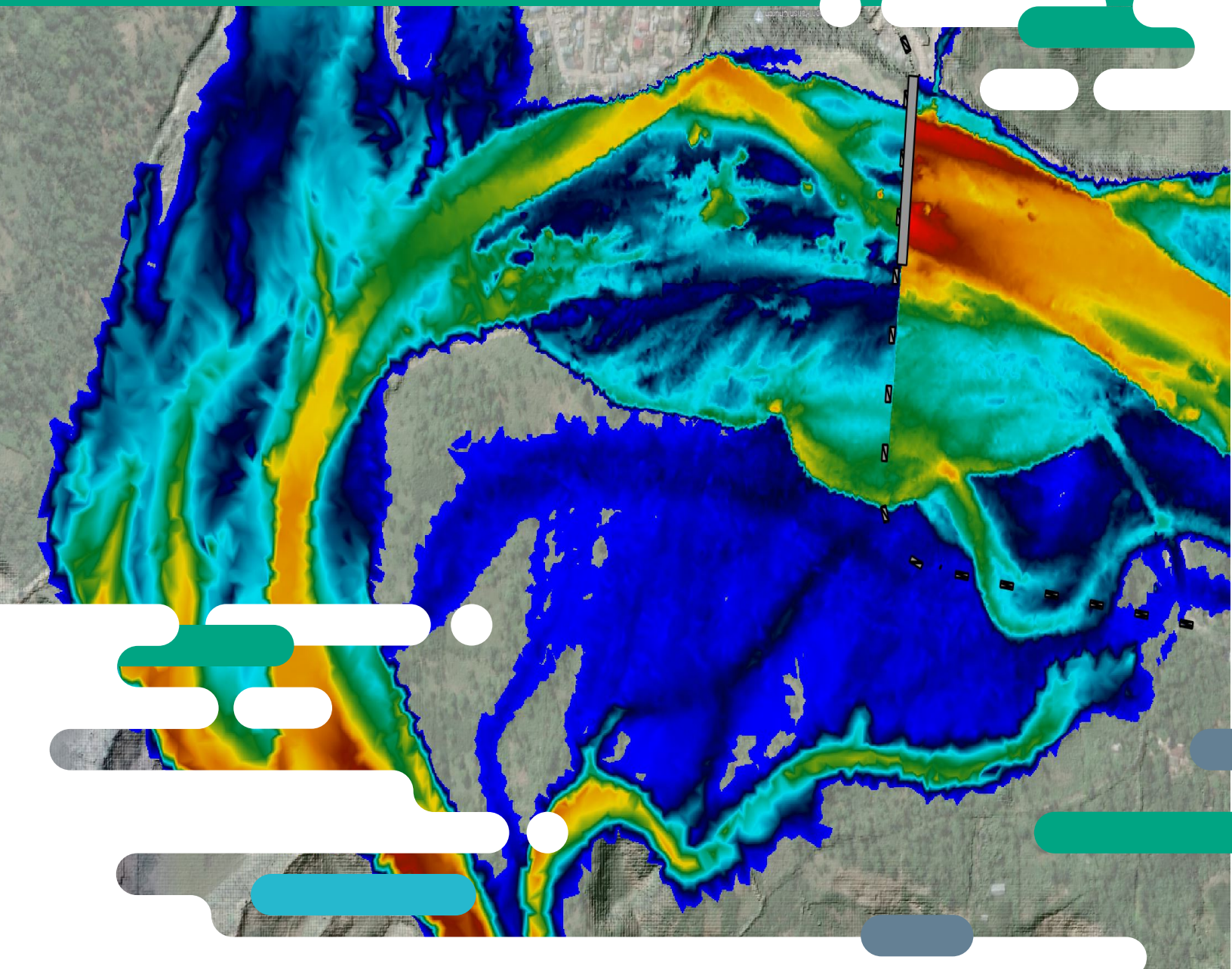


# HydroBID Flood Manual de Referencia

Versión 2.0



División de Agua y Saneamiento  
Abril, 2020

Autor: Hydronia LLC.

Palabras clave: HydroBID Flood, inundaciones, mitigación, transporte de sedimentos, ríos, recursos hídricos.

Copyright © 2020 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode> ) y puede ser reproducida para cualquier uso no- comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# Índice general

<b>Índice de figuras</b>	<b>III</b>
<b>Índice de cuadros</b>	<b>VI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Resumen de las características y capacidades de HydroBID Flood . . . . .	2
<b>2. Instalando HydroBID Flood</b>	<b>7</b>
2.1. Requerimientos de Hardware . . . . .	7
2.2. Pasos para la instalación . . . . .	7
2.3. Documentación . . . . .	7
2.4. Soporte Técnico . . . . .	8
2.5. Tutoriales . . . . .	8
<b>3. Características Generales de HydroBID Flood</b>	<b>9</b>
<b>4. Generación de mallas en HydroBID Flood</b>	<b>13</b>
4.1. Condiciones de contorno . . . . .	16
4.2. Data espacial . . . . .	17
<b>5. Ecuaciones del modelo HydroBID Flood</b>	<b>19</b>
5.1. Modelo hidrodinámico . . . . .	19
5.2. Modelo de transporte de sedimentos . . . . .	33
5.3. Modelo de flujo de lodo y detritos . . . . .	40
5.4. Modelo de transporte de contaminantes . . . . .	43
<b>6. Paralelización del código</b>	<b>48</b>
6.1. HydroBID Flood CPU . . . . .	48
6.2. HydroBID Flood GPU . . . . .	48
<b>7. Componentes hidráulicos e hidrológicos</b>	<b>50</b>
7.1. Componente de puentes . . . . .	50
7.2. Pilares de puentes . . . . .	57
7.3. Componente de alcantarillas . . . . .	59
7.4. Componente de compuertas . . . . .	66
7.5. Lluvia, evaporación e infiltración . . . . .	68
7.6. Componente de viento . . . . .	73
7.7. Curvas de gasto internas . . . . .	74
7.8. Fuentes y sumideros . . . . .	76
7.9. Vertederos . . . . .	76
7.10. Modelado de brechas en presas . . . . .	78

7.11. Socavación de puentes . . . . .	78
<b>8. Programa de entrada de datos de Hydronia (DIP)</b>	<b>83</b>
8.1. Panel de datos de control (archivos .DAT) . . . . .	84
8.2. Panel de datos de transporte de sedimentos (archivos .SEDS y .SEDB) . . . . .	88
8.3. Panel de datos del flujo de lodos y detritos . . . . .	92
8.4. Derrames de petróleo en tierra (archivo .OILP) . . . . .	94
8.5. Pestaña de opciones de salida gráfica (archivo .PLT) . . . . .	95
8.6. Panel de salida de perfiles (archivo .PROFILES) . . . . .	97
8.7. Panel de salida de las secciones transversales (archivo .XSECS) . . . . .	99
8.8. Panel de datos del contorno de entrada . . . . .	100
8.9. Panel de condiciones de contorno de salida . . . . .	101
8.10. Panel de alcantarillas (archivo .CULVERTS) . . . . .	103
8.11. Panel de tablas internas de gastos ( <i>Internal Rating Tables</i> ) (archivo .IRT) . . . . .	105
8.12. Panel de vertederos (archivo .WEIRS) . . . . .	106
8.13. Panel de fuentes/sumideros (archivo .SOURCES) . . . . .	107
8.14. Panel para cálculo de socavación de puentes (.SCOUR File) . . . . .	108
8.15. Panel de pilares de puentes (archivo .PIERS) . . . . .	110
8.16. Panel de los puntos de observación (archivo .OBS) . . . . .	111
8.17. Panel de herramientas . . . . .	112
<b>9. Archivos de entrada de datos</b>	<b>113</b>
9.1. Datos del control de simulación . . . . .	116
9.2. Datos de la malla . . . . .	124
9.3. Datos de componentes . . . . .	132
9.4. Datos de control de salida . . . . .	176
9.5. Datos de elevación . . . . .	184
9.6. Datos de condiciones de contorno . . . . .	185
<b>10. Archivos de salida</b>	<b>191</b>
10.1. Resumen de los archivos de salida . . . . .	191
10.2. Archivos generales de salida . . . . .	193
10.3. Archivos de salida de componentes . . . . .	203
10.4. Archivos de salida de perfiles y secciones transversales . . . . .	206
10.5. Archivos de salida para el post-procesado con QGIS . . . . .	209
10.6. Archivos de salida gráfica . . . . .	212
<b>11. Herramientas del programa de entrada de datos (DIP)</b>	<b>213</b>
11.1. Herramienta de extracción de datos de HEC-RAS . . . . .	213
<b>12. Referencias</b>	<b>215</b>



# Índice de figuras

1.1.	Malla de celdas triangulares de HydroBID Flood. . . . .	2
1.2.	Mapa de elevaciones de la superficie de agua calculadas con HydroBID Flood. . . . .	6
2.1.	Ubicación la documentación de HydroBID Flood. . . . .	8
3.1.	Capas creadas por HydroBID Flood al utilizar el comando Nuevo Proyecto HydroBID Flood. . . . .	9
4.1.	Malla flexible utilizada en HydroBID Flood. . . . .	13
4.2.	Diálogo para ingreso de <i>CellSize</i> . . . . .	14
4.3.	Malla generada en base a un polígono externo con <i>CellSize</i> = 50 ft, y un polígono interno con <i>CellSize</i> = 10 ft, ambos introducidos en la capa de <i>Domain Outline</i> . . . . .	14
4.4.	Malla generada en base al polígono de la Figura 4.3 y a las dos polilíneas ingresadas en la capa <i>MeshDensityLine</i> . . . . .	15
4.5.	Malla generada en base al polígono y polilíneas de la Figura 4.4 y a la polilíneas ingresadas en la capa <i>MeshBreakLine</i> . Nótese que a diferencia del las polilíneas de la capa <i>MeshDensityLine</i> layer, las que se ingresan en <i>MeshBreakLine</i> fuerzan a la malla a ubicar nodos sobre la polilínea. . . . .	15
4.6.	Panel de capas de QGIS mostrando la capa <i>Boundary Conditions</i> seleccionada. . . . .	16
4.7.	Seleccionar el lápiz y Agregar objeto. . . . .	16
4.8.	Polígono de condición de entrada. . . . .	16
4.9.	Diálogo de condiciones de borde. . . . .	17
4.10.	Panel para datos de Condiciones de Borde BC. . . . .	17
4.11.	Panel de capas HydroBID Flood mostrando la capa <i>Manning N</i> seleccionada. . . . .	18
4.12.	Seleccionar el lápiz y Agregar objeto. . . . .	18
4.13.	Polígono de n de Manning. . . . .	18
5.1.	Representación <i>Piecewise</i> uniforme de las variables del flujo. . . . .	20
5.2.	Parámetros de la celda. . . . .	21
5.3.	Parámetros de la celda. . . . .	21
5.4.	Condiciones de contorno abiertas y cerradas. . . . .	23
5.5.	Separación requerida entre condiciones de contorno abiertas. . . . .	24
5.6.	Caudal de agua convertido en velocidades (BCTYPE 6). . . . .	25
5.7.	Sección de entrada rectangular. . . . .	27
5.8.	Sección de entrada irregular. . . . .	28
5.9.	Evaluación de $d_{min}$ . . . . .	28
5.10.	Nuevo nivel de agua para la sección de entrada. . . . .	30
5.11.	Condición de pared sólida. . . . .	31
5.12.	Parámetros de la celda. . . . .	39
5.13.	Panel de transporte de sedimentos de Programa de Entrada de Datos de Hydronia. . . . .	40
5.14.	Diagrama reológico de algunas formulaciones no-newtonianas comunes. . . . .	41
5.15.	Panel Mud/Debris Flow de HydroBID Flood. . . . .	43
5.16.	Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas. . . . .	45

5.17.	Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida. . . . .	46
5.18.	Pestaña <i>Pollutant Transport</i> de HydroBID Flood. . . . .	46
6.1.	Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de HydroBID Flood como una función del número de núcleos del procesador. . . . .	49
6.2.	Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de HydroBID Flood en función del número de núcleos del procesador. . . . .	49
7.1.	Panel <i>Datos de Control</i> de HydroBID Flood con la componente de puentes seleccionada. . . . .	51
7.2.	Vista frontal de la sección transversal del un puente. . . . .	52
7.3.	Visión en planta de un puente mostrando la sección transversal de interés. Por simplicidad, solamente se muestran dos pilares. . . . .	54
7.4.	Ejemplo simple de $A_1, A_2, A_3$ y $A_4$ empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes de superficie libre. . . . .	54
7.5.	Ejemplo simple de $A_1, A_2, A_3$ y $A_4$ empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes parcialmente sumergidos. . . . .	55
7.6.	Ejemplo simple de $A_1, A_2, A_3$ y $A_4$ empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes completamente sumergidos. . . . .	55
7.7.	Aplicación del esquema en mallas de celdas triangulares. Puente perpendicular (izquierda) y oblicuo (derecha). . . . .	56
7.8.	Proporciones de las pilas de los puentes usadas para estudiar la influencia de la anchura de la estructura. . . . .	56
7.9.	Influencia de la anchura de la estructura en el cambio de la altura de presión total ( $\Delta H$ ) a través del puente como una función del número de Froude aguas abajo. . . . .	57
7.10.	Diálogo <i>Control Panel</i> de HydroBID Flood con la componente de pilares de puentes seleccionada. . . . .	57
7.11.	Pilares en el interior de las celdas. . . . .	58
7.12.	Vista esquemática de un pilar rectangular. . . . .	58
7.13.	Diálogo <i>Global Parameters</i> de HydroBID Flood con la componente de alcantarillas seleccionada. . . . .	59
7.14.	Vista esquemática perpendicular a las estructura de compuerta. . . . .	66
7.15.	Modos de flujo a través de las compuertas. . . . .	67
7.16.	Panel <i>Datos de Control</i> de HydroBID Flood con la componente de compuertas seleccionada. . . . .	67
7.17.	Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G1). . . . .	68
7.18.	Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G2). . . . .	68
7.19.	Panel <i>Rainfall/Infiltration</i> de HydroBID Flood. . . . .	74
7.20.	Panel <i>Datos de Control</i> de HydroBID Flood con la componente IRT seleccionada. . . . .	75
7.21.	Panel <i>Datos de Control</i> de HydroBID Flood con la componente de fuentes y sumideros seleccionada. . . . .	76
7.22.	Panel <i>Datos de Control</i> de HydroBID Flood con la componente de vertederos seleccionada. . . . .	77
7.23.	Sistema de coordenadas para la representación de la brecha en la presa. . . . .	79
8.1.	Diálogo de apertura de proyectos del HydroBID Flood. . . . .	83
8.2.	Ventana principal del programa de entrada de datos Programa de Entrada de Datos de HydroBID Flood. . . . .	84
8.3.	Panel de datos de control. . . . .	90
8.4.	Panel de transporte de sedimentos. . . . .	93
8.5.	Panel del flujo de lodos/detritos (modelo HydroBID Flood). . . . .	93
8.6.	Panel de derrames de petróleo en superficie (modelo OilFlow2D). . . . .	94
8.7.	Panel de salida gráfica. . . . .	95
8.8.	Paletas de color. . . . .	96
8.9.	Archivo de salida de perfiles. . . . .	98
8.10.	Panel de salida de secciones transversales. . . . .	99
8.11.	Panel de datos del contorno de entrada. . . . .	100
8.12.	Gráfico de hidrograma de entrada. . . . .	100
8.13.	Panel de datos del contorno de salida. . . . .	101
8.14.	Panel de alcantarillas mostrando los datos en la curva de distribución (rating curve). . . . .	103

8.15.	Panel de tablas internas de gastos. . . . .	105
8.16.	Panel de vertederos. . . . .	106
8.17.	Panel de fuentes/sumideros. . . . .	107
8.18.	Panel de socavación de puentes. . . . .	108
8.19.	Panel de los pilares del puente. . . . .	110
8.20.	Panel de puntos de observación. . . . .	111
9.1.	Ejemplo de una malla de HydroBID Flood. . . . .	113
9.2.	Vista frontal de la sección transversal del puente. . . . .	135
9.3.	Paletas de color. . . . .	181
11.1.	Comando HEC-RAS en el panel de herramientas. . . . .	214

# Índice de cuadros

3.1. Capas de HydroBID Flood. . . . .	9
5.1. Condiciones de contorno requeridas. . . . .	24
5.2. Tipos de condiciones de contorno (CC) abiertas para el modelo hidrodinámico. . . . .	24
5.3. Resumen de las fórmulas del transporte de la carga de fondo. . . . .	35
5.4. Fórmulas para calcular la velocidad de sedimentación $\omega_s$ . . . . .	36
5.5. Formulaciones de resistencia de flujo reológico empleadas en HydroBID Flood MD. . . . .	42
7.1. Descripción de las variables para el archivo de geometría de la sección transversal del puente. . . . .	53
7.2. Coeficientes de rugosidad $n$ de Manning de varios materiales para la alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003). . . . .	61
7.3. Coeficientes de pérdidas en la entrada $K_e$ . Adaptado de Froehlich (2003). . . . .	61
7.4. Coeficientes de la fórmula del control de entrada a la alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003). . . . .	62
7.5. Configuraciones de entrada a la alcantarilla. Adaptado de <a href="http://www.xmswiki.com/xms/">www.xmswiki.com/xms/</a> . . . . .	65
7.6. Infiltración inicial de Horton para distintos suelos. Fuente: Akan(1993). . . . .	69
7.7. Infiltración final de Horton para distintos suelos. Fuente: Akan(1993). . . . .	70
7.8. Valores medios y desviación estándar para los parámetros del modelo de Green-Ampt. Fuente: Rawls et al. (1983). . . . .	71
7.9. Grupos de antecedentes de contenido de humedad (AMC). Adaptado de de Mishra et al. (2003) . . . . .	73
8.1. Botones en el panel de datos de control. . . . .	84
8.2. Datos de control temporal en el panel de datos de control. . . . .	85
8.3. Cuadro de unidades en el panel de datos de control. . . . .	85
8.4. Cuadro de datos del control de computación en el panel de datos de control. . . . .	85
8.5. Cuadro de datos de las opciones de salida en el panel de datos de control. . . . .	86
8.6. Cuadro de los datos de componentes en el panel de datos de control. . . . .	86
8.7. Cuadro de datos de componentes en el panel de datos de control. . . . .	88
8.8. Parámetros en el modo de transporte de sedimentos y botones del panel de transporte de sedimentos (modelo HydroBID Flood). . . . .	88
8.9. Parámetros en el cuadro de transporte de sedimentos en suspensión del panel de transporte de sedimentos (modelo HydroBID Flood). . . . .	90
8.10. Parámetros en el cuadro de transporte de sedimentos de fondo del panel de transporte de sedimentos (HydroBID Flood model). . . . .	91
8.11. Parámetros en el panel del flujo de lodos/detrítos (modelo HydroBID Flood). . . . .	94
8.12. Parámetros en el panel de derrames de petróleo en superficie (modelo OilFlow2D). . . . .	95
8.13. Parámetros en el panel de opciones de salida gráfica. . . . .	96
8.14. Parámetros en el panel de salida de perfiles. . . . .	98
8.15. Parámetros para secciones transversales. . . . .	99
8.16. Parámetros en el panel de datos del contorno de entrada. . . . .	101
8.17. Parámetros en el panel de datos del contorno de salida. . . . .	102
8.18. Parámetros en el panel de alcantarillas. . . . .	103

8.19.	Parámetros en el panel de tablas internas de gastos. . . . .	105
8.20.	Parámetros en el panel de vertederos. . . . .	106
8.21.	Parámetros en el panel de fuentes/sumideros. . . . .	107
8.22.	Parámetros para las pilas y estribos en el panel de socavación de puentes. . . . .	108
8.23.	Parámetros en el panel de los pilares del puente. . . . .	110
8.24.	Parámetros en el panel de los puntos de observación. . . . .	111
8.25.	Archivos generados por la herramienta de extracción de datos de HEC-RAS. . . . .	112
9.1.	Lista de archivos de entrada. . . . .	114
9.2.	Descripción de las variables para el archivo .DAT. . . . .	118
9.3.	Descripción de las variables para el archivo .FED. . . . .	125
9.4.	Descripción de las variables para los archivos .IFL y .OBCP. . . . .	127
9.5.	Tipos de condición de contorno. . . . .	128
9.6.	Condiciones de contorno para régimen de flujo supercrítico. . . . .	129
9.7.	Descripción de las variables para el archivo .DAT. . . . .	131
9.8.	Descripción de las variables para el archivo .BRIDGES. . . . .	133
9.9.	Descripción de las variables para el archivo de la geometría de la sección transversal del puente. . . . .	136
9.10.	Descripción de las variables para el archivo .PIERS. . . . .	137
9.11.	Coeficientes de arrastre (drag) para los pilares de puente. Adaptado de Froehlich (2003). . . . .	138
9.12.	Descripción de variables del archivo .CULVERTS. . . . .	139
9.13.	Descripciones de las variables de los archivos de datos de profundidad-caudal de la alcantarilla. . . . .	140
9.14.	Descripciones de las variables para el archivo característico de la alcantarilla. . . . .	142
9.15.	Coeficientes de rugosidad $n$ de Manning para varios materiales de alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003). . . . .	143
9.16.	Coeficientes de pérdidas a la entrada $K_e$ . Adaptado de Froehlich (2003). . . . .	143
9.17.	Coeficientes de la fórmula de control de entrada. Adaptado de Froehlich (2003). . . . .	144
9.18.	Configuraciones de la entrada de la alcantarilla (adaptado de <a href="http://www.xmswiki.com/xms/">www.xmswiki.com/xms/</a> ). . . . .	146
9.19.	Descripción de las variables para el archivo .GATES. . . . .	148
9.20.	Descripciones de las variables para el archivo .GATES. . . . .	149
9.21.	Descripciones de las variables para el archivo .IRT. . . . .	150
9.22.	Descripción de las variables para el archivo .MUD. . . . .	151
9.23.	Relación de resistencia al flujo. . . . .	152
9.24.	Descripción de las variables para el archivo .OILP. . . . .	153
9.25.	Explicación del archivo ejemplo .SOLUTES. . . . .	155
9.26.	Descripciones de las variables para el archivo .SOLUTES. . . . .	155
9.27.	Descripción de las variables para el archivo .MANNN. . . . .	157
9.28.	Descripciones de variables para el archivo de datos de los coeficientes $n$ de Manning variable con el profundidad. . . . .	158
9.29.	Descripciones de las variables para el archivo .LRAIN. . . . .	159
9.30.	Descripción de las variables para el archivo de datos del hietograma y la evaporación. . . . .	160
9.31.	Descripciones de las variables para el archivo .LINF. . . . .	161
9.32.	Descripción de las variables para el archivo de parámetros de infiltración. . . . .	162
9.33.	Descripción de las variables para el archivo .SEDS. . . . .	164
9.34.	Descripciones de las variables para el archivo .SEDS. . . . .	167
9.35.	Descripción de las variables del archivo .SCOUR. . . . .	169
9.36.	Descripción de las variables para el archivo .SOURCES. . . . .	172
9.37.	Descripciones de las variables para el archivo .WEIRS. . . . .	174
9.38.	Descripción de las variables para el archivo .WIND. . . . .	175
9.39.	Descripciones de las variables para el archivo de velocidad del viento . . . . .	176
9.40.	Descripciones de las variables para el archivo .OBS . . . . .	177
9.41.	Descripción de las variables para el archivo .PLT . . . . .	178
9.42.	Formatos de imagen soportados y sus correspondientes extensiones de <i>world file</i> . . . . .	181



---

9.43. Descripciones de las variables para el archivo .PROFILES . . . . .	182
9.44. Descripciones de las variables para el archivo .XSECS . . . . .	183
9.45. Descripción de las variables para el archivo .EXP. . . . .	185
9.46. Descripción de las variables de los archivos de condiciones de contorno. . . . .	186
9.48. Descripción de las variables de los archivos de condiciones de contorno de dos variables. . . . .	187
9.50. Descripciones de las variables de los archivos de condiciones de contorno de múltiples variables. . . . .	188
9.51. Descripción de las variables de los archivos de condiciones de contorno de dos variables. . . . .	189
9.52. Descripción de las variables de los archivos de datos profundidad-caudal de las alcantarillas. . . . .	190
10.1. Lista de archivos de datos de salida. . . . .	191
10.2. Variables reportadas en los archivos .MESHOUTI y .MESHOUTE. . . . .	196
10.3. Variables reportadas en los archivos de valores máximos. . . . .	199
10.4. Variables reportadas en los archivos de valores máximos cuando no se utiliza el modulo de transporte de sedimentos. . . . .	200
10.5. Variables reportadas en los archivos de valores máximos cuando no se utiliza el modulo de transporte de sedimentos. . . . .	200
10.6. Variables reportadas en los archivos de puntos de observación. . . . .	201
10.7. Variables reportadas en los archivos de salida de vertederos. . . . .	205
10.8. Variables reportadas en los archivos de salida CELL_TIME_*.TEXTOUT. . . . .	209
10.9. Variables reportadas en los archivos <ProjectName>_..._CELLS_MAX.TEXTOUT . . . . .	210
10.10. Variables reportadas en el archivo <ProjectName>_TIME2DEPTH_CELLS.TEXTOUT. . . . .	211
10.11. Variables reportadas en el archivo <ProjectName>_CELLS_HAZARD.TEXTOUT. . . . .	211
11.1. Archivos de HEC-RAS con información de las elevaciones. . . . .	213

# 1 - Introducción

HydroBID Flood tiene como motor de cálculo el modelo bidimensional RiverFlow2D<sup>1</sup> que combina simulación hidráulica e hidrológica, evolución del fondo y transporte de contaminantes para ríos, estuarios y llanuras de inundación. HydroBID Flood es capaz de calcular el tránsito de crecientes en ríos y simular inundaciones sobre llanuras y terrenos complejos con una alta resolución, velocidad remarkable y gran estabilidad y precisión. El uso de mallas de celdas triangulares adaptadas al terreno permite resolver el flujo alrededor de áreas clave en cualquier entorno fluvial o urbano. La interfaz de usuario de HydroBID Flood está basada en el Sistema de Información Geográfica QGIS ([www.qgis.org](http://www.qgis.org)), el cual a través de un complemento (*plugin*) provee la funcionalidad necesaria para el tratamiento de todos los datos espaciales y la representación gráfica de resultados. Este complemento incluye herramientas interactivas para generar y refinar la malla usando objetos familiares de GIS, como puntos, arcos (polilíneas) y polígonos para construir una representación de alto nivel del modelo, facilitando la asignación de condiciones de contorno y del parámetro  $n$  de Manning que representa la rugosidad del fondo de cada celda. Esto permite al usuario gestionar de forma efectiva el proceso de modelado. HydroBID Flood ofrece un amplio conjunto de opciones para crear mapas de resultados, visualización 3D, animaciones y exportación de gráficos a Google Earth.

HydroBID Flood utiliza un esquema en volúmenes finitos preciso y estable y puede integrar estructuras hidráulicas como alcantarillas, presas, puentes, compuertas y rotura de presas. Las capacidades hidrológicas incluyen lluvia, infiltración y evaporación espacialmente distribuidas. Esta versión también cuenta con la funcionalidad del cálculo del esfuerzo del viento sobre la superficie del agua.

Este manual de referencia proporciona instrucciones para instalar HydroBID Flood y explica los fundamentos del modelo y sus componentes, así como el esquema numérico empleado para resolver las ecuaciones gobernantes. También se presenta una descripción detallada de los archivos con los datos de entrada y salida. Un documento aparte incluye diversos tutoriales que ayudarán al usuario a comenzar a usar HydroBID Flood y aprender a aplicar varios componentes del modelo como puentes, alcantarillas, lluvia e infiltración, compuertas, etc.

---

<sup>1</sup>RiverFlow2D™ y OilFlow2D™ son marcas registradas de Hydronia, LLC.

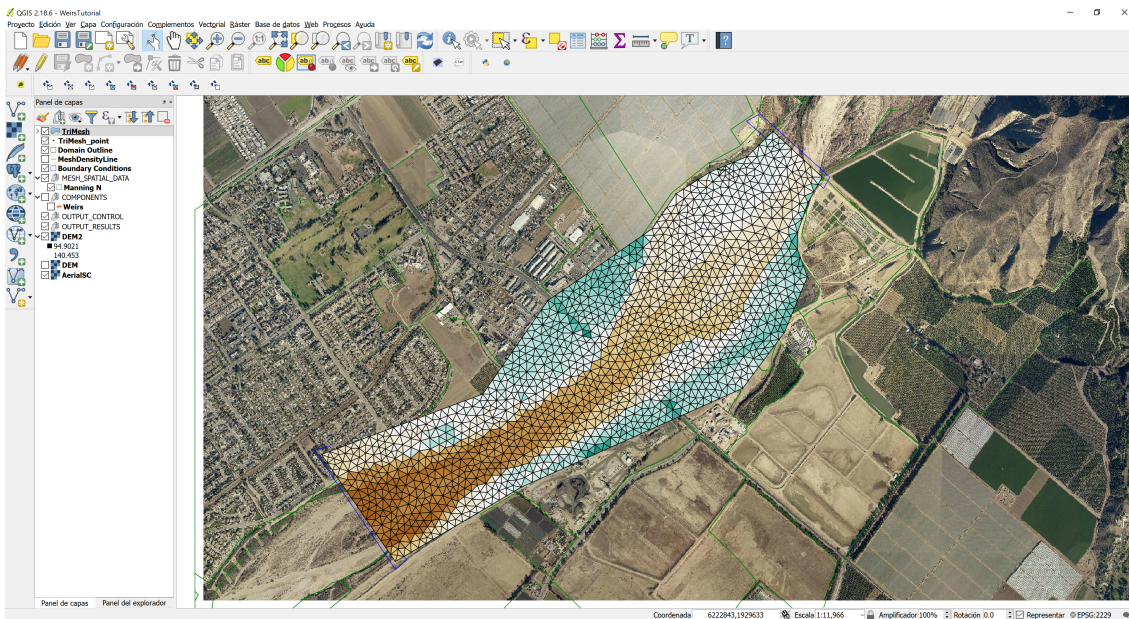


Figura 1.1 – Malla de celdas triangulares de HydroBID Flood.

## 1.1 Resumen de las características y capacidades de HydroBID Flood

### 1.1.1 Generador de mallas

- Generación automática de malla flexible de celdas triangulares.
- Refinamiento ilimitado de la malla.
- Informe de la calidad de la malla.
- Métodos de interpolación espacialmente variados, incluyendo:
  - Triangular (TIN).
  - Ponderación con el inverso de la distancia.
  - Muestreo (*Sampling*).

### 1.1.2 Esquema numérico

- Discretización espacial usando celdas triangulares
- Motor de volúmenes finitos de alto rendimiento
- Cálculos en doble precisión para una mayor exactitud
- Paralelización con OpenMP para una ejecución más rápida en ordenadores con múltiples núcleos
- Versión GPU para simulaciones >600X más rápidas.

### 1.1.3 Componentes hidráulicos

- Alcantarillas usando la formulación de la US Federal Highway Administration (FHWA).
- Hidráulica de puentes en 2D incluyendo la presurización del flujo y *overtopping*.
- Fuerzas de rozamiento con las pilas del puente.
- Presas con elevación variable de la cresta.
- Compuertas.
- Estructuras hidráulicas internas.
- Fuentes y sumideros.
- Lluvia y evaporación espacialmente distribuidas.
- Infiltración espacialmente distribuida.
- Esfuerzo del viento espacialmente distribuido.
- Coeficiente *n* de Manning dependiente de la profundidad.
- Socavación de puentes

### 1.1.4 Formatos de los datos de entrada

- Sistema internacional o unidades inglesas.
- ASCII X, Y, Z.
- Archivos tipo grid ESRI ASCII.
- USGS DEM.
- Archivos tipo shape ESRI.
- Autodesk DXF.
- Rásteres en formato TIFF, GIF, JPG, etc.
- Cualquier formato raster o vectorial que acepte QGIS.

### 1.1.5 Condiciones iniciales

- Fondo seco.
- Nivel de agua constante sobre polígonos definidos por el usuario.
- Nivel de agua variable definido mediante capas raster.

### 1.1.6 Condiciones de contorno

- Hidrograma de caudal de agua.
- Caudal de agua y nivel de agua en función del tiempo.
- Nivel de agua en función del tiempo.
- Flujo uniforme.
- Tablas de caudales asociados a niveles del agua.
- Salida libre.
- Concentración de sedimento en suspensión a la entrada (Módulo ST.)
- Caudal sólido a la entrada para carga de fondo (Módulo ST).
- Concentraciones de contaminante a la entrada (Módulo PL).

### 1.1.7 Opciones para reporte de resultados

- Resultados en secciones y a lo largo de perfiles.
- Puntos de observación: series temporales en las localizaciones seleccionadas por el usuario.
- Gráficas dinámicas mientras en modelo está simulando.
- Campo de velocidades, profundidad y nivel de agua.
- Esfuerzo cortante en el fondo.
- Erosión y profundidad de sedimento.
- Valores máximos de velocidad, nivel de agua, erosión o altura de sedimentos, etc.
- Cambios en la elevación del fondo.
- Número de Froude.
- Caudales de sedimentos.
- Archivos tipo *shape file* ESRI de polígonos, líneas y puntos.
- Malla Autodesk DXF y campo de velocidades.
- Gráficas de post-proceso GIS incluyendo archivos tipo *shape file* e imágenes ráster.
- Paraview VTK.

### 1.1.8 Salida de valores extremos

- Velocidades máximas.
- Profundidades máximas.
- Profundidades  $\times$  Velocidades máximas.
- Esfuerzos cortantes de fondo máximos.
- Fuerzas de impacto máximas.

### 1.1.9 Salida de tiempos de inundación

- Tiempo para el cual la profundidades alcanza 0.3 m (1 ft), 0.5 m (2 ft), 1 m (3 ft) y tiempo cuando se alcanza la profundidad máxima.
- Tiempo de inundación durante el cuál la profundidad es mayor que 10 cm o 4 pulgadas.
- Tiempo de llegada de la onda de inundación.

### 1.1.10 Salida de niveles de amenaza por inundación

- USA Bureau of Reclamation (USBR) Amenaza para hogares.
- USA Bureau of Reclamation (USBR) Amenaza para vehículos.
- USA Bureau of Reclamation (USBR) Amenaza para adultos.
- USA Bureau of Reclamation (USBR) Amenaza para niños.
- Método Suizo para inundaciones de agua.
- Método Suizo para flujo de lodos y detritos.
- Método Austríaco para inundaciones de ríos.



- Método Austríaco para torrentes  $Tr = 10$  años.
- Método Austríaco para torrentes  $Tr = 100$  años.
- Método del Reino Unido.
- Método Australiano para inundaciones

### 1.1.11 Módulo de drenaje urbano UD

- Inundaciones superficiales integradas con red de colectores de drenaje
- Integración dinámica con EPA-SWMM

### 1.1.12 Módulo de transporte de sedimentos (ST)

- Cálculo separado de transporte de sedimento en suspensión y de fondo.
- Fracciones de tamaño múltiple.
- Cambios en el fondo (erosión-deposición).
- 10 fórmulas de transporte de sedimentos.
- Transporte de sedimentos sobre fondo rígido.
- Áreas de máxima profundidad de erosión.

### 1.1.13 Módulo de transporte de contaminantes (PL)

- Advección-Dispersión-Reacción.
- Tasas de reacción entre contaminantes/solutos.
- Cálculo simultáneo de múltiples solutos.

### 1.1.14 Módulo de flujo de lodo y detritos (MD)

- Fluidos no-Newtonianos.
- 8 formulaciones reológicas.
- Flujo granular.

### 1.1.15 OilFlow2D: Derrames de petróleo en superficie

- Modelo para simular derrames de petróleos y fluidos viscosos sobre terrenos irregulares.



**Figura 1.2** – Mapa de elevaciones de la superficie de agua calculadas con HydroBID Flood.

## 2 - Instalando HydroBID Flood

El instalador de HydroBID Flood incluye la versión compatible de QGIS. Esta sección le ayudará a configurar el programa para permitir utilizarlo desde QGIS.

### 2.1 Requerimientos de Hardware

HydroBID Flood es compatible con equipos de 64 bits que ejecutan MS-Windows 10. Se recomienda tener un mínimo de 4 GB de RAM y al menos 10 GB de espacio libre en el disco duro. HydroBID Flood es capaz de ejecutarse en equipos modernos de procesador Intel. Si los procesadores de varios núcleos (Duo, quad, etc.) están disponibles, el modelo se puede ejecutar en modo de procesador paralelo, con lo que se ejecuta mucho más rápido que en equipos con un solo procesador. Además, el modelo puede aprovechar las ventajas de las tarjetas de la unidad de procesamiento gráfico (GPU) de NVIDIA para que se ejecuten hasta 600 veces más rápido que en los equipos con un solo procesador.

### 2.2 Pasos para la instalación

Para instalar HydroBID Flood, siga los siguientes pasos:

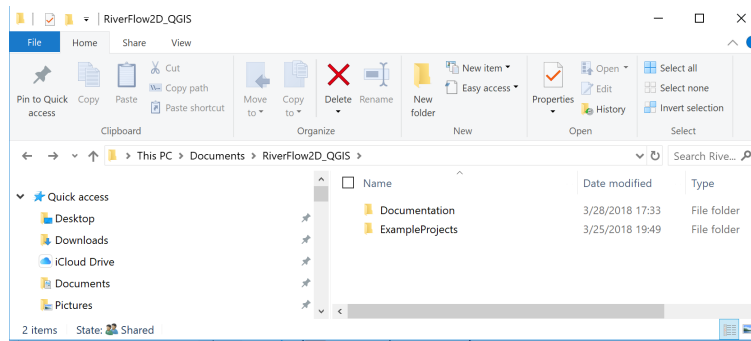
1. Si está instalando desde un enlace de archivo descargado de Internet, haga doble-click en él y siga las instrucciones que aparecen en pantalla. Si va a instalar desde un DVD, inserte el disco de instalación HydroBID Flood en la unidad de DVD, haga doble click en el archivo de instalación. Luego siga las instrucciones que aparecen en pantalla.
2. Si va a instalar en un PC que ejecute la versión 7 de Windows o una posterior, debe haber iniciado sesión en el PC como administrador antes de comenzar la instalación.
3. Un documento separado explica cómo activar el software por primera vez.

### 2.3 Documentación

Se puede encontrar la documentación de HydroBID Flood incluyendo este manual en el siguiente directorio:

`\RiverFlow2D_QGIS\Documentation` usualmente bajo `... \Documentos` o `\Mis Documentos` (ver Figura 2.1).

También en el directorio `\RiverFlow2D_QGIS`, podrá encontrar ejemplos de proyectos, vídeos y otros recursos de utilidad.



**Figura 2.1** – Ubicación la documentación de HydroBID Flood.

## 2.4 Soporte Técnico

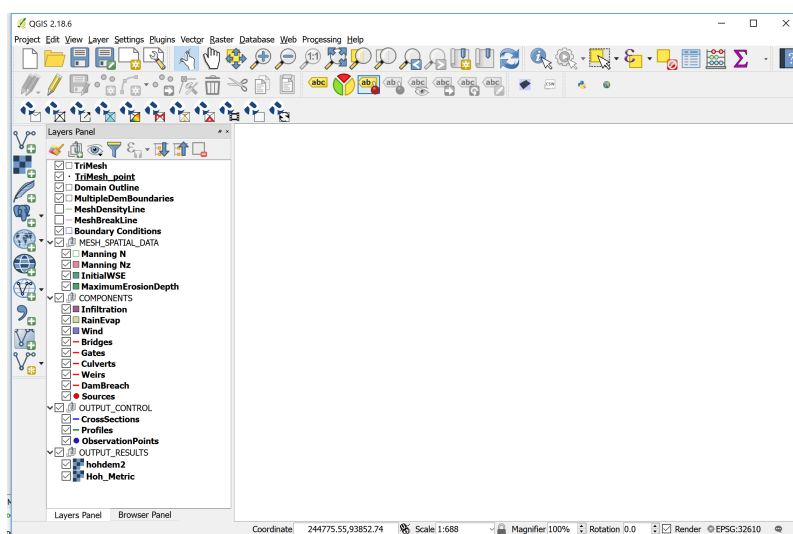
Si tiene alguna pregunta o necesita ayuda usando HydroBID Flood, por favor envíe un correo electrónico a nuestro equipo de soporte en: [contact@hydrobid1ac.org](mailto:contact@hydrobid1ac.org). Para saber más acerca de nuevas versiones, le invitamos a visitar regularmente nuestro sitio web [www.hydrobid1ac.org](http://www.hydrobid1ac.org).

## 2.5 Tutoriales

La mejor manera de familiarizarse y usar las capacidades de HydroBID Flood es seguir los tutoriales en el documento adjunto `.. \Mis Documentos\RF2D_QGIS\Documentation\Español\HydroBID Flood Tutoriales.pdf`. Hay tutoriales para empezar a trabajar con HydroBID Flood y para varios de los componentes del modelo. Cada tutorial incluye un conjunto de archivos que puede utilizar para hacer cada ejercicio.

### 3 - Características Generales de HydroBID Flood

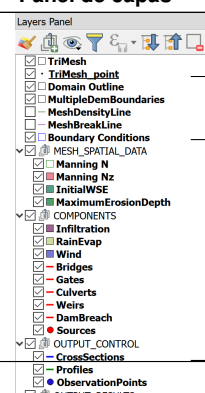
Cuando se crea un nuevo proyecto HydroBID Flood, el complemento crea un número de capas vacías, cada una con un propósito específico, y se asocia con componentes o módulos concretos (ver Figura 3.1).



**Figura 3.1** – Capas creadas por HydroBID Flood al utilizar el comando Nuevo Proyecto HydroBID Flood.

La siguiente tabla 3.1 describe cada una de las capas.

