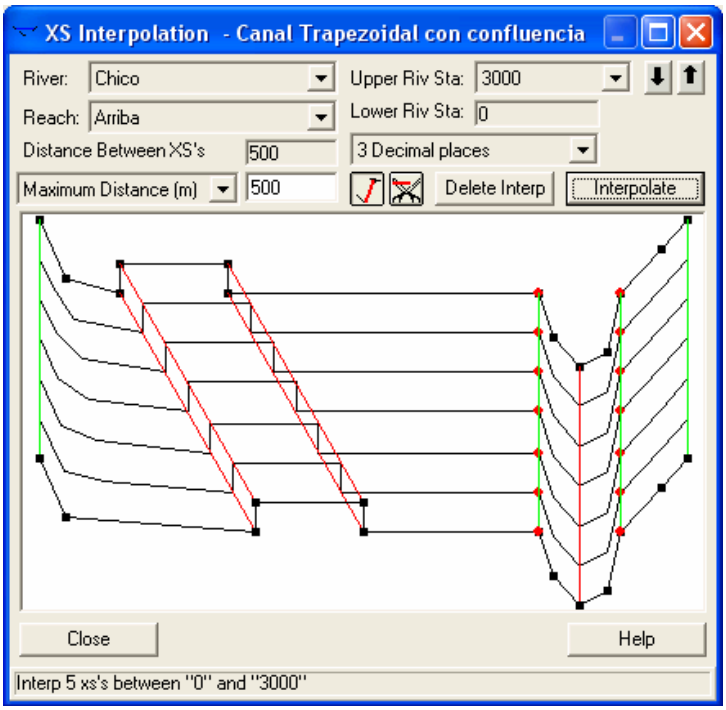
Si realizamos la interpolación con las líneas auxiliares por defecto (ambos extremos, ambas márgenes y punto de menor cota del cauce), el resultado de la interpolación será el siguiente



Que puede no responder a lo que sucede realmente en el cauce. Si la sobreelevación que aparece en la margen derecha es en realiza una barra, podemos utilizar las herramientas para crear y eliminar "cuerdas" o líneas auxiliares para "guiar" la interpolación, por ejemplo de la siguiente manera

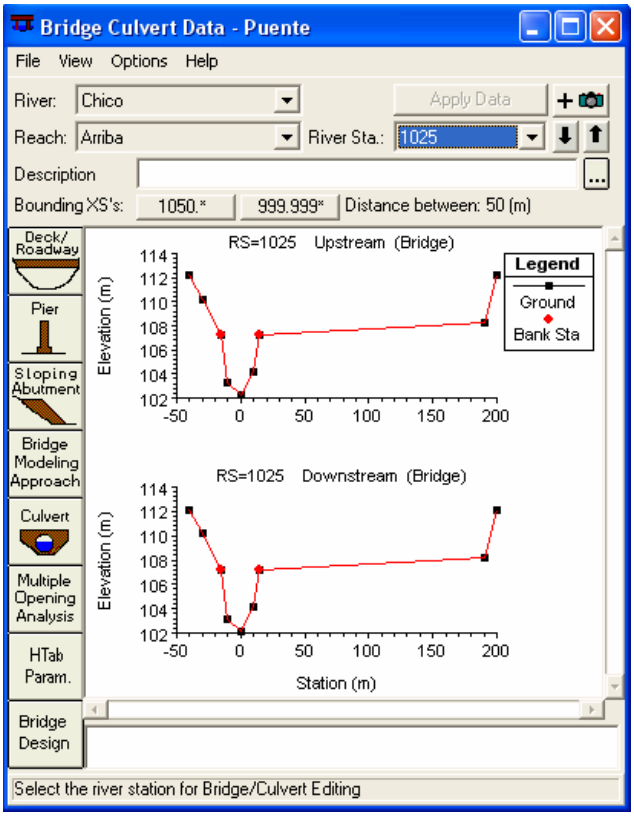


Con lo cual, luego de realizar la interpolación, obtendremos secciones tales como las siguientes, respetando la forma de la barra medida en el campo.



Introducir Puentes

Para introducir un puente, en la ventana "Geometric Data", seleccionamos el icono "Brdg./Culv.", nos pedirá el número que indica la posición de la sección donde se encuentra el puente. Por ejemplo, en nuestro ejemplo supongamos que deseamos incluir un puente en el PK 1025. Aparecerá una ventana con las 2 secciones más inmediatas, la 1050 y la 1000 en este caso y la distancia entre ellas (50 m).



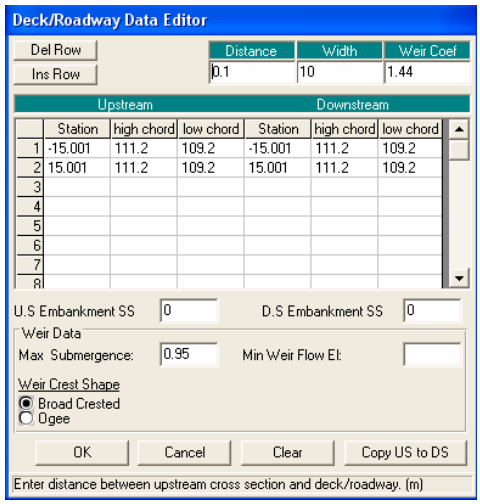
Los elementos que conforman el puente son: el tablero (Deck/Roadway), las pilas (Pier) y los estribos (Sloping Abutment). Algunos elementos como las pilas o los estribos pueden faltar.

El puente que deseamos introducir tiene las siguientes características:

- Tablero horizontal: 10 m de ancho y 2 m de espesor (entre cotas 109,2 y 111,2 m) y se extiende desde las abscisas -15 m hasta +15 m.
- Pilas: 2 con forma rectangular de 2 metros de ancho hasta la cota 104 y de 1,5 m hasta el tablero y de largo igual al del tablero, situadas centradas en las abscisas -5 m y +5 m.
- Estribo izquierdo: se extiende desde la coordenada (-15; 111,2) hasta la (-8; 102,2).
- Estribo derecho: se extiende desde la coordenada (8; 102,2) hasta la (15; 111,2).

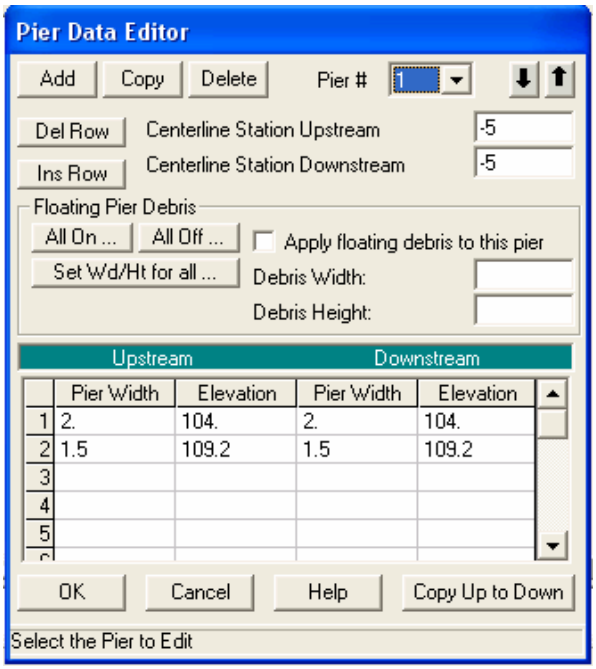
Las características del tablero se introducen en la ventana "Bridge Culvert Data", icono "Deck/Roadway". Debemos introducir:

- Distance: distancia desde la cara de aguas arriba del puente hasta la sección "3" aguas arriba del puente. Es importante que no sea 0 y que la suma del ancho del tablero y esta distancia sea mayor que la distancia entre las secciones "3" y "2"
- Width: ancho del tablero en metros
- Weir coef: coeficiente de vertedero que se usará para el cálculo del flujo por encima (por defecto 1,44)
- Cotas superiores (high chord) e inferiores (low chord) del tablero a diferentes abscisas (Station). Si estos datos son iguales aguas arriba y aguas abajo del puente, pueden introducirse los datos en las 3 primeras columnas y copiarlos seleccionando el icono "Copy US to DS".
- U.S. Embankment: inclinación del talud de aguas arriba de la carretera en relación H:V
- D.S. Embankment: inclinación del talud de aguas abajo de la carretera



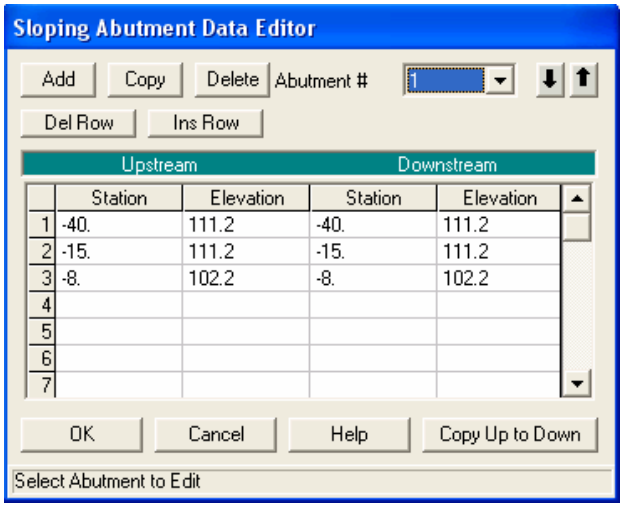
Las características de las pilas se introducen en la ventana "Bridge Culvert Data", icono "Pier". Debemos introducir:

- Pier #: número de la pila, comienza desde 1. Para agregar más, seleccionar el icono "Add", para copiar una pila seleccionar "Copy" y para borrarla, "Delete"
- Centerline Station Upstream: abscisa del eje de la pila aguas arriba
- Centerline Station Downstream: abscisa del eje de la pila aguas abajo
- Pier Width: ancho de la pila
- Elevation: cota hasta la que la pila tiene el ancho indicado

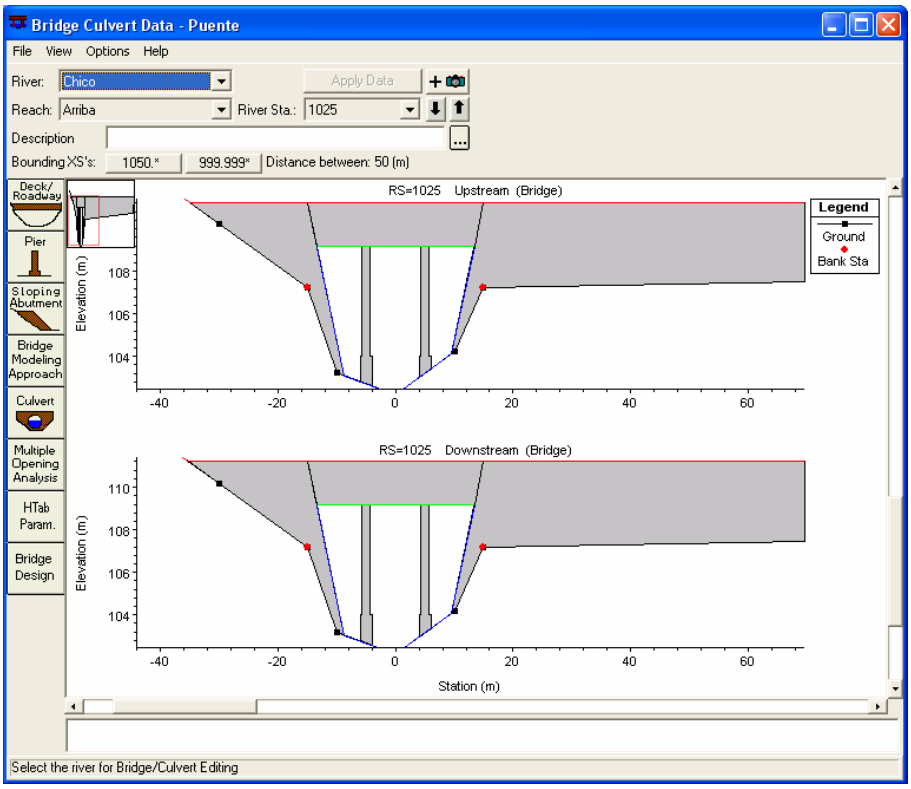


Las características de los estribos se introducen en la ventana "Bridge Culvert Data", icono "Sloping Abutment". Debemos introducir:

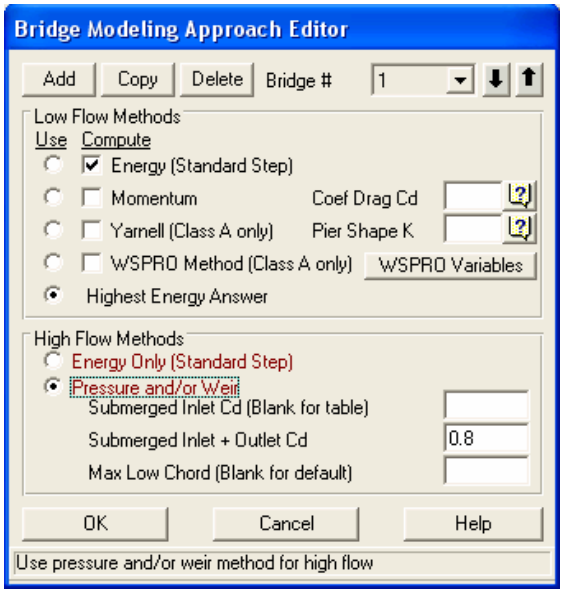
- Abutment #: número de estribo
- Station (Abscisa) y Elevation (cota): Coordenadas del estribo



El puente quedaría definido finalmente de la siguiente forma:



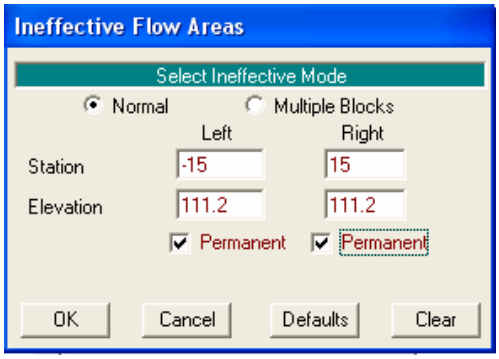
Luego, si no se desea que el programa use un método de cálculo por defecto para realizar las simulaciones, es necesario introducir uno o varios alternativos. Permite elegir métodos diferentes para caudales bajos y caudales altos. Si elegimos el método de conservación de cantidad de movimiento (Momentum), es necesario incluir el coeficiente de arrastre (Coef Drag Cd) de la pila.