**Cuadro 3.1** – Capas de HydroBID Flood.

Panel de capas	Capa	Tipo	Contenido
	TriMesh	Polígono	Contiene la malla de celdas triangulares. Se genera automáticamente por el programa.
	TriMesh_points	Punto	Contiene los nodos de la malla. Se genera automáticamente por el programa.
	Domain Outline	Polígono	Contiene el polígono externo que define la extensión del área de modelado. También puede incluir polígonos internos que representen islas impermeables u otros obstáculos que no contengan celdas. Cada polígono tiene un atributo <i>CellSize</i> que controla el tamaño de triángulo aproximado deseado para la malla.
			Continúa en la próxima página



Cuadro 3.1 – viene de la página anterior

Panel de capas	Capa	Tipo	Contenido
	MultipleDemBoundaries	Polígono	Se utiliza para introducir polígonos que definen áreas con diferentes conjuntos de datos de elevación del terreno. Se puede asociar cada polígono a una capa ráster diferente que contenga un modelo de elevación del terreno .
	MeshDensityLine	Línea	Se utiliza para introducir polilíneas a lo largo de las cuales el programa de generación de malla refinará la malla según el atributo <i>CellSize</i> de la polilínea. Las líneas no obligan al generador de malla a crear nodos a lo largo de las mismas. En este sentido, actúan como líneas de quiebre ( <i>breaklines</i> ) suaves.
	MeshBreakLine	Línea	Se utiliza para introducir polilíneas a lo largo de las cuales el programa de generación de malla refinará la malla según el atributo <i>CellSize</i> de cada polilínea. Las líneas obligan al generador de malla a crear nodos a lo largo de las líneas. Por lo tanto, actúan como líneas de rotura ( <i>breaklines</i> ) duras.
	Boundary Conditions	Polígono	Contenedor para polígonos que definen los límites abiertos del modelo, ya sea flujo de entrada o salida. Todas las celdas cuyos centroides se encuentren dentro de estos polígonos serán celdas de contorno abiertas.
<b>MESH_SPATIAL_DATA</b>			
	Multiple DEM Boundaries	Polígono	Contenedor para polígonos sobre los que se utilizarán diferentes rásteres de elevación (p. ej., MDE) para interpolar elevaciones a las celdas.
	Manning N	Polígono	Define áreas de n de Manning distintos.
	Manning Nz	Polígono	Acepta polígonos asociados a archivos que contienen tablas de n de Manning en función de la profundidad.
	InitialWSE	Polígono	Contiene polígonos que definen áreas de elevación inicial de la superficie libre del agua (WSE).
	MaximumErosionDepth	Polígono	Contenedor para polígonos con atributo de profundidad de erosión máxima (MED). Cuando se utiliza el módulo de transporte de sedimentos ST, el modelo no permitirá que la erosión reduzca la elevación del fondo por debajo de un valor igual a (Elevación de fondo inicial - MED).
<b>COMPONENTS</b>			
	Infiltration	Polígono	Define áreas donde se establecen parámetros de infiltration diferentes.
	RainEvap	Polígono	Contiene áreas que se asocian con datos de intensidad de precipitación y evaporación.

Continúa en la próxima página

Cuadro 3.1 – viene de la página anterior

<b>Panel de capas</b>	<b>Capa</b>	<b>Tipo</b>	<b>Contenido</b>
	Wind	Polígono	Contiene polígonos asociados a velocidad del viento.
	Bridges	Línea	Contenedor de polilíneas que definen el alineamiento de puentes en planta. Cada línea tiene asociada los datos geométricos de la sección transversal del puente.
	Gates	Línea	Incluye polilíneas que definen compuertas. Cada línea tiene datos específicos sobre la geometría de la compuerta así como su tabla de apertura. Las polilíneas de compuertas actúan como líneas duras que fuerzan la generación de celdas alineadas colocando nodos sobre la línea.
	Culverts	Línea	Contiene líneas rectas que representan alcantarillas. El los puntos extremos de las rectas corresponden a la entrada y salida de la alcantarilla. El modelo calculara el caudal a través del conducto en función de sus características geométricas así como de las profundidades a la entrada y salida.
	Weirs	Línea	Contiene polilíneas que definen vertederos. Cada línea tiene datos específicos sobre la geometría de cada vertedero. Las polilíneas de vertederos actúan como líneas duras que fuerzan la generación de celdas alineadas ubicando nodos sobre la línea.
	DamBreach	Línea	Contiene polilíneas que definen presas o diques. Cada línea tiene datos específicos sobre la geometría de cada presa y sobre la forma como ocurren brechas o roturas. Estas polilíneas actúan como líneas duras que fuerzan la generación de celdas alineadas ubicando nodos sobre la línea.
	Sources	Punto	Incluye puntos que definen entrada (fuentes) o salida (sumideros) de caudal de la malla. Cada punto debe tener asociado un archivo con la serie de tiempo de caudal. Cuando se utiliza el modelo de contaminantes o calidad de agua, se deben incluir las concentraciones de cada contaminante. Los sumideros se representan con caudales negativos.
	Piers	Punto	Contiene ubicación de pilas de puentes para calcular socavación.
	Abutments	Línea	Contiene la ubicación de secciones de puentes para calcular socavación.
	StormDrains	Punto	Contiene puntos de intercambio de flujo entre la inundación superficial y la red de colectores de drenaje del modelo EPA-SWMM.

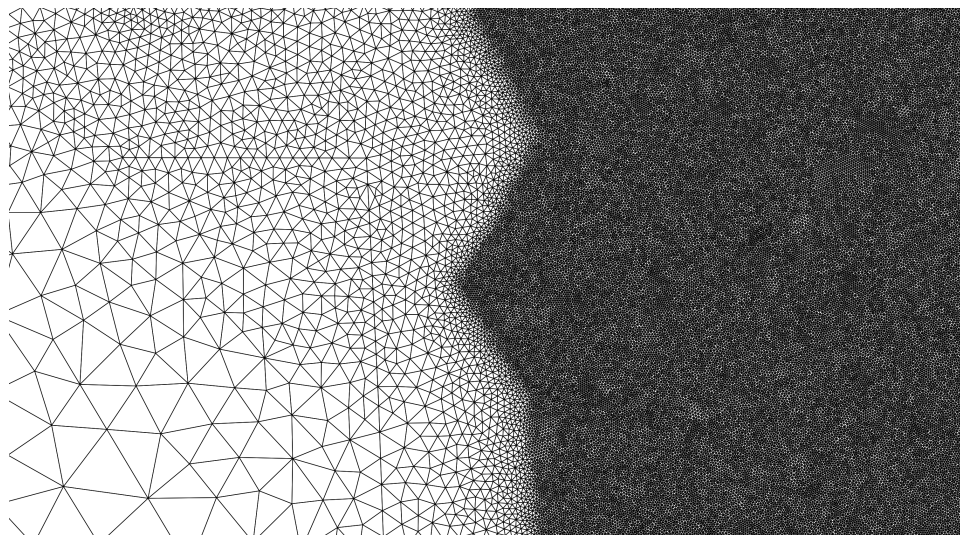
Continúa en la próxima página

Cuadro 3.1 – viene de la página anterior

<b>Panel de capas</b>	<b>Capa</b>	<b>Tipo</b>	<b>Contenido</b>
	OUTPUT_CONTROL		
	CrossSections	Línea	Incluye rectas donde se extraerán resultados del modelo.
	Profiles	Línea	Incluye polilíneas donde se extraerán resultados del modelo.
	Observation Points	Punto	Incluye puntos donde se extraerán resultados del modelo.
	OUTPUT_RESULTS		Bajo este grupo se irán agrupando las capas con mapas u otros resultados del modelo en la medida que el usuario las vaya creando.

## 4 - Generación de mallas en HydroBID Flood

La base HydroBID Flood es la malla flexible, también denominada malla no estructurada o red irregular triangular (TIN). La malla está formada por triángulos de diferente tamaño, y se llama flexible porque se puede adaptar a cualquier topografía, límites y contornos irregulares, estructuras, o cualquier obstáculo que pueda existir en el área de modelado (ver Figura 4.1).



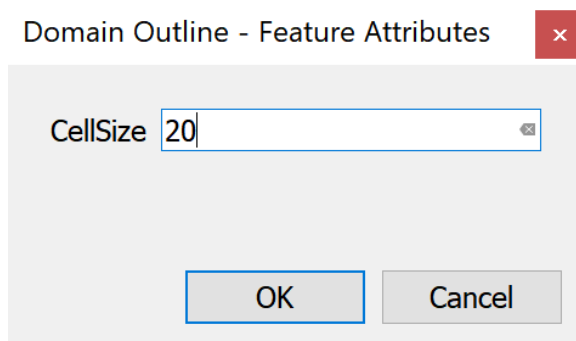
**Figura 4.1** – Malla flexible utilizada en HydroBID Flood.

La unidad fundamental de cálculo en el modelo HydroBID Flood es la celda triangular donde se calculan las velocidades, la profundidad y otras variables.

Hay varias herramientas en HydroBID Flood que se pueden utilizar para controlar la generación de mallas. Estas herramientas hacen uso de objetos espaciales y parámetros que pueden introducirse en las capas *Domain Outline*, *MeshDensityLine* y *MeshBreakLine*.

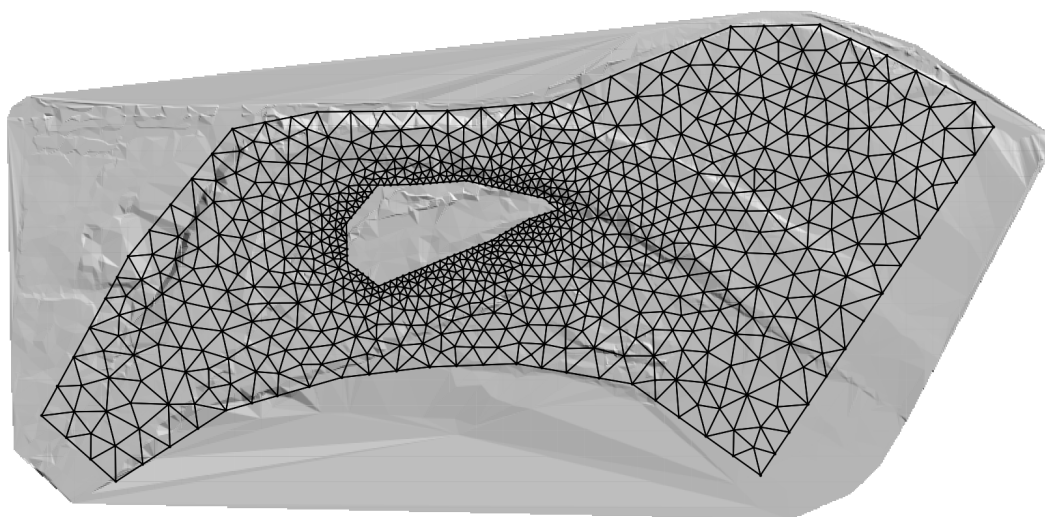
*Domain Outline* es una capa clave que define los límites de la malla y la extensión del área de modelado. Acepta polígonos y necesita contener al menos un polígono exterior. También puede incluir polígonos internos que representen islas impermeables u otros obstáculos. Los polígonos internos no contendrán ninguna celda.

Para cada polígono de la capa *Domain Outline*, se debe introducir el atributo *CellSize*, el cual controla el tamaño de celda triangular deseado para la malla generada (vea la Figura 4.2).



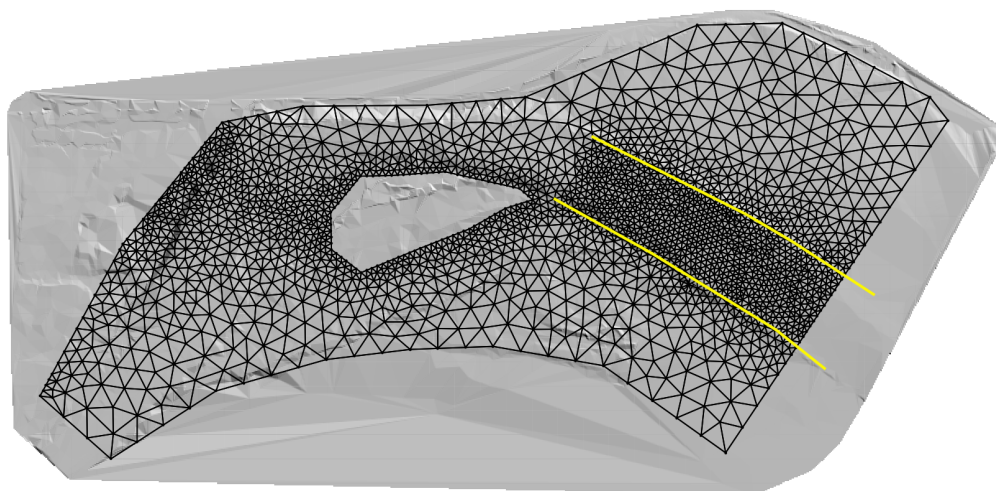
**Figura 4.2** – Diálogo para ingreso de *CellSize*.

La Figura 4.3 muestra una malla con un obstáculo interior. La malla se define por un polígono externo con *CellSize* igual a 50 ft, y el polígono interno tiene un *CellSize* de 10 ft. Nótese que la malla resultante tiene triángulos más pequeños alrededor del polígono interno y triángulos más grandes cerca del contorno.



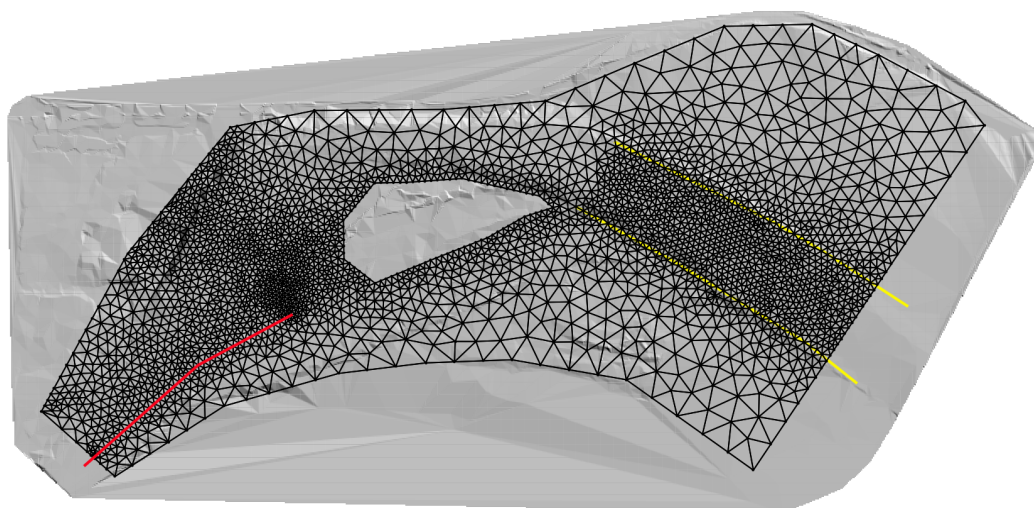
**Figura 4.3** – Malla generada en base a un polígono externo con *CellSize* = 50 ft, y un polígono interno con *CellSize* = 10 ft, ambos introducidos en la capa de *Domain Outline*.

La capa *MeshDensityLine* se utiliza para introducir polilíneas a lo largo de las cuales el programa de generación de mallas refinará la malla según el atributo que define el tamaño deseado de las celdas (*CellSize*) para polilínea. Este tamaño es la dimensión lineal aproximada de los triángulos. Estas líneas no obligan al generador de malla a crear nodos a lo largo de las mismas. En este sentido, actúan como líneas de quiebre suaves (ver Figura 4.4).



**Figura 4.4** – Malla generada en base al polígono de la Figura 4.3 y a las dos polilíneas ingresadas en la capa *MeshDensityLine*.

La capa *MeshBreakLine* se utiliza para introducir polilíneas a lo largo de las cuales el programa de generación de mallas refinará la malla según el atributo *CellSize*. Tienen un efecto similar, en cuanto a refinación de los tamaños de celdas, al que producen las líneas de *MeshDensityLine*, pero en este caso las líneas obligan al generador de mallas a crear nodos a lo largo de su alineamiento. Por lo tanto, actúan como líneas de quiebre duras (ver la Figura 4.5).



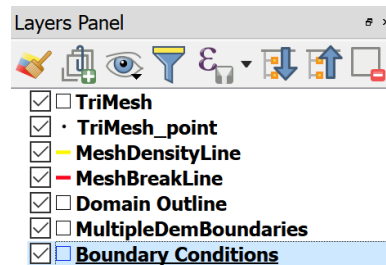
**Figura 4.5** – Malla generada en base al polígono y polilíneas de la Figura 4.4 y a la polilíneas ingresadas en la capa *MeshBreakLine*. Nótese que a diferencia de las polilíneas de la capa *MeshDensityLine* layer, las que se ingresan en *MeshBreakLine* fuerzan a la malla a ubicar nodos sobre la polilínea.

Además del control ofrecido por los objetos espaciales introducidos en las capas contorno de dominio, *MeshDensityLine* y *MeshBreakLine*, se pueden usar otras capas para ajustar la alineación y la resolución de la malla. Por ejemplo, los componentes Puentes (*Bridges*), Compuertas (*Gates*) y Vertederos (*Weirs*) se introducen como polilíneas en las capas respectivas y todas ellas tienen un atributo *CellSize* y actúan como líneas de quiebre duras.



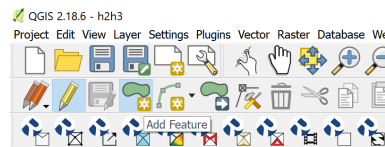
## 4.1 Condiciones de contorno

Los datos para imponer condiciones de contorno abiertas en HydroBID Flood deben introducirse en la capa *Boundary Conditions*. Esta capa solo acepta polígonos, no se permiten líneas ni puntos. Para introducir un polígono, seleccione primero la capa haciendo click en condiciones de contorno en el panel capas de QGIS.



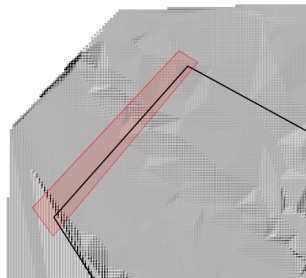
**Figura 4.6** – Panel de capas de QGIS mostrando la capa *Boundary Conditions* seleccionada.

Haga click on Toggle Editing (lápiz), y en Add Feature (polygon) como se muestra



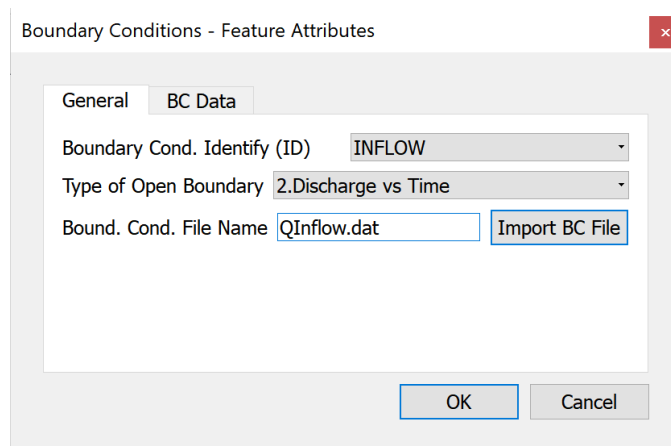
**Figura 4.7** – Seleccionar el lápiz y Agregar objeto.

Utilizando el ratón, haga click en vértices hasta que haya creado un polígono que cubra el área que se quiere definir como condición de borde abierta.



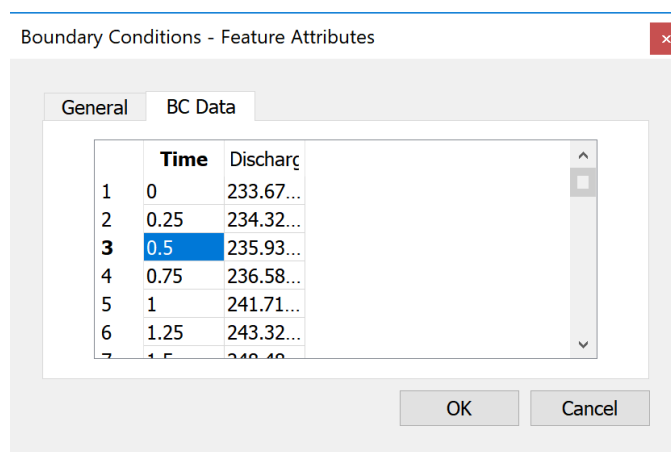
**Figura 4.8** – Polígono de condición de entrada.

Para completar la introducción del polígono, haga click con el botón derecho y aparecerá el siguiente cuadro de diálogo donde, como ejemplo, hemos seleccionado el límite abierto como entrada, caudal con respecto a tiempo y los datos se escribirán en el `QInflow.dat`.



**Figura 4.9** – Diálogo de condiciones de borde.

Para finalizar, seleccione el BC Data panel e introduzca el hidrograma como se muestra.



**Figura 4.10** – Panel para datos de Condiciones de Borde BC.

Todos los nodos del contorno de la malla que se encuentren dentro del polígono se considerarán nodos de contorno abiertos.

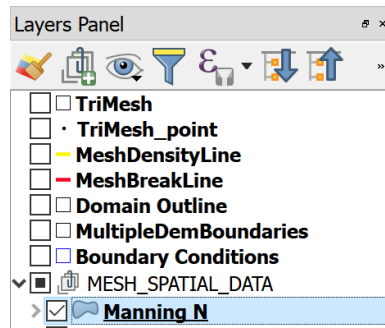
Se pueden definir tantas condiciones de entrada o salida como sea necesario. Todos los contornos no contenidos dentro de los polígonos BC se considerarán como fronteras cerrados y el modelo no se permitirá flujo a través de ellos.

## 4.2 Data espacial

### 4.2.1 Coeficientes n de Manning

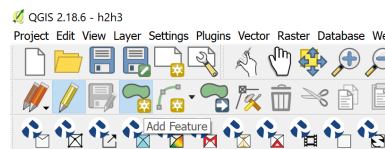
Para asignar los coeficientes n de Manning en HydroBID Flood, se introducen polígonos en la capa *Manning N*. Esta capa solo acepta polígonos. No se permiten líneas ni puntos. Para introducir un polígono, primero se selecciona la capa haciendo click en *Manning N* en el panel de capas de HydroBID Flood.





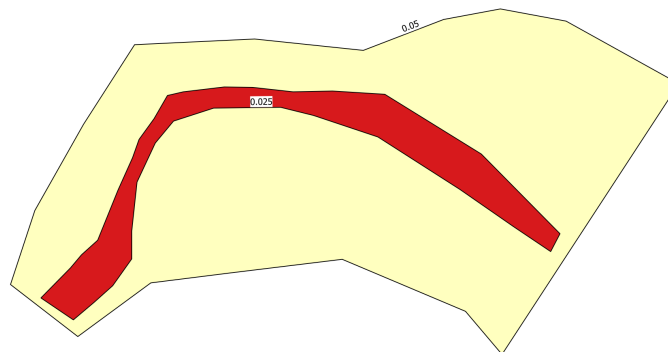
**Figura 4.11** – Panel de capas HydroBID Flood mostrando la capa *Manning N* seleccionada.

Haga click on Toggle Editing (lápiz), y en Add Feature (polygon) como se muestra



**Figura 4.12** – Seleccionar el lápiz y Agregar objeto.

Utilizando el ratón, haga click en vértices hasta que haya creado un polígono que cubra el área que se quiere definir con un valor de *n* de Manning.



**Figura 4.13** – Polígono de *n* de Manning.

Para completar los datos, seleccione el panel *BC Data* e ingrese el hidrograma como se muestra. Todos las celdas de malla que se encuentran dentro del polígono interno tendrán el *n* de Manning de ese polígono.

## 5 - Ecuaciones del modelo HydroBID Flood

### 5.1 Modelo hidrodinámico

Los modelos hidráulicos unidimensionales no son adecuados para simular inundaciones cuando los flujos no son confinados o las velocidades cambian de dirección durante el curso del hidrograma. El coste de los modelos numéricos tridimensionales no simplificados se puede evitar usando las ecuaciones de aguas poco profundas en dos dimensiones (2D) promediadas en la vertical (Toro 2001).

Cuando consideramos las ecuaciones de aguas poco profundas, las aplicaciones realistas siempre incluyen términos fuente que describen las variaciones del nivel de fondo y la fricción con el mismo, los cuáles pueden generar inestabilidades numéricas si no se discretizan adecuadamente. En la última década, se ha hecho especial énfasis en conservar un balance discreto entre flujos y términos fuente en casos con agua en reposo, generando esquemas bien balanceados o que preservan la propiedad C [Vázquez-Cendón (1999), Toro (2001), Rogers et al. (2003), Murillo et al. (2007)]. Recientemente, con el ánimo de incluir adecuadamente el efecto de los términos fuente en la solución débil, se han desarrollado métodos de solución de Riemann aumentados [Rosatti et al. (2003), Murillo & García-Navarro (2010)]. De este modo, se pueden obtener soluciones precisas evitando la necesidad de imponer parámetros de calibración dependientes del caso, los cuáles se usan frecuentemente para evitar valores negativos de profundidad de agua y otras inestabilidades numéricas que aparecen cuando se incluyen términos fuente.

Esta sección presenta el sistema de ecuaciones, la formulación de las condiciones de contorno y el esquema numérico de volúmenes finitos usado en HydroBID Flood.

#### 5.1.1 Suposiciones del modelo hidrodinámico

1. HydroBID Flood usa las ecuaciones de aguas poco profundas resultantes de la integración en la vertical de las ecuaciones de Navier-Stokes. Por lo tanto, el modelo no calcula aceleraciones ni velocidades verticales y consecuentemente no puede resolver flujos secundarios.
2. El esfuerzo de fondo se supone que sigue las direcciones de la velocidad promediada en la vertical.
3. El modelo no incluye términos de dispersión ni turbulencia. La disipación turbulenta y las pérdidas de energía se tienen en cuenta solamente mediante el término  $n$  de Manning en las ecuaciones de la cantidad de movimiento.

#### 5.1.2 Modelos de flujo transitorio

Los flujos en aguas poco profundas pueden ser descritos matemáticamente mediante las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento promediadas en la vertical con todas las suposiciones asociadas (Vreugdenhil 1994). Este sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales será formulado aquí en forma conservativa como sigue:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{U})}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{U})}{\partial y} = \mathbf{S}(\mathbf{U}, x, y) \quad (5.1)$$

donde  $\mathbf{U} = (h, q_x, q_y)^T$  es el vector de variables conservadas con  $h$  representando la profundidad de agua,  $q_x = uh$  y  $q_y = vh$  los caudales unitarios, con  $(u, v)$  las componentes del vector velocidad  $\mathbf{u}$  promediadas en la vertical a lo largo de las coordenadas  $(x, y)$ , respectivamente. Los vectores de flujo vienen dados por:

$$\mathbf{F} = \left( q_x, \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2, \frac{q_x q_y}{h} \right)^T, \quad \mathbf{G} = \left( q_y, \frac{q_x q_y}{h}, \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \right)^T \quad (5.2)$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad. Los términos  $\frac{1}{2}gh^2$  en los flujos se han obtenido tras asumir una distribución hidrostática de presiones en cada columna de agua, como es tradicionalmente aceptado en los modelos de aguas poco profundas. El vector de términos fuente incorpora el efecto de la fuerza de presión sobre el fondo y las fuerzas tangenciales generadas por el esfuerzo de fondo

$$\mathbf{S} = \left( 0, gh(S_{0x} - S_{fx}), gh(S_{0y} - S_{fy}) \right)^T \quad (5.3)$$

donde las pendientes del nivel de fondo  $z_b$  son

$$S_{0x} = -\frac{\partial z_b}{\partial x}, \quad S_{0y} = -\frac{\partial z_b}{\partial y} \quad (5.4)$$

y la contribución del esfuerzo de fondo se modela usando la ley de fricción de Manning, de forma que:

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}, \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (5.5)$$

siendo  $n$  el coeficiente de rugosidad.

### 5.1.3 Solución numérica en volúmenes finitos

Para introducir el esquema en volúmenes finitos, la ecuación (5.1) se integra en un volumen o celda  $\Omega$  usando el teorema de Gauss:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \mathbf{U} d\Omega + \oint_{\partial\Omega} \mathbf{E} \mathbf{n} dl = \int_{\Omega} \mathbf{S} d\Omega \quad (5.6)$$

donde  $\mathbf{E} = (\mathbf{F}, \mathbf{G})$  y  $\mathbf{n} = (n_x, n_y)$  es el vector unitario normal en dirección exterior al volumen  $\Omega$ . Para obtener una solución numérica del sistema (5.6), el dominio se divide en  $NE$  celdas computacionales,  $\Omega_i$ , usando una malla fija. Suponiendo una representación *piecewise* de las variables conservadas (Figure 5.1) y una formulación *upwind* y unificada de flujos y términos fuente (Murillo & García-Navarro 2010b)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_i} \mathbf{U} d\Omega + \sum_{k=1}^{NE} (\mathbf{E} \mathbf{n} - \bar{\mathbf{S}})_{kl} l_k = 0 \quad (5.7)$$

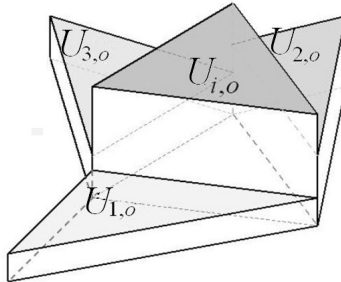


Figura 5.1 – Representación *Piecewise* uniforme de las variables del flujo.

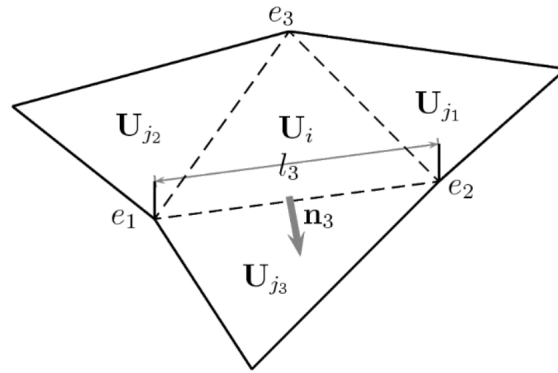


Figura 5.2 – Parámetros de la celda.

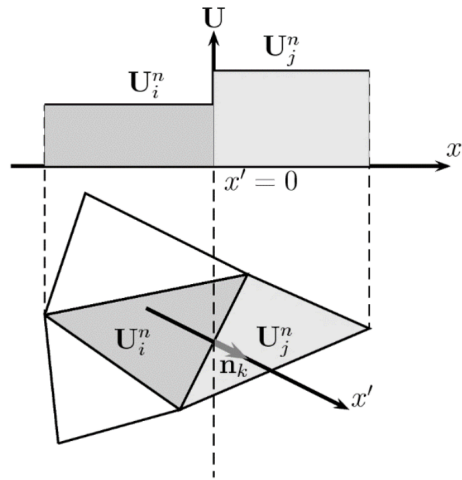


Figura 5.3 – Parámetros de la celda.

La solución aproximada se puede definir usando una matriz jacobiana aproximada  $\tilde{\mathbf{J}}_{\mathbf{n},k}$  (Roe 1981) del flujo normal no lineal  $\mathbf{E}_{\mathbf{n}}$  y dos matrices aproximadas  $\tilde{\mathbf{P}} = (\tilde{\mathbf{e}}^1, \tilde{\mathbf{e}}^2, \tilde{\mathbf{e}}^3)$ , y  $\tilde{\mathbf{P}}^{-1}$ , construidas usando los autovectores del jacobiano, que hacen  $\tilde{\mathbf{J}}_{\mathbf{n},k}$  diagonal

$$\tilde{\mathbf{P}}_k^{-1} \tilde{\mathbf{J}}_{\mathbf{n},k} \tilde{\mathbf{P}}_k = \tilde{\mathbf{\Lambda}}_k \quad (5.8)$$

donde  $\tilde{\mathbf{\Lambda}}_k$  es una matriz diagonal con los autovalores  $\tilde{\lambda}_k^m$  en la diagonal principal

$$\tilde{\mathbf{\Lambda}}_k = \begin{pmatrix} \tilde{\lambda}_k^1 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{\lambda}_k^2 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{\lambda}_k^3 \end{pmatrix}_k \quad (5.9)$$

Tanto la diferencia en el vector  $\mathbf{U}$  a través del eje de la malla como el término fuente son proyectados en la bases de la matriz de autovectores

$$\delta \mathbf{U}_k = \tilde{\mathbf{P}}_k \mathbf{A}_k \quad (\tilde{\mathbf{S}})_k = \tilde{\mathbf{P}}_k \mathbf{B} \quad (5.10)$$

donde  $\mathbf{A}_k = (\alpha^1, \alpha^2, \alpha^3)_k^T$  contiene el conjunto de *wave strengths* y  $\mathbf{B} = (\beta^1, \beta^2, \beta^3)_k^T$  contiene las *source strengths*. Los detalles se presentan en (Murillo & García-Navarro 2010b). La linealización completa de todos los términos en

combinación con la técnica *upwind* permite definir la función de flujo numérico  $(\mathbf{E}\mathbf{n} - \bar{\mathbf{S}})_k$  como

$$(\mathbf{E}\mathbf{n} - \bar{\mathbf{S}})_k = \mathbf{E}_i \mathbf{n}_k + \sum_{m=1}^3 (\tilde{\lambda}^- \theta \alpha \tilde{\mathbf{e}})_k^m \quad (5.11)$$

con  $\tilde{\lambda}^- = \frac{1}{2}(\tilde{\lambda} - |\tilde{\lambda}|)$  y  $\theta_k^m = \left(1 - \frac{\beta}{\lambda \alpha}\right)_k^m$  que, cuando es insertada en (5.71), resulta en un método de Godunov explícito de primer orden (Godunov 1959)

$$\mathbf{U}_i^{n+1} = \mathbf{U}_i^n - \sum_{k=1}^{NE} \left[ \mathbf{E}_i \mathbf{n}_k + \sum_{m=1}^3 (\tilde{\lambda}^- \theta \alpha \tilde{\mathbf{e}})_k^m \right] \frac{l_k}{A_i} \Delta t \quad (5.12)$$

Como la cantidad  $\mathbf{E}_i$  es uniforme en cada celda  $i$  y la siguiente propiedad geométrica se da en cualquier celda

$$\sum_{k=1}^{NE} \mathbf{n}_k l_k = 0 \quad (5.13)$$

(5.12) puede reescribirse como

$$\mathbf{U}_i^{n+1} = \mathbf{U}_i^n - \sum_{k=1}^{NE} \left[ \sum_{m=1}^3 (\tilde{\lambda}^- \theta \alpha \tilde{\mathbf{e}})_k^m \right] \frac{l_k \Delta t}{A_i} \quad (5.14)$$

El método de volúmenes finitos puede reescribirse usando una formulación compacta dividida como se describe a continuación:

$$\mathbf{U}_i^{n+1} = \mathbf{U}_i^n - \sum_{k=1}^{NE} (\delta \mathbf{M}_{i,k}^-)^n \frac{l_k}{A_i} \Delta t \quad (5.15)$$

con

$$\delta \mathbf{M}_{i,k}^- = \sum_{m=1}^3 (\tilde{\lambda}^- \theta \alpha \tilde{\mathbf{e}})_k^m \quad (5.16)$$

El uso de (5.15) es eficiente cuando se consideran condiciones de contorno. Al mismo tiempo, garantiza la conservación. En (Murillo & García-Navarro 2010b), se demuestra como para un esquema numérico escrito en forma dividida, la cantidad total de contribuciones calculada dentro del dominio en cada pared de celda es igual al balance de flujos que cruza la frontera del dominio, asegurando una conservación exacta.

### 5.1.3.1 Optimizaciones numéricas

Una vez que las propagaciones de onda en  $\delta \mathbf{M}_{i,k}^-$  en (5.16) son calculadas, el método de primer orden puede ser aplicado promediando las contribuciones de los problemas de Riemann (RPs) locales, dando forma a la celda de contorno.

La solución aproximada se construye siempre como una suma de saltos o choques (shocks), incluso en los casos que incluyen rarefacciones. Un problema ampliamente reportado de los resolvedores lineales es la violación de la entropía en rarefacciones sónicas (LeVeque 2002a, Toro 2001), que producen valores negativos de la profundidad en las ecuaciones de aguas poco profundas, incluso en ausencia de términos fuente. La solución se reconstruye por medio de una redefinición adecuada de la solución aproximada mediante correcciones de la entropía.

La linealización espacial y temporal de los términos fuente en (5.16) también puede tener consecuencias negativas, como las inestabilidades numéricas que pueden surgir cuando se aproxima su valor. Su influencia sobre las soluciones aproximadas de los RP es la clave para construir correcciones adecuadas que eviten resultados sin sentido físico. En (Murillo & García-Navarro 2010b) se muestra como los errores en las aproximaciones integrales hechas sobre los términos fuente pueden ser evitadas si se imponen restricciones con base física sobre la solución aproximada. Simplemente modificando los coeficientes *source strengths*  $\beta$  las soluciones correctas se restituyen cuando resulte necesario.

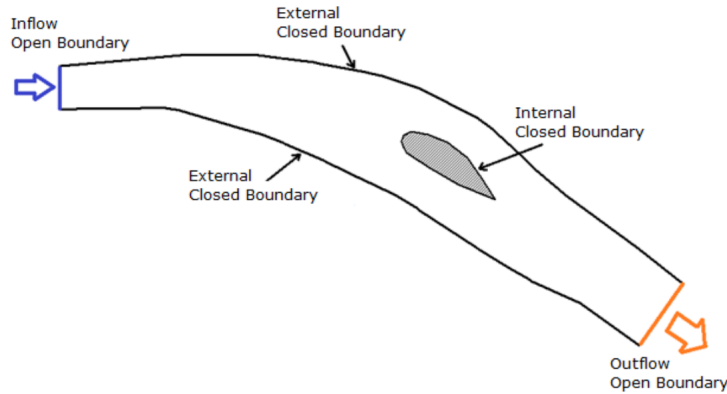


Figura 5.4 – Condiciones de contorno abiertas y cerradas.

### 5.1.3.2 Región de estabilidad

Una vez que las correcciones numéricas son aplicadas, la región de estabilidad para el caso homogéneo puede ser usada para calcular el tamaño del paso de tiempo. En el marco bidimensional, considerando mallas no estructuradas, la distancia relevante, a la que se referirá como  $\chi_i$  en cada celda  $i$  tiene que considerar el volumen de la celda y la longitud de los lados  $k$  compartidos

$$\chi_i = \frac{A_i}{\max_{k=1,NE} l_k} \quad (5.17)$$

Considerando que cada  $k$  RP es usado para enviar información a una pareja de celdas vecinas de tamaño diferente, la distancia  $\min(A_i, A_j)/l_k$  es relevante. El paso de tiempo está limitado por

$$\Delta t \leq CFL \Delta t^{\tilde{\lambda}} \quad \Delta t^{\tilde{\lambda}} = \frac{\min(\chi_i, \chi_j)}{\max |\tilde{\lambda}^m|} \quad (5.18)$$

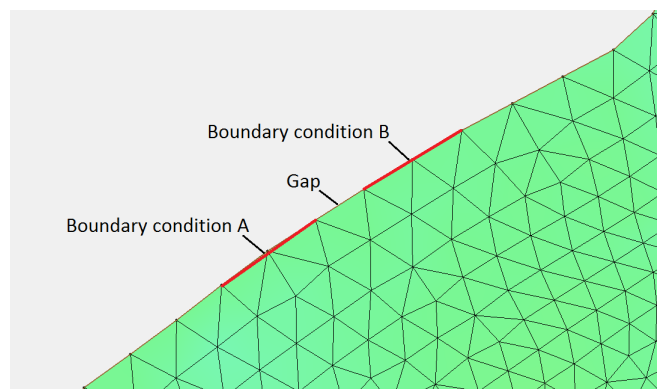
con  $CFL=1/2$ , ya que la construcción de los esquemas de volúmenes finitos a partir de la aplicación directa de flujos unidimensionales implica rangos reducidos de estabilidad (Toro 2001).

El método resolutorio de HydroBID Flood usa pasos de tiempo variables. El máximo paso de tiempo permitido está controlado por el número Courant-Friederich-Lewy (CFL) definido por el usuario, el cuál es proporcional al tamaño local de los elementos de la malla, pero también es inversamente proporcional a la velocidad y a la profundidad. Elementos pequeños implican pasos de tiempo pequeños. El valor teórico máximo para el CFL es 1, pero en algunos casos puede ser necesario reducir este número a valores más pequeños.

### 5.1.4 Condiciones de contorno abiertas

Existen dos tipos principales de condiciones de contorno que pueden ser usadas en HydroBID Flood: Contornos abiertos, donde el flujo puede entrar o salir del dominio y contornos cerrados que forman paredes sólidas (ver Figura 5.4). No hay restricción en el número de contornos de entrada o salida. Esta sección describe las condiciones de contorno abiertas.

Si por alguna razón, el usuario necesita imponer condiciones de contorno abiertas en segmentos de contorno adyacentes, debe hacerlo de forma que cada segmento esté separado por una o más celdas (ver Figura 5.5). Imponer condiciones sin esta separación conllevará una detección incorrecta de los contornos abiertos.



**Figura 5.5** – Separación requerida entre condiciones de contorno abiertas.

HydroBID Flood permite tener cualquier número de contornos de entrada y salida con varias combinaciones de condiciones impuestas. El uso apropiado de estas condiciones es un requisito indispensable de una simulación exitosa con HydroBID Flood. La teoría de las ecuaciones de aguas poco profundas indica que para flujos bidimensionales subcríticos se requiere imponer al menos una condición a la entrada y otra a la salida. Para flujos supercríticos, todas las condiciones tienen que ser impuestas a la entrada y no se imponen ninguna condición en los contornos de salida. La tabla inferior proporciona las claves sobre qué condiciones usar en la mayoría de situaciones.

**Cuadro 5.1** – Condiciones de contorno requeridas.

RÉGIMEN DE FLUJO EN EL CONTORNO	CONDICIÓN DE CONTORNO DE ENTRADA	CONDICIÓN DE CONTORNO DE SALIDA
Subcrítico	Q o Velocidad	Nivel de agua
Supercrítico	Q y Nivel de agua	

Las opciones para las condiciones de contorno abiertas se describen a continuación.

**Cuadro 5.2** – Tipos de condiciones de contorno (CC) abiertas para el modelo hidrodinámico.

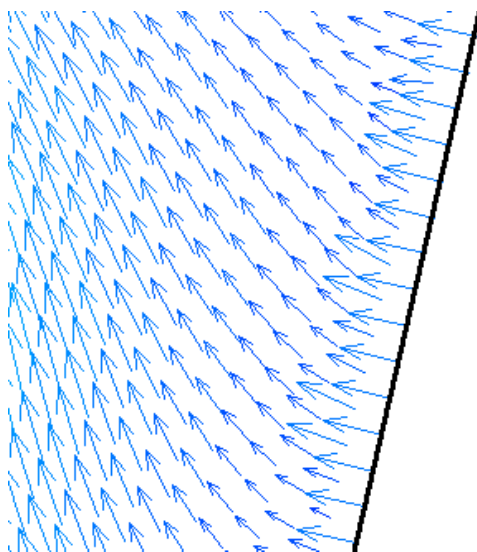
TIPO DE CC	DESCRIPCIÓN
1, 17	Se impone el nivel del agua. Se requiere un archivo asociado de condición de contorno.
5	Se impone el caudal y el nivel del agua.
6	Se convierte el caudal de agua en velocidades perpendiculares a la línea del contorno.
9	Se impone una tabla de valores para el caudal.
10	Condición de entrada o salida <i>libres</i> . Las velocidades y los niveles de agua son calculados por el modelo.
11	Condición de salida <i>libre</i> . Las velocidades y los niveles de agua son calculados por el modelo, pero solamente se permite flujo saliente.
12	Condición de salida de flujo uniforme.

#### 5.1.4.1 Tipos de condición de contorno de variable única (BCTYPE 1, 17 y 6)

Cuando se impone una única variable (nivel de agua o caudal  $Q$ ), el usuario tiene que proporcionar una serie temporal para la variable correspondiente. Si se pretende modela un estado estacionario, la serie temporal contendrá un valor constante para todos los tiempos. No hay restricción en el intervalo de tiempo para las series temporales. Cuando se impone el nivel de agua, es importante comprobar que el valor impuesto es superior a la elevación del fondo.

#### 5.1.4.2 Caudal de agua convertido en velocidades (BCTYPE 6)

En esta condición de entrada, el programa calcula el área del flujo y la velocidad media correspondiente al caudal impuesto, el cuál puede ser variable en el tiempo. Posteriormente, la velocidad es asignada a cada celda suponiendo una dirección perpendicular a la línea de contorno, tal como se muestra a continuación:



**Figura 5.6** – Caudal de agua convertido en velocidades (BCTYPE 6).

#### 5.1.4.3 Tabla de caudales (BCTYPE 9)

Cuando se usa una condición de contorno para el caudal, el modelo primero calcula el caudal en el contorno y, posteriormente, interpola el correspondiente nivel de las superficie del agua a partir de la tabla de valores e impone ese valor para el siguiente paso de tiempo. Si el contorno está seco, funcionará como una condición de entrada *libre*. Los niveles de agua se imponen solamente en las celdas mojadas. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con la tabla de valores (ver la sección 9.6.1 para los detalles sobre el formato del archivo).

Como esta condición puede generar reflexiones de ondas que se propagen aguas arriba, es importante localizar la frontera aguas abajo lo suficientemente lejos del area de interés, minimizando de esta forma los efectos artificiales del remanso. Lamentablemente, no existe una forma general de elegir dicho lugar, a excepción de la experimentación numérica con el modelo actual, la cuál será necesaria para alcanzar una localización razonable.

En la mayoría de los ríos con pendientes pequeñas, la relación de caudales se verá afectada por la histéresis. En otras palabras, la curva de caudal es repetida con mayores caudales durante la rama ascendente del hidrograma que durante la rama descendente. Esto se produce principalmente por el gradiente de profundidades en la dirección del flujo que cambia de signo a lo largo del hidrograma. En la práctica, esto implica que hay dos posibles escenarios para el mismo caudal. Las relaciones de caudales en bucle no se han considerado en esta versión de HydroBID Flood.



#### 5.1.4.4 Contornos abiertos *libres* (BCTYPE 10, 11)

En los contornos libres, el modelo calcula las velocidades y los niveles de la superficie del agua aplicando las ecuaciones completas desde los elementos internos. En la práctica, esto es equivalente a asumir que las derivadas del nivel de la superficie del agua y de las velocidades son nulas. En situaciones de flujo subcrítico, es recomendable usar este tipo de condiciones de contorno solamente cuando existe al menos otra condición de contorno donde el nivel de agua o el caudal sea impuesto. La condición BCTYPE 10 permite al agua entrar o salir, mientras que la condición BCTYPE 11 solamente permite al flujo salir de la malla.

#### 5.1.4.5 Condición de contorno de flujo uniforme (BCTYPE 12)

Para aplicar esta condición de contorno, el usuario proporciona solamente el valor de la pendiente del fondo  $S_0$ . El modelo usará  $S_0$ , el coeficiente  $n$  de Manning y el caudal para crear una tabla de valores. Entonces, para cada intervalo de tiempo, el programa impondrá el nivel de agua correspondiente al caudal en el contorno interpolando los valores de la tabla. La tabla de valores se calcula cada 0.05 m (0.16 ft) comenzando por el valor más bajo de la elevación del fondo en la sección de salida hasta 50 m (164 ft) por encima del valor más alto del nivel del fondo en la sección. Si  $S_0 = -999$ , el modelo calculará la pendiente de fondo media perpendicular a la línea del contorno.

#### 5.1.4.6 Implementación numérica de los contornos abiertos

Muchos modelos de simulación están basados en esquemas numéricos fiables y conservativos. Cuando se intenta extender su aplicación a problemas reales que involucran geometrías irregulares en los contornos, se ha de tener especial cuidado en preservar las propiedades del esquema original. La conservación, en particular, se ve perjudicada si los contornos son discretizados sin cuidado.

En las celdas que forman la región de entrada del caudal, el flujo se caracteriza por el signo negativo del siguiente producto escalar en la pared  $k_\Gamma$  de contorno

$$\mathbf{q}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} = (h\mathbf{u})_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} < 0 \quad (5.19)$$

y por el estado del flujo, definido comúnmente mediante el número de Froude

$$Fr_i = \frac{\mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma}}{c_i} \quad (5.20)$$

con  $c_i = \sqrt{gh_i}$ . Cuando el número de Froude definido como en (5.20) es mayor que 1, el flujo es supercrítico y todos los siguientes autovalores son negativos:

$$\lambda^1 = \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} + c_i < 0 \quad \lambda^2 = \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} < 0 \quad \lambda^3 = \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} - c_i < 0 \quad (5.21)$$

Por lo tanto, los valores de  $h$ ,  $u$ ,  $v$  y  $\phi$  tienen que ser impuestos. La concentración de soluto en el agua  $\phi$  es independiente de los autovalores y, por lo tanto, tiene que ser provista en la región de entrada para todos los regímenes de flujo.

Las celdas en la región de salida del caudal están definidas por

$$\mathbf{q}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} = (h\mathbf{u})_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} > 0 \quad (5.22)$$

Para un flujo supercrítico, todos los siguientes autovalores son positivos:

$$\lambda^1 = \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} + c_i < 0 \quad \lambda^2 = \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} < 0 \quad \lambda^3 = \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{i,k_\Gamma} - c_i < 0 \quad (5.23)$$

En consecuencia, no se requiere ninguna información extra.

Cuando tanto en la región de entrada como de salida del caudal, el régimen de flujo es subcrítico, la actualización de la información no está completa. Ocurre lo mismo en las paredes de las celdas que actúan como paredes sólidas, a través de las cuales no puede haber flujo. Comúnmente, la información extra que se provee aguas arriba y aguas abajo son funciones del caudal. En el caso de las paredes sólidas, se define una función de caudal nulo en la dirección normal a la pared.

Decidir si estamos tratando con un flujo supercrítico o subcrítico tanto en la entrada como en la salida no es sencillo en una malla 2D. Una caracterización basada en celdas del régimen de flujo en el contorno lleva a situaciones complicadas tanto desde el punto de vista físico como numérico. Por otro lado, las condiciones de contorno físicas o externas normalmente se refieren a cantidades promediadas como el nivel de agua o el caudal total y éstas han de ser traducidas a profundidad de agua o velocidad en cada celda, dependiendo del criterio que se siga. Para manejar estas situaciones, es necesaria una conexión adecuada entre los modelos bidimensionales y unidimensionales en los contornos abiertos. El número de Froude en las sección es definido una vez que la sección del contorno tiene un nivel de agua uniforme:

$$Fr_s = \frac{w}{\sqrt{g(S_T/b_T)}} \quad (5.24)$$

siendo  $w = Q/S_T$  la velocidad transversal y definiendo el ancho de la sección transversal total mojada  $S_T$  y el ancho tope como:

$$S_T = \sum_{j=1}^{NB} S_j = \sum_{j=1}^{NB} h_j l_j, \quad b_T = \sum_{j=1}^{NB} l_j \quad (5.25)$$

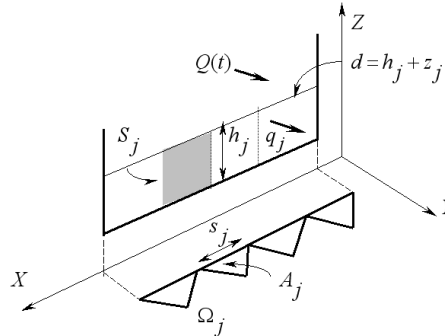
donde  $NB$  es el número de celdas de contorno mojadas,  $l_j$  es la longitud de cada una de las paredes que forman el contorno mojado y  $h_j$  es la profundidad en cada celda de contorno.

#### 5.1.4.7 Condición de contorno de caudal de entrada

Esta es una de las condiciones de contorno que presenta más dificultades porque se debe definir una representación correcta y conservativa del flujo entrante estacionario o transitorio y no hay una forma obvia de implementarlo. El hidrograma del caudal total de entrada  $Q = Q(t)$  es usualmente la función dada en una simulación de inundación y es importante analizar el mejor modo de imponerlo ya que involucra la sección de entrada completa y se está considerando una representación discreta 2D en las celdas computacionales. Es posible encontrar diferentes situaciones.

#### 5.1.4.8 Casos simples

Cuando la sección de entrada tiene forma rectangular (Figura 5.7), esto es, de fondo plano y limitada por paredes verticales, la sección mojada de entrada es simplemente rectangular.



**Figura 5.7** – Sección de entrada rectangular.

El caudal total de entrada a tiempo  $t$ ,  $Q_I(t)$ , puede ser distribuido a lo largo de la sección de entrada usando un caudal constante por unidad de anchura,  $q_I$  ( $m^2/s$ ), que puede ser calculado como

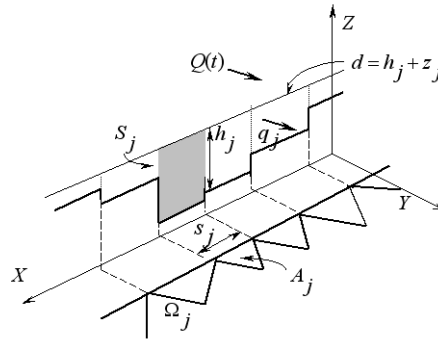
$$q_j = q_I = \frac{Q_I(t)}{b_T} \quad (5.26)$$

En este caso simple,  $q_I$  es uniforme a lo largo del contorno de entrada y también lo es el módulo resultante de la velocidad,  $w = q_I/h$ , con  $w = (u^2 + v^2)^{1/2}$ . Debe tenerse en cuenta que la dirección de la descarga entrante no es

necesariamente la misma que la dirección normal al contorno de entrada. Sin embargo, esta dirección generalmente se elige como la información predeterminada.

### 5.1.4.9 Casos complejos

En problemas reales de geometría general la sección de entrada puede cambiar de forma con los cambios de nivel de agua (frontera seco/mojado) y también lo hará el número de celdas de contorno involucradas (Figura 5.8).



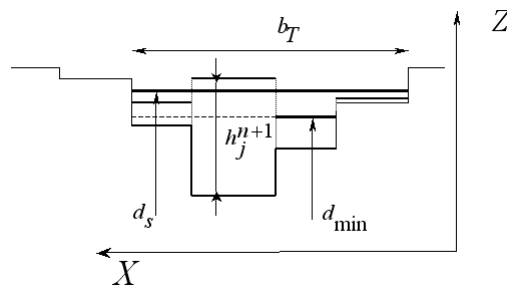
**Figura 5.8** – Sección de entrada irregular.

Cuando consideramos secciones de entrada como en la Figura 5.8, un valor uniforme de  $q_I$  como en (5.26) conlleva un estado completamente irreal de agua más rápida en los bordes de la sección y agua más lenta en el medio de la sección. Como las velocidades resultantes dependen del valor de la profundidad del agua  $h$ , aparecerán valores más altos en aquellas celdas donde la profundidad del agua es menor.

Para buscar una distribución más apropiada, un valor uniforme del módulo de la velocidad del agua  $w$  se impone a lo largo de toda la sección de entrada. En este caso, el caudal unitario en cada celda de contorno  $j$  es variable y definido en función tanto del área total de la sección,  $S_T$ , como del área transversal de cada celda individual,  $S_j$ , como se muestra a continuación:

$$q_j = Q_I \frac{S_j}{S_T l_j} \quad (5.27)$$

Por otro lado, la actualización de los valores de profundidad en las celdas de entrada generados por el esquema numérico conlleva en el caso general a un conjunto de nuevas profundidades  $h_j^{n+1}$  (Figura 5.9) asociadas, en general, a diferentes niveles de agua  $d_j$ ,  $d_j = h_j + z_j$ .



**Figura 5.9** – Evaluación de  $d_{min}$ .

Para nuestros propósitos, se requiere un nivel de agua horizontal en esta región para ayudar en las traslación entre los puntos de vista 2D y 1D en el contorno abierto. El valor de ese nivel de agua uniforme se fija teniendo en cuenta la conservación de la masa, lo que implica una redistribución conservativa del volumen de agua. El valor mínimo de los

niveles de agua entre todas las celdas mojadas en el contorno de entrada,  $d_{min}$ , es calculado y el volumen de agua  $V_S$  almacenado en la sección de entrada por encima de  $d_{min}$  es evaluado como

$$V_S = \sum_{j=1}^{NB} (d_j - d_{min}) A_j |_{d_j > d_{min}} \quad (5.28)$$

y la superficie mojada por encima de ese nivel,  $A_w$ , se define como:

$$A_w = \sum_{j=1}^{NB} A_j |_{d_j > d_{min}} \quad (5.29)$$

Estas magnitudes se usan para redistribuir el volumen sobre la sección de entrada, manteniendo constante la amplitud de la sección mojada  $b_T$ . Como muestra la Figura 5.9, un nuevo nivel de agua uniforme en la sección,  $d_s$ , viene dado por:

$$d_s = d_{min} + \frac{V_S}{A_w} \quad (5.30)$$

Además de ayudar a decidir el régimen de flujo en el contorno, las modificaciones descritas arriba hacen más sencillo el tratamiento de las condiciones de flujo entrante supercrítico. Cuando se modela un flujo transitorio en un río, es posible encontrarse con picos muy altos en el hidrograma. Si estos picos no se gestionan correctamente desde un punto de vista numérico, pueden llevar a estados supercríticos locales irreales en el contorno de entrada.

En ese caso de flujo supercrítico en la entrada, es necesaria la especificación de todas las variables en las celdas que forman el contorno de entrada. Sin embargo, en muchos problemas prácticos solamente se dispone del hidrograma de caudal como una función del tiempo, sin datos, en general, de la distribución de niveles de agua o la dirección del caudal en el contorno de entrada.

La alternativa propuesta consiste en que, cuando el número de Froude a la entrada es mayor que 1:

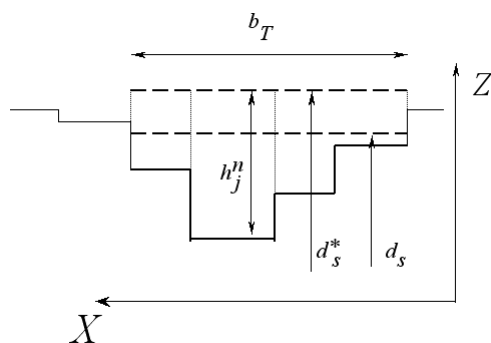
$$Fr_s = \frac{w}{\sqrt{g(S_T/b_T)}} > 1 \quad (5.31)$$

se fuerza un número de Froude máximo,  $Fr_{s,max}$ , para el flujo de entrada. Para este propósito, manteniendo la amplitud de la sección  $b_T$ , se calcula una nueva área de la sección mojada de entrada,  $S_T^*$ , a partir de  $Fr_{s,max}$ :

$$S_T^* = \left( \frac{Q_I^2}{g Fr_{s,max}^2 / b_T} \right)^{1/3} \quad (5.32)$$

Si  $S_T^*$  es mayor que  $S_T$ , proporciona un nuevo nivel de la superficie del agua para la sección de entrada,  $d^*$ , también mayor que  $d_s$  (Figura 5.10). El incremento asociado en el volumen de agua se compensa por medio de una reducción en el caudal impuesto  $Q_I(t)$  en ese paso de tiempo.

Ocasionalmente, ambas condiciones,  $Q_I(t)$  y  $d(t)$  son conocidas en las entradas supercríticas. Para esos casos, basta con imponer ambos datos en el contorno de entrada. Sin embargo, debido al método empleado para la integración temporal discreta, este procedimiento no sigue el criterio de conservación de la masa. Para garantizar que el balance de masa se preserva, se impone una de las condiciones, mientras que la otra debe ser modificada, de forma que los flujos calculados en el paso siguiente establezcan la conservación de la masa. La mejor solución consiste en imponer directamente el nivel de agua superficial global en la sección del contorno de entrada,  $d(t)$ , y adaptar el caudal de entrada discreto para asegurar que el volumen final se conserva. El valor impuesto de  $d$  establece un volumen de entrada que puede ser transformado en caudal dividiéndolo por el paso de tiempo. Este valor se añade al caudal lo que conlleva un correcto balance de masa.



**Figura 5.10** – Nuevo nivel de agua para la sección de entrada.

Cuando la celda de contorno pertenece a una frontera abierta donde el caudal de entrada es la condición impuesta y el flujo es subcrítico, el caudal se calcula usando (5.27) y se impone en la celda de contorno. Además, el nivel de agua se calcula como un resultado de las contribuciones a través de las paredes de la otra celda en (5.15) cuando se actualizan las variables conservadas en la celda de contorno en el tiempo  $n + 1$  y es cuidadosamente redistribuido como se explicó anteriormente.

#### 5.1.4.10 Contornos de salida

El análisis del flujo en el contorno de salida resulta más sencillo. Para flujo saliente supercrítico, no se impone ninguna condición externa. En HydroBID Flood, se realiza un recorrido preliminar sobre las celdas mojadas de salida para evaluar el número de Froude en celda. Si se encuentra una celda con flujo supercrítico, el flujo completo en la sección del contorno de salida es considerado supercrítico y ninguna condición externa ha de ser impuesta. De lo contrario, todas las celdas estarán en un estado subcrítico y recibirán un tratamiento análogo al de los contornos de entrada descritos anteriormente. Como antes, se genera un nivel de agua uniforme en la sección y se establece una distribución de velocidades en los casos en los cuales se imponga una tabla de caudales como condición de contorno.

#### 5.1.4.11 Contornos cerrados

Los contornos cerrados son paredes rígidas o sólidas que bloquean completamente el flujo como las orillas de los ríos o las islas. Estos elementos constituyen paredes verticales que nunca pueden ser sobrepasadas. En las inmediaciones de estos contornos, aparece una capa muy delgada de flujo viscoso que requeriría elementos extremadamente pequeños para ser resuelta apropiadamente. HydroBID Flood usa una condición de deslizamiento (*slip*) en los contornos cerrados y el modelo anula la componente del flujo normal a la pared, permitiendo las componentes tangenciales. El modelo HydroBID Flood detecta los contornos cerrados automáticamente.

Este tipo de condición de contorno no requiere de ningún tratamiento especial. Como no se permite al flujo cruzar el contorno, la condición física  $\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} = 0$  es impuesta en la velocidad de la celda  $\mathbf{u}$  después de añadir todas las contribuciones de onda desde el resto de las paredes de la celda, donde  $\mathbf{n}$  es la normal a la pared sólida (Figura 5.11).

En otras palabras, si el contorno está cerrado, la pared de contorno asociada  $k_\Gamma$  es una pared sólida, con una componente normal de velocidad nula. Como no existen contribuciones desde ese lado, se establece que  $\delta \mathbf{M}_{i,k_\Gamma}^- = 0$  en (5.15) cuando se actualizan las variables conservadas en la celda de contorno en el nivel temporal  $n + 1$ .

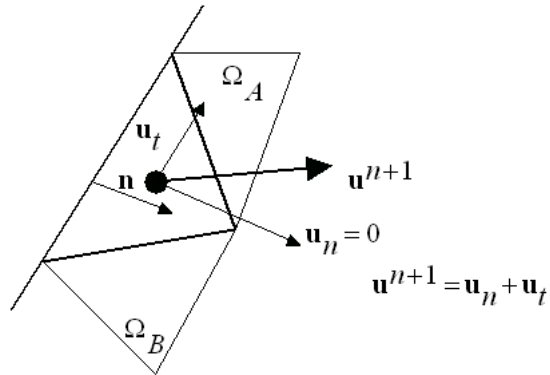


Figura 5.11 – Condición de pared sólida.

## 5.1.5 Modelación de zonas secas y mojadas

HydroBID Flood es capaz de simular el secado y mojado del fondo. Esta capacidad del modelo es importante cuando se simula la progresión de inundaciones a lo largo de un canal inicialmente seco. En este caso, tanto el canal como la llanura de inundación se verán inundados. El fondo del canal también se puede secar de nuevo si la inundación retrocede.

En HydroBID Flood la malla de celdas triangulares puede cubrir tanto las zonas secas como mojadas y el modelo gestionará estas condiciones usando dos algoritmos distintos y dependiendo de la siguiente clasificación de elementos.

### 5.1.5.1 Definición de celdas basada en las condiciones de seco y mojado

Una celda está considerada seca si su profundidad es menor que una fracción de un milímetro. No existe la situación de celdas parcialmente mojadas. Una pared de una celda se considera inactiva si separa dos celdas secas y se excluye del cálculo. De lo contrario, la pared de la celda siempre contribuye a la actualización de las variables en ambos lados. La situación conocida como seco/mojado tiene lugar en una pared de una celda cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Una de las celdas vecinas está mojada y la otra seca.
- El nivel de agua en una celda mojada es menor que el nivel del fondo de la celda seca.
- El flujo es supercrítico.

En este caso, el procedimiento a seguir está descrito en (Murillo & García-Navarro 2010b).

El algoritmo de seco/mojado de HydroBID Flood es una adaptación del originalmente propuesto en (Brufau, García-Navarro & Vázquez-Cendón 2004) y posteriormente mejorado en (Murillo, Burguete, Brufau & García-Navarro 2007) y (Murillo & García-Navarro 2010b) en el contexto de los volúmenes finitos y funciona de la siguiente manera:

1. Al principio de cada paso de tiempo, todas las celdas son clasificadas como secas o mojadas de acuerdo con la definición.
2. Si una celda está seca y completamente rodeada de celdas secas, se extrae del cálculo y las componentes de la velocidad se establecen como cero para el actual paso de tiempo.
3. Todas las paredes interiores de las celdas son clasificadas como activas o inactivas de acuerdo a la definición.
4. Las contribuciones de la pared que conforma el seco/mojado se calculan suponiendo que la pared es sólida y las velocidades en ambos lados se establecen como cero.
5. El resto de contribuciones a través de las paredes son calculadas de acuerdo con el esquema numérico descrito anteriormente.

6. Las celdas mojadas y las celdas secas rodeadas por al menos una celda mojada permanecen dentro del cálculo y son resueltas con el esquema usando las contribuciones a través de las paredes.

Este método genera soluciones numéricas estables sin velocidades espúreas sobre las áreas secas y ofrece errores de conservación de masa del orden de la precisión de máquina permitiendo el uso de la condición clásica de CFL.

### 5.1.6 Conservación del volumen

La conservación del volumen o balance de volumen en el dominio de la simulación se puede definir a través de una integral de contorno del caudal:

$$\Delta M(\Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} (\mathbf{Q}_I \cdot \mathbf{n}_I - \mathbf{Q}_O \cdot \mathbf{n}_O) dt \quad (5.33)$$

donde  $\mathbf{Q}_I$  y  $\mathbf{Q}_O$  son las funciones de caudal total en los contornos de entrada y salida, respectivamente, y  $\mathbf{n}_I$  y  $\mathbf{n}_O$  son los vectores normales a los contornos. El caudal normal a las paredes sólidas es cero. Este balance es evaluado integrando en el contorno celda a celda como sigue

$$\Delta M(\Delta t) = \sum_{j=1}^{NB_I} q_{I,j} l_j (\mathbf{n}_I \cdot \mathbf{n}_j) \Delta t - \sum_{m=1}^{NB_O} q_{O,m} l_m (\mathbf{n}_O \cdot \mathbf{n}_m) \Delta t \quad (5.34)$$

donde  $\mathbf{n}_j$  y  $\mathbf{n}_m$  son las direcciones del flujo en las celdas de entrada y salida, respectivamente.

La variación del volumen en el dominio de cálculo puede ser debida solamente a

$$\Delta M(\Delta t) \neq 0 \quad (5.35)$$

Por lo tanto, el error de masa de la solución numérica se mide comparando la cantidad total de agua calculada a tiempo  $t + \Delta t$

$$Vol(t + \Delta t) = \sum_{i=1}^{NCELLS} h_i^{n+1} S_i \quad (5.36)$$

con la cantidad total de agua existente a tiempo  $t$

$$Vol(t) = \sum_{i=1}^{NCELLS} h_i^n S_i \quad (5.37)$$

como sigue

$$Error = [Vol(t + \Delta t) - Vol(t)] - \Delta M(\Delta t) \quad (5.38)$$

Normalmente, esta cantidad se expresa en términos relativos:

$$Relerror = \frac{[Vol(t + \Delta t) - Vol(t)] - \Delta M(\Delta t)}{Vol(t) + \Delta M(\Delta t)} \quad (5.39)$$

### 5.1.7 Coeficientes $n$ de rugosidad de Manning

El coeficiente  $n$  de Manning, normalmente estimado para determinar las pérdidas de carga en flujo en canales y ríos, es una medida global que tiene en cuenta no solo los efectos de la rugosidad del fondo, si no también la fricción y las variaciones de forma y tamaño de la sección transversal del canal, obstrucciones, los meandros del río (Ven Te Chow, 1959). Por lo tanto, las estimaciones del coeficiente  $n$  de Manning aplicable a modelos 1D debe ser ajustado debido a que las ecuaciones del modelo 2D consideran intercambios de cantidad de movimiento en dos dimensiones en el interior de la sección transversal que están agrupados en la simplificación 1D. Varios autores han encontrado aplicaciones de los modelos 2D en las que los valores de  $n$  requeridos pueden ser un 30% más pequeños que los normalmente empleados en modelos 1D en los mismos tramos de río (Belleudy, 2000). Sin embargo, los modelos 2D no tienen en cuenta la fricción lateral, por lo que la selección final de los coeficientes  $n$  de Manning se debe obtener mediante un proceso de calibración donde los resultados del modelo sea ajustados a datos medidos.

## 5.2 Modelo de transporte de sedimentos

La ciencia del transporte de sedimentos considera la interrelación entre el agua superficial y las partículas de sedimentos. A pesar de haber sido estudiada desde 1950 y haber sido ampliamente usadas en la práctica ingenieril, (Nielsen 1992), (Julien 1998), el modelación del transporte de sedimentos continua siendo uno de los temas más activos de la investigación hidráulica. Aunque el modelación numérico de los flujos de superficie libre con transporte de fondo sobre fondo erosionable en situaciones realistas involucra flujo transitorio y contornos móviles, los métodos convencionales y pioneros para llevar a cabo simulaciones morfodinámicas en áreas costeras y ríos desacoplan los componentes hidrodinámicos y de erosión/deposición (Cunge, Holly & Verwey 1980, De Vriend, Zyserman, Nicholson, Roelvink, Pêchon & Southgate 1993, Abderrezzak & Paquier 2011). Ignorar los efectos hidrodinámicos transitorios significa que las escalas de tiempo de los cambios morfodinámicos son más pequeñas en comparación con los hidrodinámicos. Suponiendo esta hipótesis, solamente un proceso cuasi-estacionario de variación lenta del fondo podría ser modelado razonablemente bien, ya que los flujos de variación rápida contienen choques o discontinuidades que quedarían excluidas. Por esta razón, HydroBID Flood permite una simulación precisa desde los eventos de evolución lenta hasta los cambios abruptos en el fondo del río.

### 5.2.1 Ecuaciones del modelo

La formulación relevante del modelo deriva de las ecuaciones promediadas en la vertical expresando la conservación del volumen de agua, la conservación del volumen de soluto y la conservación de la cantidad de movimiento del agua. Este sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales es formulado aquí de forma acoplada como sigue:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{U})}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{U})}{\partial y} = \mathbf{S}(\mathbf{U}) + \mathbf{R}(\mathbf{U}) \quad (5.40)$$

donde

$$\mathbf{U} = \left( h, \quad q_x, \quad q_y, \quad h\phi_1, \quad \dots, \quad h\phi_{N_p}, \quad \sum_{p=1}^{N_p} [z_p(1-p_p)] \right)^T \quad (5.41)$$

son las variables conservadas siendo  $h$  la profundidad de agua,  $q_x = hu$  y  $q_y = hv$  los caudales unitarios, con  $(u, v)$  las componentes promediadas en la vertical del vector velocidad  $\mathbf{u}$  a lo largo de las coordenadas  $x$  e  $y$ , respectivamente y  $\phi_p$ , con  $p = 1, \dots, N_p$ , siendo la concentración escalar promediada en la vertical de los  $N_p$  sedimentos diferentes transportados en suspensión. El término  $z$  es la elevación del fondo y  $p_p$  es la porosidad del fondo de cada  $p$  sedimento de fondo. La suma  $\sum_{p=1}^{N_p} [z_p(1-p_p)]$  está motivada por la posibilidad de tener un suelo heterogéneo, donde pueden coexistir diferentes fracciones de material.

Por otro lado, los flujos vienen dados por

$$\mathbf{F} = \left( q_x, \quad \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2, \quad q_x q_y / h, \quad q_x \phi_1, \quad \dots, \quad q_x \phi_{N_p}, \quad q_{sx} \right)^T$$

$$\mathbf{G} = \left( q_y, \quad q_x q_y / h, \quad \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2, \quad q_y \phi_1, \quad \dots, \quad q_y \phi_{N_p}, \quad q_{sy} \right)^T \quad (5.42)$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $q_{sx}$  y  $q_{sy}$  son términos de transporte de fondo calculados por medio de una ley empírica. Los términos fuente del sistema se dividen en tres tipos de términos. El término  $\mathbf{S}$  se define como

$$\mathbf{S} = \left( 0, \quad \frac{p_{b,x}}{\rho_w} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho_w}, \quad \frac{p_{b,y}}{\rho_w} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho_w}, \quad 0, \dots, \quad 0, \quad 0 \right)^T \quad (5.43)$$

donde  $p_{b,x}$ ,  $p_{b,y}$  y  $\tau_{b,x}$ ,  $\tau_{b,y}$  representan la fuerza de presión a lo largo del fondo y el esfuerzo de fondo en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente, siendo  $\rho_w$  la densidad del agua. El primero se puede formular en términos de las pendientes del nivel de fondo  $z$ .

$$\frac{p_{b,x}}{\rho_w} = -gh \frac{\partial z}{\partial x} = ghS_{0x}, \quad \frac{p_{b,y}}{\rho_w} = -gh \frac{\partial z}{\partial y} = ghS_{0y} \quad (5.44)$$

y las pérdidas por fricción se escriben en términos del coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning

$$\frac{\tau_{b,x}}{\rho_w} = ghS_{fx} \quad S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}, \quad \frac{\tau_{b,y}}{\rho_w} = ghS_{fy} \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (5.45)$$



El término fuente de reacción  $\mathbf{R}$ , con un carácter volumétrico, se define como

$$\mathbf{R} = \left( 0, 0, 0, R_1, \dots, R_{N_p}, - \sum_{p=1}^{N_p} R_p \right)^T \quad (5.46)$$

y es evaluado de la siguiente manera:

$$R_p = \omega_{s_p} (\phi_{*p} - \phi_p) \quad (5.47)$$

donde el término  $\phi_{*p}$  se emplea para definir la concentración de equilibrio, la cual se obtiene a través de una ley de descarga para el transporte sólido. El término  $\phi_p$  contiene la información sobre la cantidad de sedimento en suspensión que es transportada. Ambas concentraciones tienen en cuenta la velocidad de sedimentación,  $\omega_{s_p}$ .

## 5.2.2 Leyes de transporte de sedimento

En HydroBID Flood, la dinámica del fondo móvil está gobernada por dos formas diferentes de transporte de sedimentos: la carga en suspensión y la carga de fondo. Ambas pueden coexistir o una de ellas puede ser la dominante.

Como cada ley de transporte de sedimentos es derivada a partir de conjuntos de datos de laboratorio y de campo, se considera un parámetro de calibración en forma de factor de corrección para ajustar los resultados numéricos.

### 5.2.2.1 Carga de fondo

Cuando la carga de fondo es el mecanismo dominante de transporte de sedimentos y la influencia de la carga en suspensión es despreciable, el sistema (5.40) se reduce a

*Conservación de la masa*

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (5.48)$$

*Conservación la cantidad de movimiento en la dirección x*

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial[hu^2 + (1/2)gh^2]}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = \frac{p_{bx}}{\rho_w} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_w} \quad (5.49)$$

*Conservación la cantidad de movimiento en la dirección y*

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial[hv^2 + (1/2)gh^2]}{\partial y} = \frac{p_{by}}{\rho_w} - \frac{\tau_{by}}{\rho_w} \quad (5.50)$$

*Cambios en la elevación del fondo*

$$\frac{\partial \sum_{p=1}^{N_p} [z_p(1 - p_p)]}{\partial t} + \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} = 0 \quad (5.51)$$

donde  $N_p$  y los términos  $q_{sx}$  y  $q_{sy}$  son los flujos volumétricos de sedimento por unidad de anchura y pueden ser determinados mediante varias leyes deterministas o fórmulas de transporte de sedimentos e incluyen el transporte total de todas las fracciones de sedimento.

El módulo de la tasa de transporte de sedimento,  $q_s$ , se define como:

$$|q_s| = \sqrt{q_{sx}^2 + q_{sy}^2} \quad (5.52)$$

El transporte de fondo se representa a veces por el siguiente parámetro adimensional,

$$\Phi = \frac{|q_s|}{\sqrt{g(s-1)d_{50}^2}} \quad (5.53)$$

donde  $s$  es el cociente de material sólido frente a la densidad del agua y  $d_{50}$  es el diámetro medio.

La Tabla 5.3 recopila las fórmulas que están implementadas en HydroBID Flood, donde  $d_{90}$ ,  $d_{50}$  y  $d_{30}$  son los diámetros de grano para los cuáles el 90 %, 50 % y 30 % del peso de una muestra no uniforme es más fino, respectivamente,  $\rho_s$  es la densidad de sedimento,  $\theta_c$  es el parámetro de Shields crítico y  $\theta_c^s$  es el parámetro de Shields crítico, tal como se expresa en Smart (1994).

**Cuadro 5.3** – Resumen de las fórmulas del transporte de la carga de fondo.

FÓRMULA	$\Phi$	PARÁMETROS DE ENTRADA
Meyer-Peter & Mueller (1948)	$8(\theta - \theta_c)^{3/2}$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Ashida Michiue (1972)	$17(\theta - \theta_c) (\sqrt{\theta} - \sqrt{\theta_c})$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Engelund & Fredsøe (1976)	$18,74(\theta - \theta_c) (\sqrt{\theta} - 0,7\sqrt{\theta_c})$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Fernandez-Luque & van Beek (1976)	$5,7(\theta - \theta_c)^{3/2}$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Parker fit to Einstein (1979)	$11,2(1 - \theta/\theta_c)^{9/2}$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Smart (1984)	$4(d_{90}/d_{30})^{0,2} S_0^{0,6} C\theta^{1/2} (\theta - \theta_c^s)$	$d_{30}, d_{50}, d_{90}, \theta_c, \theta_c^s, \rho_s$
Nielsen (1992)	$12\theta^{1/2} (\theta - \theta_c)$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Wong	$4,93(\theta - \theta_c)^{1,6}$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Wong	$3,97(\theta - \theta_c)^{3/2}$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$
Camenen-Larson	$12\theta^{3/2} \exp(-4,5\theta_c/\theta)$	$d_{50}, \theta_c, \rho_s$

La suma  $\sum_{p=1}^{N_p} [z_p(1 - p_p)]$  en (5.51) puede considerar suelos heterogéneos, donde pueden coexistir diferentes fracciones de material. Para tener en cuenta esta heterogeneidad, cada caudal de transporte de sedimento ( $q_{sx}, q_{sy}$ ) asociado a cada tamaño de sedimento es multiplicado por su correspondiente fracción de suelo.

Para cada tamaño de partícula de sedimento, resulta necesario incluir la fracción del material.

### 5.2.3 Condiciones de contorno para el modelo de transporte de sedimento de fondo

Cuando se usa el modelo de transporte de sedimento de fondo, el usuario puede imponer una condición de contorno de entrada BCType = 6 y proveer solamente el caudal de agua. Es ese caso, el modelo determinará caudal de sedimento entrante basándose en la fórmula seleccionada para el transporte de sedimento, suponiendo condiciones de equilibrio.

Alternativamente, el usuario puede proveer el caudal de sedimento para cada fracción de sedimento en todos los contornos de entrada usando BCType = 26. Estos datos deben ser incluidos en el mismo archivo que especifica la serie temporal de caudal. Por ejemplo, si se seleccionan dos fracciones de sedimento BCType = 26 donde la entrada se especifica como un caudal, un archivo típico tendría el siguiente formato:

```
3
0.0 1000. 0.16 0.23
2.0 7000. 1.16 2.24
100.0 7000. 1.16 2.24
```

En el archivo hay 3 tiempos: 0, 2 y 100 horas. La primera columna representa el tiempo en horas. La segunda columna indica el caudal de agua en m<sup>3</sup>/s ó ft<sup>3</sup>/s. Las dos últimas columnas contienen el caudal de sedimento para cada fracción dada en m<sup>3</sup>/s ó ft<sup>3</sup>/s.

### 5.2.4 Sedimento en suspensión

Cuando el sedimento en suspensión juega el papel principal en la movilización del fondo, el término de la carga de fondo puede ser omitido y el sistema (5.40) se escribe como

Conservación de la masa

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (5.54)$$

Conservación la cantidad de movimiento en la dirección x

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial[hu^2 + (1/2)gh^2]}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = \frac{p_{bx}}{\rho_w} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_w} \quad (5.55)$$

Conservación la cantidad de movimiento en la dirección y

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial[hv^2 + (1/2)gh^2]}{\partial y} = \frac{p_{by}}{\rho_w} - \frac{\tau_{by}}{\rho_w} \quad (5.56)$$

Masa de sedimento de la capa fluida para el sedimento en suspensión p

$$\frac{\partial(h\phi_p)}{\partial t} + \frac{\partial(hu\phi_p)}{\partial x} + \frac{\partial(hv\phi_p)}{\partial y} = \omega_{sp}(\phi_{*p} - \phi_p) \quad (5.57)$$

El término  $\phi_{*p}$  define la concentración del volumen de equilibrio, la cual se obtiene mediante un ley de descarga para el transporte sólido. El término  $\phi_p$  contiene información sobre la cantidad de sedimento en suspensión que es transportada. Ambas concentraciones tienen en consideración la presencia de la velocidad de sedimentación,  $\omega_{sp}$ . La velocidad de sedimentación se puede calcular mediante varias leyes como una función de la densidad del sedimento y el diámetro de grano.

La Tabla 5.4 recopila las formulas consideradas en HydroBID Flood. Merece la pena mencionar que estas leyes se han derivado para una única partícula y bajo condiciones estacionarias. Por lo tanto, en caso de considerar una situación transitoria con una concentración de sedimento en la columna de agua, la influencia de las partículas vecinas debe de tenerse en consideración, la cuál puede reducir considerablemente la velocidad de caída en comparación con el agua limpia. Este efecto, conocido como *hindered settling* (Wu 2008, Baldock, Tomkins, Nielsen & Hughes 2004), se puede considerar calculando una nueva velocidad de sedimentación  $\omega_{sm}$  ((Sha 1965)

$$\omega_{sm} = \left(1 - \frac{\phi}{2\sqrt{d_{50}}}\right)^n \omega_s \quad (5.58)$$

donde  $\omega_s$  es la velocidad de sedimentación de una partícula única en agua clara,  $\phi$  es la concentración volumétrica,  $d_{50}$  es el diámetro medio y  $n$  es un exponente empírico que usualmente toma un valor de 3.

**Cuadro 5.4 – Fórmulas para calcular la velocidad de sedimentación  $\omega_s$ .**

FÓRMULA	$\omega_s$	OBSERVACIONES
Rubey (1933)	$\omega_s = F \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g d_s}$	Si $d_s > 1$ mm, $F = 0.79$ , y en otros casos, $F = \left(\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{g d_s^3 (\rho_s / \rho_w - 1)}\right)^{0.5} - \left(\frac{36\nu^2}{g d_s^3 (\rho_s / \rho_w - 1)}\right)^{0.5}$
Zhang (1961)	$\omega_s = \sqrt{\left(13,95 \frac{\nu}{d_s}\right)^2 + 1,09 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g d_s} - 13,95 \frac{\nu}{d_s}$	Válido para un amplio intervalo de $d_s$
Zanke (1977)	$\omega_s = 10 \frac{\nu}{d_s} \left[ \left(1 + 0,01 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) \frac{g d_s^3}{\nu^2}\right)^{0,5} - 1 \right]$	
Van Rijn (1984)	$\omega_s = \left(\frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g \frac{d_s^2}{\nu}\right)$	$d_s < 0.1$ mm
Raudkivi (1990)	$\omega_s = \left(\frac{(2/3)(\rho_s / \rho_w - 1) g d_s^2}{\nu} - 32\right) \frac{\nu}{1,2 d_s}$	$d_s > 1$ mm
Julien (1995)	$\omega_s = \left(\frac{(2/3)(\rho_s / \rho_w - 1) g d_s^2}{\nu} - 24\right) \frac{\nu}{1,5 d_s}$	
Cheng(1997)	$\omega_s = \frac{\nu}{d_s} \left(\sqrt{25 + 1,2 D_*^2} - 5\right)^{1,5}$	$D_* = d_s \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g / \nu^2)^{1/3}$

Continúa en la próxima página

Cuadro 5.4 – viene de la página anterior

FÓRMULA	$\omega_s$	OBSERVACIONES
Jiménez-Madsen (2003)	$\omega_s = (C_1 + C_2 S_*) \sqrt{(s-1)gd_s}$	$C_1$ , $C_2$ y $S_*$ como en Jiménez-Madsen
Wu-Wang(2006)	$\omega_s = \frac{M\nu}{Nd_s} \left( \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{4N}{3M^2} D_*^3 \right)^{1/n} - 0,5} \right)^n$	$m$ , $N$ y $n$ como en Wu y $D_* = d_s \left( (\rho_s/\rho_w - 1) g/\nu^2 \right)^{1/3}$

### 5.2.4.1 Fórmulas para cálculo del sedimento en suspensión

Tal y como se ha mencionado antes, el término  $\phi_{*p}$ , el cuál aparece en (5.57) se emplea para definir la concentración de equilibrio, la cuál se obtiene mediante una ley de descarga para el transporte sólido, como se muestra a continuación:

$$\phi_{*p} = \begin{cases} 0 & \theta < \theta_c \\ \frac{q_{susp_p}}{hu} & \theta \geq \theta_c \end{cases} \quad (5.59)$$

donde el subíndice  $p$  hace referencia a la clase de sedimento  $p$ . Las fórmulas empleadas para calcular el caudal de transporte sólido se describen a continuación.