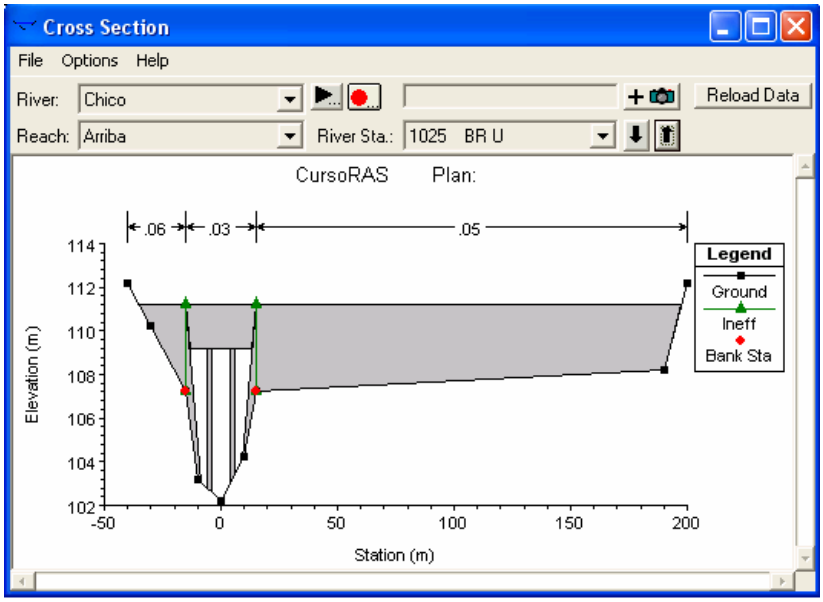
Definir áreas inefectivas

Las áreas inefectivas de flujo son áreas de la sección transversal que no contribuyen activamente al transporte de caudal, es decir, donde se considera que el agua tiene velocidad nula. La diferencia con un límite físico es que el área inefectiva no agrega perímetro mojado al flujo.

- Para definir áreas inefectivas, en la ventana "Geometric Data", seleccionar el icono "Cross Sections" y una vez posicionados en la sección donde se quiere crear un área inefectiva, seleccionar Options/Ineffective Flow Areas



Por ejemplo, en el caso de nuestro ejemplo, las áreas inefectivas coinciden con la parte superior de los estribos del puente.



Interpolar las secciones de aproximación del puente

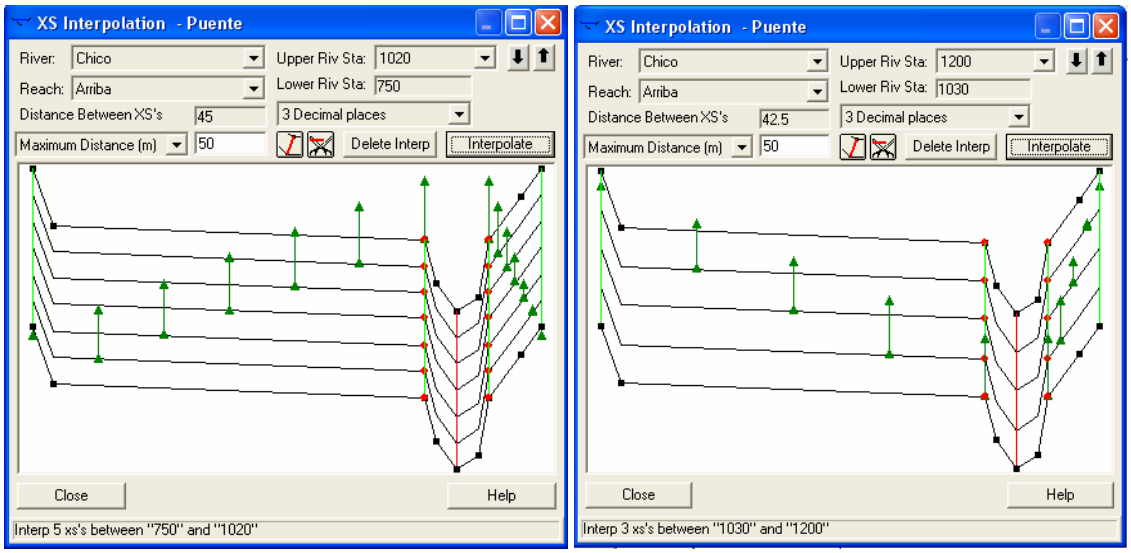
Para modelar correctamente las secciones de aproximación del puente, es necesario reproducir una transición de contracción de una longitud igual a 1 vez la longitud contraída (185 m la mayor) y la longitud de expansión empleando una relación que depende de la relación abertura del puente/ancho de la sección (b/B), de la relación de n de Manning de las llanuras de inundación/n de Manning del canal principal (nob/noc) y de la pendiente del cauce (S) (Tabla 5-1 del Hydraulic Referente Manual). Para nuestro caso, con b/B = 0,1, nob/noc = 2 y S = 0,001, la expansión debe ser entre 0,8 y 2 veces la longitud contraída. Adoptando un valor medio de 1,5 veces, quedaría una longitud de expansión de 1,5 * 185 = 280 m. Teniendo en cuenta que la

sección de aguas arriba del puente es la 1030, la contracción comenzará aproximadamente en la sección 1200 y dado que la sección de aguas abajo del puente es la 1020, la expansión terminará aproximadamente en la sección 750.

Para materializar esta situación seguiremos los siguientes pasos:

- Eliminaremos las secciones intermedias entre las secciones 1200 y 1030 y entre las secciones 1020 y 750
- Convertiremos las secciones 1200 y 750 en "medidas" en lugar de interpoladas
- Definiremos en esas secciones áreas inefectivas coincidentes con los extremos de las secciones
- Interpolaremos las secciones con las áreas inefectivas incluidas para lograr una transición suave (lineal)

Una vez realizadas las operaciones, la transición tendría este aspecto:



Introducir Culverts

Para introducir un culvert, procederemos igual que con el puente, en la ventana "Geometric Data", seleccionamos el icono "Brdg./Culv.", nos pedirá el número que indica la posición de la sección donde se encuentra el culvert. Por ejemplo, en nuestro ejemplo supongamos que deseamos incluir un culvert en el PK 2025. Aparecerá una ventana con las 2 secciones más inmediatas, la 1050 y la 1000 en este caso y la distancia entre ellas (50 m).

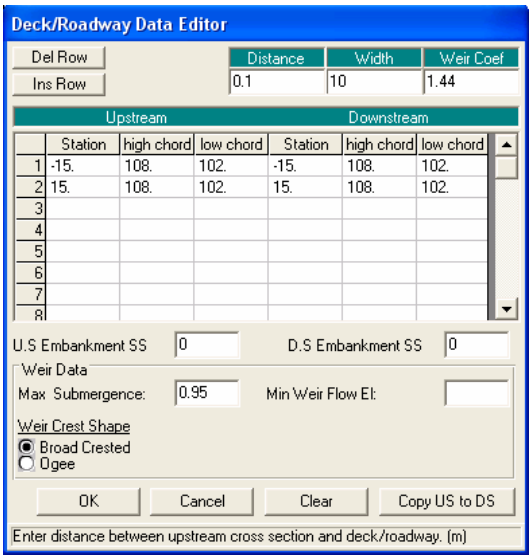
Los elementos que conforman el culvert son: el tablero (Deck/Roadway) y las tuberías de paso del agua (Culvert).

El culvert que deseamos introducir tiene las siguientes características:

- Tablero horizontal (Deck/Roadway): 10 m de ancho y 1 m de espesor (entre cotas 108 y el nivel más bajo de la sección, 102 m) y se extiende desde las abscisas -15 m hasta +15 m.
- Tuberías (Culvert): 7 de 2 m de diámetro de hormigón (Concrete), cuyo "invert" se encuentra a una cota de 105 m y los ejes situados en abscisas -7,5; -5; -2,5; 0; 2,5; 5 y 7,5.
- El coeficiente de Manning de las tuberías es uniforme de 0,015, entrada con borde cuadrado, un coeficiente de pérdida de carga en la entrada de 0,7.

Las características del tablero se introducen en la ventana “Bridge Culvert Data”, icono “Deck/Roadway”. Debemos introducir:

- Distance: distancia desde la cara de aguas arriba del puente hasta la sección “3” aguas arriba del culvert
- Width: ancho del tablero en metros
- Weir coef: coeficiente de vertedero que se usará para el cálculo del flujo por encima (por defecto 1,44)
- Cotas superiores (high chord) e inferiores (low chord) del tablero a diferentes abscisas (Station). Si estos datos son iguales aguas arriba y aguas abajo del puente, pueden introducirse los datos en las 3 primeras columnas y copiarlos seleccionando el icono “Copy US to DS”.
- U.S. Embankment: inclinación del talud de aguas arriba de la carretera en relación H:V
- D.S. Embankment: inclinación del talud de aguas abajo de la carretera

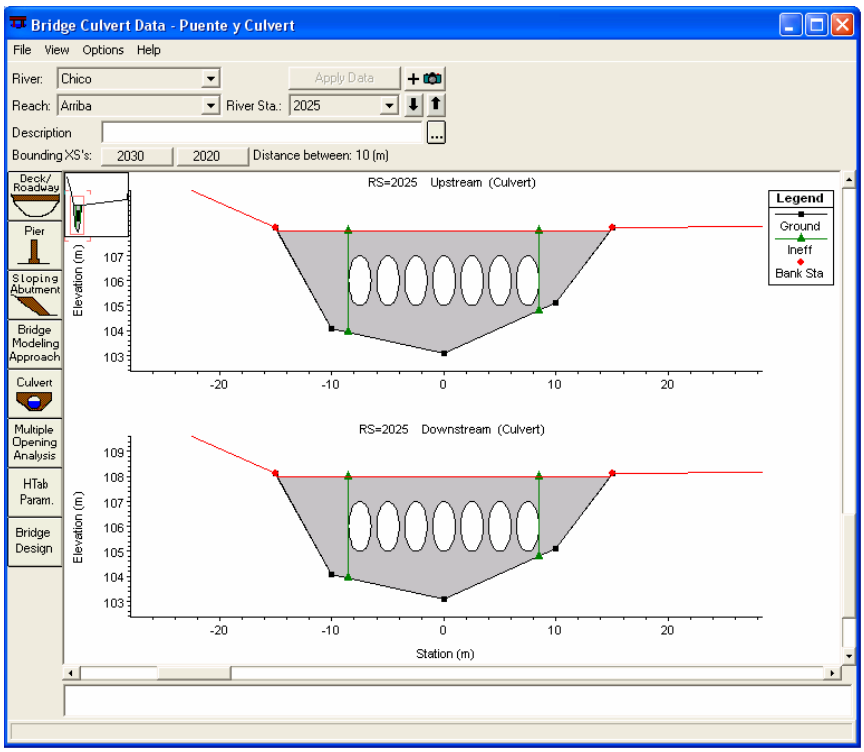


Las características de las tuberías se introducen en la ventana “Bridge Culvert Data”, icono “Culvert”. Debemos introducir:

- Shape: forma, a elegir entre 9 formas estándar
- Span: ancho y/o Diam: diámetro
- Chart #: Número de carta
- Scale #: Número de escala
- Distance to Upstrm XS: Distancia a la sección transversal de aguas arriba
- Culvert Length: Longitud de las tuberías
- Entrante Loss Coeff: coeficiente de pérdida de carga a la entrada
- Exit Loss Coeff: coeficiente de pérdida de carga a la salida
- Manning’s n for Top: coeficiente de Manning para la parte de arriba de la tubería
- Manning’s n for Bottom: coeficiente de Manning para la parte de abajo de la tubería
- Depth to use Bottom n: calado a partir del cual se usa el coeficiente de Manning de abajo
- Depth Blocked: calado inefectivo por acumulación de sedimentos o rellenado
- Upstream Invert Elev: cota del invert de aguas arriba
- Downstream Invert Elev: cota del invert de aguas abajo
- Centerline Stations: abscisas de los ejes de las tuberías, aguas arriba (upstream) y aguas abajo (downstream)

Para la estimación de los coeficientes de pérdida de carga y de Manning, pueden consultarse las tablas que aparecen seleccionando los iconos en la ventana anterior.