- Bagnold (Bagnold 1973) consideró que el esfuerzo cortante es proporcional a la velocidad del flujo y estableció la siguiente fórmula:

$$q_{susp_p} = 0.01 \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} \frac{\tau_b |u|^2}{g \omega_s} \quad (5.60)$$

siendo  $\tau_b$  el esfuerzo cortante generado en el fondo por la rugosidad del lecho, la cuál se tiene en consideración mediante el coeficiente de Manning  $n$

$$\tau_b = \frac{gn^2 |u|^2}{h^{1/3}} \quad (5.61)$$

- Van Rijn (Van Rijn 1984c) propuso calcular la carga en suspensión integrando el flujo de sedimentos dentro de la capa en la que la suspensión juega un papel clave, i.e. entre  $h_s$  y  $h$ ,

$$q_{susp_p} = \int_{h_s}^h \phi_m u dh \quad (5.62)$$

donde,  $q_{susp_p}$  es expresado como volumen por unidad de tiempo y los términos  $\phi_m$  y  $h_s$  han sido definidos como

$$\phi_m = \phi_s \left( \frac{\frac{h}{h_s} - 1}{\frac{h}{h_s} - 1} \right)^{\omega_s / (kU_*)} \quad (5.63)$$

con

$U_*$  siendo la velocidad de corte definida como  $U_* = \sqrt{\tau_b}$

$\kappa$  es la constante de Von-Karman  $\kappa \approx 0.41$

$$\phi_s = \frac{0,117}{d_s} \left[ \frac{\nu^2}{(s-1)g} \right]^{1/3} \left( \frac{\theta}{\theta_c} - 1 \right) \quad (5.64)$$

$$h_s = 0,3d_s \left[ d_s \left( \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{1/3} \right]^{0,7} \sqrt{\frac{\theta}{\theta_c} - 1} \quad (5.65)$$

donde  $\theta$  es el esfuerzo cortante adimensional, calculado usando (5.67),  $\theta_c$  es el parámetro de Shields,  $d_s$  es el diámetro del sedimento,  $s$  es el cociente entre densidades,  $s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$  y  $\nu$  es la viscosidad cinemática del agua.

$$\theta = \frac{\tau_b}{\rho_w (s - 1) g d_s} \quad (5.66)$$

con

$$\tau_b = \frac{g n^2 |u|^2}{h^{1/3}} \quad (5.67)$$

## 5.2.5 Condiciones de contorno para el modelo de sedimento en suspensión

Cuando se utiliza el modelo de sedimento en suspensión, el usuario tiene que imponerla concentración de volumen para cada fracción de sedimento en todos los contornos de entrada. Estos datos deberán ser incluidos en el mismo archivo que la serie temporal de caudal en cada entrada. Por ejemplo, si el usuario selecciona dos fracciones de sedimento y BCType = 6 donde la entrada se impone como un caudal, el formato de un archivo típico sería:

```
3
0    1000.  0.001  0.002
2    67000. 0.001  0.002
100 67000.  0.001  0.002
```

La primera línea indica que hay 3 tiempos. La primera columna corresponde al tiempo en horas: 0, 2 y 100 horas en este ejemplo. La segunda columna es el caudal de agua en m<sup>3</sup>/s ó ft<sup>3</sup>/s. La tercera y cuarta columnas indican las concentraciones de volumen de sedimento para cada una de las dos fracciones dadas, respectivamente.

## 5.2.6 Colapso geomorfológico

Cuando se consideran flujos geomorfológicos transitorios en casos realistas, las características del banco de equilibrio geotécnico pueden estropearse, dando lugar a una metamorfosis drástica del canal. Este efecto necesita ser modelado para reproducir correctamente la evolución de la geometría del fondo en combinación con la acción del flujo. En HydroBID Flood, el efecto del colapso geomorfológico se introduce en la simulación mediante un mecanismo simple de conservación de la masa de la ladera deslizante, suponiendo que el ángulo de reposo del material sumergido del fondo puede ser aproximado por el ángulo de fricción. El mecanismo de fallo se aplica por comparación entre la pendiente de fondo en cada lado de la celda y el ángulo de reposo del material saturado del fondo, (Murillo & García-Navarro 2010a).

## 5.2.7 Solución numérica en volúmenes finitos del transporte de sedimentos

El sistema de ecuaciones (5.40) se integra en un volumen o celda  $\Omega$  usando el teorema de Gauss:

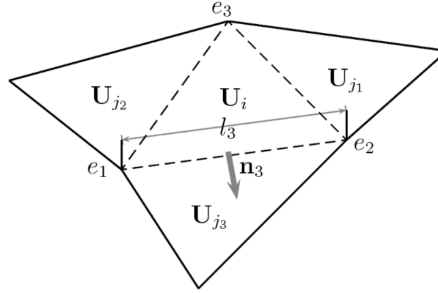
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \mathbf{U} d\Omega + \oint_{\partial\Omega} \mathbf{E} \mathbf{n} dl = \int_{\Omega} \mathbf{S} d\Omega + \int_{\Omega} \mathbf{R} d\Omega \quad (5.68)$$

donde  $\mathbf{n} = (n_x, n_y)$  es el vector unitario normal al volumen  $\Omega$ , apuntando hacia el exterior.

Para obtener una solución numérica del sistema (5.40), se divide el dominio en celdas computacionales,  $\Omega_i$ , usando una malla fija en el tiempo y se aplica (5.68) a cada celda

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_i} \mathbf{U} d\Omega + \sum_{k=1}^{NE} \int_{e_k}^{e_{k+1}} (\mathbf{E} \mathbf{n})_k^\downarrow dl_k = \int_{\Omega_i} \mathbf{S} d\Omega + \int_{\Omega_i} \mathbf{R} d\Omega \quad (5.69)$$

siendo  $(\mathbf{En})_k^\downarrow$  el valor de la función de flujo a través de la cara  $k$ ,  $\mathbf{n}_k = (n_x, n_y)$  el vector unitario normal a la cara  $k$ , apuntando hacia fuera, y  $NE$  el número de caras en la celda  $i$ . La Figura 5.12 muestra un esquema de los flujos.



**Figura 5.12** – Parámetros de la celda.

Suponiendo una representación constante en la celda (*piecewise*) de las variables conservadas

$$\mathbf{U}_i^n = \frac{1}{A_i} \int_{\Omega_i} \mathbf{U}(x, y, t^n) d\Omega \quad (5.70)$$

La ecuación (5.69) se escribe como

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_i} \mathbf{U} d\Omega + \sum_{k=1}^{NE} (\mathbf{En})_k^\downarrow l_k = \int_{\Omega_i} \mathbf{S} d\Omega + \int_{\Omega_i} \mathbf{R} d\Omega \quad (5.71)$$

donde  $l_k$  es la correspondiente longitud de la cara. El sistema (5.71) se resuelve siguiendo la teoría del resolución de Riemann de Roe y usando una discretización *upwind* [(Murillo & García-Navarro 2010a, Juez, Murillo & P. 2014)].

## 5.2.8 Introduciendo los datos para el modelo de transporte de sedimentos

Para introducir los datos para una simulación con transporte de sedimentos, el usuario deberá usar el panel *Transporte de Sedimentos* en el Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

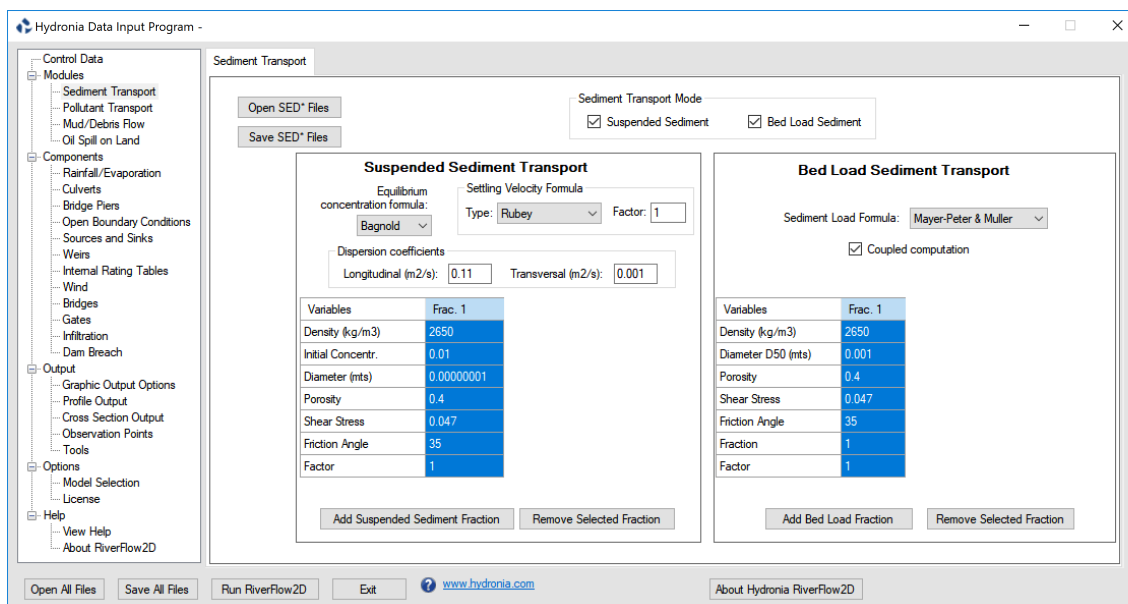


Figura 5.13 – Panel de transporte de sedimentos de Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

## 5.2.9 Suposiciones del modelo de transporte de sedimentos

Las principales suposiciones que se realizan en la versión actual de HydroBID Flood son:

- Cuando se emplea la opción de carga de fondo, la tasa de transporte de sedimento entrante es igual a la capacidad de transporte bajo condiciones de equilibrio..
- Cada tamaño de partícula de sedimento se caracteriza usando un único diámetro característico ( $D_{50}$ ) para todas las fórmulas excepto para la de Smart (1984), que considera tres tamaños ( $D_{30}$ ,  $D_{50}$  y  $D_{90}$ ).
- El modelo no tiene en cuenta el proceso de acorazamiento del fondo.
- Cuando se asigna la elevación del fondo correspondiente a la máxima erosionabilidad, el modelo bloquea la erosión cuando la elevación del fondo alcanza el límite establecido.

Dado que las formulaciones para el caudal del sedimento de fondo, el caudal para el sedimento en suspensión y la velocidad de sedimentación están basados en leyes deterministas basadas en experimentación, se consideran parámetros de ajuste para cada una de ellas. Por lo tanto, el modelo hace posible la calibración del transporte de sedimento calculado para cada situación particular.

## 5.3 Modelo de flujo de lodo y detritos

Las inundaciones de lodos/detritos son fenómenos de flujo transitorio en los cuáles el flujo cambia rápidamente y las propiedades del fluido, típicamente no-newtoniano, son las de una mezcla hiperconcentrada de agua y sedimento e incluyen mecanismos de parada y arranque. El comportamiento resistivo global del lodo/detritos depende de la importancia relativa del esfuerzo cortante proveniente de distintas fuentes de forma que, además del esfuerzo cortante turbulento en el contorno del río, incluye esfuerzo viscoso, esfuerzo de fluencia (*yield stress*), esfuerzo dispersivo y colisiones inelásticas de partículas sólidas en el interior de la mezcla fluida (Naef et al. 2006).

El modelo matemático adoptado en HydroBID Flood está basado en el presentado en Murillo & Garcia-Navarro (2012), y tiene en cuenta la fricción interna y de fondo para flujos de superficie libre desde agua limpia hasta mezclas hiperconcentradas de sedimentos.

### 5.3.1 Suposiciones del modelo de flujo de lodo y detritos

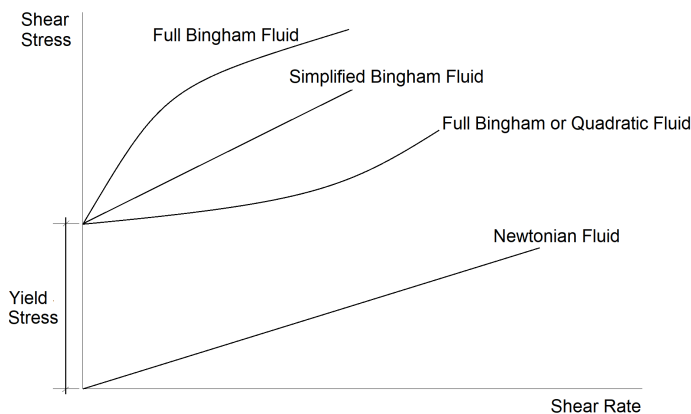
El modelo incluye las siguientes suposiciones:

- El flujo está confinado en una capa delgada comparada con la escala horizontal de interés.
- El flujo está gobernado por la ecuación (5.1) con los términos de fricción evaluados como se explica más adelante. La mezcla de agua y sedimento se describe usando la aproximación del continuo y suponiendo la misma velocidad para el líquido y para la fase sólida.
- El fondo del río no se erosiona.
- El fluido se supone como una única fase homogénea, mezcla de agua y sedimento y tiene propiedades constantes: e.g. densidad, esfuerzo de fluencia, etc.

### 5.3.2 Formulación reológica

La formulación de fase única en HydroBID Flood MD tiene en cuenta los diferentes términos de fricción que representan una variedad de fluidos no-newtonianos hiperconcentrados (ver Figura 5.14). El término de fricción en la ecuación (5.1) está promediado en la vertical. Por lo tanto, las ecuaciones que describen las fuerzas tangenciales generadas por los esfuerzos pueden ser agrupadas en la misma fórmula matemática a pesar de tener una naturaleza diferente. De este modo, se pueden considerar varios esfuerzos cortantes para cubrir un amplio rango de condiciones de flujo de lodos y detritos, incluyendo:

- Esfuerzo turbulento  $\tau_t$
- Esfuerzo dispersivo  $\tau_d$
- Esfuerzo de fricción de tipo Coulomb  $\tau_f$
- Esfuerzo de fluencia (*yield stress*)  $\tau_y$  and
- Esfuerzo viscoso  $\tau_\mu$



**Figura 5.14** – Diagrama reológico de algunas formulaciones no-newtonianas comunes.

Las ecuaciones que describen las fuerzas tangenciales generadas por los esfuerzos involucran al esfuerzo turbulento  $\tau_t$ , esfuerzo dispersivo  $\tau_d$ , esfuerzo de fricción de tipo Coulomb  $\tau_f$ , esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  y esfuerzo viscoso  $\tau_\mu$ . No



todos los esfuerzos actúan simultáneamente en la misma localización de la columna de agua. Sin embargo, dado que el modelo conceptual de HydroBID Flood está promediado en la vertical, todos los términos pueden coexistir y son matemáticamente agrupados en la misma fórmula. En el caso de un fluido viscoso newtoniano, el esfuerzo de fondo  $\tau_b$  se expresa en función de la velocidad promediada en la vertical  $u$  y la profundidad  $h$  como

$$\tau_b = 3\tau_\mu \text{ con } \tau_\mu = u/h \quad (5.72)$$

Un fluido de Bingham no fluye hasta que se supera un cierto valor umbral (el esfuerzo de fluencia  $\tau_y$ ) del esfuerzo. Una vez que se establece el flujo, el movimiento se caracteriza por una viscosidad plástica de la mezcla. El esfuerzo de fondo  $\tau_b$  se puede obtener a partir de la siguiente fórmula cúbica:

$$2\tau_b^3 - 3(\tau_y + 2\tau_\mu)\tau_b^2 + \tau_y^3 = 0 \quad (5.73)$$

y en los casos en los que el cociente de esfuerzos  $\tau_y/\tau_b$  sea más pequeño que 0.5, se puede reducir a

$$\tau_b = \frac{3}{2}\tau_y + 3\tau_\mu \quad (5.74)$$

Si solamente se considera el esfuerzo de fricción de tipo Coulomb, el esfuerzo cortante en el fondo viene dado por

$$\tau_b = \tau_f = g\rho h \cos\theta \tan\theta_b \quad (5.75)$$

donde  $\theta$  es el ángulo de la pendiente de fondo y  $\theta_b$  es el ángulo de fricción del material sólido. Adicionalmente, si  $\tau_b$  solamente incluye efectos dispersivos y turbulentos cerca del fondo, se puede usar un coeficiente  $c_f$ :

$$\tau_b = \tau_t = \rho c_f u^2 \quad (5.76)$$

En general, el esfuerzo cortante total  $\tau_b$  se puede expresar como una combinación de componentes de esfuerzo:

$$\tau_b = f(\tau_t, \tau_d, \tau_y, \tau_\mu, \tau_f) \quad (5.77)$$

La Tabla 5.5 muestra las leyes de fricción reológica disponibles en HydroBID Flood MD. Las relaciones de tipo Bingham incluyen la formulación standard cúbica

$$f_1(\tau_0, \tau_1) = 2\tau_b^3 - 3(\tau_y + 2\tau_\mu)\tau_b^2 + \tau_y^3 = 0 \quad (5.78)$$

La formulación *Cuadrática* en la Tabla 5.5 incluye los términos de colisión turbulenta, esfuerzo de fluencia y resistencia de flujo laminar en una ley reológica cuadrática, donde se supone un valor standard de  $\kappa = 24$

**Cuadro 5.5** – Formulaciones de resistencia de flujo reológico empleadas en HydroBID Flood MD.

FORMULACIÓN	TÉRMINO DE RESISTENCIA DE FLUJO	PARÁMETROS DE ENTRADA
Turbulenta	$\tau_b = \tau_t$	Coficiente $n$ de Manning
Bingham completa	$\tau_b = \tau_0$ con $2\tau_b^3 - 3(\tau_y + 2\mu q/h^2)\tau_b^2 + \tau_y^3 = 0$	Viscosidad de Bingham, Esfuerzo de fluencia ( <i>yield stress</i> ), Densidad
Bingham simplificada	$\tau_b = 1,5\tau_y + 3\tau_\mu, \tau_\mu = \mu q/h^2$	Viscosidad de Bingham, Esfuerzo de fluencia ( <i>yield stress</i> ), Densidad
Turbulenta y Coulomb	$\tau_b = \tau_t + \tau_f$	Coficiente $n$ de Manning, Ángulo de fricción, Densidad
Turbulenta y Fluencia (Yield)	$\tau_b = \tau_t + \tau_y$	Coficiente $n$ de Manning, Esfuerzo de fluencia ( <i>yield stress</i> )
Turbulenta, Coulomb y Fluencia (Yield)	$\tau_b = \tau_t + \min(\tau_y, \tau_f)$	Coficiente $n$ de Manning, Esfuerzo de fluencia ( <i>yield stress</i> ), Ángulo de fricción, Densidad

Continúa en la próxima página

Cuadro 5.5 – viene de la página anterior

FORMULACIÓN	TÉRMINO DE RESISTENCIA DE FLUJO	PARÁMETROS DE ENTRADA
Cuadrática	$\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{\kappa}{8} \tau_\mu$	Coficiente $n$ de Manning, Esfuerzo de fluencia ( <i>yield stress</i> ), Ángulo de fricción, Densidad
Granular	$\tau_b = \tau_f = g\rho h \cos\theta \tan\theta_b$	Coficiente $n$ de Manning $n = 0$ , Ángulo de fricción

### 5.3.3 Introduciendo los datos para el modelo de flujo de lodos y detritos

Para introducir los datos para una simulación de flujo de lodos y detritos el usuario deberá emplear el panel *Mud/Debris Flow* en el Programa de Entrada de Datos de Hydronia. También es necesario que la casilla *Mud/Debris Flow* esté marcada en el panel *Datos de Control*.

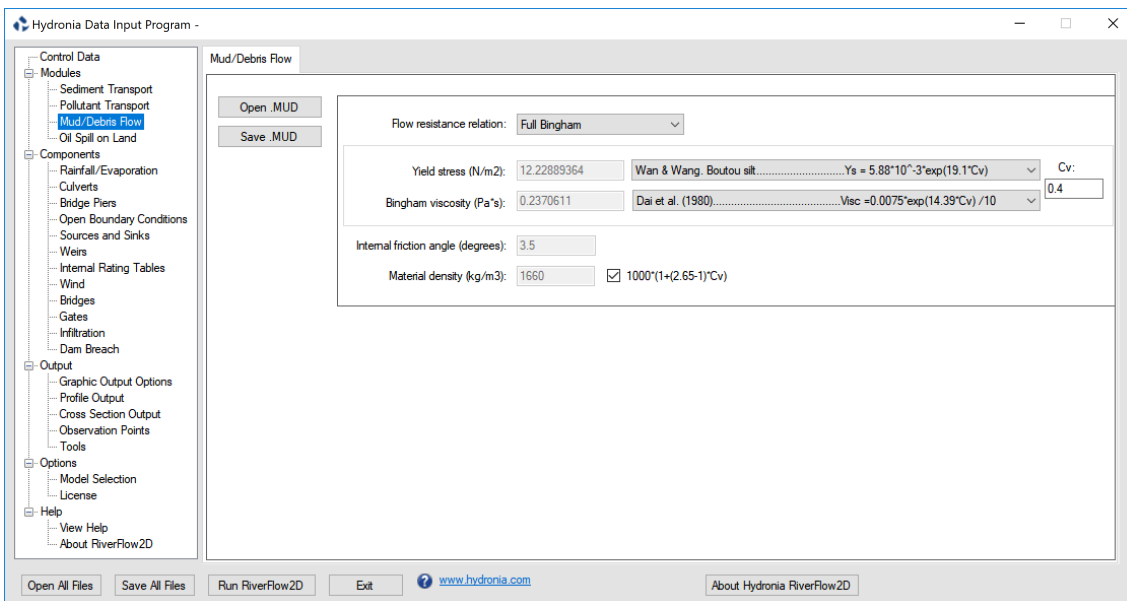


Figura 5.15 – Panel Mud/Debris Flow de HydroBID Flood.

Dependiendo de la relación de resistencia al flujo seleccionada, el usuario necesitará introducir diferentes parámetros. Por ejemplo, la formulación completa de Bingham requiere el esfuerzo de fluencia (*yield stress*), la viscosidad de Bingham, la densidad del material, etc.

## 5.4 Modelo de transporte de contaminantes

El estudio de los fenómenos de transporte de solutos se ha convertido en una gran preocupación en problemas hidráulicos y medioambientales. El modelo de transporte de contaminantes de HydroBID Flood proporciona una herramienta para calcular concentraciones de múltiples contaminantes en una variedad de situaciones en ríos y estuarios.

Un soluto o contaminante se define como cualquier sustancia que es transportada por el agua y bien mezclada en la dirección vertical. El interés normalmente se enfoca alrededor de la evolución temporal de la concentración de un soluto dentro de un sistema hidrodinámico complejo, es decir, dada la concentración en un tiempo y espacio específicos, el modelo determina la distribución espacial de las concentraciones de solutos para tiempos futuros. Este proceso físico se caracteriza mediante la ecuación de advección-dispersión y puede incorporar el efecto de la reacción con el agua y con otros solutos.

### 5.4.1 Ecuaciones del modelo

Aunque el módulo PL de HydroBID Flood puede gestionar múltiples contaminantes simultáneamente, por motivos de claridad, en esta sección se presenta solamente el transporte de un soluto acoplado con el modelo 2D. Las ecuaciones de transporte de solutos serán expresadas en forma conservativa, suponiendo que las velocidades y la profundidad pueden no variar suavemente en el espacio y tiempo.

De esta forma, el modelo de aguas poco profundas 2D con transporte de solutos se puede escribir en un único sistema acoplado:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{U})}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{U})}{\partial y} = \mathbf{H}(\mathbf{U}) + \mathbf{R}(\mathbf{U}) + \mathbf{D}(\mathbf{U}) \quad (5.79)$$

donde

$$\begin{aligned} \mathbf{U} &= (h, q_x, q_y, h\phi)^T \\ \mathbf{F} &= \left( q_x, \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2, \frac{q_x q_y}{h}, h\phi u \right)^T, \quad \mathbf{G} = \left( q_y, \frac{q_x q_y}{h}, \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2, h\phi v \right)^T \\ \mathbf{H} &= \left( 0, gh(S_{0x} - S_{fx}), gh(S_{0y} - S_{fy}), 0 \right)^T \end{aligned} \quad (5.80)$$

y  $\phi$  es la concentración de soluto promediada en la vertical. Los términos fuente asociados a la ecuación de transporte de solutos son expresados como sigue:

$$\mathbf{R} = (0, 0, 0, -Kh\phi)^T \quad \mathbf{D} = (0, 0, 0, \vec{\nabla}(Dh\vec{\nabla}\phi))^T \quad (5.81)$$

donde  $K$  es la constante de absorción y  $D$  es una matriz de difusión empírica.

### 5.4.2 Solución numérica en volúmenes finitos del transporte de contaminantes.

En HydroBID Flood, el transporte de solutos se consideran los términos de difusión. Sin embargo, se han desarrollado muchas estrategias para evitar valores pequeños en el paso de tiempo debidos a la combinación del número CFL y de Peclet, como la división y el cálculo por separado los términos de advección y difusión o la resolución implícita de la difusión (Murillo, Burguete, Brufau & García-Navarro 2005, Murillo, García-Navarro & Burguete 2008a).

La resolución numérica de la ecuación del transporte de solutos bajo un esquema explícito de volúmenes finitos se lleva a cabo frecuentemente resolviendo la concentración promediada en la vertical de forma independiente de las ecuaciones de aguas poco profundas, es decir, usando un algoritmo desacoplado más simple. Una vez que las ecuaciones hidrodinámicas has sido resueltas, las correspondientes sustancias o solutos son transportados con ese campo fluido previamente calculado.

Para obtener un método completamente conservativo, HydroBID Flood considera el sistema completo, incluyendo las ecuaciones hidrodinámicas y de transporte. Matemáticamente, el sistema completo conserva la propiedad de hiperbolicidad, lo que implica la existencia de una matriz jacobiana  $4 \times 4$  para el modelo 2D. Sobre esta base, podemos aplicar el procedimiento descrito anteriormente, permitiendo una linealización local de Roe y expresando las contribuciones que llegan a la celda como una suma de ondas. Para garantizar la conservación y los valores limitados en la concentración final de soluto, incluso en casos extremos, se ha implementado en HydroBID Flood una redistribución conservativa de los flujos máximos de soluto, como la propuesta en (?).

De acuerdo con (?), una vez que la parte hidrodinámica está adecuadamente formulada, se usa un flujo numérico simple  $q^\downarrow$ , directamente relacionado con la linealización de Roe, el cuál es capaz de desacoplar completamente el transporte de solutos del sistema hidrodinámico en una forma conservativa. Por lo tanto,

$$q_k^\downarrow = q_i + \sum_{m=1}^3 (\tilde{\lambda}^- \tilde{\gamma} \tilde{e}_1)_k^m \quad (5.82)$$

donde  $q_i = (h\mathbf{u}\mathbf{n})_i$  y el esquema numérico desacoplado para la ecuación de transporte de solutos se escribe como:

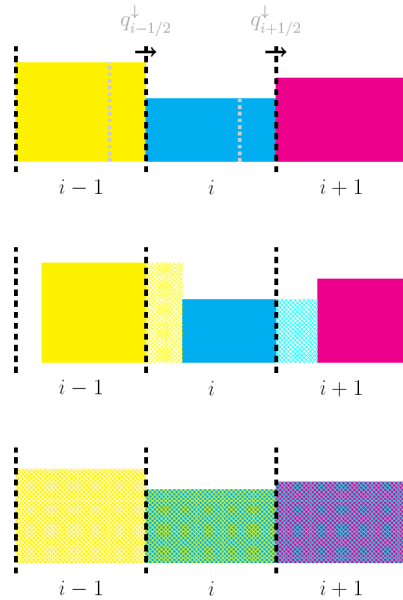
$$(h\phi)_i^{n+1} = (h\phi)_i^n - \frac{\Delta t}{A_i} \sum_{k=1}^{N_E} (q\phi)_k^\downarrow l_k \quad (5.83)$$

donde

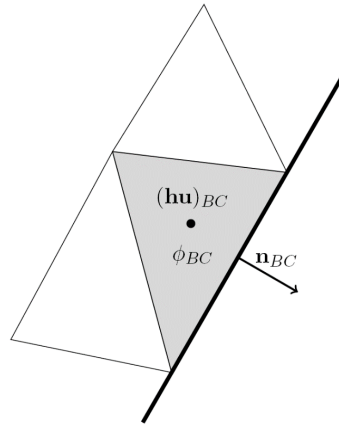
$$\phi_k^\downarrow = \begin{cases} \phi_i & \text{if } q_k^\downarrow > 0 \\ \phi_j & \text{if } q_k^\downarrow < 0 \end{cases} \quad (5.84)$$

en la celda  $i$ . La Figura 5.12 muestra un esquema de los flujos.

Desde un punto de vista físico, la nueva masa de soluto en una celda fija puede ser interpretada como volúmenes de intercambio de agua con una cierta concentración a través de las paredes vecinas y mezclados (método de volúmenes finitos de tipo Godunov) con la antigua masa existente en el tiempo anterior (Figura 5.16). De acuerdo con esta filosofía, las celdas de contorno de salida requerirán un tratamiento especial cuando se aplique esta técnica para poder extraer la correspondiente masa de soluto a través de las paredes de contorno. Por esta razón, resulta necesario definir  $q^\downarrow = (h\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})_{BC}$  y  $\phi^\downarrow = \phi_{BC}$  en la pared de contorno e incluir esta contribución para la actualización de la celda de contorno BC (ver Figura 5.17).



**Figura 5.16** – Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas.

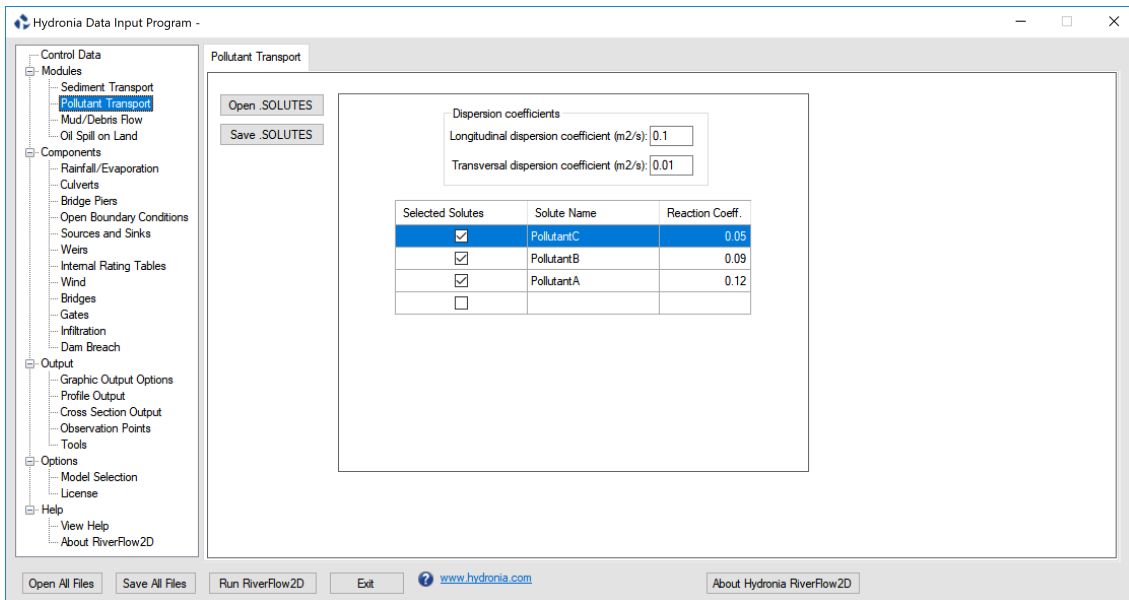


**Figura 5.17** – Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida.

Como se muestra, la formulación se reduce a calcular una clase de flujo numérico  $q^\downarrow$  usando los valores promedio ya calculados en cada pared para la parte hidrodinámica. Aparte de asegurar una conservación perfecta y soluciones limitadas no oscilatorias (Murillo et al, 2012), esta discretización simple reduce sustancialmente el número de cálculos que serían necesarios para el sistema acoplado completo.

### 5.4.3 Introduciendo los datos para el modelos de transporte de contaminantes

Para introducir los datos para una simulación con transporte de contaminantes, el usuario deberá emplear el panel *Pollutant Transport* en el diálogo *Global Parameters*, accesible desde el menú de HydroBID Flood. El usuario también deberá asegurarse de que la casilla *Pollutant Transport* está activa en el panel *Datos de Control*.



**Figura 5.18** – Pestaña *Pollutant Transport* de HydroBID Flood.

#### 5.4.4 Suposiciones del modelo de transporte de contaminantes

Las principales suposiciones realizadas en la versión actual de HydroBID Flood son las siguientes:

1. No hay un límite predeterminado en el número de contaminantes.
2. La interacción entre solutos y entre cada soluto y el agua se supone que son reacciones de primer orden.
3. En todos los contornos de entrada en donde se imponga tanto el caudal como la elevación del nivel de agua se tiene que proveer una serie temporal de concentración para cada contaminante.

## 6 - Paralelización del código

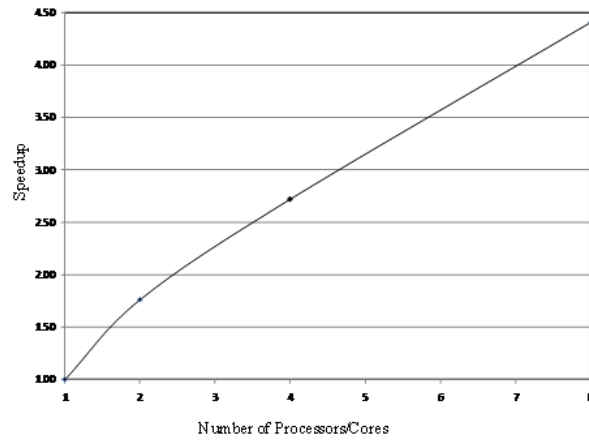
### 6.1 HydroBID Flood CPU

El código de HydroBID Flood ha sido paralelizado usando las directivas OpenMP disponibles en el compilador C++ de Intel, versión 13.0. La interfaz de programación de aplicaciones (API) OpenMP soporta programación en paralelo multi-plataforma con memoria compartida en C/C++ y Fortran en arquitecturas Mac OS, Unix y Windows (OpenMP, 2009). OpenMP proporciona instrucciones para paralelizar códigos existentes en serie para correr en plataformas de memoria compartida, para aplicaciones desde ordenadores multi-núcleo hasta superordenadores. Usando esta paralelización, HydroBID Flood distribuye dinámicamente la carga de trabajo computacional entre tantos procesadores o núcleos como haya disponibles. De este modo, el modelo optimiza los cálculos para la arquitectura particular de cada ordenador.

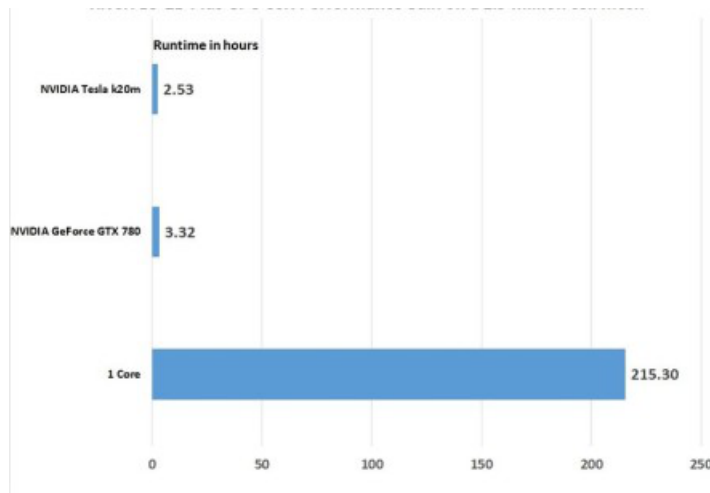
La Figura 6.1 muestra la ganancia (speed up) del modelo con respecto al número de procesadores/núcleos en un ordenador DELL Precision 7400 con 2 Intel Xeon CPU X5472 @3.00GHz y 16GB de RAM. Con 8 núcleos, el modelo corre más de 4 veces más rápido que el modelo no paralelizado. Una simulación de una hora cuesta aproximadamente 6 minutos usando el modelo paralelizado en este ordenador particular.

### 6.2 HydroBID Flood GPU

La versión GPU del modelo HydroBID Flood ofrece ganancias sorprendentes que reducen considerablemente el tiempo computacional. HydroBID Flood GPU implementa dos estrategias: Paralelización con OpenMP y técnicas GPU. Dado que, al considerar flujos transitorios de inundación, el número de elementos mojados cambia durante la simulación, se ha incluido en la implementación OpenMP una asignación dinámica a los procesadores que garantiza una carga de trabajo bien repartida. El método estricto de HydroBID Flood para controlar la conservación del volumen (errores del orden de  $10^{-14}$  %) en la modelación numérica de los frentes de seco/mojado incluye un paso de corrección que no es completamente local y que requiere un manejo especial para evitar comprometer la eficiencia del modelo. La versión GPU reduce el tiempo computacional hasta 700 veces cuando se compara con la versión CPU no paralelizada (1 núcleo). La Figura 6.2 muestra los tests de eficiencia usando tecnología reciente de hardware GPU, que demuestran que las técnicas de paralelización implementadas en HydroBID Flood GPU pueden reducir sensiblemente el tiempo computacional.



**Figura 6.1** – Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de HydroBID Flood como una función del número de núcleos del procesador.



**Figura 6.2** – Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de HydroBID Flood en función del número de núcleos del procesador.



## 7 - Componentes hidráulicos e hidrológicos

Los componentes de HydroBID Flood son condiciones de contorno internas que pueden ser usadas para complementar los cálculos que no pueden ser directamente gestionados mediante las ecuaciones 2D del flujo. Los componentes pueden ser especificados como polígonos, polilíneas o puntos, dependiendo de los datos requeridos.

Los siguientes componentes hidrológicos se configuran sobre polígonos:

- **Lluvia y evaporación:** se tiene en cuenta la lluvia y la evaporación espacialmente distribuida.
- **Infiltración:** se consideran las pérdidas por infiltración.
- **Viento:** permita incorporar el efecto del esfuerzo del viento sobre la superficie del agua espacialmente distribuido.

Los siguientes componentes hidráulicos se configuran sobre poli-líneas:

- **Puentes:** se consideran puentes de geometría general incluyendo flujo a presión y *overtopping*.
- **Tablas de gasto internas:** proporciona una relación interna de nivel de agua y caudal .
- **Compuertas:** se usan para representar estructuras de tipo compuerta.
- **Vertederos:** representan estructuras crestadas como presas, diques, barreras de sonido, etc., donde existe una única relación entre el caudal y la profundidad.

Los componentes hidráulicos que se configuran en puntos son:

- **Pilas de puente:** tienen en cuenta las fuerzas de rozamiento con el pilar del puente en una formulación simplificada.
- **Alcantarillas:** conductos de transporte unidimensionales donde la descarga puede calcularse usando ecuaciones para estructuras circulares o de caja, y tablas de clasificación.
- **Fuentes y sumideros:** proporcionan un medio puntual de entrada o salida que puede variar en el tiempo.

### 7.1 Componente de puentes

HydroBID Flood proporciona varias opciones para integrar la hidráulica de puente en los cálculos bidimensionales. La opción más común es la de crear la geometría en planta de los pilares generando una malla 2D de celdas triangulares que represente cada pilar como un obstáculo sólido. En ese caso, el modelo calculará el flujo alrededor del pilar y tendrá en cuenta el rozamiento con el mismo. Esta sería la opción preferida cuando el usuario necesite conocer detalladamente el flujo alrededor de los pilares, pero no tiene en cuenta la presurización del flujo ni las condiciones de *overtopping*. En esta opción, la malla resultante alrededor de los pilares normalmente tiene celdas muy pequeñas que pueden suponer un incremento en el tiempo de computación.

La componente de *puentes* es una herramienta exhaustiva de cálculo de la hidráulica de puentes que no requiere la captura de la geometría en planta de los pilares del puente. Por lo tanto, permite pasos de tiempo más largos, a la vez que permite resolver la hidráulica del puente teniendo en cuenta un alineamiento arbitrario en planta, una geometría compleja

del puente, flujo en superficie libre, flujo presurizado, *overtopping*, combinación de flujo a presión con *overtopping*, y sumersión, todo en 2D.

Esta componente requiere de la definición del alineamiento del puente en planta y la geometría transversal del mismo. El alineamiento del puente se proporciona en el archivo .BRIDGES el cual es generado por HydroBID Flood basándose en los datos proporcionados por el usuario en el Programa de Entrada de Datos de Hydronia. Para realizar una simulación con la componente de puentes, el usuario deberá seleccionar la opción en el panel *Datos de Control*, tal como se muestra en la Figura 7.1.

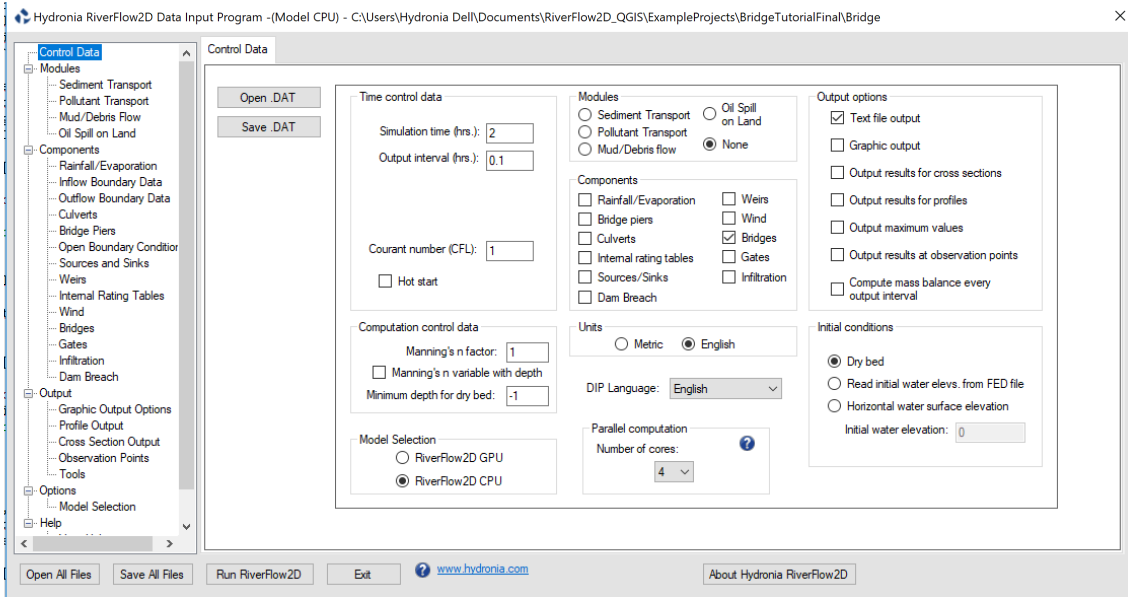


Figura 7.1 – Panel *Datos de Control* de HydroBID Flood con la componente de puentes seleccionada.

Los datos en planta del puente son introducidos en la capa *Bridges* de HydroBID Flood. En la sección *Simulando Puentes* del documento de Tutoriales se demuestra como incorporar puentes.

No hay límite en el número de puentes que se pueden modelar.

### 7.1.1 Archivo de datos con la geometría del puente

El archivo con la geometría de la sección transversal del puente es necesario para definir el puente como se indica a continuación:

línea 1: Número de puntos que definen las polilíneas.

**NP**

NP líneas con los siguientes datos:

**STATION(1) BEDELEV(1) ZLOWER(1) LOWCHORD(1) DECKELEV(1)**

...

**STATION(NP) BEDELEV(NP) ZLOWER(NP) LOWCHORD(NP) DECKELEV(NP) .**

La relación entre las cuatro polilíneas ha de ser la siguiente:

- **Para todas las estaciones, STATION(I) ≤ STATION(I+1)**
- **BEDELEV ≤ ZLOWER ≤ LOWCHORD ≤ DECKELEV**

- Para una línea dada, todas las elevaciones corresponden la misma estación.
- El espacio entre BEDELEV y ZLOWER queda bloqueado al flujo.
- El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD está abierto al flujo.
- El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV queda bloqueado al flujo.

### 7.1.1.1 Ejemplo de archivo de sección transversal del puente

La siguiente tabla es un ejemplo de archivo de geometría que representa esquemáticamente el puente en 7.2.

Station	BedElev	ZLower	LowChord	DeckElev
0.00	142.00	142.00	142.00	142.00
96.68	125.72	125.72	125.85	142.00
193.37	123.03	123.03	123.32	142.00
290.05	119.86	119.86	120.79	142.00
386.74	110.37	110.37	120.79	142.00
483.42	109.00	109.00	120.79	142.00
580.10	107.58	107.58	120.79	142.00
676.79	106.35	106.35	120.79	142.00
750.00	106.30	106.30	120.79	142.00
750.00	106.30	106.30	106.44	142.00
780.00	106.30	106.30	106.55	142.00
780.00	106.30	106.30	120.79	142.00
870.16	105.18	105.18	120.79	142.00
966.84	106.77	106.77	120.79	142.00
1063.52	107.30	107.30	120.79	142.00
1160.21	116.47	116.47	120.79	142.00
1256.89	116.02	116.02	120.79	142.00
1353.58	116.09	116.09	120.79	142.00
1450.26	119.61	119.61	120.79	142.00
1546.94	121.24	120.92	120.79	142.00
1643.63	124.74	124.74	124.67	142.00
1644.00	142.00	142.00	142.00	142.00

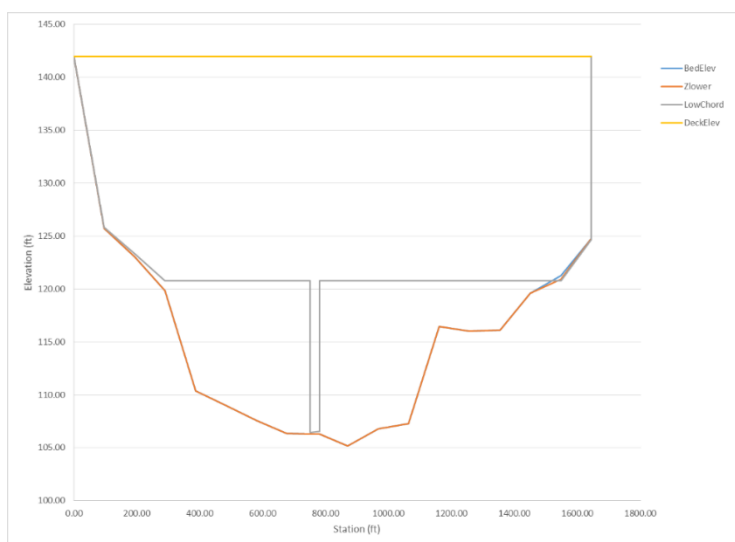


Figura 7.2 – Vista frontal de la sección transversal del un puente.

**Cuadro 7.1** – Descripción de las variables para el archivo de geomtría de la sección transversal del puente.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
BEDELEV	R	-	m ó ft	Elevación del fondo. Tiene que ser la elevación más baja para todas las polilíneas en un punto dado.
DECKELEV	R	-	m ó ft	Elevación del tablero del puente. Tiene que ser la elevación más alta de todas las polilíneas en un punto dado.
LOWCHORD	R	-	m ó ft	Elevación inferior del tablero del puente. LOWCHORD tiene que ser mayor o igual que ZLOWER y más pequeño o igual que DECKELEV para un punto particular. El espacio entre LOWCHORD y DECELEV es una área bloqueada al flujo.
NP	I	-	> 1	Número de puntos que definen las polilíneas de la sección transversal.
STATION	R	-	m ó ft	Distancia desde el punto situado más a la izquierda de los que definen la polilínea de la sección transversal. Todos los puntos de polilíneas tienen que tener una estación común.
ZLOWER	R	-	m ó ft	Elevación de la polilínea más baja. ZLOWER ha de ser mayor o igual que BEDELEV y más pequeño o igual que LOWCHORD para un punto dado. El espacio entre BEDELEV y ZLOWER es una área bloqueada al flujo. El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD es un espacio abierto. Si el puente no tiene agujeros, ZLOWER tiene que ser idéntico a BEDELEV.

NotA: R = Variable real. I = Variable entera. S = Variable de texto.

## 7.1.2 Cálculos del puente

Para modelar puentes, el término fuente en la ecuación dinámica se divide en tres términos  $\mathbf{S} = \mathbf{S}_z + \mathbf{S}_f + \mathbf{S}_b$ . El término  $\mathbf{S}_z$ , definido como

$$\mathbf{S}_z = \left( 0, -gh \frac{\partial z}{\partial x}, -gh \frac{\partial z}{\partial y} \right)^T \quad (7.1)$$

expresa la variación de la fuerza de presión a lo largo del fondo en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente, formulada en términos de las pendientes del fondo  $z$ . El término  $\mathbf{S}_f$

$$\mathbf{S}_f = \left( 0, -\frac{\tau_{f,x}}{\rho}, -\frac{\tau_{f,y}}{\rho} \right)^T \quad (7.2)$$

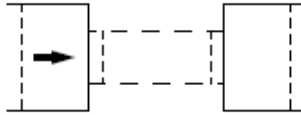
está relacionado con el esfuerzo de corte del fondo  $\tau_{f,x}, \tau_{f,y}$  en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente, siendo  $\rho$  la densidad del fluido.

El último término,  $S_b$ , se refiere a las pérdidas locales de energía debidas a otros procesos,

$$S_b = (0, -ghS_{b,x}, -ghS_{b,y})^T \quad (7.3)$$

y será usado para representar los puentes.

La descripción de las pérdidas de energía por el término de fricción asociado al esfuerzo de fondo en la ecuación (7.2) se formula comúnmente como una extensión de la formulación 1D. La misma aproximación se aplica en HydroBID Flood derivando relaciones de cierre 1D para la definición del término fuente de puentes. Conviene mencionar que aunque los términos  $S_{b,x}$  y  $S_{b,y}$  representan pérdidas energéticas en la presencia de puentes, también pueden actuar como sumideros de cantidad de movimiento. Los modelos empíricos para las pérdidas energéticas debidas al puente se describen a continuación:



**Figura 7.3** – Visión en planta de un puente mostrando la sección transversal de interés. Por simplicidad, solamente se muestran dos pilares.

### 7.1.2.1 Disipación de energía en puentes

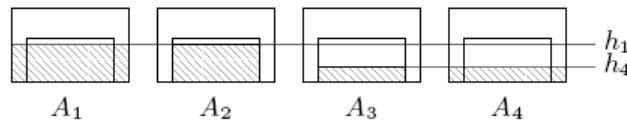
La formulación de Borda-Carnot para pérdidas de energía en contracciones o expansiones repentinas en tuberías también puede ser usada en canales (Ratia, Murillo & García-Navarro 2014). Esto a su vez puede modelar puentes con superficie de agua libre. La pérdida de energía es expresada en términos de la altura de presión total disponible,  $\Delta H_{BC}$ , y representa la energía mecánica total del flujo. En un marco 1D, la pérdida de altura de presión  $\Delta H_{BC}$  se expresa como sigue

$$\Delta H_{BC} = (\Delta H_c + \Delta H_e) \quad (7.4)$$

donde  $\Delta H_c$  y  $\Delta H_e$  son las pérdidas de contracción y expansión, respectivamente

$$\begin{aligned} \Delta H_c &= \frac{\bar{v}_1^2}{2g} \left[ \left( \frac{1}{m} - 1 \right)^2 + \frac{1}{9} \right] \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \\ \Delta H_e &= \frac{\bar{v}_4^2}{2g} \left[ \left( \frac{A_4}{A_3} - 1 \right)^2 + \frac{1}{9} \right] \end{aligned} \quad (7.5)$$

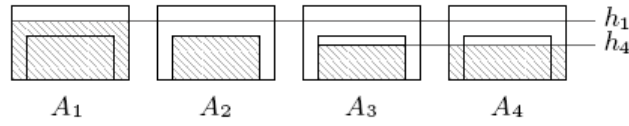
donde  $m$  es un valor típico para el coeficiente de contracción,  $m = 0,62$  (Ratia et al. 2014) y las áreas  $A_1$  a  $A_4$  se refieren a las áreas de las secciones transversales efectivas del flujo. La numeración de las áreas se muestra en las Figuras 7.3. El área 1 es una sección aguas arriba del puente y el área 4 una sección aguas abajo. Las áreas 2 y 3 son secciones interiores al puente, cerca de la entrada y la salida, respectivamente.



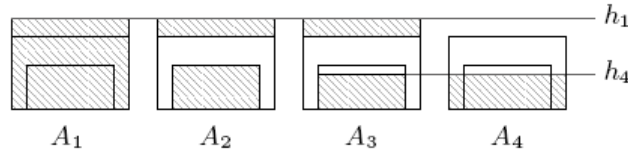
**Figura 7.4** – Ejemplo simple de  $A_1, A_2, A_3$  y  $A_4$  empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes de superficie libre.

Los valores de  $\bar{v}_1$  y  $\bar{v}_4$  son las velocidades promedio en las sección transversal

$$\bar{v}_1 = \frac{Q_1}{A_1(d_1)}, \quad \bar{v}_4 = \frac{Q_4}{A_4(d_4)} \quad (7.6)$$



**Figura 7.5** – Ejemplo simple de  $A_1, A_2, A_3$  y  $A_4$  empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes parcialmente sumergidos.



**Figura 7.6** – Ejemplo simple de  $A_1, A_2, A_3$  y  $A_4$  empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes completamente sumergidos.

con  $Q_1$  y  $Q_4$  los caudales totales en las áreas  $A_1$  y  $A_4$ , expresados como una función de la elevación de la superficie del agua,  $d = h + z$ . Se pueden describir diferentes regímenes. La Figura 7.4 muestra un esquema de las áreas consideradas en el caso de superficie libre, la Figura 7.5 muestra las áreas equivalente para puentes parcialmente sumergidos y la Figura 7.6 para puentes completamente sumergidos.

### 7.1.2.2 Integración de las pérdidas energéticas asociadas a los puentes

La formulación unificada de los términos fuente contabilizando las pérdidas energéticas asociadas a los puentes también garantizan la propiedad *well-balanced* en casos estacionarios con velocidad. Para ello, resulta necesario definir  $S_{nb}$  en la pared del RP donde está el puente. El termino fuente  $S_{nb}$  se formula como

$$(\mathbf{S}_{nb})_k = \begin{pmatrix} 0 \\ -\tilde{g}\tilde{h} \delta H n_x \\ -\tilde{g}\tilde{h} \delta H n_y \end{pmatrix}_k \quad (7.7)$$

con

$$\delta H = \Delta H \frac{\tilde{\mathbf{u}}\mathbf{n}}{|\tilde{\mathbf{u}} \cdot \mathbf{n}|} \quad (7.8)$$

donde  $\Delta H$  es el término de pérdida singular usado para representar puentes.

El cálculo de  $\Delta H$  en una malla real se realiza como se explica a continuación. El puente se define en las paredes de las celdas (línea remarcada en la Figura 7.7), y las celdas a ambos lados de estos ejes son consideradas para formar parte de dos secciones transversales  $\Gamma_L$  y  $\Gamma_R$  (celdas con líneas en la Figura 7.7). Cabe destacar que es posible definir puentes en orientaciones arbitrarias y en mallas estructuras o no estructuradas.

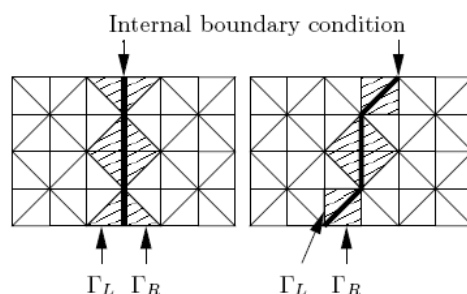
En cada paso de tiempo, las variables necesarias para el calculo de la pérdida global de altura de presión son promediadas a partir de los valores en las celdas correspondientes a las secciones aguas arriba y aguas abajo, tal como se muestra en la Figura 7.7. El caudal se calcula como

$$Q_{\Gamma_L} = \sum_{k \in \Gamma_L} (\mathbf{qn})_k l_k \quad Q_{\Gamma_R} = \sum_{k \in \Gamma_R} (\mathbf{qn})_k l_k \quad (7.9)$$

y el nivel de agua promediado en la sección transversal se estima como

$$d_{\Gamma_L} = \frac{\sum_{k \in \Gamma_L} d_k l_k}{\sum_{k \in \Gamma_L} l_k} \quad d_{\Gamma_R} = \frac{\sum_{k \in \Gamma_R} d_k l_k}{\sum_{k \in \Gamma_R} l_k} \quad (7.10)$$

teniendo en cuenta las celdas con  $h > 0$ . Los signos de  $Q_{\Gamma_L}$  y  $Q_{\Gamma_R}$  son usados para determinar qué sección está aguas arriba y cuál agua abajo. Si  $Q_{\Gamma_L} \geq 0$ , el caudal a través del puente se calcula como  $Q = Q_{\Gamma_L}$  y las áreas se calculan

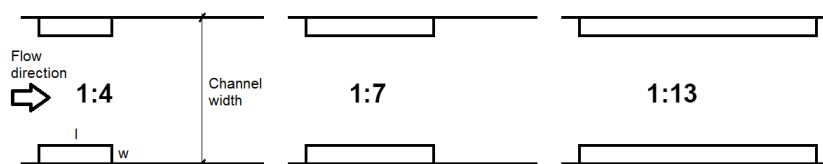


**Figura 7.7** – Aplicación del esquema en mallas de celdas triangulares. Puente perpendicular (izquierda) y oblicuo (derecha).

usando  $d_1 = d_{\Gamma_L}$  y  $d_4 = d_{\Gamma_R}$ . En caso de que  $Q_{\Gamma_L} < 0$ , el caudal a través del puente se calcula como  $Q = Q_{\Gamma_R}$  y las secciones se invierten, de forma que  $d_1 = d_{\Gamma_R}$  y  $d_4 = d_{\Gamma_L}$ . A continuación, las diferentes áreas y la anchura superior de la sección transversal son calculados como una función del nivel de agua promedio. Mediante esos valores, la pérdida de altura de presión total  $\Delta_H$  puede ser evaluada.

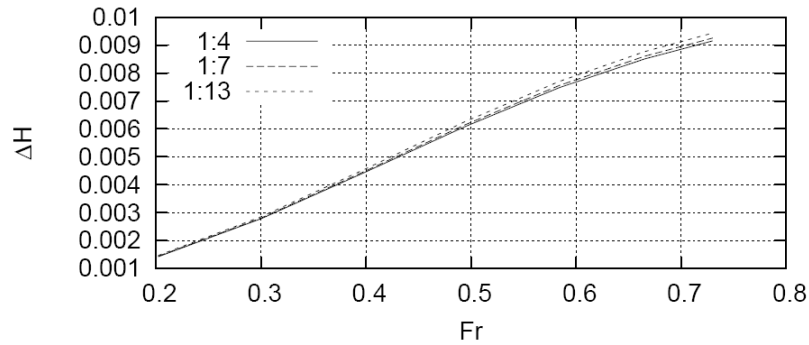
### 7.1.2.3 Influencia de la anchura del puente

El algoritmo de computación usado en el componente de puentes desprecia el efecto de la anchura de la estructura (distancia perpendicular al alineamiento del puente) en la altura de presión. De acuerdo con (Yarnell 1934b) y (Yarnell 1934a), la anchura del puente tiene una pequeña influencia en las variables del flujo como la elevación de la superficie del agua y le pérdida de energía. Yarnell realizó experimentos en un canal de laboratorio con puentes con pilares rectangulares con ratios anchura:longitud de 1:4, 1:7 y 1:13, donde  $w$  es la dimensión del pilar perpendicular a la dirección del flujo y  $l$  la longitud del pilar paralela al flujo. Yarnell se percató de que la pérdida de energía se incrementaba menos de un 10 % para la configuración con los pilares más largos. (Ratia et al. 2014) realizó simulaciones numéricas para confirmar los experimentos de Yarnell usando pilares con los mismos cocientes de anchura:longitud y con un amplio rango de caudales (ver Figura 7.8).



**Figura 7.8** – Proporciones de las pilas de los puentes usadas para estudiar la influencia de la anchura de la estructura.

Los resultados numéricos indican que los cambios en la altura de presión total a través de la estructura son muy similares para las tres configuraciones (ver Figura 7.9).

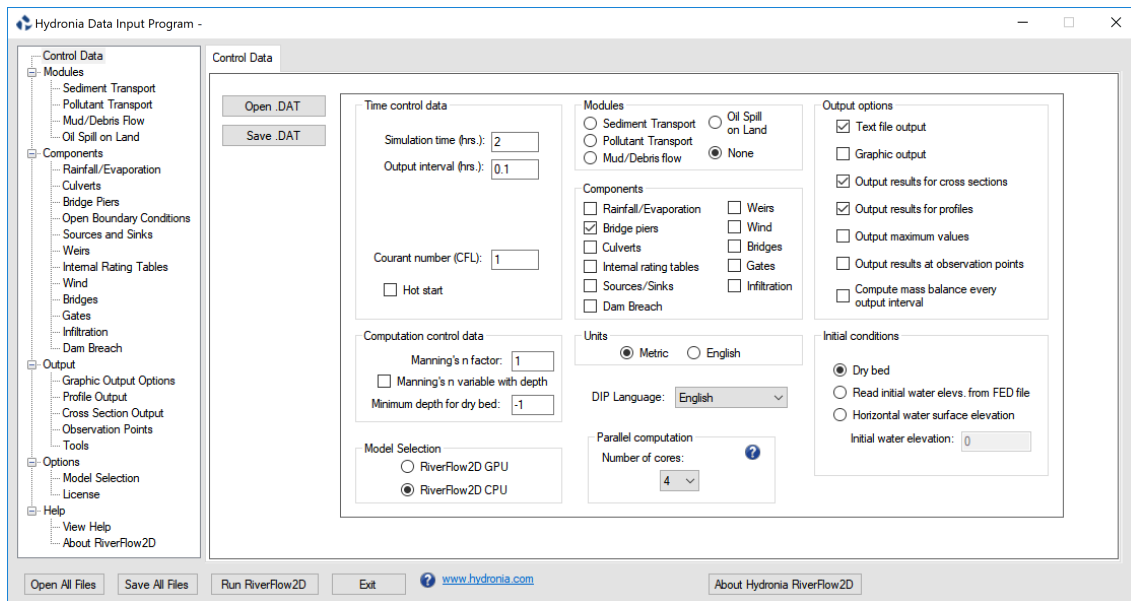


**Figura 7.9** – Influencia de la anchura de la estructura en el cambio de la altura de presión total ( $\Delta H$ ) a través del puente como una función del número de Froude aguas abajo.

## 7.2 Pilares de puentes

La componente de pilares de puentes (Bridge piers) permite tener en cuenta las pérdidas generadas en el flujo por los pilares de una forma simplificada, sin requerir una malla refinada alrededor de la geometría de los mismos.

Para realizar una simulación con la componente de pilares de puentes, el usuario deberá seleccionar la opción en el panel *Datos de Control* del Programa de Entrada de Datos de Hydronia tal como se muestra en la Figura 7.10.



**Figura 7.10** – Diálogo *Control Panel* de HydroBID Flood con la componente de pilares de puentes seleccionada.

Los datos de los pilares de puentes se introducen en la capa *Piers* de HydroBID Floodqgis.

No hay límite en el número de pilares de puente que se pueden modelar.

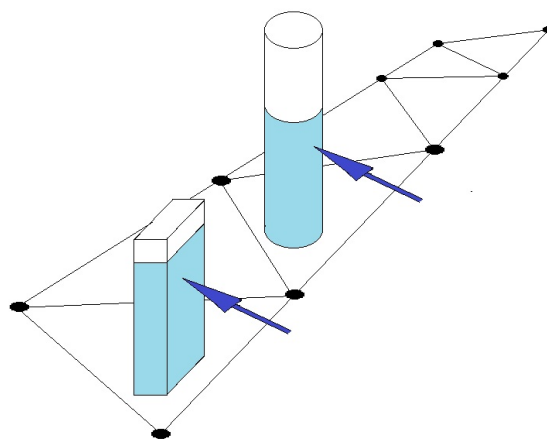


## 7.2.1 Cálculos de los pilares de puente

La componente de pilares de puente puede ser usada cuando el área en planta del pilar es pequeña en comparación con el área de los elementos y no existe necesidad de determinar los detalles del flujo alrededor de la estructura. En este componente, el modelo calcula la fuerza de arrastre en cada pilar como una función del coeficiente de arrastre, la densidad del agua, la velocidad del flujo y el área proyectada de la parte mojada del pilar, como se muestra en la ecuación (7.11):

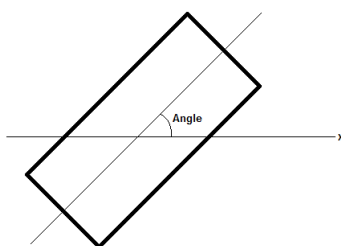
$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A_P \quad (7.11)$$

donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre del pilar,  $\rho$  es la densidad del agua,  $U$  es la velocidad del agua y  $A_P$  es el área mojada del pilar proyectada en la dirección normal al flujo. Se supone que los pilares están ubicados en elementos que no necesariamente se ajustan a la geometría de los mismos, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 7.11** – Pilares en el interior de las celdas.

Los pilares pueden ser circulares o rectangulares en el plano. Los pilares rectangulares están localizados en elementos basados en las coordenadas del centro del pilar y el ángulo entre el eje a lo largo de la dimensión más larga y el eje X, tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 7.12** – Vista esquemática de un pilar rectangular.

La magnitud del vector de velocidad y el ángulo de aproximación generalmente varían en el tiempo durante los cálculos de flujo inestable y se usan para calcular el área proyectada. Para tener en cuenta la fuerza de resistencia que el pilar ejerce sobre el flujo, HydroBID Flood la convierte en el esfuerzo distribuido de corte en el elemento donde el centroide del pilar se encuentra localizado. Las expresiones resultantes para el esfuerzo de corte del pilar en las direcciones X e Y son las siguientes:

$$\tau_{px} = \frac{1}{2} C_D \rho U \sqrt{U^2 + V^2} \frac{A_P}{A_e} \quad (7.12)$$

$$\tau_{py} = \frac{1}{2} C_D \rho V \sqrt{U^2 + V^2} \frac{A_P}{A_e} \quad (7.13)$$

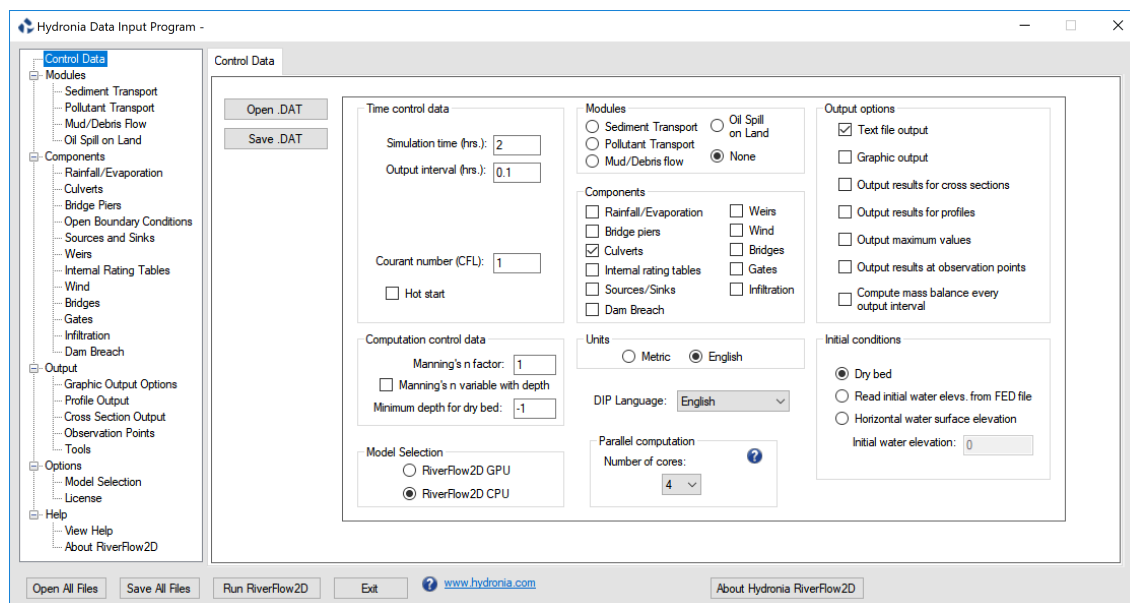
donde  $A_e$  es el área del elemento.

Para ingresar pilares circulares, se utiliza el mismo ancho que largo y un coeficiente de desgarga correspondiente a sección circular.

## 7.3 Componente de alcantarillas

La componente de alcantarillas en HydroBID Flood permite incorporar estructuras hidráulicas 1D que conducen el agua entre dos localizaciones en la malla o entre un punto de de la malla y otro exterior.

Para realizar una simulación con la componente de alcantarillas, el usuario debe seleccionar la opción en el panel *Datos de Control* del Programa de Entrada de Datos de Hydronia, tal como se muestra en la Figura 7.13.



**Figura 7.13** – Diálogo *Global Parameters* de HydroBID Flood con la componente de alcantarillas seleccionada.

Hay dos opciones en HydroBID Flood para calcular el caudal en la alcantarilla. Cuando el usuario selecciona el cálculo mediante una tabla de distribución de caudal/nivel (*Rating Table*) y la proporciona en un archivo asociado, el modelo determina el caudal mediante interpolación como una función de la profundidad aguas arriba. Si el usuario selecciona el cálculo en la alcantarilla empleando las características de la misma, el modelo calculará el caudal basándose en las características geométricas de la alcantarilla especificadas en el archivo. Ambos procedimientos son descritos con más detalle a continuación.

No hay límite en el número de alcantarillas que se pueden introducir en el modelo.

### 7.3.1 Cálculo de alcantarillas usando una tabla de gastos o *rating table* (CulvertType = 0)

Cuando el usuario proporciona una tabla de gastos *rating table*, el algoritmo de cálculo de la alcantarilla es el siguiente:

1. Si al menos uno de los finales de alcantarilla está mojado, se determina la dirección del flujo basándose en los niveles de agua en cada final de alcantarilla.
2. Se interpola el caudal a partir de la tabla de gastos usando la profundidad en la entrada de la alcantarilla.
3. Si la profundidad a la entrada de la alcantarilla es menor que el valor mínimo en la tabla de gastos, el caudal se tomará como cero.
4. Si la profundidad a la entrada es más alto que el valor máximo en la tabla de gastos, el caudal se supondrá igual que el correspondiente a la profundidad máxima.
5. El caudal calculado se sustraerá del elemento de entrada y se añadirá al elemento de salida, suponiendo una transmisión instantánea del volumen de agua.

### 7.3.2 Cálculo de alcantarillas usando sus características geométricas (CulvertType = 1,2)

Para los tipos CulvertType 1 y 2, el modelo calculará el caudal en la alcantarilla para el control de entrada y salida usando el procedimiento FHWA (Norman et al. 1985). Posteriormente, Froehlich (2003) re-estableció el algoritmo en forma adimensional. La fórmula resultante se expresa de la siguiente manera:

$$Q = N_b C_c A_c \sqrt{2gH_c} \quad (7.14)$$

donde  $N_b$  es el número de conductos idénticos,  $C_c$  es un coeficiente de descarga que depende del control del flujo y las características de la geometría de la alcantarilla,  $A_c$  es el área de la alcantarilla con sección completa,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $H_c = WSEL_h - Z_{bi}$  para el control de entrada y  $H_c = WSEL_h - WSE_{tw}$  para el control de salida,  $WSEL_h$  es el nivel de agua a la entrada de la alcantarilla,  $Z_{bi}$  es la cota de entrada de la alcantarilla,  $WSE_{tw}$  es el nivel de agua aguas abajo (tailwater). Para el cálculo del control de entrada,

$$C_c = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{1 - \frac{D_c}{H_h} (Y + mS_0)}{2c'}} \\ \frac{1}{\sqrt{2K'(1/M)}} \left( \frac{H_h}{D_c} \right)^{\left( \frac{1}{M} - 0,5 \right)} \end{array} \right. \quad (7.15)$$

donde  $H_h = WSEL_h - Z_{bi}$  es la profundidad en la entrada.  $D_c$  es el diámetro de la alcantarilla para geometrías circulares y la dimensión de la altura para geometrías rectangulares,  $m = 0,7$  para entradas ingleteadas y  $m = -0,5$  para todas las otras entradas. Para el control de salida, se usa la siguiente fórmula para determinar  $C_c$ :

$$C_c = \left( 1 + K_e + \frac{2gn_c^2 L_c}{R_c^{4/3}} \right)^{-0,5} \quad (7.16)$$

donde  $R_c$  es el radio hidráulico de la alcantarilla,  $K_e$  es el coeficiente de pérdidas de la entrada, que puede ser obtenido de la Tabla 7.3,  $n_c$  es el coeficiente  $n$  de Manning, obtenido de la Tabla 7.2,  $L_c$  es la longitud de la alcantarilla y  $Y, K', M, c'$  son los coeficientes de control de entrada (ver Table 7.4).

**Cuadro 7.2** – Coeficientes de rugosidad  $n$  de Manning de varios materiales para la alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003).

MATERIAL DEL CONDUCTO	DESCRIPCIÓN DE LA ENTRADA	$n$ DE MANNING $N_c$
Hormigón	Buenas uniones, paredes pulidas	0.012
	Proyección desde relleno, corte cuadrado	0.015
	Malas uniones, paredes rugosas	0.017
Metal corrugado	2-2/3 pulgadas × corrugaciones de 1/2 pulgadas	0.025
	6 pulgadas × corrugaciones de 1 pulgadas	0.024
	5 pulgadas × corrugaciones de 1 pulgadas	0.026
	3 pulgadas × corrugaciones de 1 pulgadas	0.028
	6 pulgadas × corrugaciones de 2 pulgadas	0.034
	9 pulgadas × corrugaciones de 2-1/2 pulgadas	0.035

**Cuadro 7.3** – Coeficientes de pérdidas en la entrada  $K_e$ . Adaptado de Froehlich (2003).

TIPO DE ALCANTARILLA	DESCRIPCIÓN DE LA ENTRADA*	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN LA ENTRADA $K_e$
Tubería de hormigón	Proyección desde el relleno, extremo ranurado	0.2
	Proyección desde relleno, corte cuadrado	0.5
	Muro de entrada o muro de protección con muros laterales (sacos de arena de hormigón o cemento)	
	Extremo de tubo acanalado	0.2
	Extremo de tubo de corte cuadrado	0.5
	Extremo de tubo redondeado	0.1
	Extremo acodado que se adapta a la pendiente del terraplén	0.7
	Sección final fabricada en metal u hormigón que se adapta a la pendiente del terraplén	
	Sin rejilla	0.5
	Con rejilla	0.7
Tubo de metal corrugado o arco de tubo	Proyección desde el terraplén (sin muro de protección)	0.9
	Muro de protección con o sin paredes laterales (sacos de arena de hormigón o cemento)	0.5
	Extremo acodado que se adapta a la pendiente del terraplén	0.7
	Sección final fabricada en metal u hormigón que se adapta a la pendiente del terraplén	
	Sin rejilla	0.5
	Con rejilla	0.7
Caja de hormigón reforzado	Muro de contención paralelo al terraplén (sin paredes laterales)	
	Borde cuadrado en tres lados	0.5
	Redondeado en tres lados con un radio de 1/12 de la dimensión de la sección transversal del conducto	0.2

Continúa en la próxima página

Cuadro 7.3 – viene de la página anterior

TIPO DE ALCANTARILLA	DESCRIPCIÓN DE LA ENTRADA*	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN LA ENTRADA $K_e$
	Aletas at 30° to 75° to barrel	
	Borde cuadrado en la corona	0.4
	Borde redondeado con radio de 1/12 de la dimensión de la sección transversal	0.2
	Aletas at 10° to 30° to barrel	
	Borde cuadrado en la corona	0.5
	Muros laterales paralelos al terraplén	
	Borde cuadrado en la corona	0.7

\*Ver Tabla 7.5 para las configuraciones de entrada.

**Cuadro 7.4** – Coeficientes de la fórmula del control de entrada a la alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003).

MATERIAL DEL CONDUCTO	SECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA*	K'	M	C'	Y
Hormigón	Circular	Muro; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Muro; borde acanalado	0.2509	2.0000	0.9394	0.7400
Hormigón	Circular	Saliente; borde acanalado	0.1448	2.0000	1.0198	0.6900
Metal cor.	Circular	Muro	0.2509	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Circular	Terminal del conducto chaflanado	0.2112	1.3300	1.4895	0.7500
Metal cor.	Circular	Saliente	0.4593	1.5000	1.7790	0.5400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; biseles a 45°	0.1379	2.5000	0.9651	0.7400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; biseles a 33.7°	0.1379	2.5000	0.7817	0.8300
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 30° y 75°; borde cuadrado	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 90° y 15°; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas a 0°; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200
Hormigón	Rectangular	Aletas a 45°; borde biselado	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 18° y 33.7°; borde biselado	1.5466	0.6670	0.8010	0.8300
Hormigón	Rectangular	Muro; chaflán de 3/4 in	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Muro; Biseles a 45°	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200
Hormigón	Rectangular	Muro; biseles a 33.7°	1.5466	0.6670	0.8107	0.8650
Hormigón	Rectangular	Muro; chaflán de 45° sesgado; 3/4 in	1.6611	0.6670	1.2932	0.7300

Continúa en la próxima página

Componentes hidráulicos e hidrológicos

Cuadro 7.4 – viene de la página anterior

<b>MATERIAL DEL CON-DUCTO</b>	<b>SECCIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA*</b>	<b>K'</b>	<b>M</b>	<b>C'</b>	<b>Y</b>
Hormigón	Rectangular	Muro; chaflán de 30° sesgado; 3/4 in	1.6961	0.6670	1.3672	0.7050
Hormigón	Rectangular	Muro; chaflán de 15° sesgado; 3/4 in	.7343	0.6670	1.4493	0.6800
Hormigón	Rectangular	Muro; 10-45° sesgado; biseles a 45°	1.5848	0.6670	1.0520	0.7500
Hormigón	Rectangular	Aletas no compensadas a 45°;	1.5816	0.6670	1.0906	0.8030
Hormigón	Rectangular	Aletas no compensadas a 18.4°; Chaflán de 3/4 in	1.5689	0.6670	1.1613	0.8060
Hormigón	Rectangular	Aletas no compensadas a 18.4°; 30° sesgado	1.5752	0.6670	1.2418	0.7100
Hormigón	Rectangular	Aletas compensadas a 45°; Tope superior biselado	1.5816	0.6670	0.9715	0.8350
Hormigón	Rectangular	Aletas compensadas a 33.7°; Tope superior biselado	1.5752	0.6670	0.8107	0.8810
Hormigón	Rectangular	Aletas compensadas a 18.4°; Tope superior biselado	1.5689	0.6670	0.7303	0.8870
Metal cor.	Rectangular	Muro	0.2670	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Rectangular	Saliente; pared gruesa	0.3023	1.7500	1.3479	0.6400
Metal cor.	Rectangular	Saliente; pared delgada	0.4593	1.5000	1.5956	0.5700
Hormigón	Circular	Cónica	1.3991	0.5550	0.6305	0.8900
Metal cor.	Circular	Cónica	1.5760	0.6400	0.9297	0.9000
Hormigón	Rectangular	Cónica	1.5116	0.6670	0.5758	0.9700
Hormigón	Circular	Muro; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Muro; borde acanalado	0.2509	2.0000	0.9394	0.7400
Hormigón	Circular	Saliente; borde acanalado	0.1448	2.0000	1.0198	0.6900
Metal cor.	Circular	Muro	0.2509	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Circular	Terminal del conducto chaflanado	0.2112	1.3300	1.4895	0.7500
Metal cor.	Circular	Saliente	0.4593	1.5000	1.7790	0.5400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; biseles a 45°	0.1379	2.5000	0.9651	0.7400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; biseles a 33.7°	0.1379	2.5000	0.7817	0.8300
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 30° y 75°; borde cuadrado	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Aletas; 90° y 15°; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas a 0°; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200

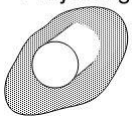
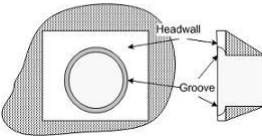
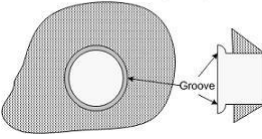
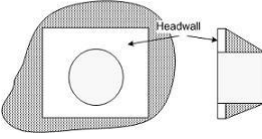
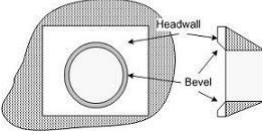
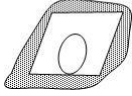
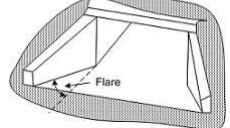
Continúa en la próxima página

Cuadro 7.4 – viene de la página anterior

<b>MATERIAL DEL CON-DUCTO</b>	<b>SECCIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA*</b>	<b>K'</b>	<b>M</b>	<b>C'</b>	<b>Y</b>
Hormigón	Rectangular	Aletas a 45°; borde biselado	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 18° y 33.7°; borde biselado 1.5466	0.6670	0.8010	0.8300	
Hormigón	Rectangular	Muro; Chaflán de 3/4 in	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Muro; biseles a 45°	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200

\*Ver Tabla 7.5 para las configuraciones de entrada.

**Cuadro 7.5** – Configuraciones de entrada a la alcantarilla. Adaptado de [www.xmswiki.com/xms/](http://www.xmswiki.com/xms/).

CONFIGURACIÓN DE LA ENTRADA	DESCRIPCIÓN
<p>Projecting</p> 	Espiga saliente.
<p>Grooved Pipe with Headwalls</p> 	Campana a ras.
<p>Grooved Pipe Projecting</p> 	Campana saliente.
<p>Square Edge with Headwalls</p> 	Campana con bordes cuadrados.
<p>Beveled Edge with Headwalls</p> 	Entrada a ras con bordes biselados.
<p>Mitered</p> 	Chaffanado de acuerdo al talud.
<p>Wingwalls</p> 	Aletas

El algoritmo de cálculo de la alcantarilla funciona de la siguiente manera:

1. Si al menos uno de los finales de alcantarilla está mojado, se determina la dirección del flujo basándose en los niveles de agua en cada final de alcantarilla.
2. Se calcula el caudal en la alcantarilla usando las fórmulas de control de entrada.
3. Se calcula el caudal en la alcantarilla usando las fórmulas de control de salida.
4. Se selecciona el caudal mínimo de los dos caudales anteriores.



5. Si la profundidad a la entrada de la alcantarilla es menor que el valor mínimo en la tabla de gastos, el caudal se tomará como cero.
6. El caudal calculado se sustraerá del elemento de entrada y se añadirá al elemento de salida, suponiendo una transmisión instantánea del volumen de agua.

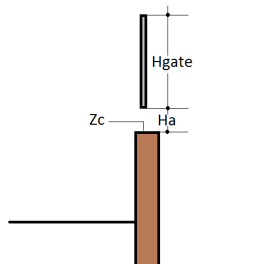
Cuando se usa CulvertType 1 ó 2, ambos finales de la alcantarilla tienen que estar situados en el interior de la malla.

### 7.3.3 Suposiciones de los cálculos de alcantarillas

1. La misma tabla de gasto se usará para interpolar el caudal independientemente de la dirección del flujo. En otras palabras, si el flujo va del elemento A al elemento B en algún momento durante la simulación, la profundidad en A se usará para interpolar el caudal de A a B, pero si en otro tiempo el flujo cambia y va de B a A, el caudal será interpolado usando la profundidad en B.
2. No hay control de salida en el cálculo del caudal mediante una tabla de gasto.
3. Cuando se usan los tipos de alcantarillas (CulvertTypes) 1 y 2, ambos finales de la alcantarilla tienen que estar localizados dentro de la malla. No está permitido extraer flujo del dominio cuando se usan estas opciones.
4. El cálculo del caudal con los tipos de alcantarilla 1 y 2 está disponible solamente para alcantarillas sección transversal circular o rectangular.
5. La entrada a una alcantarilla se considera sumergida cuando la profundidad  $H=1.2D$ , donde  $D$  es el diámetro del la alcantarilla circular o la altura de la alcantarilla rectangular.

## 7.4 Componente de compuertas

La componente de compuertas permite integrar compuertas en el interior de la región modelada. Cada compuerta necesita ser definida en términos de su alineamiento en plano, elevación de la cresta ( $Z_c$ ), altura de la compuerta ( $H_{gate}$ ) y la historia temporal de aperturas ( $H_a$ ) dada como una tabla en un archivo asociado a cada estructura (ver Figura 7.14). La Figura 7.15 muestra los modos de flujo que pueden ser calculados a través de las compuertas, incluyendo las situaciones sumersión y *overtopping*.