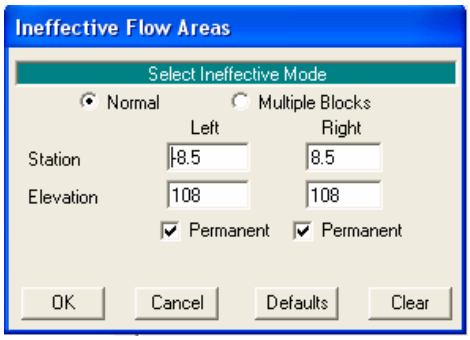
El culvert quedaría definido finalmente de la siguiente forma:



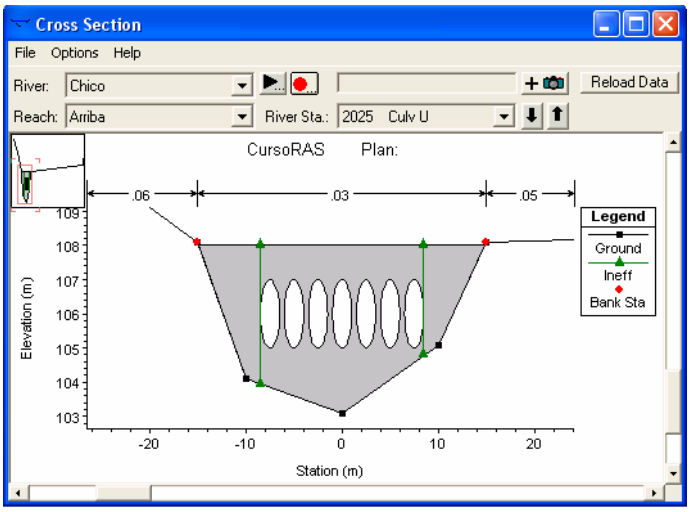
Igual que con los puentes, puede elegirse un método de cálculo específico seleccionando en la ventana "Bridge Culvert Data", el icono "Bridge Modelling Approach".

Crear las áreas inefectivas aguas arriba y aguas abajo

- Para definir áreas inefectivas, se produce igual que con el puente. En la ventana "Geometric Data", seleccionar el icono "Cross Sections" y una vez posicionados en la sección donde se quiere crear un área inefectiva, seleccionar Options/Ineffective Flow Areas



Por ejemplo, en el caso de nuestro ejemplo, las áreas inefectivas coinciden con los límites a ambos lados de la primera y últimas tuberías:



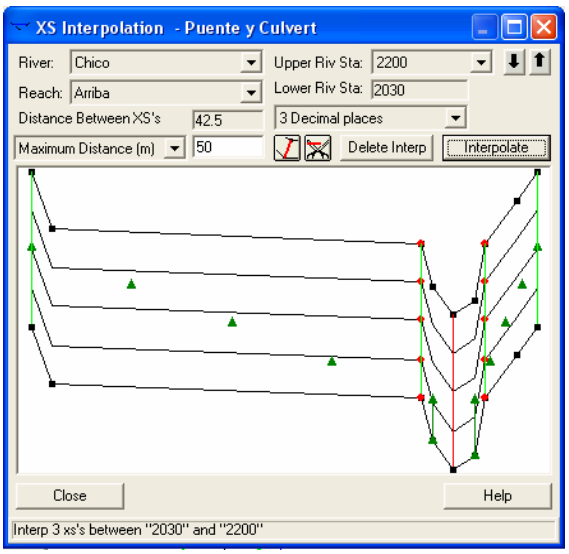
Interpolar las secciones de aproximación del culvert

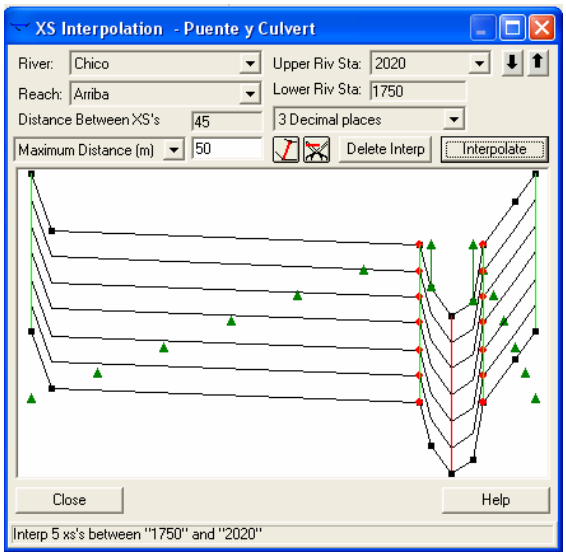
Para modelar correctamente las secciones de aproximación del culvert, es necesario reproducir transiciones de contracción aguas arriba y expansión aguas abajo iguales que las creadas en el puente. Como las secciones transversales tienen las mismas características, necesitamos una longitud de contracción de 185 m y una de expansión de 280 m. Teniendo en cuenta que la sección de aguas arriba del culvert es la 2030, la contracción comenzará aproximadamente en la sección 2200 y dado que la sección de aguas abajo del puente es la 2020, la expansión terminará aproximadamente en la sección 1750.

Para materializar esta situación seguiremos los siguientes pasos:

- Eliminaremos las secciones intermedias entre las secciones 2200 y 2030 y entre las secciones 2020 y 1750
- Convertiremos las secciones 2200 y 1750 en “medidas” en lugar de interpoladas
- Definiremos en esas secciones áreas inefectivas coincidentes con los extremos de las secciones
- Interpolaremos las secciones con las áreas inefectivas incluidas para lograr una transición suave (lineal)

Una vez realizadas las operaciones, las transiciones tendrían este aspecto:



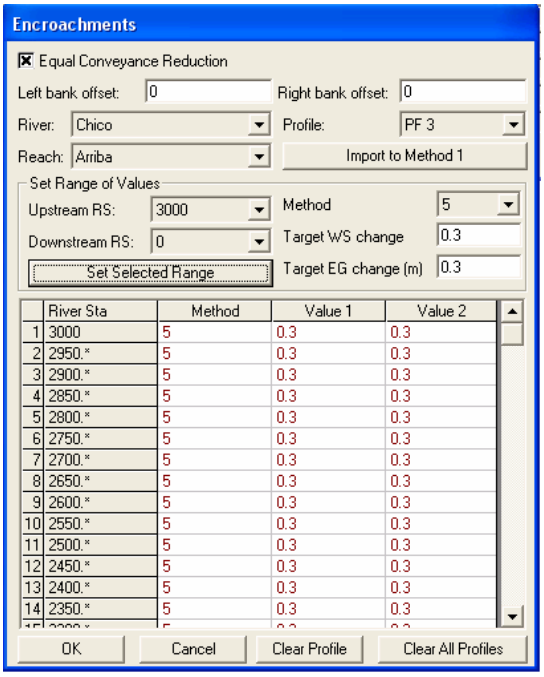


Introducir Encauzamientos

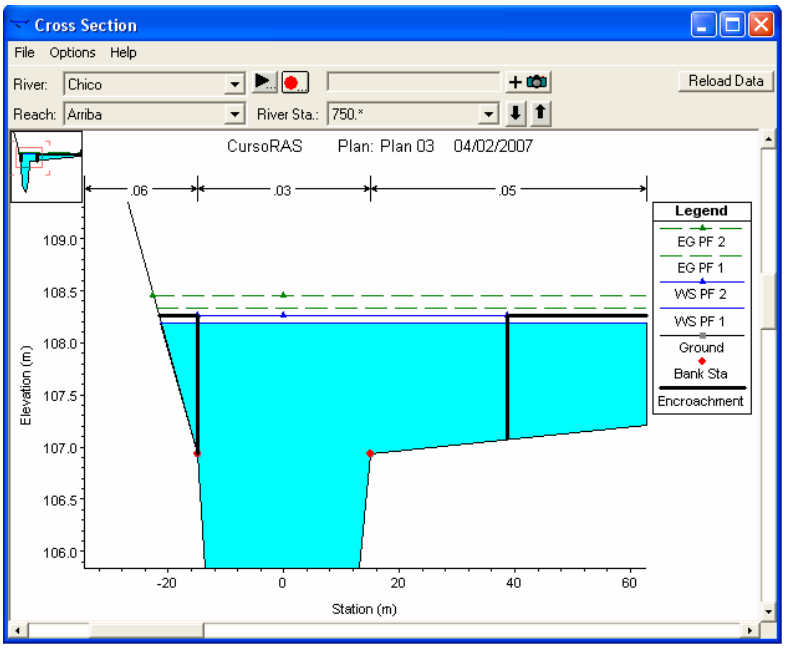
Los encauzamientos (Encroachments) se utilizan para definir las vías de intenso desagüe (Floodway Encroachments). Para ello es necesario ejecutar una simulación con las condiciones naturales del cauce y luego es posible crear varias simulaciones con diferentes métodos.

Para configurar un análisis de encauzamientos, debemos crear más de 1 perfil seleccionando Edit/Steady Flow Data en la ventana principal del programa y luego seleccionar Run/Steady Flow Analysis y Options/Encroachments. Aparecerá una ventana donde debemos introducir:

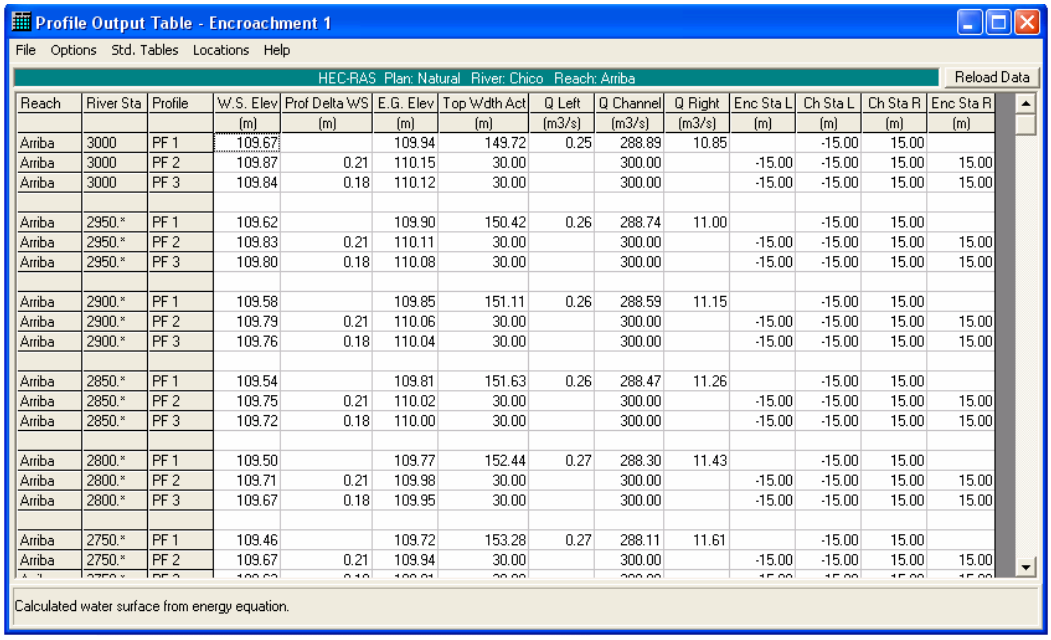
- Equal Conveyance Reduction: válido con los métodos 3, 4 y 5, cuando está seleccionada buscará una solución que disminuya el transporte igualmente a ambos lados del cauce principal
- Left bank offset: distancia en metros que puedo apartarme de la margen izquierda del cauce para encontrar una solución para el encauzamiento
- Rigth bank offset: igual que el anterior para la margen derecha
- Elegir el río (River), perfil (Profile) y tramo (Reach)
- Upstream RS y Downstream RS: secciones de aguas arriba y aguas abajo del tramo donde quiero analizar el encauzamiento
- Method: método elegido (1 a 5)
- Left (Right) Station: abscisa de la sección transversal donde quiero definir el encauzamiento para el lado izquierdo (derecho) (Método 1)
- Fixed Top Width: ancho máximo de la parte superior de la lámina de agua fijado para definir el encauzamiento (Método 2)
- Target K Reduction: reducción máxima del transporte que permito para definir el encauzamiento (Método 3)
- Target WS (EG) change: cambio máximo de la altura de la lámina de agua (nivel de energía) que permito para encontrar una solución (Métodos 4 y 5)
- Set Selected Range: aplica los valores límites definidos a las secciones del tramo seleccionado (Método 5)



Una vez ejecutadas las simulaciones, los resultados pueden verse de forma gráfica, con las opciones habituales.



Y también en forma de tabla, seleccionando los perfiles deseados. Existen tablas estándar específicas para analizar encauzamientos.