**Figura 7.14** – Vista esquemática perpendicular a la estructura de compuerta.

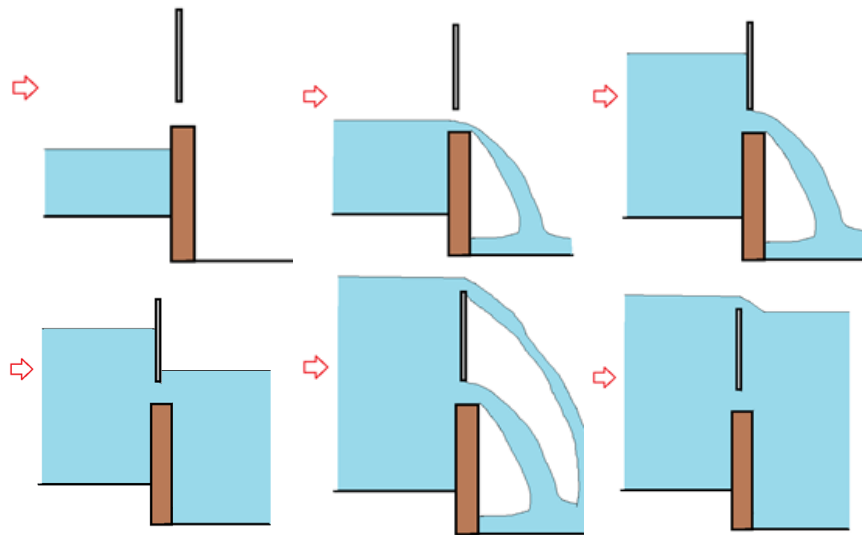


Figura 7.15 – Modos de flujo a través de las compuertas.

Para realizar una simulación con la componente de compuertas, el usuario debe seleccionar la opción en el panel *Datos de Control* del Programa de Entrada de Datos de Hydronia, tal como se muestra en la Figura 7.16.

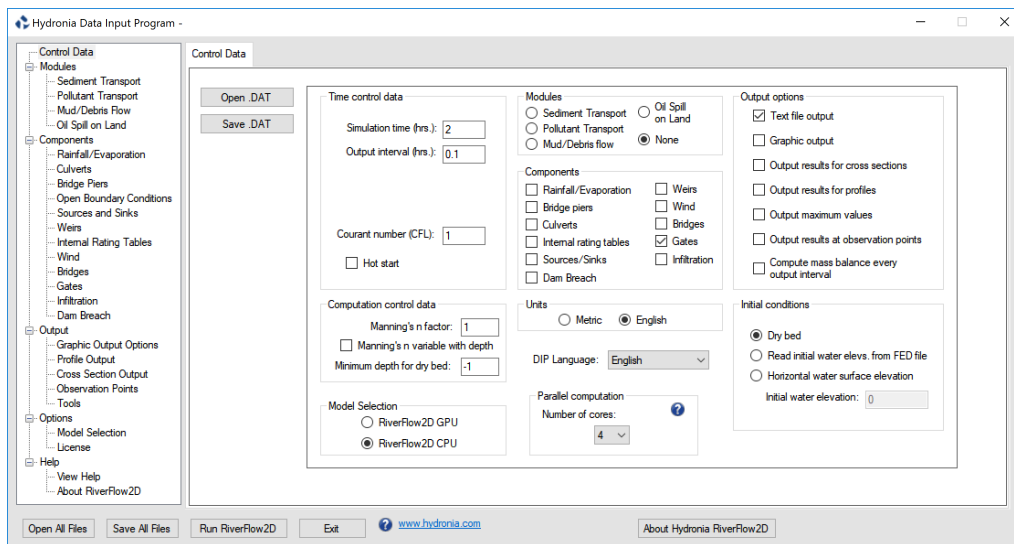


Figura 7.16 – Panel *Datos de Control* de HydroBID Flood con la componente de compuertas seleccionada.

Los datos en plano de la compuerta se introducen en la capa *Gates* de HydroBID Flood.

No hay límite en el número de compuertas que se pueden incluir en la simulación.

## 7.4.1 Cálculos de compuertas

La compuerta es simulada suponiendo que el caudal por unidad de ancho  $q$  a través de la misma está gobernado por la diferencia entre el nivel de agua ( $d = h + z$ ) a ambos lados de la compuerta, refiriéndonos a él como  $d_l$  aguas arriba de la compuerta y  $d_r$  aguas abajo, y por la apertura permitida de la compuerta,  $G_o$ . Se han previsto varias situaciones. En el caso de que  $G_o = 0$ , la compuerta se comporta como una pared sólida y no existe flujo a través de la misma. Cuando la apertura de la compuerta es mayor que el nivel de agua a ambos lados, no supone una influencia para el flujo. En cualquier otro caso, suponiendo que  $d_l < d_r$ , sin pérdida de generalidad, se pueden dar dos situaciones diferentes de flujo, dependiendo de los valores relativos de  $G_o$ ,  $z_l$ ,  $z_r$ ,  $d_l$  y  $d_r$ . Cuando  $G_o + \max(z_l, z_r) < \min(d_l, d_r)$ , Figura 7.17, el caudal viene dado por

$$q = G_o K_1 (d_r - d_l)^{1/2} \quad (7.17)$$

con  $K_1$  un coeficiente de pérdidas energéticas. En HydroBID Flood,  $K_1=3.33$  (Henderson 1966).

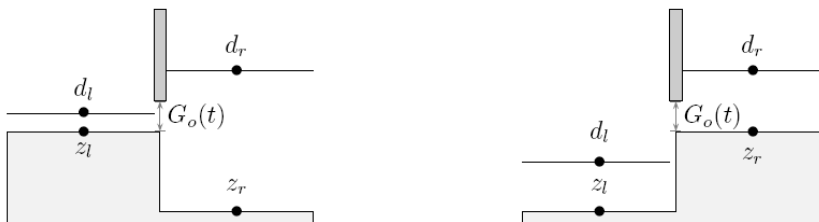
Cuando  $G_o + \max(z_l, z_r) > \min(d_l, d_r)$ , Figura 7.18, el caudal viene dado por

$$q = G_o K_2 [d_r - \max(z_l, z_r)]^{1/2} \quad (7.18)$$

con  $K_2$  otro coeficiente de pérdidas energéticas. En HydroBID Flood,  $K_2=2.25$  (Henderson 1966).



**Figura 7.17** – Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G1).



**Figura 7.18** – Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G2).

## 7.5 Lluvia, evaporación e infiltración

Esta sección describe los cálculos hidrológicos implementados en el modelo HydroBID Flood. La componente incluye capacidades para integrar lluvia, evaporación e infiltración en las simulaciones.

## 7.5.1 Lluvia

La lluvia es tratada como un término fuente simple. Representa una entrada adicional a la profundidad de agua de la celda en el paso anterior al cálculo del flujo. El usuario puede configurar eventos de lluvia local para varias regiones de la cuenca. Esto permite simular casos más realistas, en los cuales se disponga de datos de lluvia en varias estaciones de medida.

Cabe destacar que la lluvia se impone antes del cálculo de la infiltración. Esto es un detalle importante porque la capacidad de infiltración depende fuertemente de la intensidad de lluvia, como veremos en la siguiente sección.

## 7.5.2 Infiltración

La infiltración representa otra componente del balance hidrológico y puede definirse como el proceso mediante el cual el agua superficial penetra en el suelo. En HydroBID Flood, la infiltración se trata como una pérdida. Este proceso está gobernado principalmente por dos fuerzas: la gravedad y la acción de la capilaridad. El modelo HydroBID Flood incluye tres métodos para calcular las pérdidas por infiltración: Horton, Green & Ampt y el método del número de curva (SCS-CN).

### 7.5.2.1 Modelo de infiltración de Horton

El modelo de infiltración de Horton (Horton 1933) sugiere una ecuación exponencial (7.19) para modelar la capacidad de infiltración del suelo  $f_p$ :

$$f_p(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \quad (7.19)$$

donde  $f_0$  y  $f_c$  son las capacidades inicial y final de infiltración, respectivamente, ambas medidas en m/s o pulg./s y  $k$  representa la rapidez a la que decrece la capacidad de infiltración (1/s).

Los parámetros  $f_0$  y  $k$  no tienen una base física, por lo que tienen que ser determinados a partir de datos experimentales. Una buena fuente de valores experimentales de estos parámetros para diferentes tipos de suelo puede encontrarse en (Rawls, Yates & Asmussen 1976) y se resume en (ASCE 1996). Las Tablas 7.6 y 7.7 muestran los parámetros para algunos tipos generales de suelo, tal como se presentan en (Akan 1993). Cabe destacar que no se muestran valores para  $k$ . Un valor de  $k = 4,14 \text{ hr}^{-1}$  es recomendable en ausencia de cualquier tipo de dato de experimental (Akan 1993).

**Cuadro 7.6** – Infiltración inicial de Horton para distintos suelos. Fuente: Akan(1993).

TIPO DE SUELO	$f_0$ (mm/hr)
Suelos arenosos secos con poca o sin vegetación	127
Suelos francos secos con poca o sin vegetación	76.2
Suelos arcillosos secos con poca o sin vegetación	25.4
Suelos arenosos secos con vegetación densa	254
Suelos francos secos con vegetación densa	152.4
Suelos arcillosos secos con vegetación densa	50.8
Suelos arenosos húmedos con poca o sin vegetación	43.18
Suelos francos húmedos con poca o sin vegetación	25.4
Suelos arcillosos húmedos con poca o sin vegetación	7.62
Suelos arenosos húmedos con vegetación densa	83.82
Suelos francos húmedos con vegetación densa	50.8
Suelos arcillosos húmedos con vegetación densa	17.78

**Cuadro 7.7** – Infiltración final de Horton para distintos suelos. Fuente: Akan(1993).

TIPO DE SUELO	$f_c$ (mm/hr)
Franco arcilloso, franco arcillo limoso	1.27
Lodo arcilloso arenoso	1.3 - 3.8
Lodo limoso, marga	3.8 - 7.6
Arena, arena arcillosa, margas arenosas	7.6 - 11.4

La ecuación (7.19) tiene que ser aplicada una vez que el suelo está encharcado. En otras palabras, se supondrán condiciones de disponibilidad infinita de agua en la superficie. Bajo esta consideración, la infiltración acumulada hasta el tiempo  $t$  puede ser calculada integrando la capacidad de infiltración:

$$F = \int_0^t f_p(t) dt = f_c t + \frac{f_0 - f_c}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (7.20)$$

Es importante remarcar la diferencia entre la capacidad de infiltración  $f_p$  y la tasa de infiltración  $f$ . Si consideramos un evento de lluvia que comienza con una intensidad de lluvia débil ( $R \leq f_p$ ), toda la lluvia se infiltrará en el suelo. Por otro lado, si la lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo o si la superficie se encharca, la tasa de infiltración real  $f$  se calculará de la siguiente manera:

$$R \leq f_p \Rightarrow f = R \quad R > f_p, t > t_p \Rightarrow f = f_p \quad (7.21)$$

donde  $t_p$  representa el tiempo de encharcamiento.

De acuerdo con (Gupta 1995), para los dos primeros intervalos de lluvia, la intensidad de lluvia es menor que la capacidad de infiltración, por lo que la infiltración real será igual a la tasa de lluvia. Debido a este hecho, la capacidad de infiltración real no decae como predice la ecuación de Horton. La razón, como se ha indicado anteriormente, es que el modelo de Horton supone que el suministro de agua siempre excede la capacidad de infiltración del suelo desde el comienzo. Por lo tanto, el suelo tiene más capacidad de infiltración y debemos calcular la infiltración real, por lo que es necesario determinar el tiempo de encharcamiento  $t_p$  resolviendo (7.22):

$$F = \int_0^{t_p} R(t) dt = f_c t_p + \frac{f_0 - f_c}{k} (1 - e^{-k t_p}) \quad (7.22)$$

donde  $F$  representa la infiltración acumulada (que es igual que el volumen de lluvia) hasta el tiempo de encharcamiento.

La ecuación anterior requiere de una resolución mediante un procedimiento iterativo, por ejemplo, el método de Newton-Rhapson. La capacidad de infiltración es ahora una función de la cantidad de agua infiltrada, no solamente del tiempo. Finalmente, la capacidad de infiltración real se calcula evaluando (7.19) en  $t_p$ :

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) e^{-k t_p} \quad (7.23)$$

Cuando la intensidad de lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo, la tasa de infiltración real es igual a esta capacidad y decae siguiendo la ecuación de Horton, reemplazando  $f_c = f_p$  y  $t = t - t'$ , siendo  $t'$  el tiempo en el cual la intensidad de lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo:

$$f = f_c + (f_p - f_c) e^{-k(t-t')} \quad (7.24)$$

Una consideración adicional ha de tenerse en cuenta. Es posible que la capacidad de infiltración recalculada sea mayor que la intensidad de lluvia. Esto implicaría una situación no física con almacenamiento superficial negativo. La razón para este comportamiento es que el suelo no puede infiltrar más rápidamente que la tasa de lluvia, por lo que se debe imponer un límite en la capacidad de infiltración recalculada:

$$f_p \leq R \quad (7.25)$$

### 7.5.2.2 Modelo de infiltración de Green-Ampt

El modelo de infiltración de Green-Ampt es un modelo simple con una base teórica en la ley de Darcy, por lo que no es solamente un modelo empírico. Además, sus parámetros tienen significado físico y pueden ser estimados a partir de las propiedades del suelo. Los parámetros de los suelos más comunes se muestran en la Tabla 7.8, tal como se presentan en (Rawls & Brakensiek 1983).

**Cuadro 7.8** – Valores medios y desviación estándar para los parámetros del modelo de Green-Ampt. Fuente: Rawls et al. (1983).

TIPO DE SUELO	$\theta_s$	$S_f$ (mm/hr)	$K_s$ (mm/hr)
Arena	0.437(0.374-0.500)	4.95(0.97-25.36)	the78
Arena arcillosa	0.437(0.363-0.506)	6.13(1.35-27.94)	2.99
Marga arenosa	0.453(0.351-0.565)	11.01(2.67-45.47)	1.09
Marga	0.463(0.375-0.551)	8.89(1.33-59.38)	0.66
Lodo limoso	0.501(0.420-0.582)	16.68(2.92-95.39)	0.34
Lodo arcilloso arenoso	0.398(0.332-0.464)	21.85(4.42-108.0)	0.15
Suelo franco arcilloso	0.464(0.409-0.519)	20.88(4.79-91.10)	0.10
Limo franco limoso	0.471(0.418-0.524)	27.30(5.67-131.50)	0.10
Arcilla arenosa	0.430(0.370-0.490)	23.90(4.08-140.2)	0.06
Arcilla limosa	0.479(0.425-0.533)	29.22(6.13-139.4)	0.05

El modelo original de Green-Ampt toma como punto de partida la suposición de que una altura  $h$  de agua se mantiene sobre la superficie. El método de Green-Ampt aproxima la infiltración del suelo como:

$$f_p = K_s + \frac{K_s (\theta_s - \theta_i) S_f}{F} \quad (7.26)$$

siendo  $K_s$  la conductividad hidráulica efectiva,  $S_f$  la altura de succión en el frente húmedo,  $\theta_i$  el contenido inicial de humedad uniforme y  $\theta_s$  la porosidad. La integración de (7.26) proporciona la infiltración acumulada:

$$f_p = \frac{dF}{dt} \implies K_s t = F - (\theta_s - \theta_i) S_f \ln \left[ 1 + \frac{F}{(\theta_s - \theta_i) S_f} \right] \quad (7.27)$$

Resolviendo la infiltración acumulada  $F$  en la ecuación (7.27) requiere de un procedimiento iterativo (e.g. iteraciones de Picard o el método de Newton-Rhaphson). La altura de succión efectiva puede ser reemplazada por el valor promedio  $\Psi$  (Mein & Larson 1973).

Las ecuaciones (7.26) y (7.27) suponen que el suelo se encuentra encharcado desde el principio. Algunas consideraciones adicionales deben de ser tenidas en cuenta para modelar un patrón de tormenta no uniforme (Chow, Maidment & Mays 1988). En cada paso de tiempo pueden ocurrir tres posibilidades: 1) el encharcamiento ocurre en el principio del intervalo; 2) no hay encharcamiento dentro del intervalo; 3) el encharcamiento ocurre dentro del intervalo. El primer paso consiste en calcular la capacidad de infiltración potencial  $f_p$  a partir del valor conocido de la infiltración acumulada  $F$  a tiempo  $t$ . De (7.26):

$$f_p = K_s \left( \frac{\Psi \Delta \theta}{F} + 1 \right) \quad (7.28)$$

El resultado obtenido de la ecuación (7.28) se compara con la intensidad de lluvia  $i$ . Si  $f_p \leq i$ , estaríamos en el caso 1 y la infiltración acumulada al final del intervalo viene dado por (7.29). Además, la tasa de infiltración real  $f$  será igual a la infiltración potencial  $f_p \leq i$ :

$$F_{t+\Delta t} - F - \Psi \Delta \theta \ln \left( \frac{F_{t+\Delta t} + \Psi \Delta}{F + \Psi \Delta} \right) = K \Delta \theta \quad (7.29)$$

Si  $f_p > i$ , no existe encharcamiento en el comienzo del intervalo. Asumimos que no se produce encharcamiento durante el intervalo, por lo que la infiltración real es igual que la tasa de lluvia y es posible calcular un valor tentativo de la infiltración acumulada al final del período de la siguiente manera:

$$F'_{t+\Delta t} = F + i\Delta t. \quad (7.30)$$

Mediante las ecuaciones (7.28) y (7.30), un valor tentativo de la capacidad de infiltración  $f'_{p,t+\Delta t}$  puede ser calculado. Si  $f'_{p,t+\Delta t} > i$ , no hay encharcamiento durante el intervalo, la suposición es correcta y el problema corresponde a la situación 2, por lo que,  $F'_{t+\Delta t} = F_{t+\Delta t}$ . Si  $f'_{p,t+\Delta t} \leq i$ , hay encharcamiento durante el intervalo (caso 3). La infiltración acumulada en el tiempo de encharcamiento  $F_p$  se calcula tomando  $f_p = i$  y  $F = F_p$  en (7.28):

$$F_p = \frac{K_s \Psi \Delta \theta}{i - K_s} \quad (7.31)$$

Posteriormente, el tiempo de encharcamiento se calcula como  $t + \Delta t'$ , donde:

$$\Delta t' = \frac{F_p - F}{i} \quad (7.32)$$

Finalmente, la infiltración acumulada se puede calcular reemplazando  $F = F_p$  y  $\Delta t = \Delta t - \Delta t'$  en la ecuación (7.29).

### 7.5.2.3 Modelo SCS-CN

El método SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number) de conversión de lluvia en escorrentía fue desarrollado originalmente por el USDA Natural Resources Conservation Service para estimar la escorrentía a partir de la lluvia en cuencas agrícolas (USDA 1986). Hoy en día, también es usado para hidrología urbana. El principal parámetro del método es el número de curva (CN), el cuál esencialmente es un coeficiente para reducir la precipitación total a escorrentía o potencial de agua superficial, teniendo en cuenta las pérdidas (evaporación, infiltración, transpiración y almacenamiento superficial). En términos generales, cuanto más alto sea el valor de CN mayor será el potencial de escorrentía. La principal ecuación del método SCS-CN es:

$$RO = \begin{cases} \frac{(RV - I_a)^2}{RV - I_a + S} & (RV > I_a) \\ 0 & (RV \leq I_a) \end{cases} \quad (7.33)$$

donde  $RO$ =escorrentía o precipitación efectiva,  $RV$  = Lámina de lluvia,  $I_a$ =Abstracción inicial, la cuál se infiltra antes de que comience la escorrentía, y  $S$ =Retención potencial máxima, estimada mediante el número de curva:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (7.34)$$

Como se ve en la ecuación 7.33, la escorrentía no comienza hasta que no se alcanza el valor de la abstracción inicial. La abstracción inicial se escribe en términos de su cociente  $\alpha$  y  $S$ :

$$I_a = \alpha S \quad (7.35)$$

El cociente de abstracción inicial ha sido tomado tradicionalmente como  $\alpha = 0,2$  para todas las cuencas (USDA 1986) pero estudios recientes sugieren que existe un amplio rango de valores que pueden funcionar mejor, dependiendo de las propiedades del suelo. La influencia de este parámetro se estudia ampliamente en (Caviedes-Voullième, García-Navarro & Murillo 2012).

Es importante remarcar que el método SCS-CN no fue originalmente diseñado para considerar el tiempo. Siguiendo el trabajo realizado en (Caviedes-Voullième et al. 2012), cuando el método se implementa en un modelo como HydroBID Flood, se emplea una metodología de avance en el tiempo. El método no se aplica a la cuenca entera, si no que la escorrentía se calcula para cada celda en cada paso de tiempo, usando la lluvia acumulada desde el inicio de la tormenta.

Se recomienda seguir los consejos provistos en (USDA 1986) para determinar los números de curva apropiados.

Otro hecho importante que necesita ser considerado es el antecedente en contenido de humedad (AMC) o antecedente de condición de escorrentía (ARC), el cuál representa la humedad relativa del suelo precedente al evento de tormenta (Chow et al. 1988). Estos parámetros resultan útiles para intentar tener en cuenta la variación del número

de curva CN entre eventos de tormenta. Se consideran tres posible suposiciones: condiciones de suelo seco (AMC I), condiciones medias (AMC II) o condiciones húmedas (AMC III) (ver la Tabla 7.9).

**Cuadro 7.9** – Grupos de antecedentes de contenido de humedad (AMC). Adaptado de de Mishra et al. (2003)

AMC suelo	Lluvia total de 5 días (temporada inactiva)	Lluvia total de 5 días (temporada de crecimiento)
I	Menos de 13 mm	Menos de mm
II	de 13 mm a 28 mm	de 36 mm a 53 mm
III	Más de 28 mm	Más de 53 mm

Tradicionalmente, (Chow et al. 1988), el número de curva para condiciones secas o húmedas ha sido recalculado en términos de las condiciones estándar de acuerdo con las ecuaciones 7.36 y 7.37:

$$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10 - 0,058CN(II)} \quad (7.36)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 - 0,13CN(II)} \quad (7.37)$$

Por otro lado, algunas referencias más modernas (USDA 2004, Mishra & Singh 2003) recomiendan usar una tabla de datos empíricos para calcular ambos valores.

### 7.5.3 Introduciendo los datos de lluvia, evaporación e infiltración

Para introducir los datos para una simulación con lluvia, evaporación e infiltración el usuario deberá emplear el panel *Rainfall/Infiltration* en el Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

El usuario puede usar este componente para realizar simulaciones hidrológicas con las siguientes opciones:

- Lluvia y evaporación con suelo impermeable (sin infiltración)
- Infiltración (sin lluvia)
- Lluvia, evaporación e infiltración.

En la opción de infiltración sin lluvia solamente se podrán emplear los modelos de Horton o Green-Ampt, ya que éstos tienen en cuenta la profundidad superficial para determinar las tasas de infiltración. El método SCS-CN calcula la infiltración como una función de la lluvia dada y no considera el agua superficial.

Se recomienda al usuario seguir el tutorial de lluvia, evaporación e infiltración en el que se explica como configurar una simulación hidrológica desde el principio.

## 7.6 Componente de viento

El esfuerzo del viento se implementa por medio de un término fuente adicional incluido en el sistema completo de ecuaciones que afecta únicamente a las componentes de la cantidad de movimiento. Por lo tanto, el vector de términos fuente (7.2) se reescribe como:

$$\mathbf{S} = \left( 0, gh(S_{0x} - S_{fx}) + S_{wx}, gh(S_{0y} - S_{fy}) + S_{wy} \right)^T \quad (7.38)$$



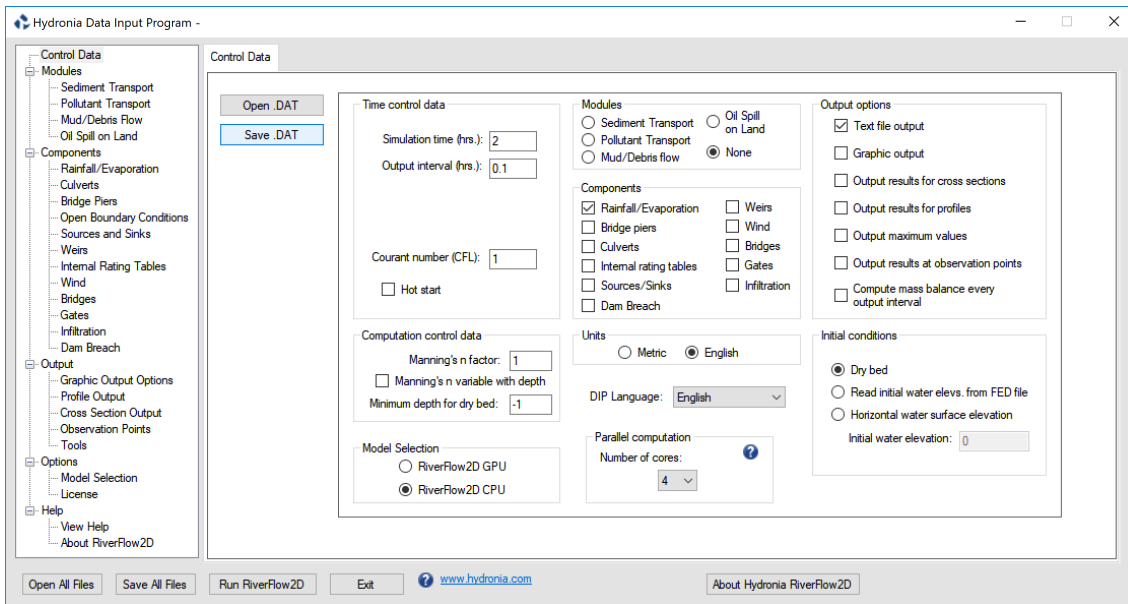


Figura 7.19 – Panel Rainfall/Infiltration de HydroBID Flood.

donde

$$S_{wx} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} \mathcal{U} |\mathcal{U}| \quad S_{wy} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} \mathcal{V} |\mathcal{U}| \quad (7.39)$$

siendo  $\mathcal{U} = (U, V)$  la velocidad del viento,  $\rho_a$  y  $\rho_w$  las densidades del aire y del agua, respectivamente, y  $C_d$  el coeficiente del esfuerzo del viento. Este término fuente se discretiza usando el mismo esquema *upwind* que para los términos fuente de fricción y pendiente de fondo.

## 7.7 Curvas de gasto internas

Las curvas de gasto internas son condiciones de contorno internas a lo largo de una polilínea donde el modelo impone el caudal a partir del nivel de agua dado.

Si la curva de gasto interna no es completamente compatible con el flujo 2D calculado, los resultados pueden ser erróneos. Se recomienda usar esta condición con cuidado para evitar inconsistencias.

Para realizar una simulación con curvas de gasto internas, el usuario necesita seleccionar esta opción en el panel *Datos de Control* del Programa de Entrada de Datos de Hydronia, tal como se muestran en la Figura 7.20.

Los datos en plano de las IRT son introducidos en la capa *InternalRatingTables* de HydroBID Flood.

No existe límite en el número de IRT que se pueden usar.

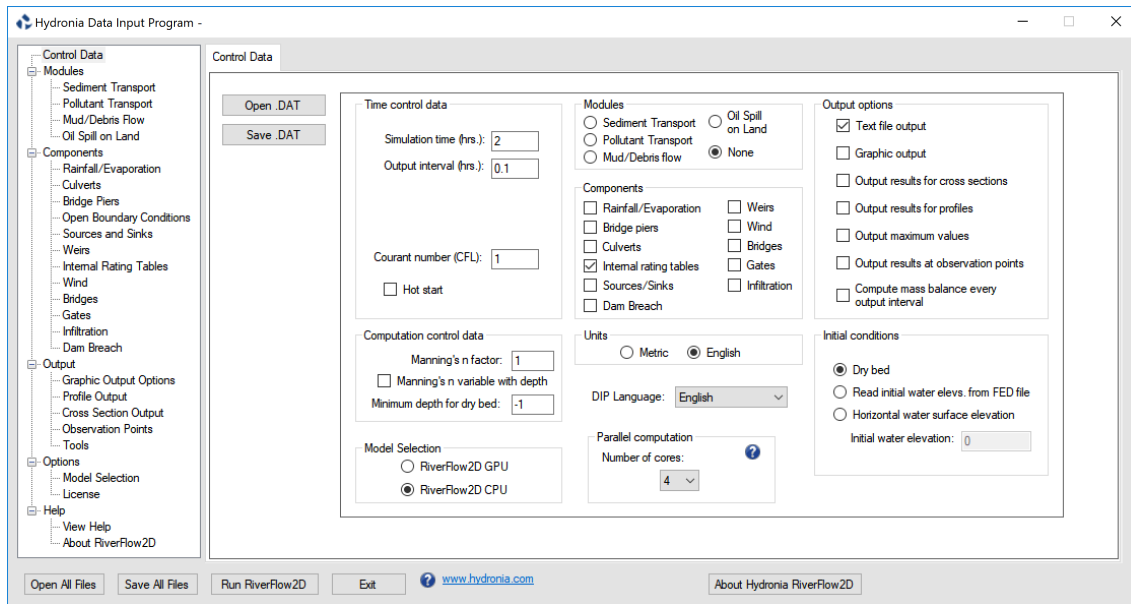


Figura 7.20 – Panel *Datos de Control* de HydroBID Flood con la componente IRT seleccionada.

### 7.7.1 Cálculos para la curva de gasto interna

Una curva de gasto interna (*Internal Rating Table, IRT*) se implementa como un conjunto de valores de caudal en función del nivel de agua  $Q = Q(h + z)$ . Esta tabla se define a lo largo de una polilínea en la malla. Primero, se calcula un nivel de agua promedio común, considerando todas las celdas aguas arriba a lo largo del polilínea. Posteriormente, el caudal se impone en las celdas que comparten ejes a ambos lados en la polilínea de acuerdo al nivel de agua común aguas arriba y siguiendo la curva de gasto interna.

El algoritmo de cálculo de la IRT funciona de la siguiente manera:

1. Para cada intervalo de tiempo de cálculo, se estima un nivel de agua promedio en cada lado de la polilínea de la IRT.
2. Se calcula el caudal que pasa a través de la polilínea de la IRT a partir de los niveles de agua promedio en 1 usando la curva de gasto.
3. Se define una velocidad media a partir del caudal y el área de la sección transversal mojada.
4. Se asigna un caudal unitario común a cada pareja de celdas que comparten un segmento de la polilínea.

Algunas configuraciones inapropiadas de la polilínea de la IRT o polilíneas muy largas pueden sobre-restringir el modelo y deben de ser evitadas.

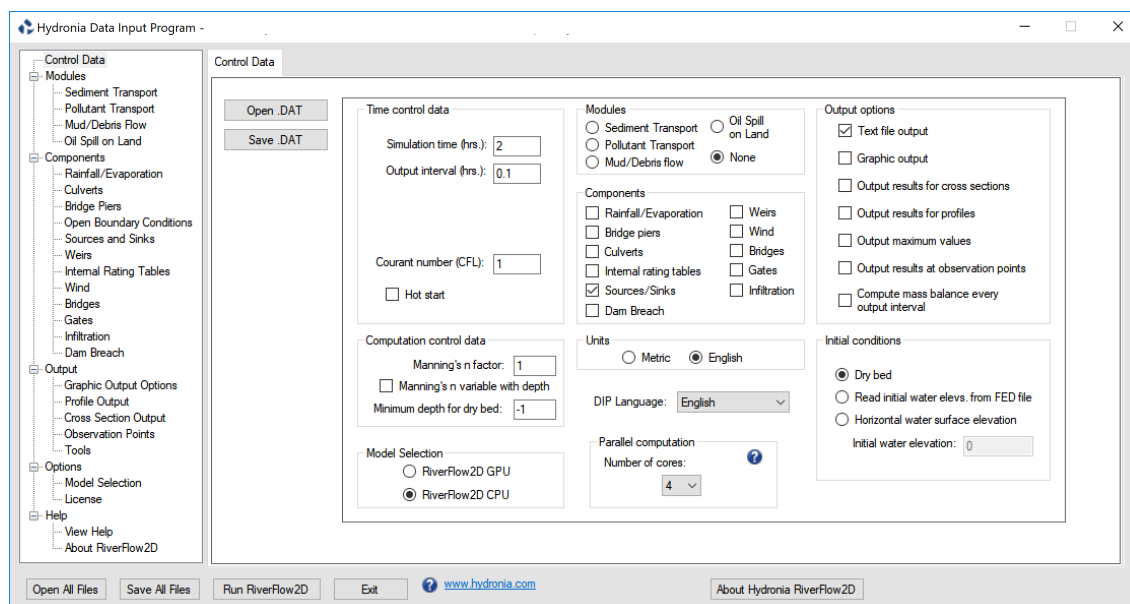
### 7.7.2 Suposiciones de los cálculos de las curvas de gasto internas

- La curva de gasto no tiene en cuenta el control de la salida aguas abajo.

## 7.8 Fuentes y sumideros

La componente de fuentes y sumideros permite tener en cuenta entradas (fuentes) y salidas (sumideros) puntuales del agua en la malla. Esto permite simular, por ejemplo, las tomas de agua en cualquier localización del a malla.

Para realizar una simulación con fuentes o sumideros, el usuario necesita seleccionar esta opción en el panel *Datos de Control* del Programa de Entrada de Datos de Hydronia, tal como se muestra en la Figura 7.21.



**Figura 7.21** – Panel Datos de Control de HydroBID Flood con la componente de fuentes y sumideros seleccionada.

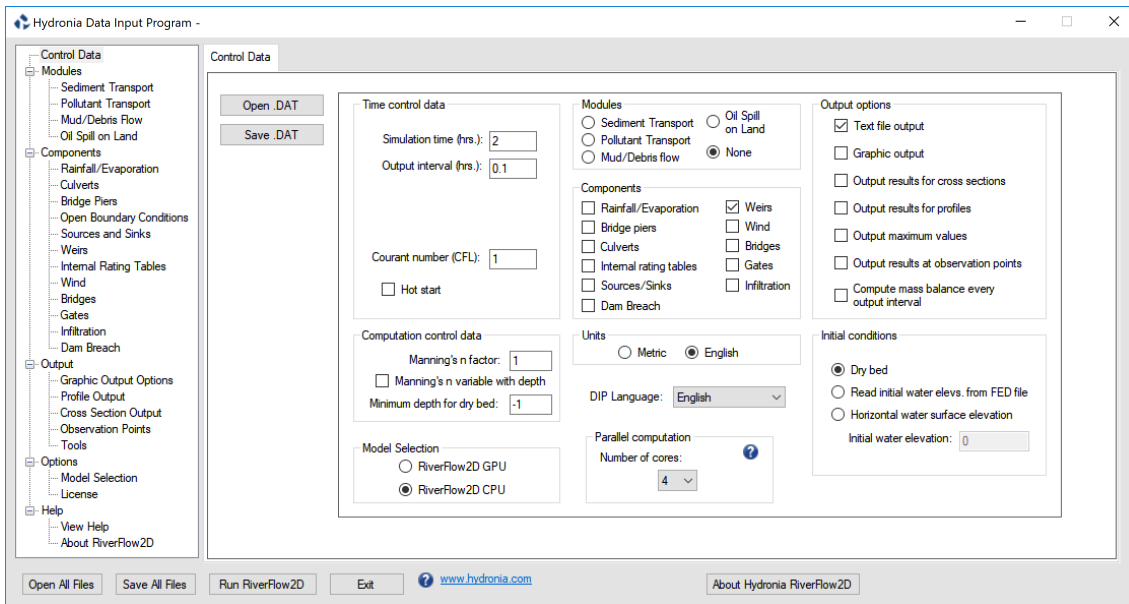
Los datos de las fuentes y sumideros se introducen en la capa *Sources* de HydroBID Flood.

No existe límite en el número de fuentes y sumideros que se pueden usar.

## 7.9 Vertederos

La componente de vertederos (weirs) de HydroBID Flood puede ser conveniente cuando se intenta simular el desbordamiento en diques o carreteras. La herramienta permite definir una polilínea para representar el alineamiento de la estructura y asignar las elevaciones de la cresta que pueden variar a lo largo de la polilínea.

Para realizar una simulación con vertederos, el usuario necesita seleccionar la opción en el panel *Datos de Control* del Programa de Entrada de Datos de HydroBID Flood tal como se muestra en la Figura 7.22.



**Figura 7.22** – Panel Datos de Control de HydroBID Flood con la componente de vertederos seleccionada.

Los datos en plano del vertedero se introducen en la capa *Weirs* de HydroBID Flood.

No existe límite en el número de vertederos que se pueden usar.

### 7.9.1 Cálculo de vertederos

El algoritmo de cálculo en vertederos funciona de la siguiente manera:

1. Para cada intervalo de tiempo de cálculo, el modelo comprueba que, para cada segmento definido por un par de celdas opuestas ( $L, R$ ) a lo largo del vertedero, que al menos una de las celdas opuestas está mojada y que su nivel de agua está por encima de la elevación de la cresta.
2. Después, el modelo calcula la elevación de agua en cada segmento del vertedero como:

$$d_w = h_{crest} + MAX(z_L, z_R) \quad (7.40)$$

donde  $h_{crest}$  es la elevación de la cresta y  $d_w$  el segmento de elevación de agua.

3. Cuando los niveles de agua a ambos lados están por debajo del nivel del vertedero,  $MAX(d_L, d_R) \leq d_w$ , la componente de la velocidad normal a la dirección del segmento del vertedero se anula.
4. De lo contrario, el modelo calcula el caudal normal para el segmento de acuerdo con los niveles de agua a ambos lados.

El vertedero es simulado suponiendo que el caudal por unidad de anchura  $q$  que cruza el vertedero está gobernado por la diferencia de nivel de agua ( $d = h + z$ ) en ambos lados del vertedero, denominado  $d_l$  aguas arriba y  $d_r$  aguas abajo del vertedero, y por la elevación de la cresta del vertedero,  $H_w$ . Se han tenido en cuenta varias situaciones. En el caso de que ambas elevaciones de agua estén por debajo de la elevación de la cresta del vertedero, éste se comporta como una pared sólida y el flujo no lo atravesará. Cuando  $d_l < d_r$ , sin perder la generalidad, pueden darse dos situaciones de

flujo diferentes, dependiendo de los valores relativos de  $H_w$ ,  $z_l$ ,  $z_r$ ,  $d_l$  y  $d_r$ . Cuando  $H_w + \max(z_l, z_r) < \min(d_l, d_r)$ , el caudal viene dado por

$$q = C_f (d_r - d_l)^{3/2} \quad (7.41)$$

donde  $C_f$  es el coeficiente de descarga, el cual toma valores de alrededor de 1.84 para unidades métricas y de 3.34 para unidades Inglesas.

Cuando  $H_w + \max(z_l, z_r) > \min(d_l, d_r)$ , el caudal viene dado por

$$q = C_f (d_r - H_w)^{3/2} \quad (7.42)$$

## 7.9.2 Suposiciones de los cálculos de vertederos

1. La elevación de la cresta de la presa puede variar a lo largo de la misma pero tiene que ser mayor que la elevación de las dos celdas adyacentes a cada segmento de la presa.

## 7.10 Modelado de brechas en presas

La componente de brechas en presas (dam breach) de HydroBID Flood proporciona una manera de simular una brecha gradual de obstrucciones lineales internas, como presas, diques, etc. La obstrucción se introduce como una polilínea arbitraria y se considera una barrera al flujo de agua que restringe, direcciona o ralentiza el mismo, a menudo creando encharcamientos aguas arriba.

En HydroBID Flood, la presa se define como una condición de contorno interna y se modela como un trapecio progresivo. Para una completa parametrización de la brecha, se usan los siguientes parámetros y variables (ver Figura 7.23):

- Coordenadas  $(x, y)$  del centro de la brecha, suponiendo  $z = z_{crest}$ , donde  $z_{crest}$  es la coordenada  $z$  inicial de la presa.
- Valor del ángulo material  $\alpha$  (se supone constante).
- Tabla  $(t, b(t), H_b(t))$ , siendo  $t$  = tiempo,  $b$  = anchura inferior de la brecha,  $H_b$  = altura de la brecha.

Como casos particulares interesantes,  $b(t) = 0$  representaría la generación de una brecha triangular y  $\alpha = 0$  la generación de una brecha rectangular.

En general, el caudal total a través de la brecha se calculará con una ley del tipo:

$$Q_b = KBH^{3/2} \quad (7.43)$$

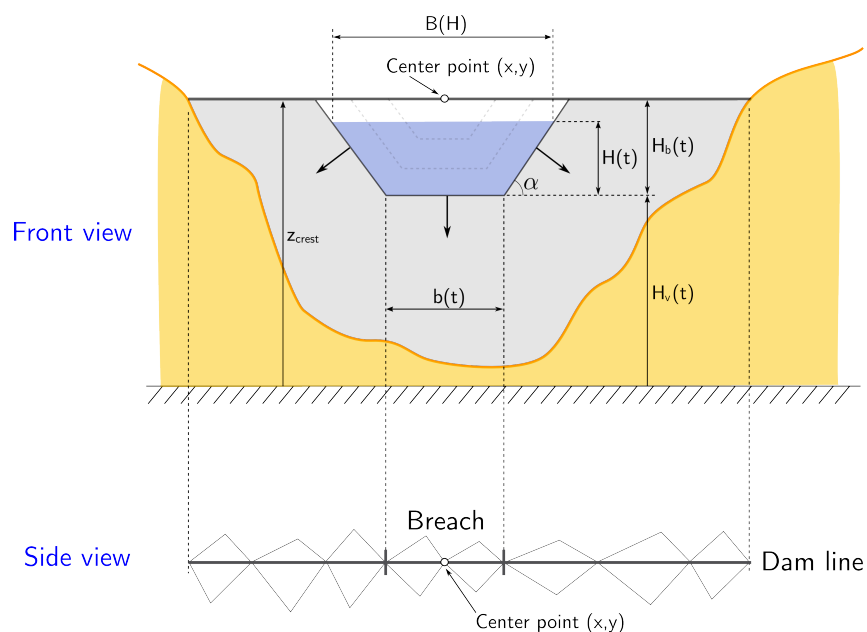
donde  $H = h + z - H_v$ ,  $H_v = z_{crest} - H_b$  y  $B(H) = b(t) + 2\frac{H_b(t)}{\tan\alpha}$ , y  $K$  es un coeficiente de descarga.  $K$  toma valores de alrededor a 1.25 cuando se utilizan unidades métricas o 3.1 cuando se utilizan unidades Inglesas.

El caudal calculado en (7.43) se distribuirá entre las celdas incluidas en la longitud de la parte superior de la brecha  $B(H_b)$ :

$$B(H_b) = b(t) + 2\frac{H_b(t)}{\tan\alpha} \quad (7.44)$$

## 7.11 Socavación de puentes

Los cálculos de socavación de puentes implementados en HydroBID Flood se basan en los métodos desarrollados por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América, los cuales se describen en el documento *Hydraulic*



**Figura 7.23** – Sistema de coordenadas para la representación de la brecha en la presa.

*Engineering Circular No. 18* (Arneson 2012). El Programa de Entrada de Datos de Hydronia incluye estas herramientas para calcular socavación de pilas y estribos.

### 7.11.1 Método HEC-18 para calcular socavación en pilas

La ecuación para calcular la socavación en pilas mediante este método es:

$$y_s = 2y_1 K_1 K_2 K_3 \left( \frac{a}{y_1} \right)^{0,65} Fr^{0,43} \quad (7.45)$$

donde:

$y_s$  = Profundidad de la socavación, m o ft,

$y_1$  = Profundidad aguas arriba de la pila, m o ft,

$K_1$  = Factor de corrección por la forma de la pila.

$$K_2 = (\cos \alpha + \max(L/a, 12.) \sin \alpha)^{0,65} \quad (7.46)$$

$\alpha$  = Ángulo de ataque en radianes.