Profile Output Table - Encroachment 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Natural River: Chico Reach: Arriba

Reload Data

Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Prof Delta WS (m)	E.G. Elev (m)	Top Wdth Act (m)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Enc Sta L (m)	Ch Sta L (m)	Ch Sta R (m)	Enc Sta R (m)
Arriba	3000	PF 1	109.67		109.94	149.72	0.25	288.89	10.85		-15.00	15.00	
Arriba	3000	PF 2	109.87	0.21	110.15	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	3000	PF 3	109.84	0.18	110.12	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2950.*	PF 1	109.62		109.90	150.42	0.26	288.74	11.00		-15.00	15.00	
Arriba	2950.*	PF 2	109.83	0.21	110.11	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2950.*	PF 3	109.80	0.18	110.08	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2900.*	PF 1	109.58		109.85	151.11	0.26	288.59	11.15		-15.00	15.00	
Arriba	2900.*	PF 2	109.79	0.21	110.06	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2900.*	PF 3	109.76	0.18	110.04	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2850.*	PF 1	109.54		109.81	151.63	0.26	288.47	11.26		-15.00	15.00	
Arriba	2850.*	PF 2	109.75	0.21	110.02	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2850.*	PF 3	109.72	0.18	110.00	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2800.*	PF 1	109.50		109.77	152.44	0.27	288.30	11.43		-15.00	15.00	
Arriba	2800.*	PF 2	109.71	0.21	109.98	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2800.*	PF 3	109.67	0.18	109.95	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00
Arriba	2750.*	PF 1	109.46		109.72	153.28	0.27	288.11	11.61		-15.00	15.00	
Arriba	2750.*	PF 2	109.67	0.21	109.94	30.00		300.00		-15.00	-15.00	15.00	15.00

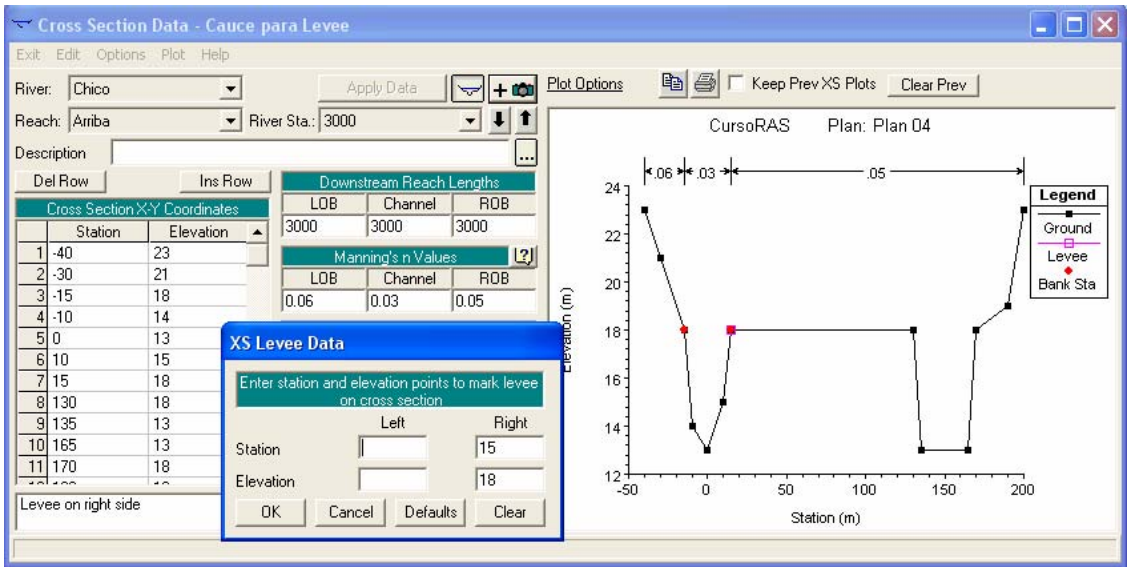
Calculated water surface from energy equation.

Definir levees

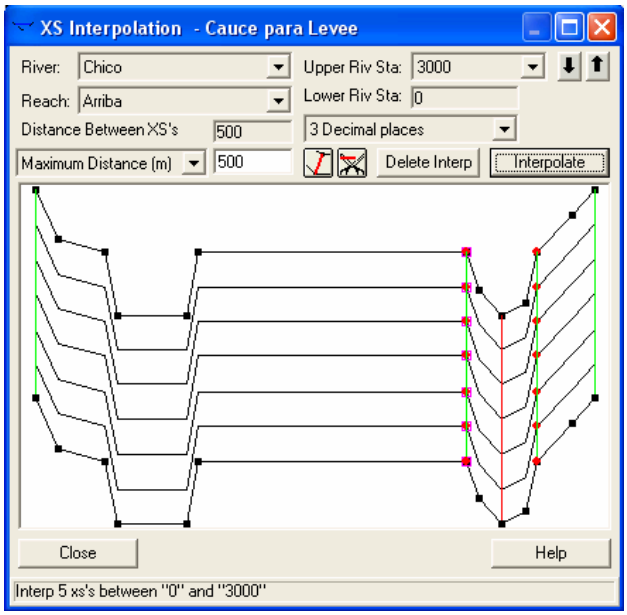
En ocasiones, las secciones transversales tienen varias zonas con cotas bajas. El programa, cuando realiza las simulaciones comienza a llenar primero todas las depresiones de la sección transversal. Los levees son una especie de diques longitudinales artificiales que se colocan para indicarle al programa que existe una vía preferente de desagüe. De esta manera, comenzará a llenar primero el cauce principal, hasta que se llegue a la cota del levee, a partir de la cual comenzará a llenar la parte situada del otro lado del levee.

Por ejemplo, en la sección siguiente, deseamos que el programa comience a llenar primero el cauce principal, antes de llenar la depresión en la llanura de inundación, por lo que colocamos

un levee en la abcisa 15, cota 18, seleccionando en la ventana “Cross Section Data”, Options/Levee



Si se interpolan secciones, en las secciones interpoladas también aparecerán los levees.

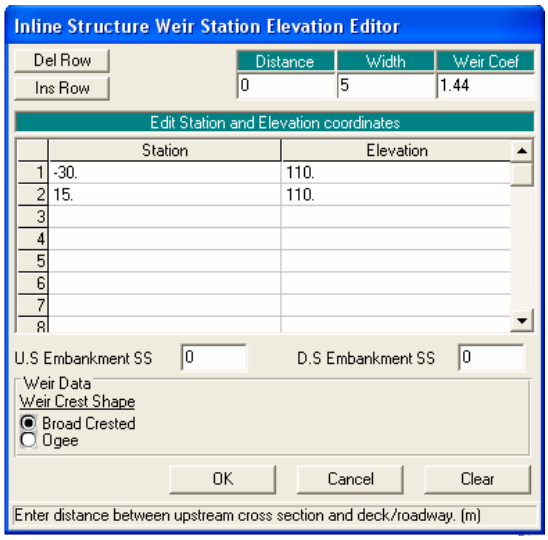


Introducir estructuras en línea

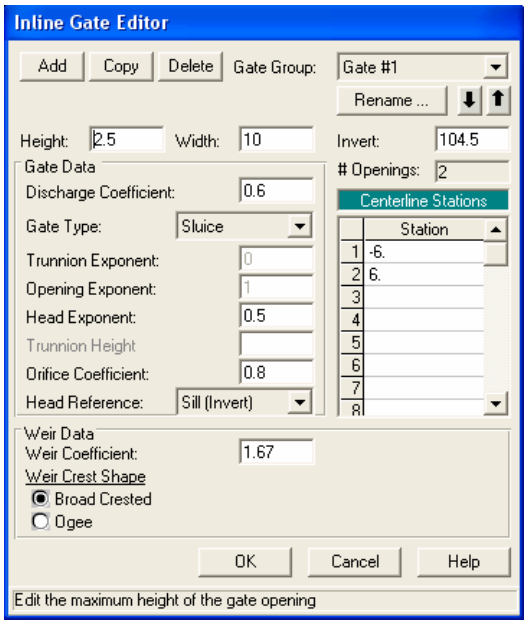
Las estructuras en línea son las que se encuentran cortando el flujo perpendicularmente, es decir, coincidiendo con alguna sección transversal.

- Para introducir una estructura en línea, en la ventana “Geometric Data”, seleccionamos el icono “Inline Structure”
- Se abrirá la ventana “Inline Structure Data”
- Seleccionamos Options/Add an Inline Structure y se nos pedirá un número identificador de la estructura que sirve para posicionarla dentro del tramo de cauce en estudio. Introducimos 1499.

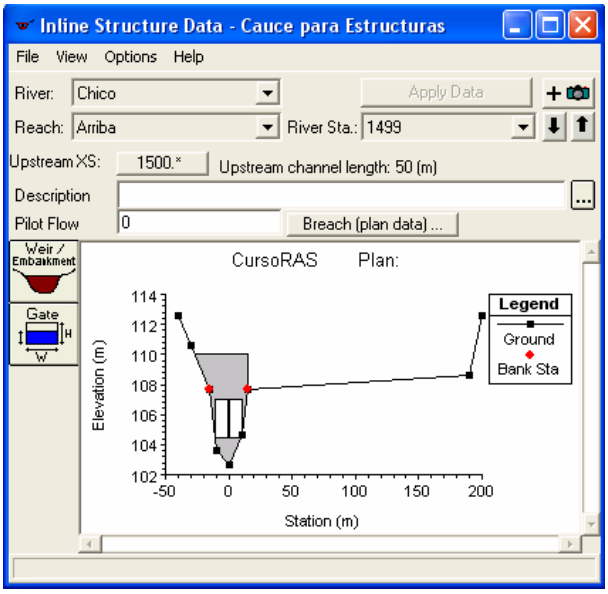
- En esta ventana podemos elegir el río, el tramo y en “Pilot Flow” nos permite introducir un “caudal ecológico”
- En la misma ventana existe un icono “Weir/Embankment” que sirve para introducir un aliviadero, azud o dique. Lo seleccionamos y se abrirá la ventana “Inline Structure Weir Station Elevation Editor”
- En esa ventana debemos introducir: la distancia entre la estructura y la sección transversal situada aguas arriba (Distance), es ancho de la estructura (Width) y el coeficiente de descarga del vertedero (Weir Coef) que puede dejarse por defecto.
- En la zona de coordenadas (Edit Station and Elevation coordinates) modelamos un azud con un nivel de 110 que se extiende desde la abscisa -30 hasta la 15.
- Como el agua puede verter por encima de esta estructura, indicamos que lo hará como vertedero de pared gruesa (Broad Crested).



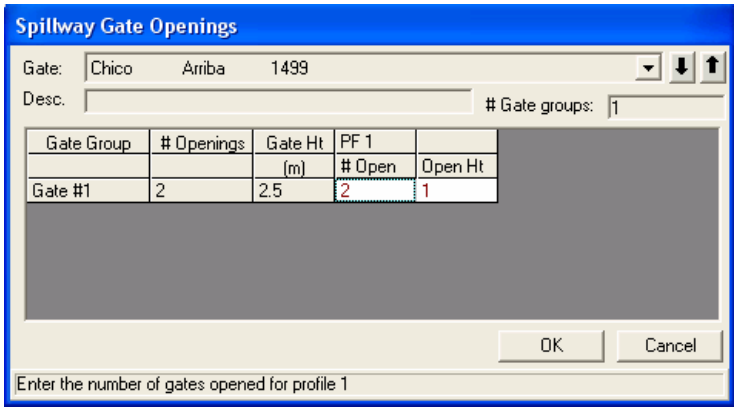
- También en la ventana “Inline Structure Data” hay otro icono “Gate” que sirve para introducir compuertas en el azud que hemos creado.
- Seleccionando el icono “Gate” se abre la ventana “Inline Gate Editor”. En esta ventana modelamos 2 compuertas que dejan una abertura de 10 m de ancho (Width) por 2,5 de alto (Height) y cuya parte inferior (Invert) está a cota 104,5 m. El coeficiente de descarga (Discharge Coefficient) lo fijamos en 0,6. El eje de las aberturas (Centerline) se encuentran en abscisas (Station) -6 y 6 m.



La estructura creada tiene el aspecto que muestra la ventana siguiente:



Finalmente, antes de ejecutar la simulación es necesario, en la ventana “Steady Flow Data”, seleccionar “Options/Gate Openings” para introducir los datos de aberturas de las compuertas:



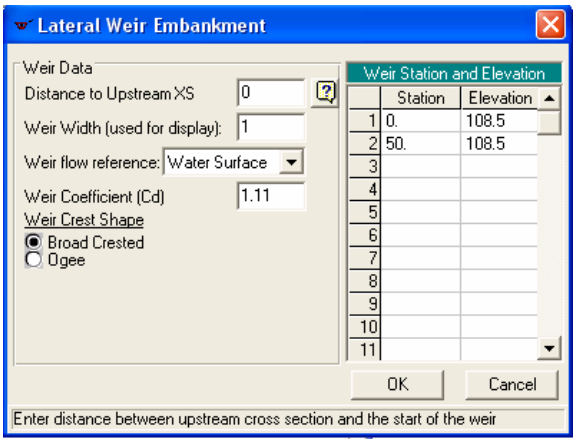
Los datos a introducir son:

- # Open: número de compuertas abiertas
- Open Ht: altura de apertura de compuertas

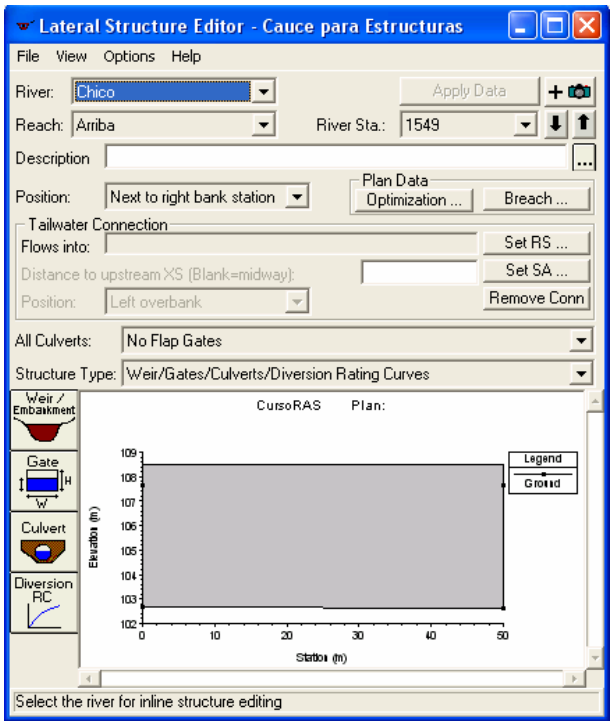
Introducir estructuras laterales

Las estructuras laterales son las que se encuentran paralelas al flujo principal del cauce, es decir, perpendiculares a las secciones transversales.

- Para introducir una estructura lateral, en la ventana "Geometric Data", seleccionamos el icono "Lateral Structure"
- Se abrirá la ventana "Lateral Structure Editor"
- Seleccionamos Options/Add a Lateral Structure y se nos pedirá un número identificador de la estructura que sirve para posicionarla dentro del tramo de cauce en estudio. Introducimos, por ejemplo, 1549.
- Seleccionamos el icono "Weir/Embankment", se abrirá la ventana "Lateral Weir Embankment" e introducimos:
- La distancia desde la estructura hasta la sección de aguas arriba (Distance to Upstream XS)
- El ancho del vertedero (Weir Width) en metros
- La referencia del flujo por vertedero (Weir flow reference), donde puede elegirse lámina de agua (Water Surface) o línea de energía (Energy Grade). Elegimos la primera
- El coeficiente de vertedero (Weir Coefficient) lo dejamos por defecto
- En la zona de las coordenadas (Weir Station and Elevation) definimos la barrera lateral



También existe la opción de introducir orificios de compuertas y de culverts e incluso una derivación de caudal a través de una relación caudal-calado que habrá que introducir. La estructura creada tendrá el siguiente aspecto:

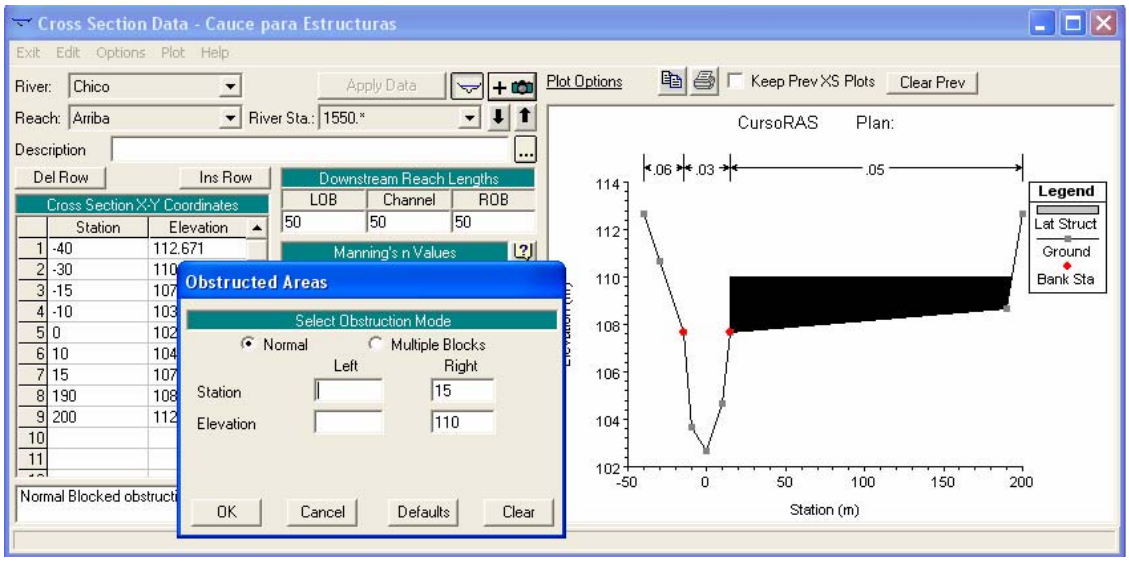


Introducir obstrucciones al flujo

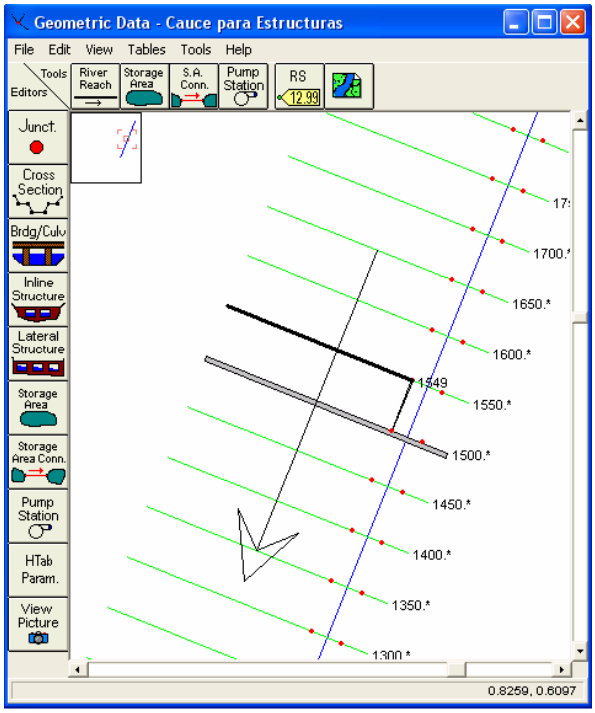
Para el correcto funcionamiento de las estructuras creadas arriba, es necesario bloquear el paso del agua en una zona de la sección de aguas arriba de la estructura lateral. Esto puede hacerse siguiendo los siguientes pasos:

- Nos situamos en la ventana “Geometric Data”, seleccionando el icono “Cross Section”.
- Se abrirá la ventana “Cross Section Data”. Nos posicionamos en la sección transversal donde se quiere colocar la obstrucción y seleccionamos Options/Obstructions.
- Aparecerá la ventana “Obstructed Areas”, donde nos permite elegir entre una obstrucción normal (una a cada lado) o una de múltiples bloques (Multiple Blocks).
- La primera opción exige una abscisa (Station) y una cota (Elevations) a ambos lados o uno de ellos.
- La segunda opción existe abscisas de comienzo y final (Start Station y End Station) y cota (Elevation) para cada bloque.

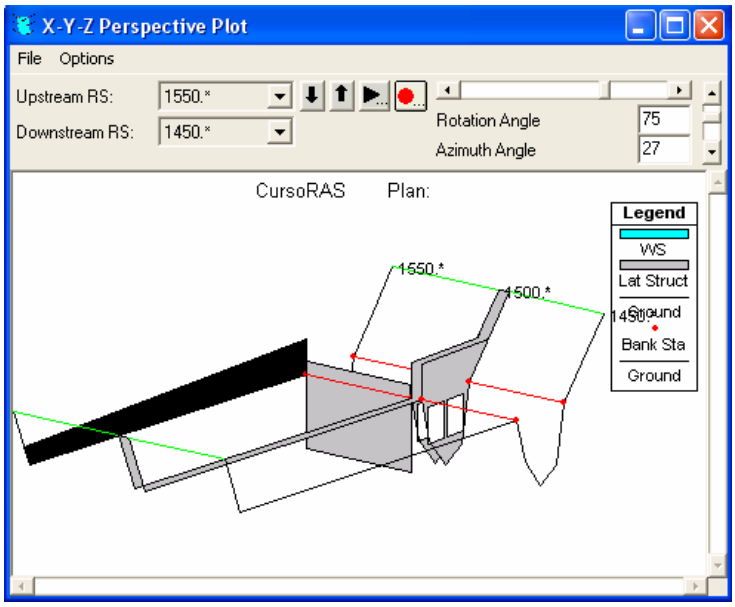
En la ventana “Cross Section Data”, la obstrucción tiene el siguiente aspecto:



En la ventana "Geometric Data" el grupo de estructuras que hemos creado, junto con la obstrucción tiene el siguiente aspecto:



Y finalmente en un dibujo en perspectiva tiene el aspecto siguiente. Estas 3 formas de ver las estructuras nos permiten revisar para asegurarnos de estar modelando lo que deseamos.



11. ¿Qué es HEC-GeoRAS 3.1.1?

Hec-GeoRAS 3.1.1 es una extensión para ArcView 3.2 desarrollada conjuntamente por el *Hydrologic Engineering Center* (HEC) del *United States Army Corps of Engineers* y el *Environmental System Research Institute (ESRI).* Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geografica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS. HEC-GeoRAS 3.1.1. está escrito en el lenguaje de programación Avenue y es el resultado de la evolución de la extensión AVRAS 2.2

12. ¿Para qué sirve HEC-GeoRAS?

HEC-GeoRAS crea un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc. Posteriormente los resultados obtenidos de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcView y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y riesgo.

13. Instalación de HEC-GeoRAS

Antes de instalar HEC-GeoRAS es necesario tener instalado ArcView 3.2 (se recomienda la versión 3.2a con todos sus parches) y la extensión 3D Analyst 1.0. Aunque no es estrictamente necesaria, la extensión Spatial Analyst 2.0a agiliza las operaciones de post-proceso de datos. La extensión es gratuita y fácilmente descargable junto al manual de usuario y ejemplos de aplicación, desde la página web: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas_downloads.html

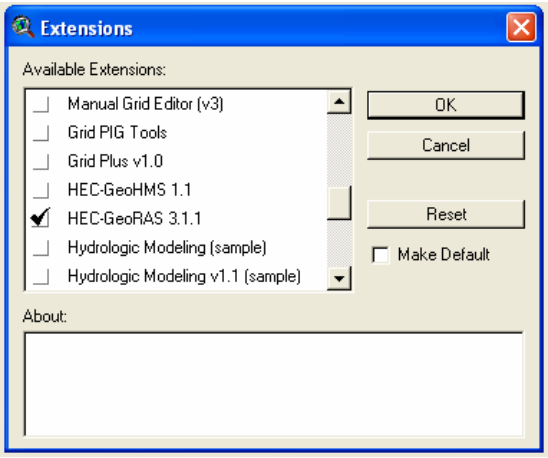
Fig.1. Área de descarga de la aplicación

Se trata de un archivo ejecutable (*hecgeoras.exe*) que instala la extensión *HECGeoRAS31.avx* en el directorio: C:\ESRI\AV_GIS30\ARCVIEW\EXT32

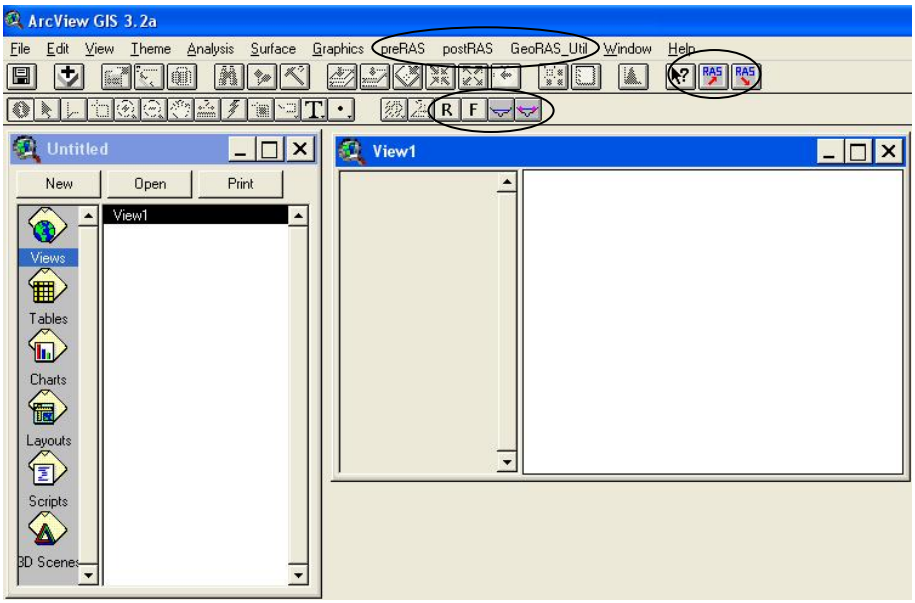
Hec-GeoRAS 3.1.1 solo funciona con Windows 95/98/200/XP y para aprovechar todas sus funciones se requiere su uso con HEC-RAS 3.1.3

14. Activación de HEC-GeoRAS

La activación de la extensión se realiza desde el desplegable File/extensions.. y basta con marcar las casillas correspondientes a *HECGeoRAS 3.1.1*, *3D Analyst* y *Spatial Analyst*. Tambien activaremos la extensión *Cad Reader* para trabajar con archivos de CAD. Pulsaremos OK para cerrar la ventana.