$K_3$  = Factor de corrección para la condición del fondo.

$a$  = Ancho de la pila, m o ft,

$L$  = Longitud de la pila, m o ft,

$Fr$  = Número de Froude justo aguas arriba de la pila  $Fr = V_1 / \sqrt{gy_1}$

$V_1$  = Velocidad aguas arriba de la pila, m/s o ft/s

$g$  = Aceleración de la gravedad, 32.2 ft/s<sup>2</sup> en unidades Inglesas y 9.81 m/s<sup>2</sup> en SI.

### 7.11.2 Socavación de pilas de puentes en materiales gruesos

Esta ecuación es aplicable únicamente para condiciones de aguas claras y materiales gruesos con  $D50 \geq 20$  mm y  $\sigma \geq 1,5$ .

$$y_s = 1,1K_1K_2a^{0,62}y_1^{0,38} \tanh\left(\frac{F_{rD}^2}{1,97\sigma^{1,5}}\right) \quad (7.47)$$

donde  $y_s$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $a$ ,  $y_1$ , y  $V_1$  se han definido anteriormente,

$F_{rD}$  = Número de Froude densimétrico de partícula =  $V_1/\sqrt{g(Ss-1)D50}$

$Ss$  = Peso específico relativo del sedimento

$D50$  = Tamaño de sedimento medio del material, m o ft

$D84$  = Tamaño de sedimento D84, m o ft

$\sigma$  = Coeficiente de graduación del sedimento =  $D84/D50$

### 7.11.3 Socavación de pilas de puentes en materiales cohesivos

$$y_s = 2,2K_1K_2a^{0,65} \left(\frac{2,6V_1 - V_c}{\sqrt{g}}\right)^{0,7} \quad (7.48)$$

donde  $y_s$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $a$ , y  $V_1$  se han definido anteriormente,

$V_c$  = Velocidad crítica para iniciación de la erosión del material, m/s o ft/s

### 7.11.4 Ancho tope y de base en socavones de pilas

Para calcular los ancho tope y de base del socavón se utiliza ecuación siguiente:

$$W = y_s(K + \cot \theta) \quad (7.49)$$

$$W_{fondo} = Ky_s \quad (7.50)$$

Donde

$W$  = Ancho tope del socavón, m o ft

$W_{fondo}$  = Ancho base del socavón, m o ft

$K$  = Ancho base relativo la profundidad del socavón, m o ft

$\theta$  = Ángulo de reposo del material de fondo.

### 7.11.5 Socavación en estribos de puentes

Estas son las ecuaciones que se utilizan para calcular la profundidad de la socavación generada en estribos de puentes.

$$Y_{maxLB} = \alpha_a Y_{cLB} \quad (7.51)$$

$$Y_{maxCW} = \alpha_b Y_{cCW} \quad (7.52)$$

$$Y_{sA} = \text{Max}(Y_{maxLB}, Y_{maxCW}) \sim Y_1 \quad (7.53)$$

$$Y_{cLB} = Y_1(q2c/q1)^{6/7} \quad (7.54)$$

$$Y_{cCW1} = \left(\frac{q2c}{K_4 D50^{1/3}}\right)^{6/7} \quad (7.55)$$

$$Y_{cCW2} = \left( \frac{\gamma_w}{\tau_c} \right)^{3/7} \left( \frac{nq2c}{K_5} \right)^{6/7} \quad (7.56)$$

Donde

$\alpha_a$  = Factor de amplificación para condiciones de capa viva,

$\alpha_b$  = Factor de amplificación para condiciones de aguas claras,

$Y_{max}B$  = Profundidad máxima después de ocurrir socavación para condiciones de capa viva,

$Y_{max}CW$  = Profundidad máxima después de ocurrir socavación para condiciones de aguas claras,

$Y_{cLB}$  = Profundidad incluyendo socavación debida a contracción en condiciones de capa viva,

$Y_{sA}$  = Profundidad de socavación del estribo,

$Y_{cCW1}$  = Profundidad incluyendo socavación por contracción para condiciones de aguas claras. Método 1.

$Y_{cCW2}$  = Profundidad incluyendo socavación por contracción para condiciones de aguas claras. Método 2.

$q_1$  = Caudal unitario aguas arriba,

$q_{2c}$  = Caudal unitario de la sección contraída del puente,

$K_4 = 11.17$  y  $\gamma_w = 62.4$  Sw para unidades Inglesas,

$K_4 = 6.19$  y  $\gamma_w = 9800$  Sw para unidades SI,

$V = q_1/y_1$ ,

$V_c$  = Velocidad critica para iniciación de la erosión del material, m/s o ft/s,

$V_c = K_u y_1^{1/6} D^{50^{1/3}}$ ,

$K_u = 11.17$  para unidades Inglesas y 6.19 para el sistema SI,

Cuando  $V \geq V_c$  se usan condiciones de capa viva,

Cuando  $V < V_c$  se usan condiciones de aguas claras.

### 7.11.5.1 Factor de amplificación de la socavación para estribos de *paso a través* en condiciones de capa viva

Para determinar el factor de amplificación para estribos de *paso a través* en condiciones de capa viva se utiliza la siguiente regresión.

$$x = q_{2c}/q_1$$

$$y = \alpha_a = Y_{max}/Y_c$$

Para  $x \in [1., 1,23]$

$$y(x) = -20172x^6 + 139961x^5 - 404430x^4 + 622994x^3 - 539598x^2 + 249172x - 47926$$

Para  $x \in (1,23, 1,60]$

$$y(x) = -1968,9x^6 + 16589x^5 - 58072x^4 + 108127x^3 - 112948x^2 + 62766x - 14497$$

Para  $x \in (1,60, 3]$

$$y(x) = 0,076x^6 - 1,136x^5 + 7,1218x^4 - 24,031x^3 + 46,166x^2 - 48,086x + 22,476$$

$x < 1$  no se admite. If  $x > 3$ ,  $y = y(3)$ .

### 7.11.5.2 Factor de amplificación de la socavación para estribos con aleta en condiciones de capa viva

Para determinar el factor de amplificación para estribos con aleta en condiciones de capa viva se utiliza la siguiente regresión.

$$x = q_{2c}/q_1$$

$$y = \alpha_a = Y_{max}/Y_c$$

Para  $x \in [1., 1,24]$

$$y = 1085,1x^5 - 6379,4x^4 + 15009x^3 - 17670x^2 + 10414x - 2457,2$$

Para  $x \in (1,24, 1,60]$

$$y = -449,86x^6 + 3796,2x^5 - 13319x^4 + 24872x^3 - 26082x^2 + 14567x - 3384,9$$

Para  $x \in (1,60, 3]$

$$y = 0,1371x^4 - 1,469x^3 + 6,0171x^2 - 11,221x + 9,1721$$



$x < 1$  no se admite. If  $x > 3, y = y(3)$ .

### 7.11.5.3 Factor de amplificación de la socavación para estribos de *paso a través* en condiciones de aguas claras

Para determinar el factor de amplificación para estribos de *paso a través* en condiciones de aguas claras se utiliza la siguiente regresión.

$$x = q2c/q1$$

$$y = \alpha_b = Y_{max}/Y_c$$

Para  $x \in [1., 1,45]$

$$y = 443,57x^5 - 2769,4x^4 + 6913,2x^3 - 8630,8x^2 + 5393,6x - 1349,2$$

Para  $x \in (1,45, 5]$

$$y = 0,0061x^5 - 0,1193x^4 + 0,9027x^3 - 3,1887x^2 + 4,7646x - 0,2761$$

$x < 1$  no se admite. Para  $x > 5, y = y(5)$ .

### 7.11.5.4 Factor de amplificación de la socavación para estribos con aleta en condiciones de aguas claras

Para determinar el factor de amplificación para estribos con aleta en condiciones de aguas claras se utiliza la siguiente regresión.

$$x = q2c/q1$$

$$y = \alpha_b = Y_{max}/Y_c$$

Para  $x \in [1., 1,18]$

$$y = -331011x^6 + 210^6x^5 - 610^6x^4 + 910^6x^3 - 810^6x^2 + 1000000x^632819$$

Para  $x \in (1,18, 5]$


$$y = -0,0033x^6 + 0,0639x^5 - 0,5041x^4 + 2,0151x^3 - 4,1113x^2 + 3,2197x + 2,0841$$

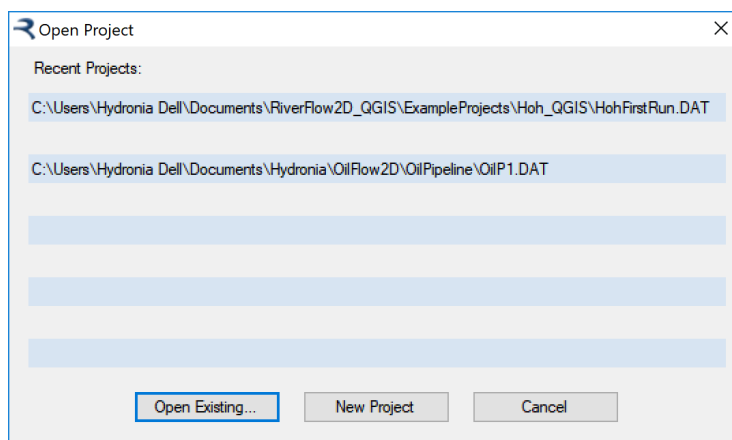
$x < 1$  no se admite.

Para  $x > 5, y = y(5)$ .

## 8 - Programa de entrada de datos de Hydronia (DIP)

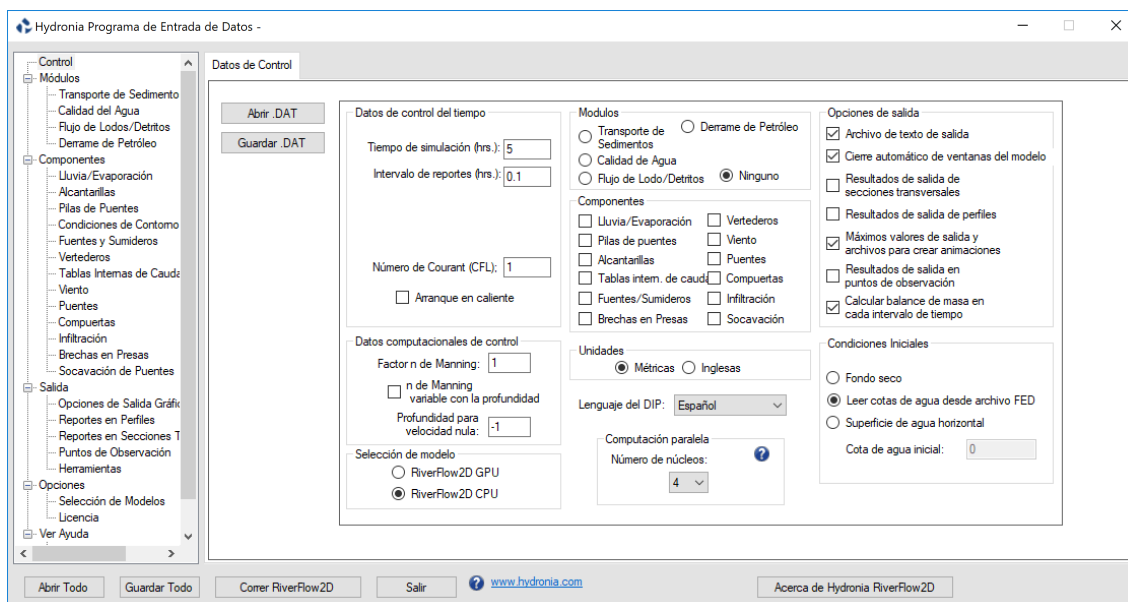
La interfaz de usuario del programa de entrada de datos (Programa de Entrada de Datos de Hydronia) proporciona las herramientas para introducir los datos no espaciales y realizar una simulación con HydroBID Flood. Todos los cambios introducidos en el Programa de Entrada de Datos de Hydronia se guardarán en el formato nativo de HydroBID Flood.

El Programa de Entrada de Datos de Hydronia aparece cuando el usuario utiliza el comando *Exportar a RiverFlow2D* desde HydroBID Flood. También es posible acceder a este programa haciendo doble-click en el icono HydroBID Flood  en el escritorio. En ese caso, el programa mostrará una lista de proyectos previos y permitirá abrir cualquiera de ellos:



**Figura 8.1** – Diálogo de apertura de proyectos del HydroBID Flood.

El HydroBID Flood proporciona un entorno de entrada de datos con paneles que incluyen todas las opciones no espaciales para lanzar el modelo HydroBID Flood. La columna de la izquierda de la ventana principal permite al usuario seleccionar módulos, componentes, opciones de salida, etc. Cuando se hace click en alguno de estos elementos, se activa el correspondiente panel en el lado derecho. Cada panel contiene los datos correspondientes a cada uno de los archivos de datos de HydroBID Flood. Por ejemplo, el panel de datos de control tiene todos los datos del archivo .DAT.



**Figura 8.2** – Ventana principal del programa de entrada de datos Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

El HydroBID Flood permite al usuario utilizar diferentes motores de cálculo. En el cuadro de *Selección de modelos*, se puede seleccionar HydroBID Flood GPU, o HydroBID Flood. Para lanzar la versión GPU es necesario disponer de una tarjeta gráfica NVIDIA apropiada. Las siguientes secciones describen los diálogos de paneles del Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

## 8.1 Panel de datos de control (archivos .DAT)

Este panel determina los parámetros generales de la simulación como el control sobre el paso de tiempo, la selección de unidades (métricas o inglesas), los procesos físicos (componentes), las salidas gráficas y las condiciones iniciales. También proporciona botones para abrir y guardas archivos y lanzar el modelo HydroBID Flood. El programa se lanzará con el panel de datos de control visible.

**Cuadro 8.1** – Botones en el panel de datos de control.

NOMBRE DEL BOTÓN	DESCRIPCIÓN
Abrir .DAT	Abre un archivo .DAT existente.
Guardar .DAT	Guarda un archivo .DAT con los datos mostrados en el panel.
<b>Botones en la fila inferior duplicados en cada panel.</b>	
Abrir Todo	Abre todos los archivos del proyecto.
Guardar Todo	Guarda todos los archivos del proyecto. <i>Nota: Esta operación no altera las coordenadas de los nodos ni las elevaciones, la topología de la malla triangular, los coeficientes de rugosidad de Manning, ni ningún otro parámetro relacionado con la malla en el archivo .FED.</i>
Run RiverFlow2D	Lanza el modelo HydroBID Flood.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.1 – viene de la página anterior

NOMBRE DEL BOTÓN	DESCRIPCIÓN
Exit	Cierra el Programa de Entrada de Datos de Hydronia.
About Hydronia HydroBID Flood	Muestra una descripción concisa de HydroBID Flood.
?	Abre la guía de usuario de HydroBID Flood.
www.hydronia.com	Abre la página web de Hydronia en el navegador.

Cuadro 8.2 – Datos de control temporal en el panel de datos de control.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Simulation time (hrs.)	Tiempo total de simulación (en horas).
Output Interval (hrs.)	Intervalo de tiempo para volcado de archivos.
CFL	Condición Courant-Friederich-Lewy (CFL). Se deberá imponer un valor dentro del intervalo (0,1]. Por defecto, el CFL se establecerá en 1.0, que es el valor recomendado para un rendimiento máximo. Algunos casos, es posible que requieran reducir el CFL a 0.5 para evitar oscilaciones numéricas en los resultados.
Hot start	Usar esta opción para iniciar el modelo a partir de los resultados de una simulación previa.

Cuadro 8.3 – Cuadro de unidades en el panel de datos de control.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Metric	Seleccionar esta opción para trabajar en unidades métricas. Las coordenadas vienen dadas en metros, las velocidades en m/s, el caudal en m <sup>3</sup> /s, etc. La salida de texto se proporciona en unidades métricas.
English	Seleccionar esta opción para trabajar en unidades inglesas. Las coordenadas vienen dadas en pies, las velocidades en ft/s, el caudal en ft <sup>3</sup> /s, etc. La salida de texto se proporciona en unidades inglesas.

*Nota: El cambio de la unidades en este panel no cambia los contenidos de los archivos de datos.*

Cuadro 8.4 – Cuadro de datos del control de computación en el panel de datos de control.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Factor <i>n</i> de Manning	Usar este factor (XNMAN) para testar la sensibilidad de los resultados al coeficiente <i>n de Manning</i> . El valor <i>n</i> de Manning de cada elemento será multiplicado por XNMAN. El uso de este factor puede acelerar el proceso de calibración del modelo. El valor por defecto es XNMAN = 1.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.4 – viene de la página anterior

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<i>n</i> de Manning variable con la profundidad de agua	Seleccionar esta opción para que el coeficiente <i>n</i> de Manning sea una función de la profundidad de agua. El usuario tiene que introducir polígonos sobre la malla y cada polígono deberá tener un archivo asociado que contenga una tabla con la profundidad vs el coeficiente <i>n</i> de Manning.
Profundidad mínima para fondo seco	Este parámetro indica la profundidad por debajo del cuál la velocidad en la celda se asume como 0. Por defecto, se toma como -1, lo cual indica al modelo que se considerarán condiciones de celda seca para profundidades menores que $10^{-6}$ m.

Cuadro 8.5 – Cuadro de datos de las opciones de salida en el panel de datos de control.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Salida en archivo de texto	Reporta resultados a archivos de texto ASCII.
Salida gráfica	Activa el graficado de los resultados de la simulación mientras el programa está corriendo y reporta archivos gráficos.
Resultados de salida para secciones transversales	Usar esta opción para generar resultados para las secciones transversales definidas por el usuario. La sección transversal puede ser editada en el panel <i>Cross Section Output</i> . Estos datos se encuentran en el archivo .XSECS.
Resultados de salida para perfiles	Usar esta opción para generar resultados a lo largo de una polilínea definida por el usuario. Los datos de la polilínea pueden ser editados en el panel <i>Profile Output</i> . Estos datos se encuentran en el archivo .PROFILES.
Valores máximos de salida	Activar para reportar los valores máximos a lo largo de la simulación a los archivos .MAXI, .MAXE y el valor máximo a .EXP. En el modelo HydroBID Flood los valores máximos solamente se generarán usando el botón de post-procesado de los resultados de HydroBID Flood en el panel de opciones de salida gráfica ( <i>Graphic Output Options</i> )
Resultados de salida en puntos de observación	Activar para reportar series temporales de los resultados en localizaciones especificadas por el usuario, definidas por las coordenadas establecidas en el panel de puntos de observación ( <i>Observation Points</i> ).

Cuadro 8.6 – Cuadro de los datos de componentes en el panel de datos de control.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Lluvia/Evaporación	Opción para activar la lluvia y/o evaporación. Los datos requeridos tienen que ser introducidos en el panel de lluvia/evaporación. Estos datos se escriben en el archivo .LRAIN.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.6 – viene de la página anterior

<b>NOMBRE DEL CONTROL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Pilares de puentes	Opción para tener en cuenta la fuerza de rozamiento con los pilares del puente. Los datos de los pilares de los puentes se pueden editar en el panel de pilares del puente. Estos datos se escriben en el archivo .PIERS.
Puentes	Opción para modelar puentes usando la geometría de la sección transversal del puente y teniendo en cuenta las pérdidas de energía. Los datos se pueden editar en el panel de puentes. Estos datos se escriben en el archivo .BRIDGES.
Socavación de puentes	Opción para calcular socavación de puentes. Los datos se pueden editar en el panel de Socavación de puentes y se escriben en el archivo .SCOUR.
Drenaje urbano	Opción para integrar con colectores de drenaje en el modelo EPA-SWMM. Los datos se escriben en el archivo .LSWMM file.
Alcantarillas	Opción para indicar si se empleará un modelo unidimensional de alcantarillas. Los datos de las alcantarillas se pueden editar en el panel de alcantarillas. Estos datos se escriben en el archivo .CULVERTS.
Compuertas	Opción para activar el modelo de compuertas. Los datos se pueden editar en el panel de compuertas. Estos datos se escriben en el archivo .GATES.
Infiltración	Opción para activar los cálculos de pérdidas por infiltración. Los datos requeridos se introducen en el panel de infiltración. Estos datos se escriben en el archivo .LINF.
Tablas de distribución interna	Opción para activar el uso de tablas de distribución interna ( <i>Internal Rating Tables</i> ). Los datos se pueden editar en el panel de tablas de distribución interna. Estos datos se escriben en el archivo .IRT.
Flujo de lodos/detritos	Opción para activar el modelado de flujo de lodos y detritos. Los datos se pueden editar en el panel de flujo de lodos/detritos. Estos datos se escriben en el archivo .MUD.
Derrames de petróleo en el terreno	Opción para activar el modelado de derrames superficiales de petróleo. Los datos se pueden editar en el panel de derrames de petróleo en superficie. Estos datos se escriben en el archivo .OILP.
Transporte de contaminantes	Opción para activar el modelado de transporte de contaminantes. Los datos de transporte de contaminantes se pueden editar en el panel de transporte de contaminantes. Estos datos se escriben en el archivo .SOLUTES.
Fuentes/sumideros	Opción para indicar la existencia de fuentes o sumideros. Estos datos se escriben en el archivo .SOURCES.
Vertederos	Opción para indicar la existencia del cálculo de vertederos. Los datos se pueden editar en el panel de vertederos. Estos datos se escriben en el archivo .WEIRS.
Viento	Esta opción activa el cálculo del esfuerzo del viento en la superficie del agua. Los datos se pueden editar en el panel de viento. Estos datos se escriben en el archivo .WIND.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.6 – viene de la página anterior

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Transporte de sedimentos	Opción para activar el modelado del transporte de sedimentos con erosión y deposición para un fondo móvil. Los datos de transporte de sedimentos se pueden editar en el panel de transporte de sedimentos. Estos datos se escriben en los archivos .SEDS y .SEDB.

**Cuadro 8.7** – Cuadro de datos de componentes en el panel de datos de control.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Fondo seco	La simulación comenzará con un fondo completamente seco. Para las condiciones de contorno de caudal, se asignará una profundidad arbitraria ( $> 0,0$ ) para calcular el flujo de entrada para el primer paso de tiempo. Subsecuentemente, la profundidad en el contorno de entrada será determinado por el modelo.
Leer elevaciones iniciales de agua del archivo .FED	Las elevaciones iniciales de agua se leerán del archivo .FED. Es posible asignar una variabilidad espacial a la elevación inicial de agua en la capa de condiciones iniciales.
Nivel de agua horizontal	Usar esta opción para comenzar una simulación con un nivel horizontal para la superficie del agua proporcionado por el usuario.
Elevación inicial de agua	Elevación inicial de agua en la malla completa. Si la elevación inicial de agua se impone como -9999, el programa asignará una elevación constante de agua igual al valor más alto de la elevación del terreno en la malla.

## 8.2 Panel de datos de transporte de sedimentos (archivos .SEDS y .SEDB)

Este panel permite introducir los datos de transporte de sedimentos. Para activar este panel, primero seleccionar *Transporte de Sedimentos* en panel *Datos de Control*.

**Cuadro 8.8** – Parámetros en el modo de transporte de sedimentos y botones del panel de transporte de sedimentos (modelo HydroBID Flood).

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Sedimento en suspensión	Cuando se selecciona esta casilla, el modelo calculará las concentraciones de sedimento usando la componente de transporte de sedimentos en suspensión (ver comentario 1).
Sedimento de fondo	Seleccionando esta casilla se activará la componente de transporte de sedimentos de fondo.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.8 – viene de la página anterior

<b>NOMBRE DEL CONTROL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Botones</b>	
Abrir .SED*	Abre un archivo .SEDS o .SEDB existente.
Gardar .SED*	Guarda los datos de los sedimentos a los archivos .SEDS y .SEDB.



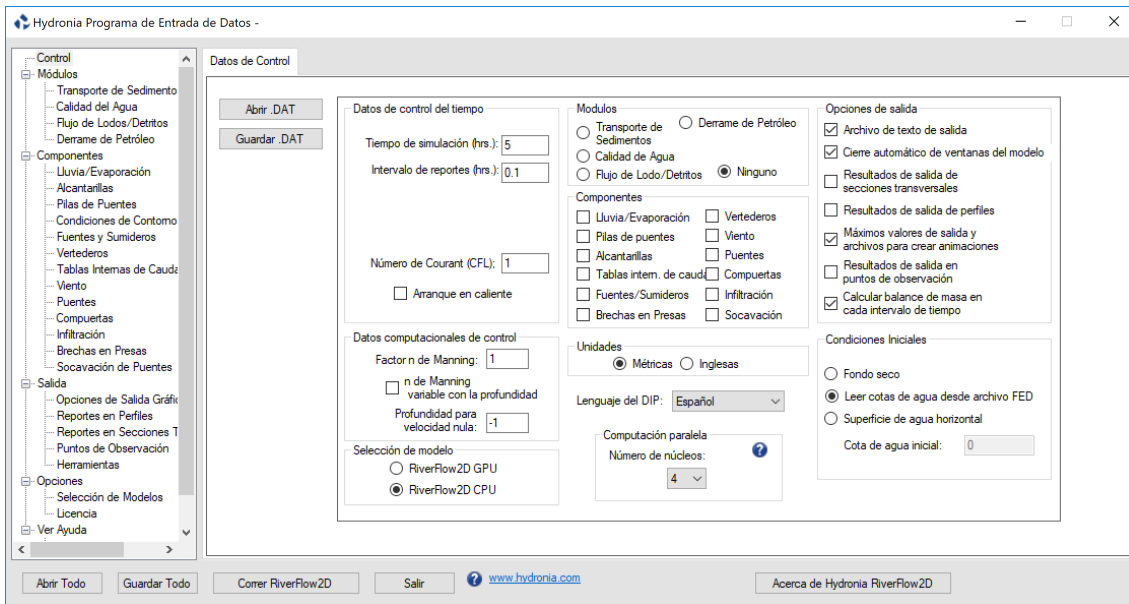


Figura 8.3 – Panel de datos de control.

Cuadro 8.9 – Parámetros en el cuadro de transporte de sedimentos en suspensión del panel de transporte de sedimentos (modelo HydroBID Flood).

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Fórmula de la concentración de equilibrio	Cuando se selecciona esta casilla, el modelo calculará las concentraciones de sedimentos usando una de las siguientes fórmulas de transporte en suspensión: <ol style="list-style-type: none"> <li>Bagnold (1966)lb</li> <li>Van Rijn (1984a)</li> </ol>
Fórmula para la velocidad de sedimentación	Es una fórmula única que se aplica para todas las fracciones. Esta lista desplegable incluye las siguientes fórmulas: <ol style="list-style-type: none"> <li>Rubey (1933)</li> <li>Zhang (1961)</li> <li>Zanke (1977)</li> <li>Van Rijn (1984a)</li> <li>Raudkivi (1990)</li> <li>Julien (1998)</li> <li>Cheng (1997)</li> <li>Jimenez-Madsen (2003)</li> <li>Wu-Wong (2006)</li> </ol>
Factor	Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada por la fórmula seleccionada.
<b>Table</b>	
Density	Densidad del sedimento en suspensión (kg/m <sup>3</sup> ó lb/ft <sup>3</sup> ).

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.9 – viene de la página anterior

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Initial Concentration	Concentración volumétrica del sedimento inicial (ver comentario 2).
Diameter	Tamaño característico del sedimento para esta fracción (m o ft).
Porosity	Porosidad del fondo.
Shields stress	Esfuerzo de Shields crítico.
Friction angle	Ángulo de fricción del sedimento (grados).
Factor	Factor de fórmula de la concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor multiplica el resultado calculado con la fórmula de transporte seleccionada.
<b>Botones</b>	
Add Suspended Sediment Fraction	Se usa para añadir una nueva fracción. Es posible emplear hasta 10 fracciones.
Remove Selected Fraction	Borra la fracción seleccionada.

**Cuadro 8.10** – Parámetros en el cuadro de transporte de sedimentos de fondo del panel de transporte de sedimentos (HydroBID Flood model).

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Fórmula de la carga de sedimentos	Permite la selección de una de las siguientes fórmulas de transporte de sedimento: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meyer-Peter &amp; Muller (1948)</li> <li>2. Ashida (1972)</li> <li>3. Engelund (1976)</li> <li>4. Fernandez (1976)</li> <li>5. Parker fit to Einstein (1979)</li> <li>6. Smart (1984)</li> <li>7. Nielsen (1992)</li> <li>8. Wong 1 (2003)</li> <li>9. Wong 2 (2003)</li> <li>10. Camenen-Larson (1966)</li> </ol>
<b>Tabla</b>	
Density	Densidad del sedimento (lb/ft <sup>3</sup> ó kg/m <sup>3</sup> ).
Diameter D30	Tamaño D30 del sedimento (m). 30 % del sedimento es más fino que D30. Solamente se emplea en la fórmula de Smart.
Diameter	Tamaño característico del sedimento para esta fracción (m).
Diameter D90	Tamaño D90 del sedimento (m). 90 % del sedimento es más fino que D90. Solamente se emplea en la fórmula de Smart.
Porosity	Porosidad del sedimento.
Shields stress	Esfuerzo de Shields crítico.
Friction angle	Ángulo de fricción del sedimento (grados).
Fraction	Fracción del material en el fondo. La suma de todas las fracciones tiene que ser igual a 1.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.10 – viene de la página anterior

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Factor	Factor de la fórmula de transporte para cada fracción. Este factor multiplica el resultado calculado con la fórmula de transporte seleccionada.
<b>Botones</b>	
Add Bed Load Fraction	Se usa para añadir una nueva fracción. Es posible emplear hasta 10 fracciones.
Remove Selected Fraction	Borra la fracción seleccionada.

### 8.2.0.1 Comentarios para los archivos .SEDS y .SEDB

1. El usuario puede seleccionar una o ambas opciones. Cuando se utilice la opción de sedimentos en suspensión, todas las condiciones de borde de entrada a la malla deben contener, además del caudal o nivel, la concentración volumétrica de sedimentos para cada fracción.
2. La concentración volumétrica debe especificarse como una fracción de 1. Cabe destacar que, típicamente, la concentración total máxima de carga en suspensión no excede el valor 0.08. Las concentraciones mayores de 0.08 se consideran generalmente flujos hiper-concentrados que se alejan de la validez de los algoritmos de transporte de sedimento. Por lo tanto, la suma de todas las concentraciones iniciales no debe exceder el valor 0.08.

## 8.3 Panel de datos del flujo de lodos y detritos

Este panel permite introducir los datos del flujo de lodos y detritos para el modelo HydroBID Flood. Para activar este panel, primero seleccionar *Mud* en el cuadro de componentes del panel de datos de control.

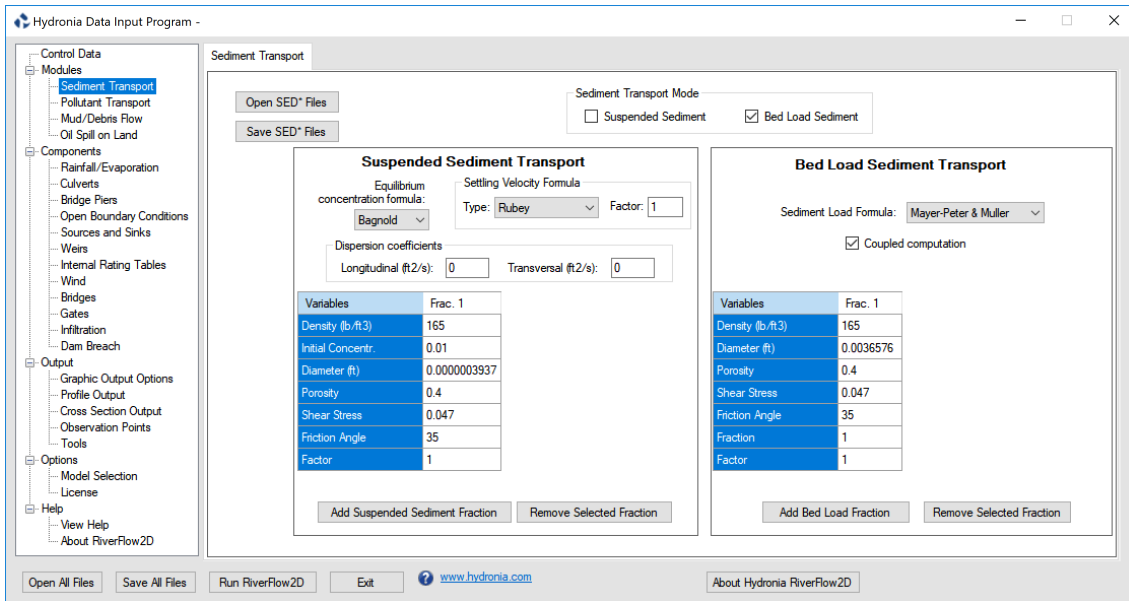


Figura 8.4 – Panel de transporte de sedimentos.

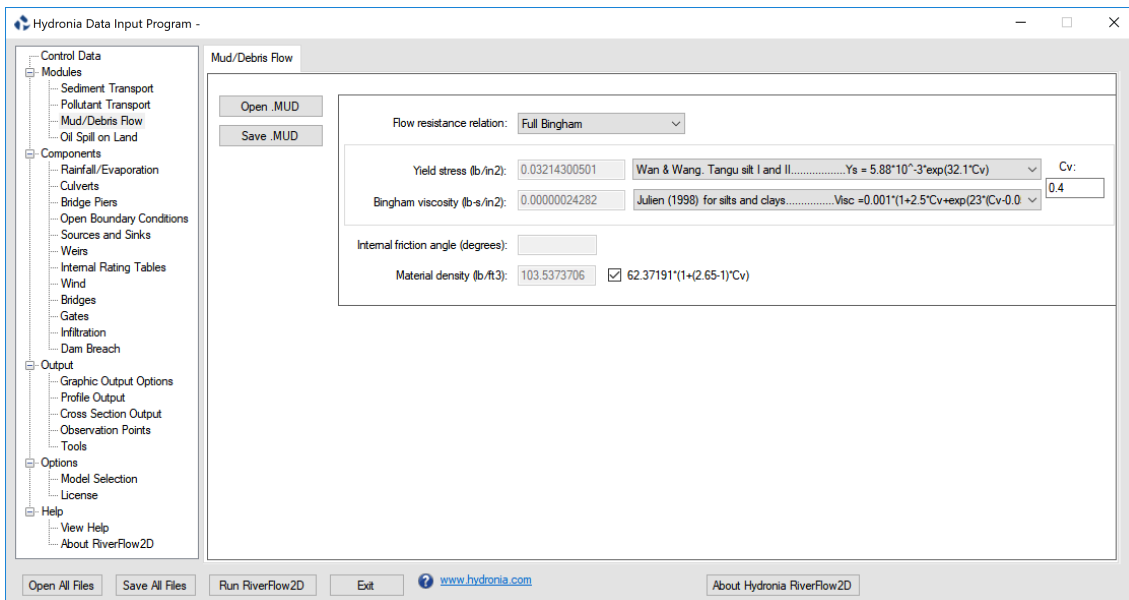


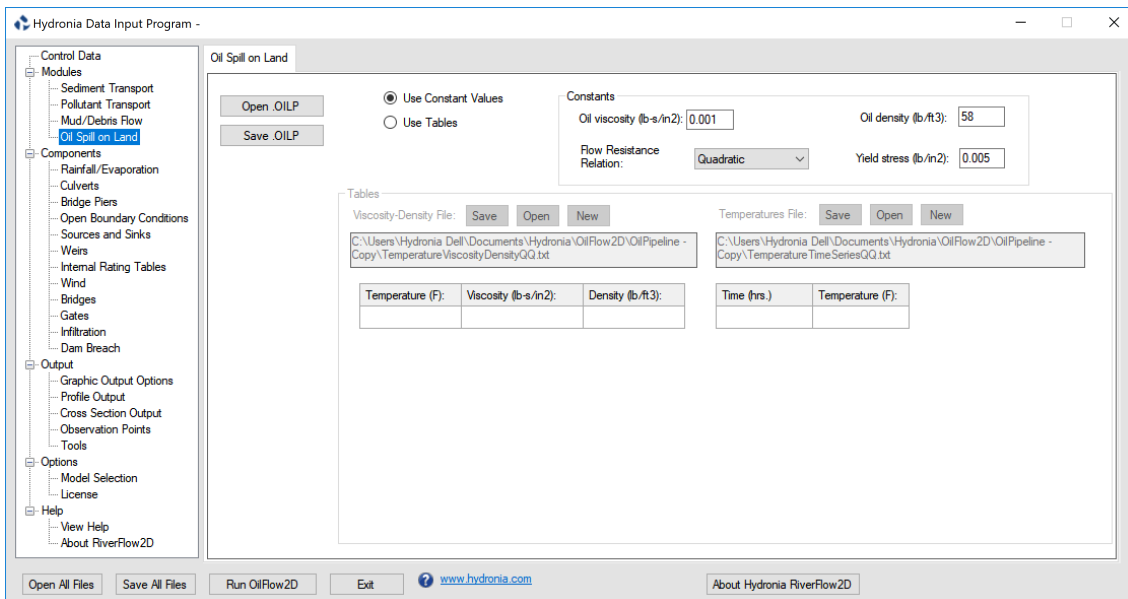
Figura 8.5 – Panel del flujo de lodos/detritos (modelo HydroBID Flood).

**Cuadro 8.11** – Parámetros en el panel del flujo de lodos/detritos (modelo HydroBID Flood).

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Relación de resistencia al flujo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flujo turbulento</li> <li>2. Bingham completo</li> <li>3. Bingham simplificado</li> <li>4. Turbulento y Coulomb</li> <li>5. Turbulento y fluencia (yield)</li> <li>6. Turbulento, Coulomb y fluencia (yield)</li> <li>7. Cuadrática</li> <li>8. Flujo granular</li> </ol>
Esfuerzo de fluencia ( <i>Yield stress</i> )	Esfuerzo de fluencia (Pa ó lb/in <sup>2</sup> ).
Viscosidad de Bingham	Viscosidad de Bingham (Poise ó lb/in <sup>2</sup> ).
Ángulo de fricción interna	Ángulo de fricción interna (grados).
Densidad del material	Densidad del material (kg/m <sup>3</sup> ó lb/ft <sup>3</sup> ).

## 8.4 Derrames de petróleo en tierra (archivo .OILP)

Este panel permite introducir las propiedades del fluido viscoso para el modelo OilFlow2D. Para activar este panel, primero seleccionar *Oil Spill on Land* en el cuadro de componentes del panel de datos de control.



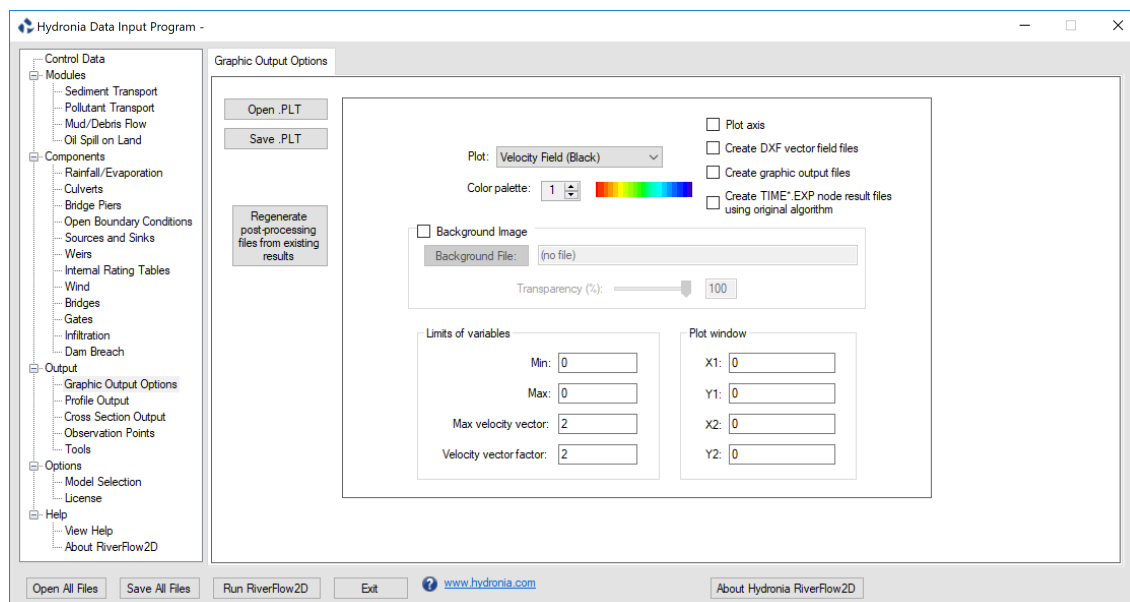
**Figura 8.6** – Panel de derrames de petróleo en superficie (modelo OilFlow2D).

**Cuadro 8.12** – Parámetros en el panel de derrames de petróleo en superficie (modelo OilFlow2D).

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Viscosidad del fluido	Viscosidad (Pascal s ó lb s/in <sup>2</sup> ).
Densidad del fluido	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ó lb/ft <sup>3</sup> ).

## 8.5 Pestaña de opciones de salida gráfica (archivo .PLT)

Este panel permite introducir las opciones para controlar la salida de HydroBID Flood. Para activar este panel, primero seleccionar *Graphic Output Options* en el grupo *Output* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.



**Figura 8.7** – Panel de salida gráfica.

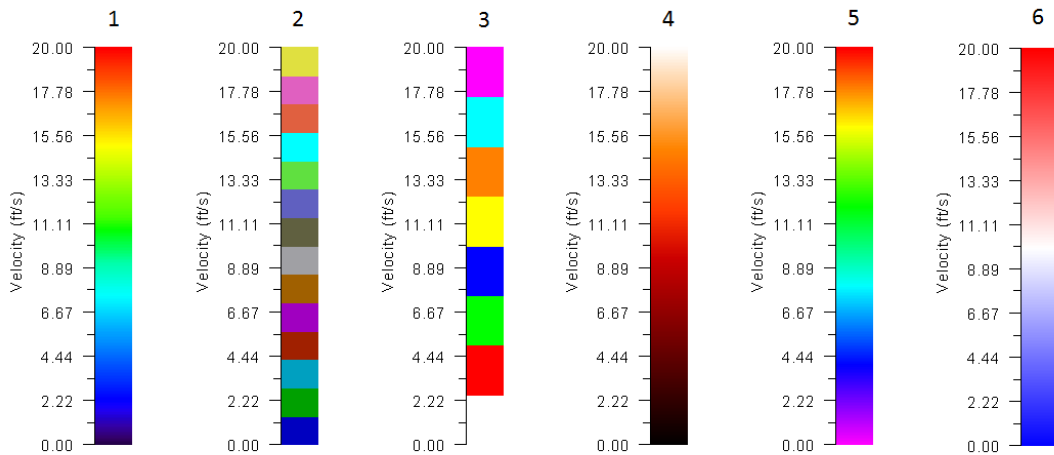


Figura 8.8 – Paletas de color.