El resultado es aparición de tres nuevos menús desplegables (preRAS, postRAS y GeoRAS_Util), además de dos nuevos botones de procesamiento y cuatro herramientas de edición que se muestran en la figura.



15. Cartografía necesaria

Es necesario un MDT (modelo digital del terreno) en formato vectorial TIN (Trianguled Irregular Network) lo más detallado posible. Este modelo puede generarse con ArcView y su extensión 3d Analyst a partir de un fichero dbf (dbase) de puntos acotados o a partir de un fichero de Cad de curvas de nivel en cualquier formato (dxf o dwg). De este TIN se extraerán los datos geométricos de las secciones transversales.

El fichero de Cad que contiene las curvas de nivel, debe llevar asociado a cada registro de la base de datos una columna o atributo que indique su cota. Antes de empezar a trabajar es importante revisar este atributo o en caso contrario comprobar que se trata de polilineas Z.

16. Esquema de trabajo

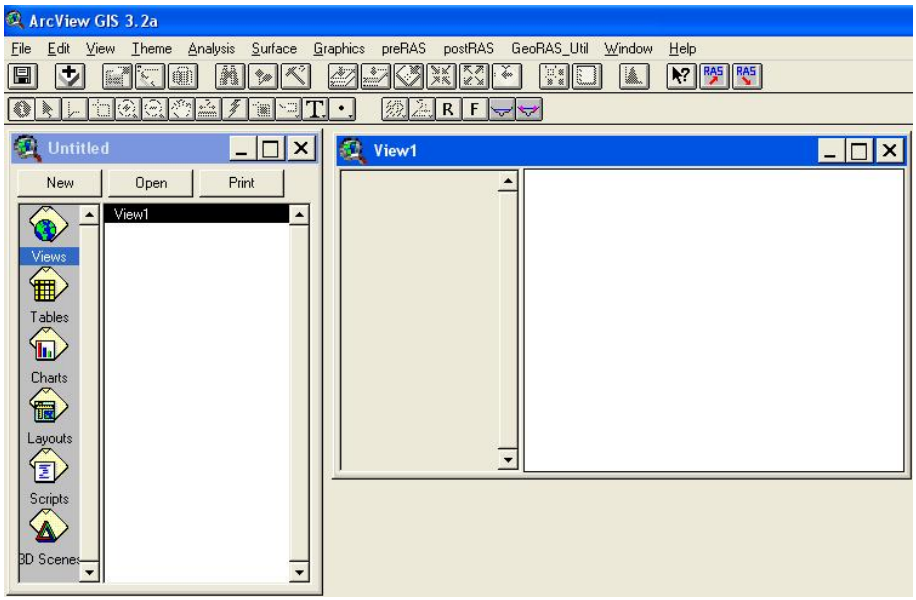
El proceso consta de tres pasos:

- Un PREPROCESO (trabajo previo con ArcView y HEC-GeoRAS), para generar un archivo de importación para HEC-RAS y que contiene información geométrica de las secciones transversales.
- La modelización del flujo con HEC-RAS que a su vez genera un archivo de exportación para ArcView,
- y un POSTPROCESO que genera los resultados finales: superficies de inundación para cada periodo de retorno, grids de profundidad ...

17. Proceso

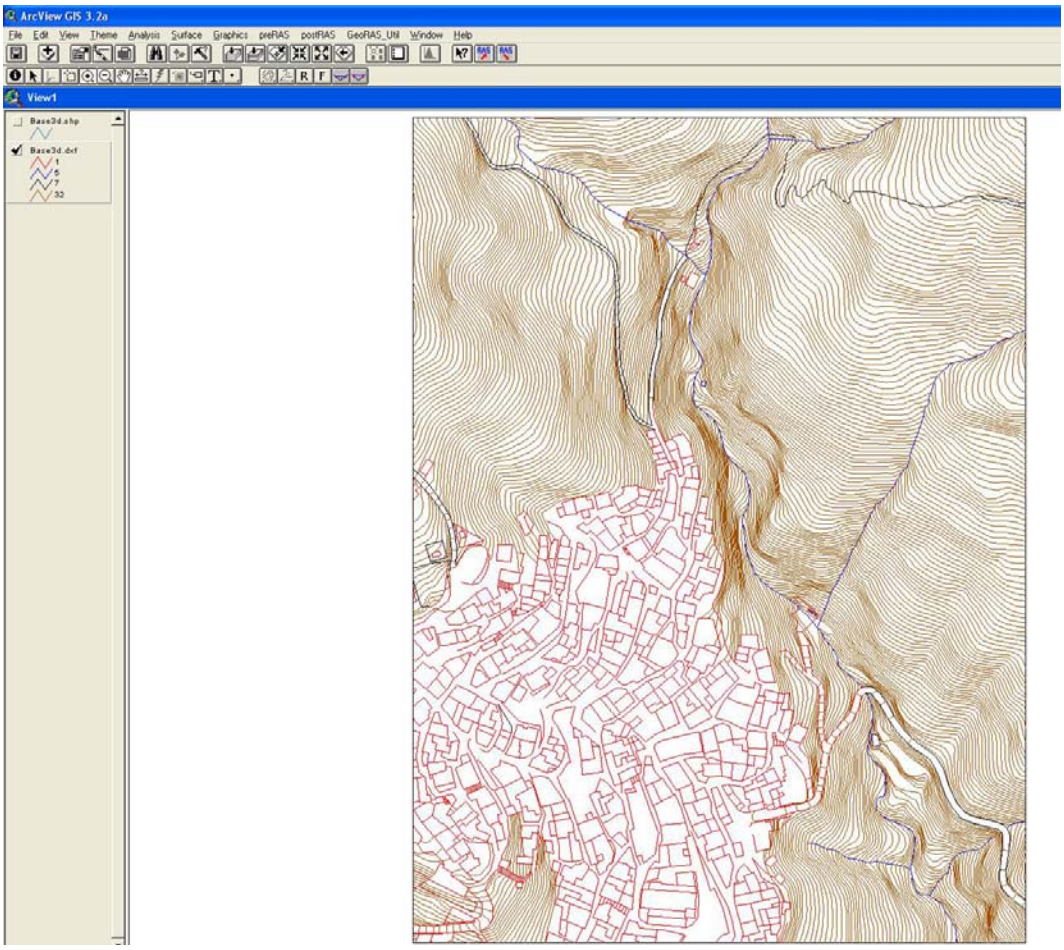
Trabajo previo con ArcView (PreRas)

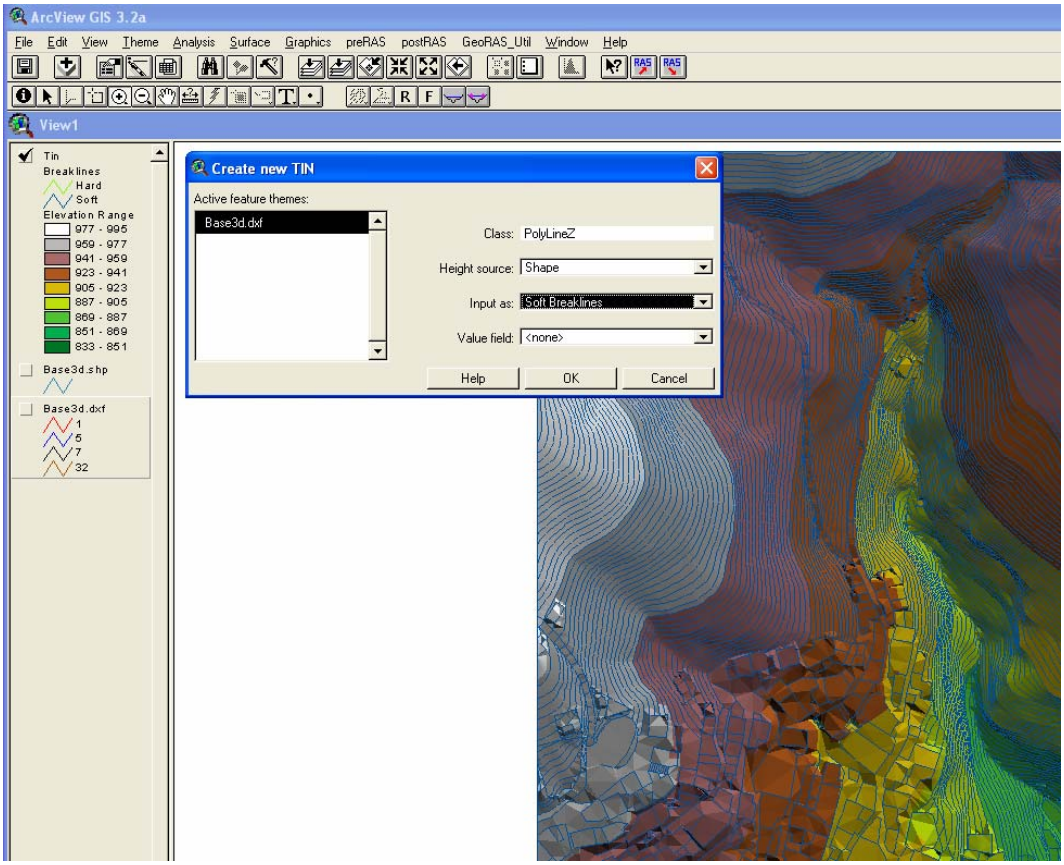
Creación de un nuevo proyecto de ArcView *tributario.apr (File/new proyect)* **y de una nueva vista.** *(New)*



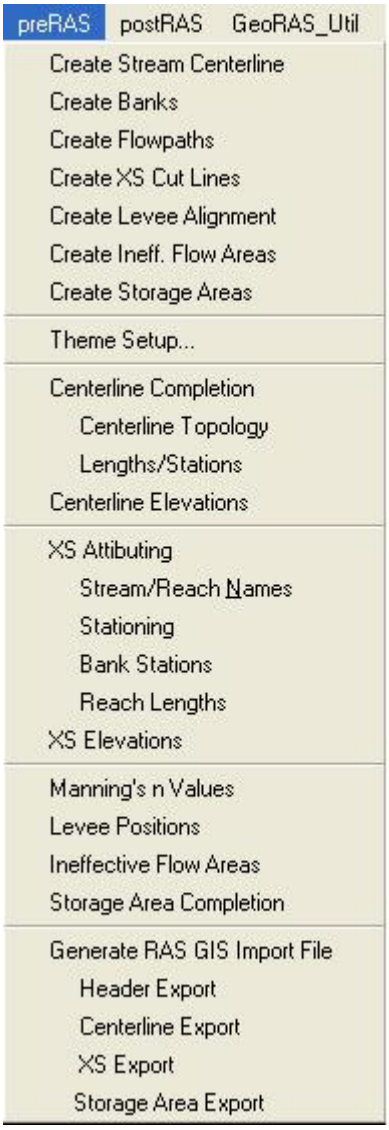
Generación del modelo digital de elevaciones (mdt): A partir de cartografía base comercial 3d, generamos un mdt vectorial o TIN :

Cargamos el archivo de cad *3dbase.dxf* y mediante la herramienta *Surface/Create TIN from Features* generamos el tin. Rellenamos la casilla *Height source* con *Shape* (en el caso de que tuviéramos un atributo con la elevación escogeríamos éste)


ArcView GIS 3.2a
File Edit View Theme Analysis Surface Graphics preRAS postRAS GeoRAS_Util Window Help
View1
Base3d.shp
Base3d.dxf
1
5
7
32


ArcView GIS 3.2a
File Edit View Theme Analysis Surface Graphics preRAS postRAS GeoRAS_Util Window Help
View1
Tin
Breaklines
Hard
Soft
Elevation Range
977 - 995
959 - 977
941 - 959
923 - 941
905 - 923
887 - 905
869 - 887
851 - 869
833 - 851
Base3d.shp
Base3d.dxf
1
5
7
32
Create new TIN
Active feature themes:
Base3d.dxf
Class: PolyLineZ
Height source: Shape
Input as: Soft Breaklines
Value field: <none>
Help
OK
Cancel

El menu desplegable preRas: Las herramientas contenidas en este menu se muestran en el orden en el que se deben utilizar.



← Crea o shapes geometría (vacíos)

← Especifica los temas para el fichero de importación

← Añade topología y atributos al cauce del río.

← Añade topología y atributos a las secciones tranversales

← Crea el archivo de importación para HEC-RAS

Los pasos básicos posteriores a la generación del mdt son:

- Dibujar el cauce, editando el tema vacío

PreRas-Create stream Centerline: introducimos el nombre o dejamos el que sale por defecto. Con esto se crea un fichero vectorial (de líneas) en el que vamos a digitalizar el eje (s) del río

Reglas:
Las uniones entre tramos tienen que ser perfectas, es decir ningún hueco entre ellas.
Se digitaliza de aguas arriba a aguas abajo.

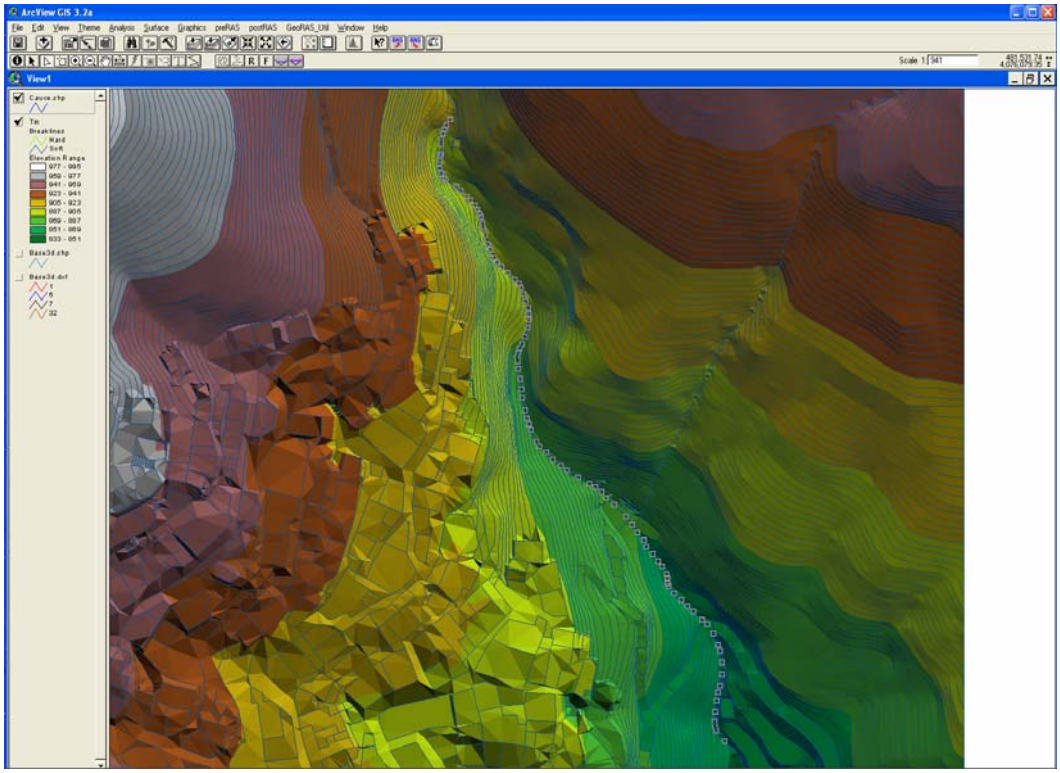
Las herramientas necesarias para digitalizar y dar nombre a los tramos creados son las siguientes:

Dibuja segmentos con sucesivos click del botón izquierdo del ratón que no son más que puntos de una polilínea, para cerrar la polilínea hacemos doble click sobre el botón izquierdo. Según se va digitalizando si damos al botón derecho aparecen unas opciones muy útiles para la digitalización: de zoom + y -,pan (desplazamiento del mapa), borrar ultimo punto de la linea.

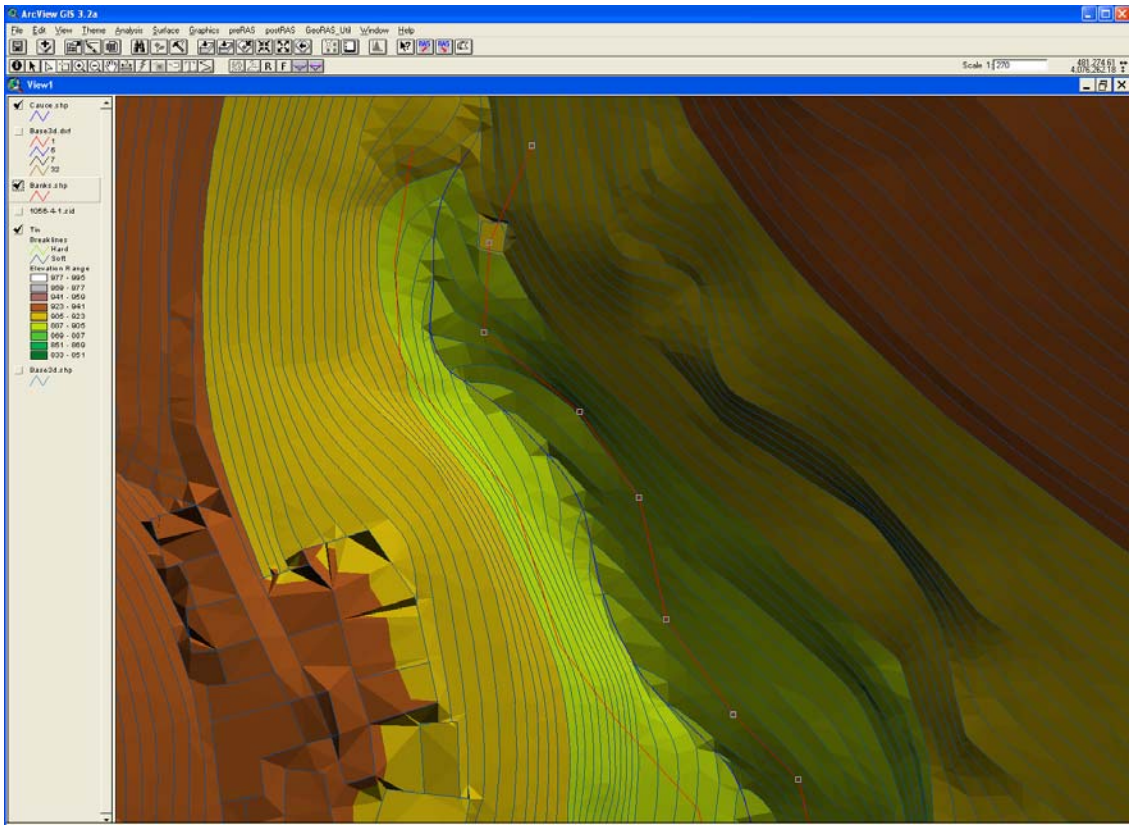
Cuando se han digitalizado todos los tramos hay que nombrarlos indicando el nombre del río y el curso. Pulsando este botón, primero se define el tema a editar, se va marcando tramo a tramo y en cada tramo se introduce el nombre del río y el curso.

Esta herramienta se utiliza para añadir afluentes al río principal (opcional). Abrir la edición de “Stream centerline” y trazar con esta herramienta un segmento que corte a “stream centerline” donde enlazará el afluente. Con esto se consigue dividir “stream centerline” en dos segmentos (tramos), definidos por el afluente. Ahora hay que eliminar dos pequeños fragmentos lineales que no se necesitan.

Al terminar de editar el tema cerramos la edición Theme/Stop editing.



- Dibujar las líneas que definen las margenes “banks”: PreRas-Create Banks, ahora con la herramienta “draw line” digitalizamos los “bank lines” para cada tramo:



- Dibujar los “flowpaths” o zonas por donde preveamos que circulará el flujo de agua

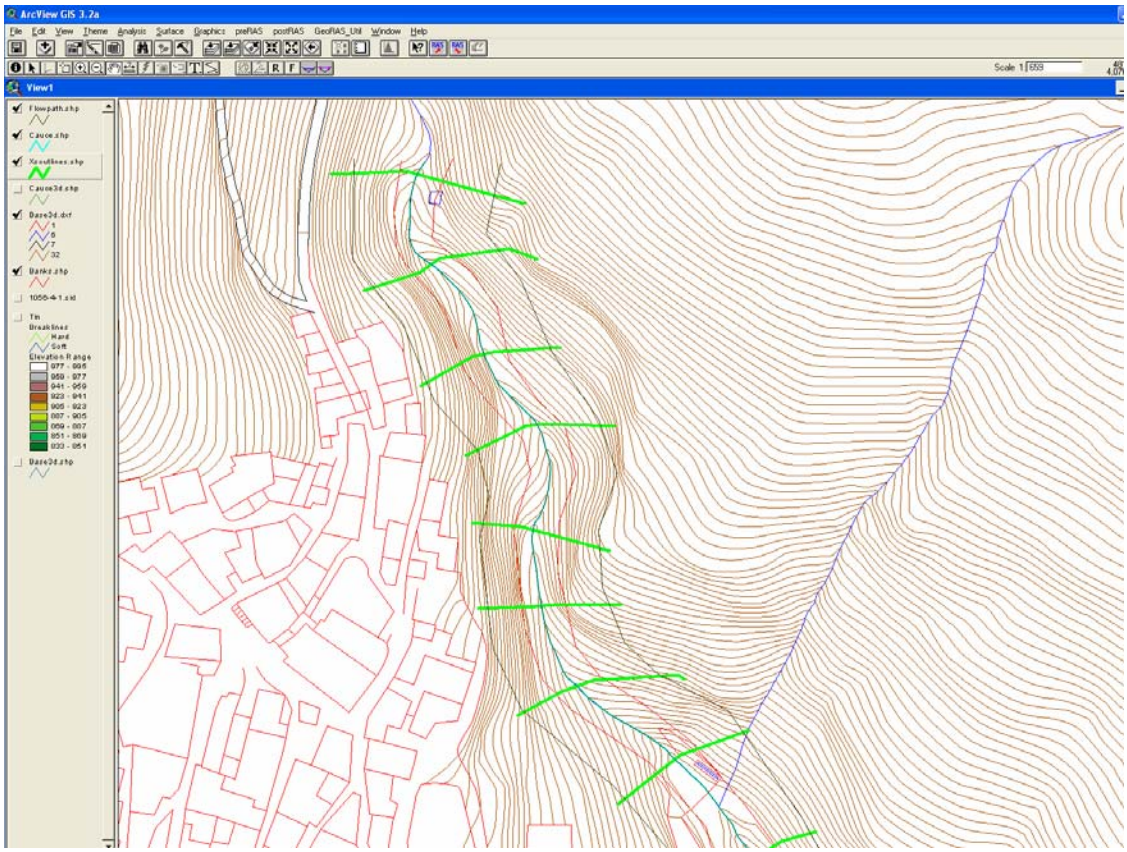
PreRas-Create flowpath. El corte de estas líneas con las secciones transversales definen los puntos entre los que se medirá automáticamente, siguiendo esa línea, la distancia entre secciones por las márgenes.
Reglas:
Se deben digitalizar (de aguas arriba a aguas abajo) una línea por cada lado del río, incluyendo el eje del cauce principal (stream centerline), pero como este eje ya está hecho, es recomendable aceptar la opción que da el programa de copiarlo automáticamente. Es necesario definir, para cada segmento, su situación: izquierdo (left), derecho (Right) o cauce (channel).

Define la posición de “flow path centerlines”, al pulsarlo te pide el tema correspondiente. A continuación se va señalando segmentos de líneas con el cursor y en la caja de dialogo se elige la posición que corresponda.

- Dibujar las secciones transversales

PreRas-CreateXS Cut lines: Con las secciones definidas en este paso se extraerán los datos de la geometría de las secciones transversales a partir del tin.

Reglas:
No se pueden cortar dos secciones.
Las secciones cortan perpendicular al flujo, se digitaliza desde el margen izquierdo a derecho y deben cortar a las líneas de flow path centerline.



- Añadir topología y elevación al cauce (*cauce 3d*): **PreRas-Centerline Completion** Se añade información automáticamente y además se crea otro similar pero en 3 dimensiones. Es necesario seguir el orden de ejecución que se indica
- De igual forma se añade topología y elevación a las secciones transversales (*secciones 3d*). **PreRas-XS Attributing**
- Indicar los Ras themes o ficheros a incluir en el archivo de importación. **PreRas-Theme Setup**
- Crear el fichero de exportación para HEC-RAS: **PreRas- Generate Ras Gis import file**, que prepara el fichero que posteriormente será leído por Hec-Ras. Este fichero de texto con formato *.sdf* se almacena en carpeta en la cual está el resto de temas

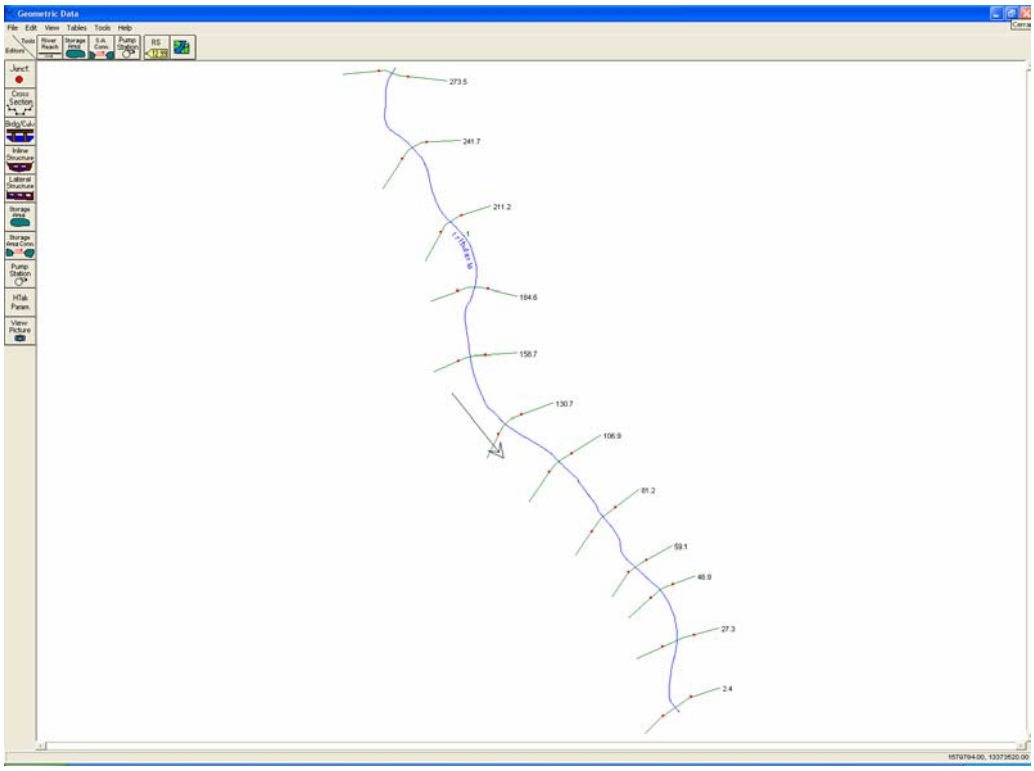
Trabajo con HecRas

- Crear un nuevo proyecto (*tributario.prj*)

- Editar la geometría:. Edit/Geometric Data

  Importar el archivo de geometría: File/ Import geometry Data/GIS format buscando el archivo . *sdf* generado por ArcView

  En las opciones de importación elegir Unidades del sistema métrico SI (metric) unit.



En el desplegable *Tables/Manning's n or k values…*rellenar los valores de n para el cauce y las laderas.

Desde *Tools/Graphical Cross Section Edit* visualizar y corregir las secciones tranversales, añadir leeves, áreas inefectivas de flujo….

Desde *Tools/Cross Section Point Filter*, elegir *Multiple Locations*, añadir todas las secciones, y hacer click sobre *Filter Points on Selected XS*

Desde *Tools/Xs Interpolation*, añadir las secciones interpoladas que deseemos

Añadir *Bridges y/o Culvert*

Salvar el archivo de geometría *File/Save Geometry Data*

- Introducir los datos hidráulicos *Edit/Steady Flow Data*

  Salvar el archivo de datos de flujo *File/Save Flow Data*

- Correr el modelo y revisar las salidas

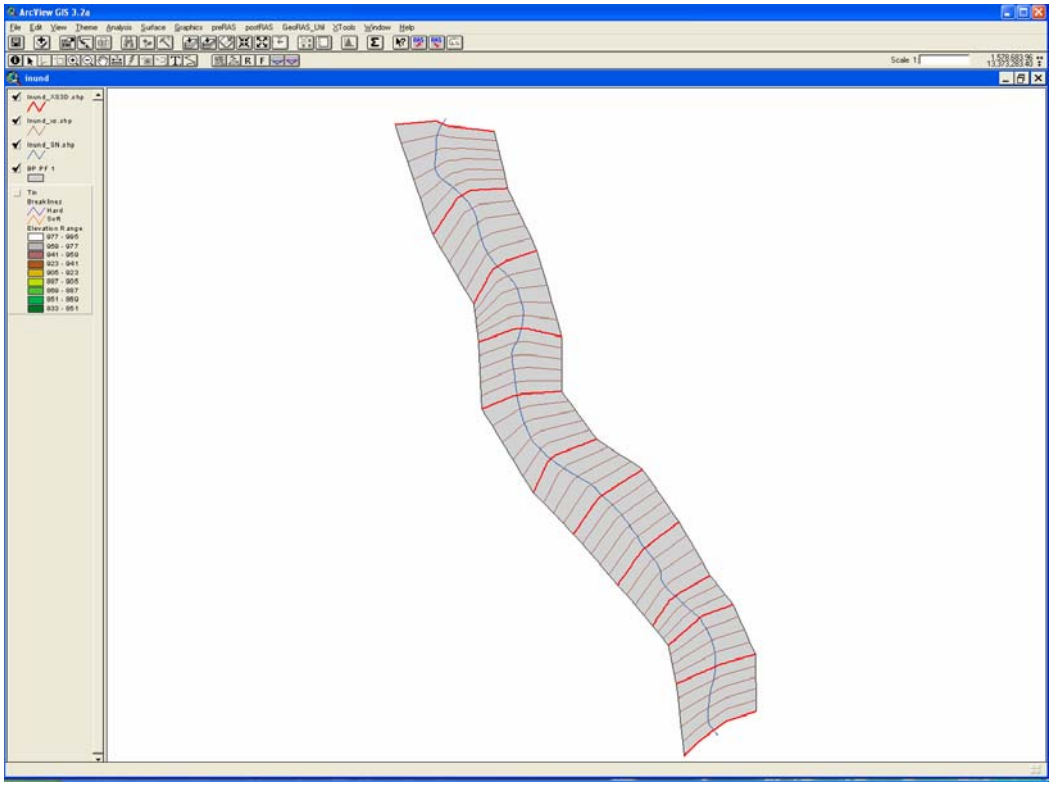
- Generar un archivo de exportación *File/export GIS Data* (*trb.RASexport.sdf*)

Trabajo final con ArcView (PostRas)

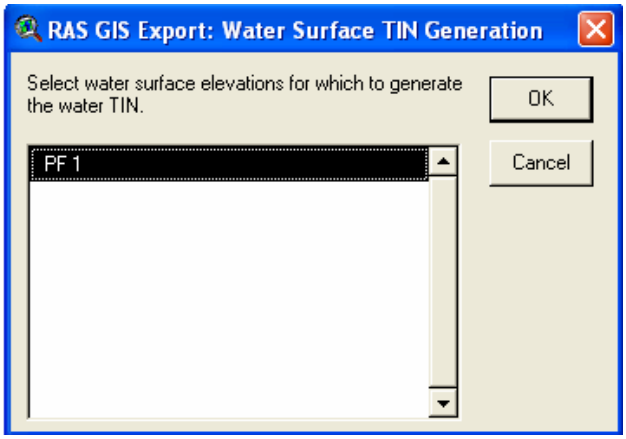
Desde el desplegable *postRAS* elegir *theme setup* y buscar los datos que se solicitan.

En *output directory* introducir un nombre sencillo sin ruta de disco. El último apartado *Rasterization cell size* se refiere al tamaño de pixel que tendrán los datos resultantes

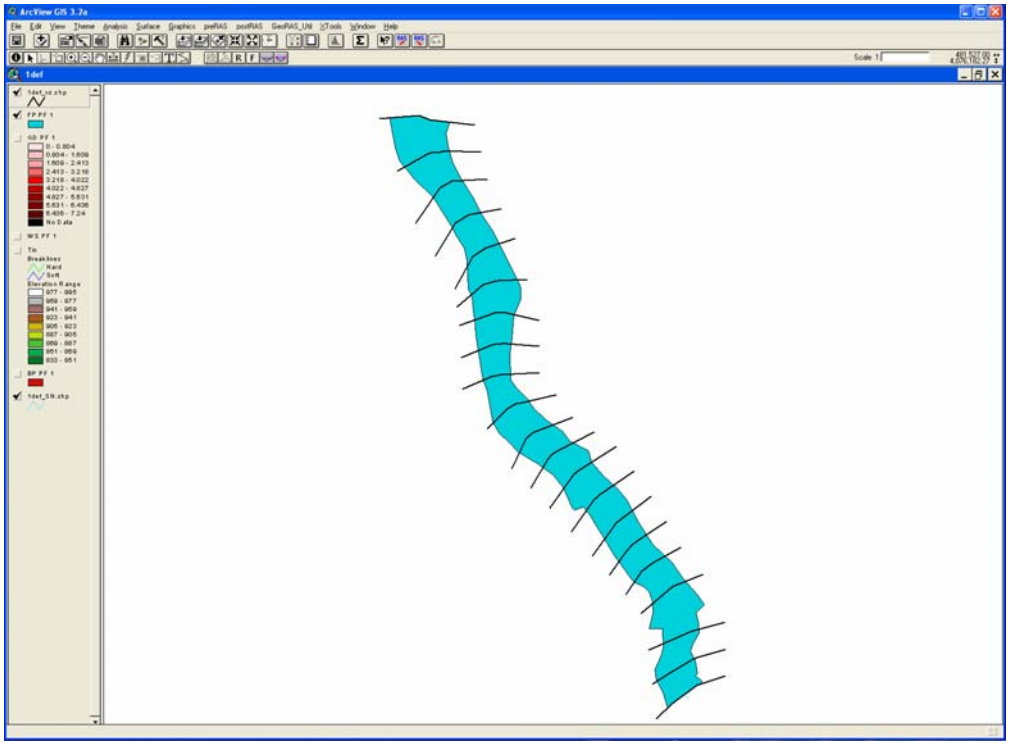
Leer el archivo de exportación. *postRAS/Read RAS GIS Export File:* crea y lee una serie de temas y los coloca en la vista. Entre ellos el tin, y unos ficheros vectoriales BP (Bounding Polygons), que son la superficie de ocupación de las secciones transversales (habrá tantos de estos BP como perfiles haya, y lógicamente serán idénticos)



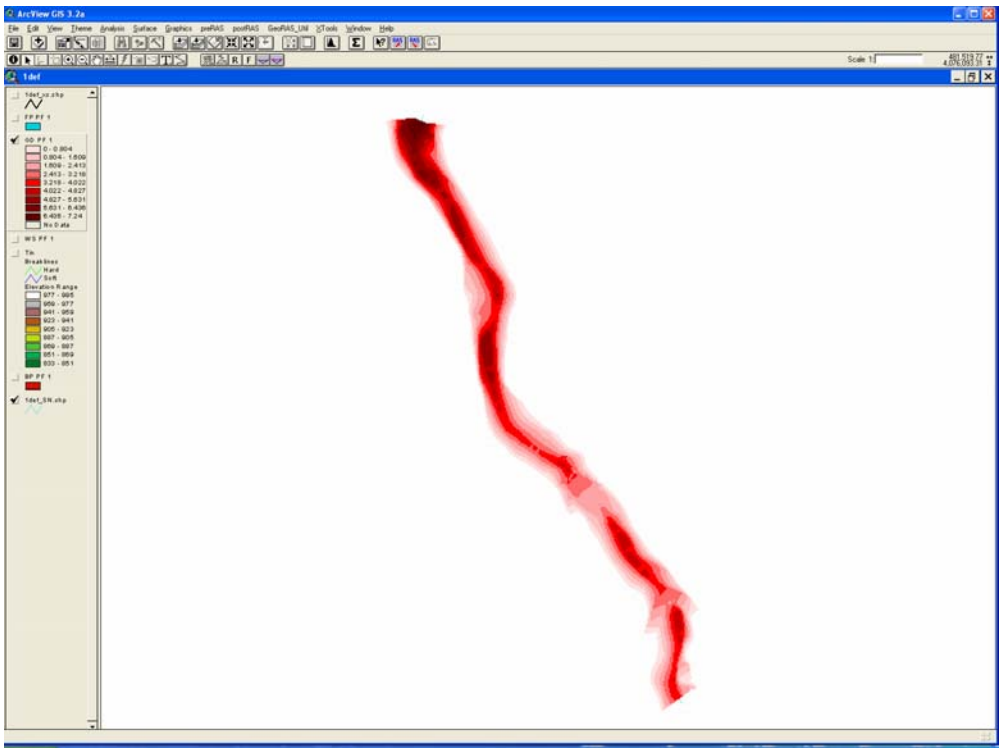
Con *PostRas-Ws TIN Generation* ,el tin va a ser recortado por "bounding polygon". En la ventana de dialogo que aparece seleccionar todos los perfiles.



PostRas-Floodplain Delineation, En este proceso se crearán las zonas de inundación para cada perfil, es decir para cada caudal que se haya establecido en Hec-Ras. Además se genera un grid con el calado o profundidad.



Llanura de inundación para el periodo de retorno considerado



Grid de profundidad

Imagen final de la llanura de inundación con ortoimagen de fondo

18. Referencias

Environmental Systems Research Institute (1996). *ArcView Gis: Using ArcView GIS*, ESRI inc, Relands, California

Hydrologic Engineering Center (2002a) *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 3.1. CPD-69*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

Hydrologic Engineering Center (2002b) *HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 3.1.CPD-68.* U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

Hydrologic Engineering Center (2002c).*HEC-GeoRAS, An extension for support of HEC-RAS using ArcView. Version 3.1. User's Manual. CPD-76.* U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California

Hydrologic Engineering Center (2002d). *HEC-RAS River Analysis System, Applications Manual, Version 3.1*, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California