Cuadro 8.13 – Parámetros en el panel de opciones de salida gráfica.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Botones</b>	
Abrir .PLT	Abre un archivo de datos de salida .PLT existente.
Gardar .PLT	Guarda solamente los datos de salida gráfica a un archivo .PLT.
Plot HydroBID Flood Results	Usar este botón para crear archivos de salida y visualizar los resultados de HydroBID Flood de simulaciones existentes. Los archivos de salida para la simulación tienen que estar disponibles.
<b>Cuadro de gráficos</b>	
Plot	<p>Elegir el gráfico deseado de la siguiente lista:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Campo de velocidades usando flechas negras.</li> <li>■ Campo de velocidades usando flechas coloreadas según la magnitud de la velocidad.</li> <li>■ Velocidades en negro sobre profundidades en color.</li> <li>■ Velocidades en negro sobre elevaciones del fondo en color.</li> <li>■ Profundidad de agua.</li> <li>■ Elevación del terreno.</li> <li>■ Elevaciones de agua.</li> <li>■ Velocidades en negro sobre elevaciones del agua en color.</li> <li>■ Erosión y deposición.</li> <li>■ Concentración</li> </ul>
Paleta de color	Elegir entre 6 esquemas de color (ver Figura 8.8).
Dibujar los ejes	Mostrar los ejes en el gráfico.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.13 – viene de la página anterior

<b>NOMBRE DEL CONTROL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Crear archivos DXF de campo vectorial	Generar archivos DXF (CAD) de vectores velocidad. Esta opción también exportará la malla en formato DXF al archivo: <ProjectName>\MESH.DXF.
Crear archivos de salida gráfica	Genera una imagen raster en formato GIF para cada paso de tiempo reportado.
Salida para crear <i>shape files</i>	Usando esta opción, HydroBID Flood generará archivos de apoyo que pueden ser empleados para crear <i>shape files</i> ESRI para los campos de velocidad, profundidades y elevación del agua.
<b>Cuadro de imagen de fondo</b>	
Imagen de fondo	Seleccionar esta opción si se desea importar una imagen aérea para gráficos dinámicos.
Archivo de fondo	Selecciona imágenes para el fondo. Los formatos soportados incluyen: .BMP, .GIF, .PNG y .TIF.
Transparencia	Transparencia de los gráficos para permitir visualizar la imagen de fondo en gráficos dinámicos. 100=transparencia completa, 0=opacidad completa.
<b>Cuadro de lista de variables</b>	
Min	Valor mínimo a representar del la variable actual elegida en la opción <i>Plot</i> .
Max	Valor máximo a representar del la variable actual elegida en la opción <i>Plot</i> .
Vector velocidad máximo	Máximo vector velocidad a graficar.
Factor del vector velocidad	Factor multiplicativo para amplificar las flechas en los gráficos vectoriales.
<b>Cuadro de la ventana de gráfico</b>	
	Se usa para definir el zoom o el área para la visualización. Si todos los valores son 0, se representará la extensión máxima.
X1	Coordenada X de la esquina inferior izquierda del rectángulo.
Y1	Coordenada Y de la esquina inferior izquierda del rectángulo.
X2	Coordenada X de la esquina superior derecha del rectángulo.
Y2	Coordenada Y de la esquina superior derecha del rectángulo.

## 8.6 Panel de salida de perfiles (archivo .PROFILES)

Usar este panel para introducir las coordenadas de la polilínea donde se representarán los resultados del modelo. HydroBID Flood generará archivos de salida .PRFI y .PRFE. Para activar este panel, primero seleccionar *Profile Output* en *Output* desde el grupo *Output* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.

Ver la sección de archivos de salida (9.4.3) para una descripción del contenido de los archivos de salida.



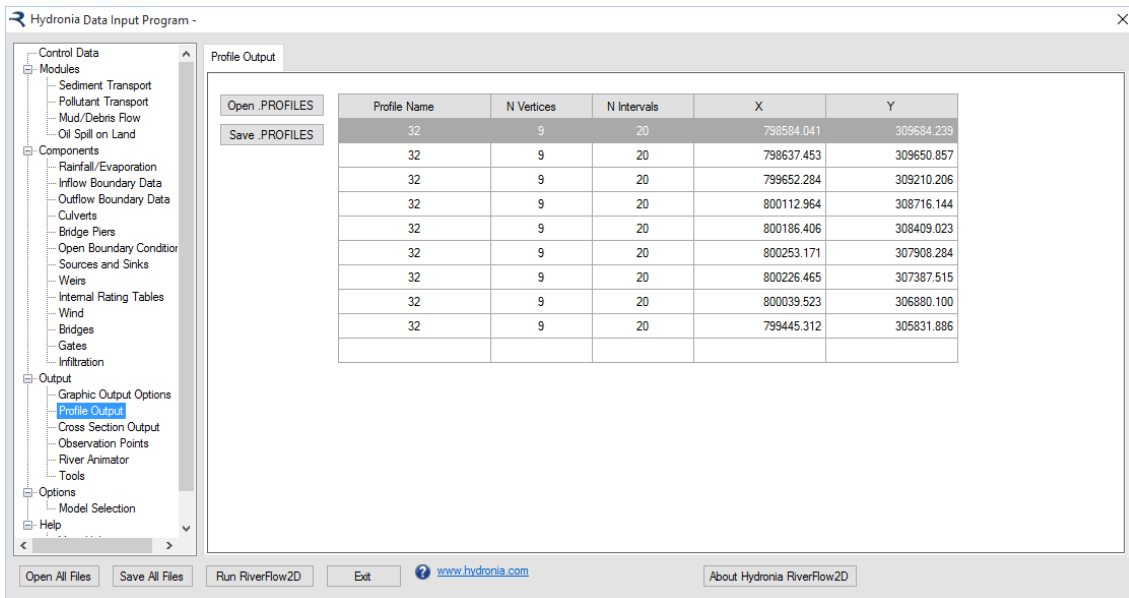


Figura 8.9 – Archivo de salida de perfiles.

Cuadro 8.14 – Parámetros en el panel de salida de perfiles.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Tabla de datos del perfil</b>	
Nombre del perfil	Nombre del perfil. No debe contener espacios en blanco y debe tener menos de 26 caracteres.
N Vértices	Número de vértices en cada perfil.
N Intervalos	Intervalos para dividir cada sub-segmento de perfil entre vértices. Los resultados se reportarán en cada intervalo.
X, Y	Coordenadas para cada vértice en la polilínea.
<b>Botones</b>	
Abrir .PROFILES	Abre un archivo .PROFILES existente.
Gardar .PROFILES	Guarda solamente los datos del perfil en un archivo .PROFILES.

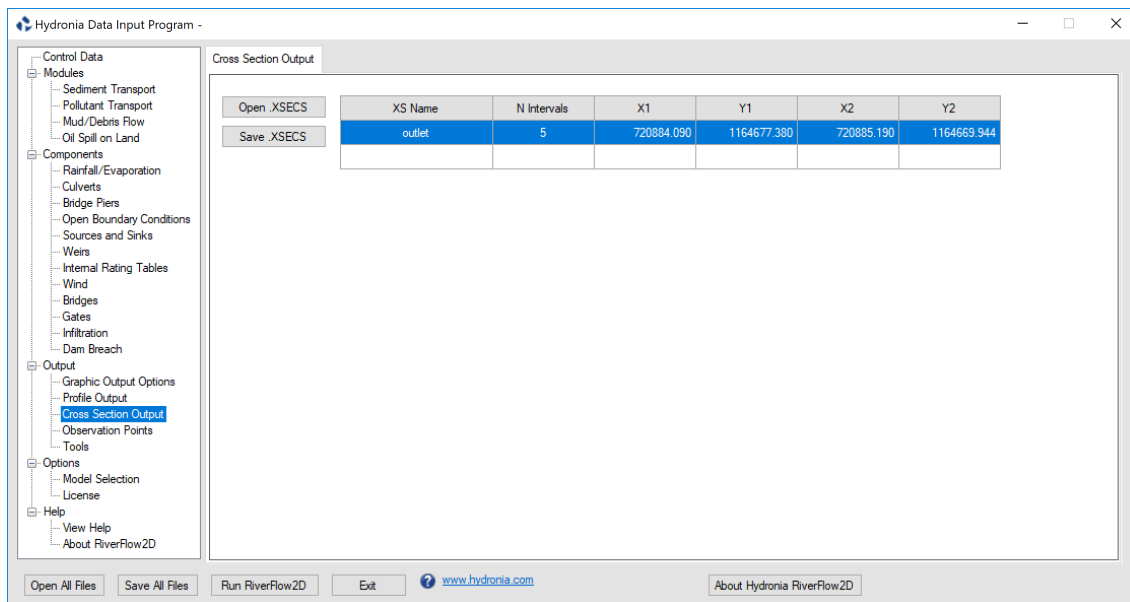
## 8.7 Panel de salida de las secciones transversales (archivo .XSECS)

Usar este panel para introducir las coordenadas para las secciones transversales que intersece la malla de elementos triangulares donde se desee que el modelo genere resultados. HydroBID Flood generará archivos .XSECI y .XSECE. Para activar este panel, primero seleccionar *Cross Section Output* desde el grupo *Output* en el panel de la izquierda del HydroBID Flood.

Ver la sección de archivos de salida (4.4.1) para una descripción del contenido de los archivos de salida.

**Cuadro 8.15** – Parámetros para secciones transversales.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Tabla de datos de las secciones transversales</b>	
Nombre de la sección transversal	Nombre de la sección transversal. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
N Intervalos	Intervalos para dividir cada sección. Los resultados se extraerán y se reportarán en cada intervalo.
X1 Y1 X2 Y2	Cada fila corresponde a las coordenadas del punto inicial (X1,Y1) y final (X2,Y2) de una sección transversal.
<b>Botones</b>	
Abrir .XSECS	Abre un archivo .XSECS existente.
Gardar .XSECS	Guarda solamente los datos de la sección transversal a un archivo .XSECS.



**Figura 8.10** – Panel de salida de secciones transversales.

## 8.8 Panel de datos del contorno de entrada

Usar este panel para crear, editar y representar gráficamente hidrogramas (caudal vs. tiempo o nivel de agua vs. tiempo) que pueden ser asignadas como condición de contorno de entrada. Para activar este panel, primero seleccionar *Inflow Boundary Data Output* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.

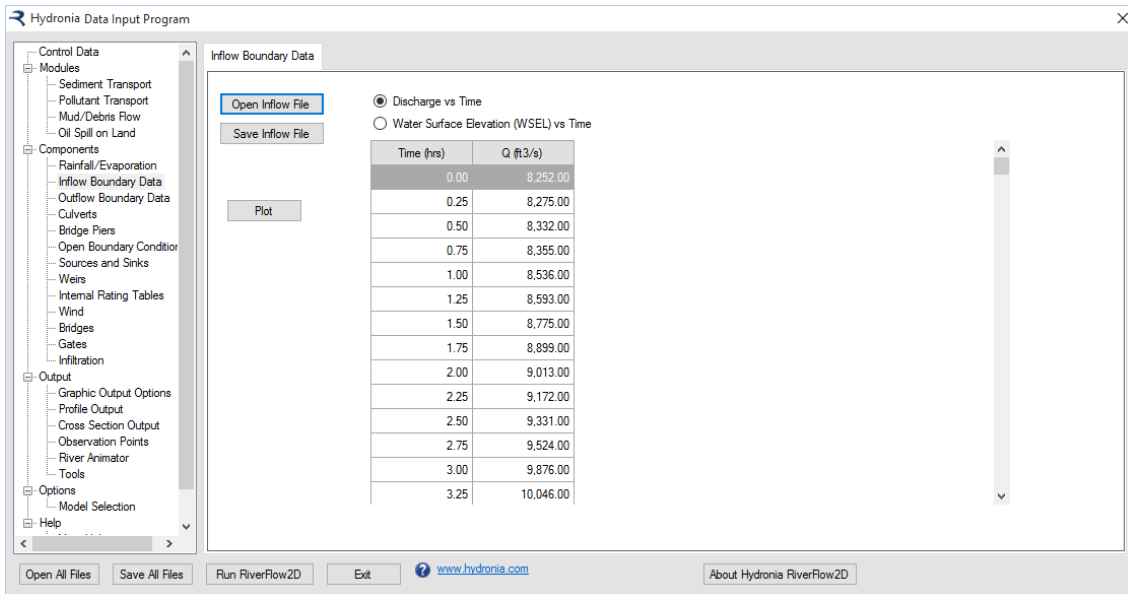


Figura 8.11 – Panel de datos del contorno de entrada.

Usar el botón *Plot* para generar un gráfico de la serie temporal, tal como se muestra en la Figura 8.12.

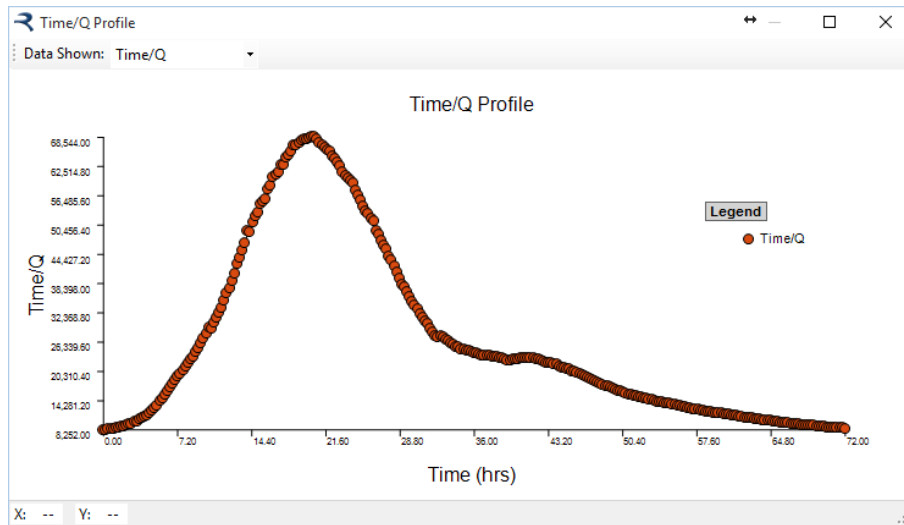


Figura 8.12 – Gráfico de hidrograma de entrada.

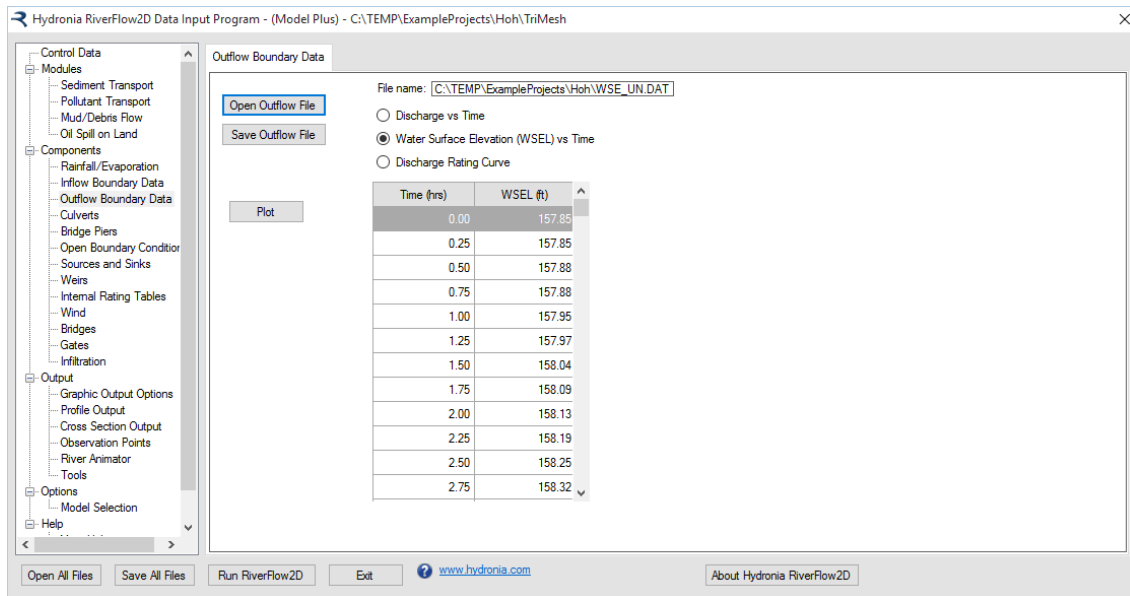
**Cuadro 8.16** – Parámetros en el panel de datos del contorno de entrada.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Seleccionar el tipo de condición de contorno</b>	
Caudal vs. Tiempo	Para seleccionar un hidrograma de caudal vs. tiempo.
Nivel de agua (WSE) vs. Tiempo	Para seleccionar una serie temporal de nivel de agua vs. tiempo.
<b>Tabla de datos</b>	
Tiempo (hrs.)	Tiempo en horas.
Q; WSEL*	Caudal de agua (m <sup>3</sup> /s ó ft <sup>3</sup> /s); Nivel de la superficie de agua (m ó ft).
<b>Botones</b>	
Abrir Inflow File	Abre un archivo existente con datos de la entrada.
Guardar Inflow File	Guarda solamente la tabla de entrada a un archivo.
Plot	Genera un gráfico de la serie temporal.

\*Varía de acuerdo con el tipo de condición de contorno.

## 8.9 Panel de condiciones de contorno de salida

El usuario deberá emplear este panel para crear, editar y representar hidrogramas (Caudal vs. Tiempo, Elevación de la superficie del agua vs. Tiempo o Tablas de distribución de caudal) que puedan ser asignadas como condición de salida. Para activar este panel, primero seleccionar *Outflow Boundary Data Output* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.



**Figura 8.13** – Panel de datos del contorno de salida.

Usar el botón "Plot" para generar un gráfico de la serie temporal

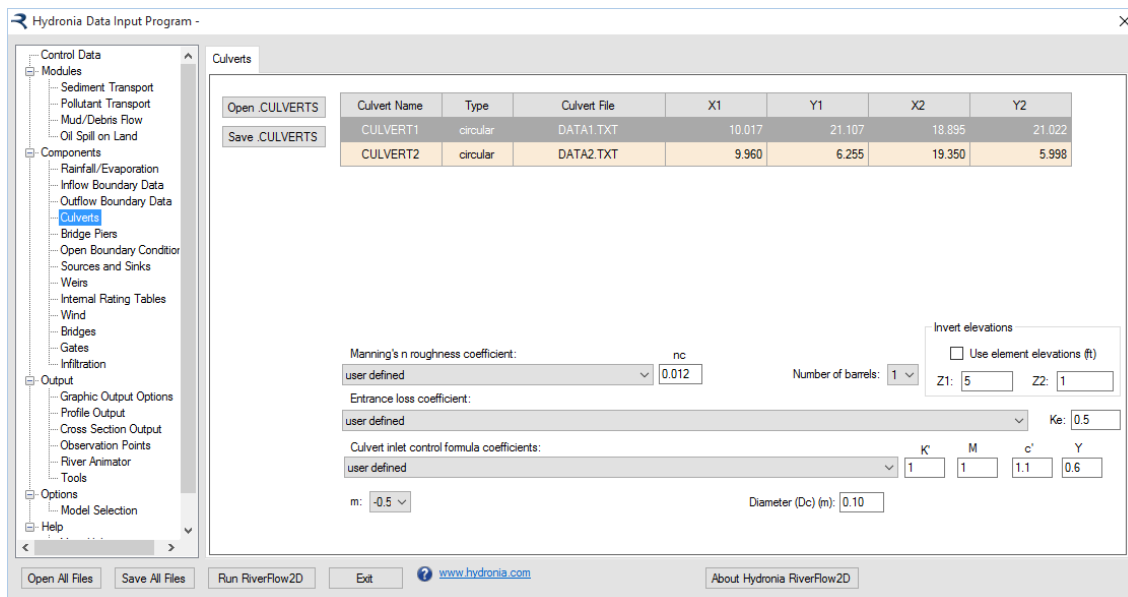
**Cuadro 8.17** – Parámetros en el panel de datos del contorno de salida.

<b>NOMBRE DEL CONTROL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Seleccionar el tipo de condición de contorno</b>	
Caudal vs. Tiempo	Para seleccionar un hidrograma de caudal vs. tiempo.
Elevación de la superficie del agua (WSE) vs. Tiempo	para seleccionar una serie temporal de nivel de agua vs Tiempo.
Curva de distribución de caudal (Discharge Rating Curve)	Para seleccionar una curva de distribución de caudal.
<b>Tabla de datos</b>	
Tiempo; Q*	Tiempo en horas; Q ( $m^3/s$ ó $ft^3/s$ ).
Q; WSE*	Caudal de agua ( $m^3/s$ ó $ft^3/s$ ); Elevación de la superficie del agua (m ó ft).
<b>Botones</b>	
Abrir Outflow File	Abre un archivo existente con los datos de salida.
Gardar Outflow File	Guarda solamente la tabla de salida a un archivo.
Plot	Genera un gráfico de la serie temporal.

\*Varía de acuerdo con el tipo de condición de contorno.

## 8.10 Panel de alcantarillas (archivo .CULVERTS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo .CULVERTS e introducir los datos para las alcantarillas. La Figura 8.14 muestra el panel *Culvert* con tres alcantarillas. Al seleccionar *Culvert1* en la primera fila, se muestra la tabla de distribución asociada (*rating table*). Para activar este panel, primero se ha de seleccionar *Culverts* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.



**Figura 8.14** – Panel de alcantarillas mostrando los datos en la curva de distribución (rating curve).

La Figura 8.14 muestra los correspondientes controles de datos de entrada que aparecen cuando se selecciona la primera fila para *Culvert1* que es una alcantarilla circular.

**Cuadro 8.18** – Parámetros en el panel de alcantarillas.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Culvert data</b>	
Nombre de la alcantarilla	Nombre de la alcantarilla. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
Tipo	Tipo de alcantarilla. Para <i>Type = 0</i> , el caudal de la alcantarilla se calcula desde una tabla de distribución ( <i>rating table</i> ) proporcionada por el usuario en el archivo de la alcantarilla. For <i>Types = 1 y 2</i> , el caudal se calcula usando las ecuaciones de alcantarilla basadas en las características de la alcantarilla proporcionadas en el archivo.
Archivo de alcantarilla	Nombre del archivo de la tabla de distribución para la alcantarilla o datos característicos de la alcantarilla. La cadena de caracteres no debe contener espacios en blanco y debe tener menos de 26 caracteres.
X1, Y1, X2, Y2	Coordenadas de los vértices que definen cada línea de la alcantarilla.

Continúa en la próxima página

Cuadro 8.18 – viene de la página anterior

<b>NOMBRE DEL CONTROL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Coefficiente de rugosidad de Manning	Coefficiente de Manning $n$ de la alcantarilla, proporcionado por la Tabla 7.2.
Coefficiente de pérdidas a la entrada	Coefficiente de pérdidas a la entrada de la alcantarilla, proporcionado por la Tabla 7.3.
Coefficientes de la fórmula de control de entrada de la alcantarilla	Coefficientes de la fórmula de control de entrada de la alcantarilla proporcionados por la Tabla 7.4.
$m$	Coefficiente de forma de entrada. $m=0.7$ para entradas ingleteadas, $m=0.5$ para todas las demás entradas.
Altura del conducto (Hb)	Altura del conducto para alcantarillas de tipo box (ft ó m). Solamente para alcantarillas de tipo box: CulvertType = 1.
Anchura del conducto (Base)	Anchura del conducto para alcantarillas de tipo box (m ó ft). Solamente para alcantarillas de tipo box: CulvertType = 1.
Diámetro (Dc)	Diámetro del conducto para alcantarillas circulares (m ó ft). Solamente para alcantarillas circulares: CulvertType = 2.
Número de conductos	Número de conductos idénticos.
Usar elevaciones de elemento	Cuando se selecciona esta casilla, el modelo extraerá las elevaciones de entrada o salida del conducto de las elevaciones del elemento o celda de los puntos finales de la alcantarilla. Si la casilla no está seleccionada, el usuario podrá introducir la elevación (Z2) que podrá ser diferentes de las elevaciones del elemento/celda.
<b>Botones</b>	
Abrir .CULVERTS	Abre un archivo .CULVERTS existente.
Gardar .CULVERTS	Guarda solamente los datos de la alcantarilla aun archivo .CULVERTS.

## 8.11 Panel de tablas internas de gastos (*Internal Rating Tables*) (archivo .IRT)

Este panel se usa para mostrar el contenido del archivo .IRT. En este panel, también es posible editar las polilíneas para las tablas internas de gastos (*Internal Rating Tables*), el tipo y el nombre del archivo de datos. Para activar este panel, primero se ha de seleccionar *Internal Rating Table* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.

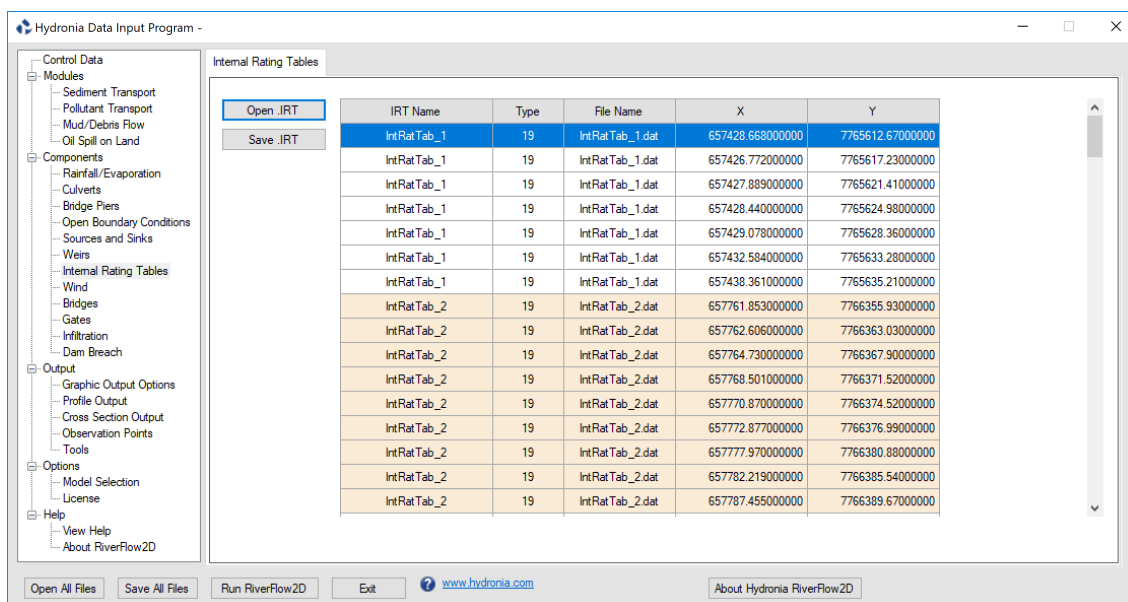


Figura 8.15 – Panel de tablas internas de gastos.

Cuadro 8.19 – Parámetros en el panel de tablas internas de gastos.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Data table</b>	
Nombre de la IRT	Nombre de tabla de gastos ( <i>Internal Rating Table</i> ). La cadena de caracteres no debe contener espacios en blanco y debe tener menos de 26 caracteres.
Tipo	La condición de contorno siempre es igual a 19 en esta versión, lo que se corresponde con tablas de caudal vs. elevaciones de la superficie del agua.
Nombre del archivo	Nombre del archivo que contiene los datos de la tabla interna de distribución en el formato descrito como un archivo de datos <i>stage-discharge</i>
X, Y	Coordenadas de los vértices que definen cara polilínea de la IRT.
<b>Botones</b>	
Abrir .IRT	Abre un archivo .IRT existente.
Gardar .IRT	Guarda solamente los datos de la IRT en un archivo .IRT.



## 8.12 Panel de vertederos (archivo .WEIRS)

Este panel se usa para mostrar el contenido del archivo .WEIRS. En este panel también se pueden generar los datos de la polilínea del vertedero. Para activar este panel, primero se ha de seleccionar *Weirs* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.

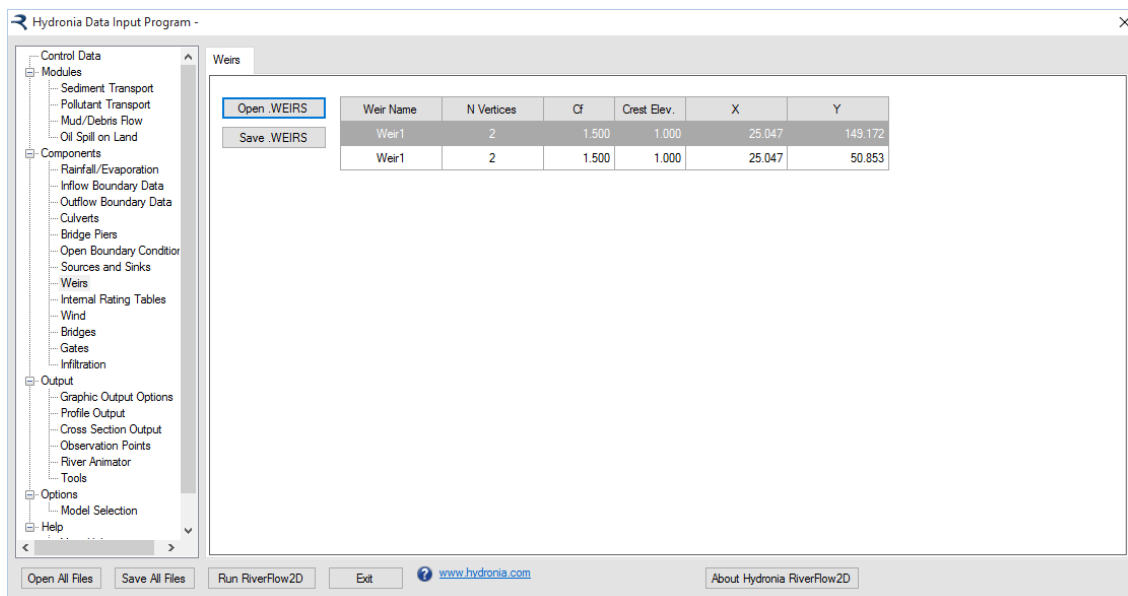


Figura 8.16 – Panel de vertederos.

Cuadro 8.20 – Parámetros en el panel de vertederos.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Data table</b>	
Nombre del vertedero	Nombre del vertedero. El nombre no debe contener espacios en blanco y debe tener menos de 26 caracteres.
N Vértices	Número de puntos que definen cada polilínea del vertedero.
Cf	Coefficiente del vertedero.
X, Y	Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea del vertedero (m ó ft).
<b>Botones</b>	
Abrir .WEIRS	Abre un archivo .WEIRS existente.
Gardar .WEIRS	Guarda solamente los datos del vertedero a un archivo .WEIRS.

## 8.13 Panel de fuentes/sumideros (archivo .SOURCES)

Este panel se usa para mostrar el contenido del archivo .SOURCES. También es posible usar este panel para crear los datos de la localización, el tipo y el archivo de datos de fuentes y sumideros. Para activar este panel, primero se deberá seleccionar *Fuentes/Sumideros* desde el grupo *Componentes* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.

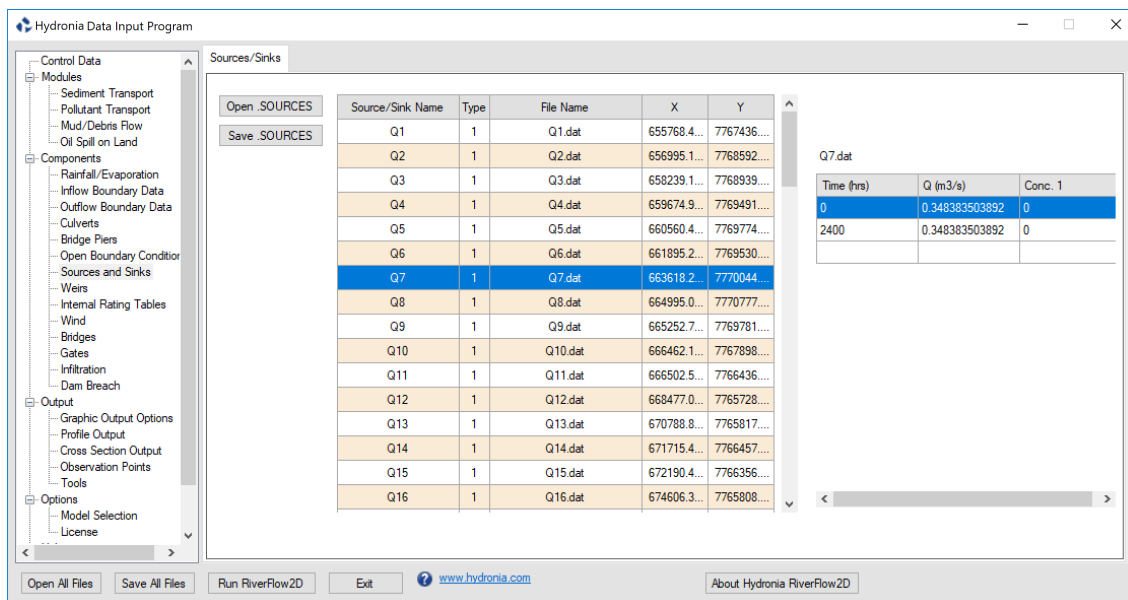


Figura 8.17 – Panel de fuentes/sumideros.

Cuadro 8.21 – Parámetros en el panel de fuentes/sumideros.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Tabla de datos</b>	
Nombre de la fuente o sumidero	Nombre de la fuente o sumidero puntual. El nombre no debe contener espacios en blanco y debe tener menos de 26 caracteres.
Nombre del archivo	Nombre del archivo que contiene la serie temporal de cada punto fuente o sumidero.
X, Y	Coordenadas del punto.
<b>Botones</b>	
Abrir .SOURCES	Abre un archivo .SOURCES existente.
Guardar .SOURCES	Guarda solamente los datos de fuentes/sumideros a un archivo .SOURCES.

## 8.14 Panel para cálculo de socavación de puentes (.SCOUR File)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo .SCOUR. Utilice este Panel para editar los datos de estribos o pilas de puente y calcular la socavación en esas estructuras. Para activar este panel, primero seleccione *Socavación de puentes* en los componentes y en el panel izquierdo del Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

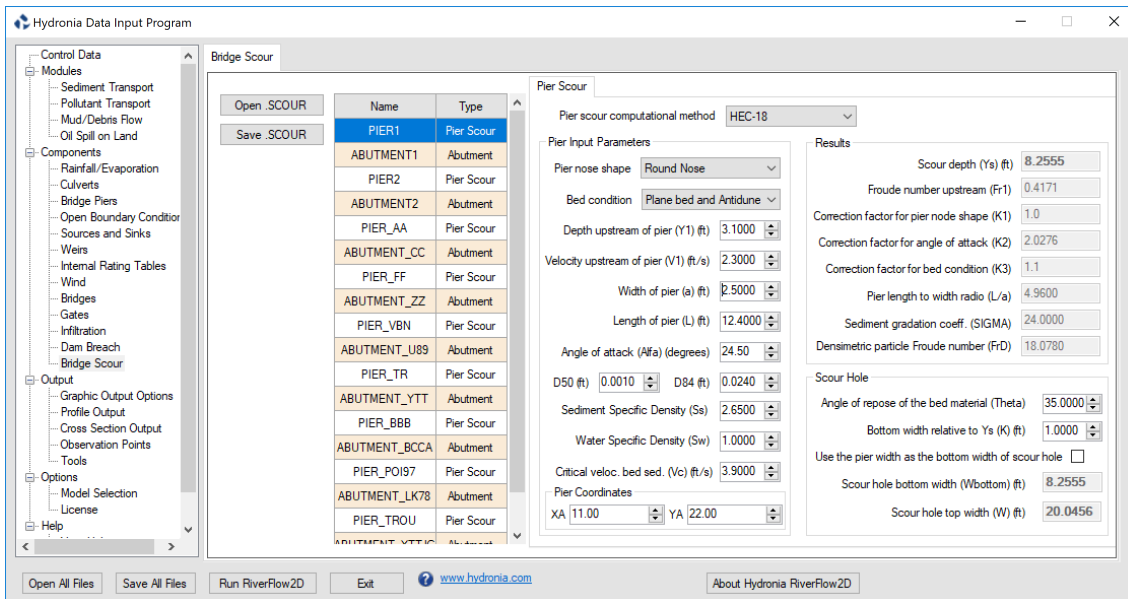


Figura 8.18 – Panel de socavación de puentes.

Cuadro 8.22 – Parámetros para las pilas y estribos en el panel de socavación de puentes.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
<b>Data table</b>	
ID	Nombre de la pila
Icomp:	Método de cálculo
XA, YA	Coordenadas de la pila
Y1	Profundidad justo aguas arriba de la pila
V1	Velocidad justo aguas arriba de la pila
Alfa	Angulo de ataque (grados)
alfaRAD	Angulo de ataque (radianes)
ishape	Forma de la pila
L	Longitud de la pila
a	Ancho de la pila
iBedCondition	Condición del fondo
D50	D50
D84	D84
Ss	Densidad específica del sedimento
Sw	Densidad específica del agua

Continúa en la siguiente página

Cuadro 8.22 – continua de la página anterior

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
K1	Factor de corrección por forma de la pila
K2	Factor de corrección por ángulo de ataque
K3	Factor de corrección por condición del fondo
K	Ancho de fondo relativo a $Y_s$
theta	Angulo de reposo del material de fondo
ys	Profundidad de socavación
W	Ancho tope del socavón
Wbottom	Ancho base del socavón
Fr1	Número de Froude aguas arriba de la pila
FrD	Número de Froude densimétrico de partícula
SIGMA	Coefficiente de graduación de sedimento
Vc	Velocidad crítica para iniciación de la erosión del material de fondo
iAbutmentType	Tipo de estribo
AlfaA	Factor de amplificación para condiciones de capa viva
AlfaB	Factor de amplificación para condiciones de aguas claras
YmaxLB	Máxima profundidad después de la socavación para condiciones de capa viva
YmaxCW	Máxima profundidad después de la socavación para condiciones de aguas claras
YcLB	Profundidad incluyendo socavación por contracción en condiciones de capa viva
YsA	Profundidad de socavación del estribo
YcCW1	Profundidad incluyendo socavación por contracción en condiciones de aguas claras. Método 1
YcCW2	Profundidad incluyendo socavación por contracción en condiciones de aguas claras. Método 2
q1	Caudal unitario aguas arriba
q2c	Caudal unitario en la contracción
n Manning	n de Manning
TauC	Esfuerzo cortante crítico
GammaW	Peso específico del agua
BridgeXSEC_X1, BridgeXSEC_Y1, BridgeXSEC_X2, BridgeXSEC_Y2	Coordenadas de la sección transversal del puente
UpstreamXSEC_X1, UpstreamXSEC_Y1, UpstreamXSEC_X2, UpstreamXSEC_Y2	Coordenadas de la sección transversal aguas arriba del puente
<b>Buttons</b>	
Open .SCOUR	Abre un archivo .SCOUR existente
Save .SCOUR	Guarda los datos de pilas y estribos en el archivo .SCOUR.

## 8.15 Panel de pilares de puentes (archivo .PIERS)

Este panel se usa para mostrar el contenido del archivo .PIERS. En este panel, también es posible generar los datos correspondientes a la localización del pilar y a sus datos característicos. Para activa este panel, primero se ha de seleccionar *Bridges Piers* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.

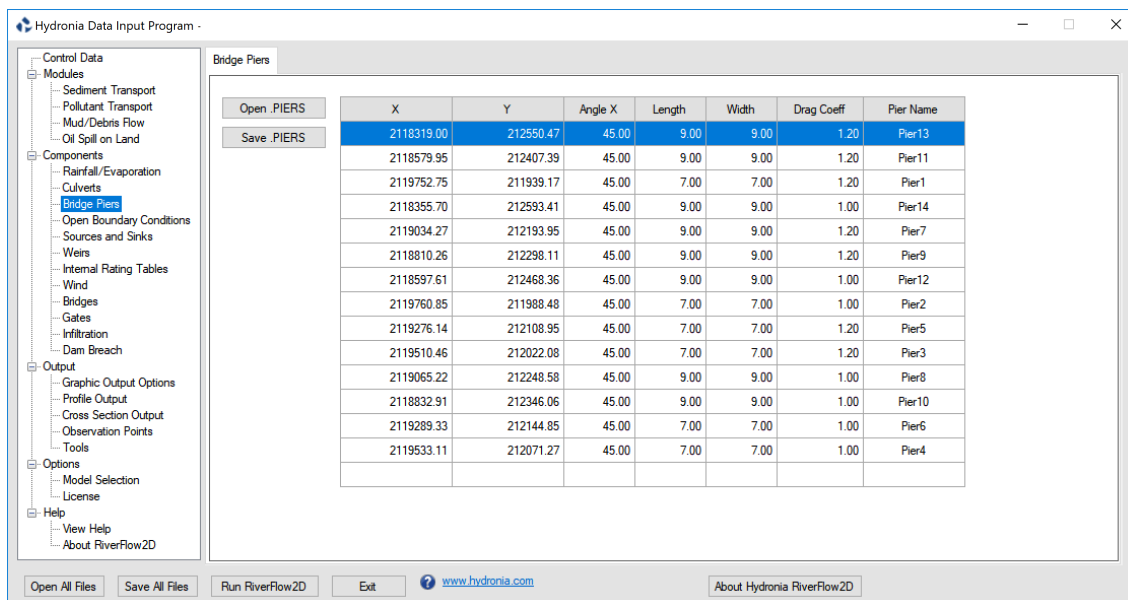


Figura 8.19 – Panel de los pilares del puente.

Cuadro 8.23 – Parámetros en el panel de los pilares del puente.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Tabla de datos</b>	
X,Y	Coordenadas del centroide del pilar.
Ángulo X	Ángulo del pilar con respecto del eje X.
Longitud	Longitud del pilar (m ó ft).
Anchura	Anchura del pilar (m ó ft).
Coefficiente de arrastre	Coefficiente de arrastre del pilar.
Nombre del pilar	Nombre del pilar. No debe contener espacios en blanco y debe tener menos de 26 caracteres.
<b>Botones</b>	
Abrir .PIERS	Abre un archivo .PIERS existente.
Gardar .PIERS	Guarda solamente los datos de los pilares del puente a un archivo .PIERS.

## 8.16 Panel de los puntos de observación (archivo .OBS)

Usar este panel para crear, editar y mostrar el contenido del archivo .OBS. Para activar este panel, primero seleccionar *Observation Points* desde el grupo *Output* en el panel izquierdo del HydroBID Flood.

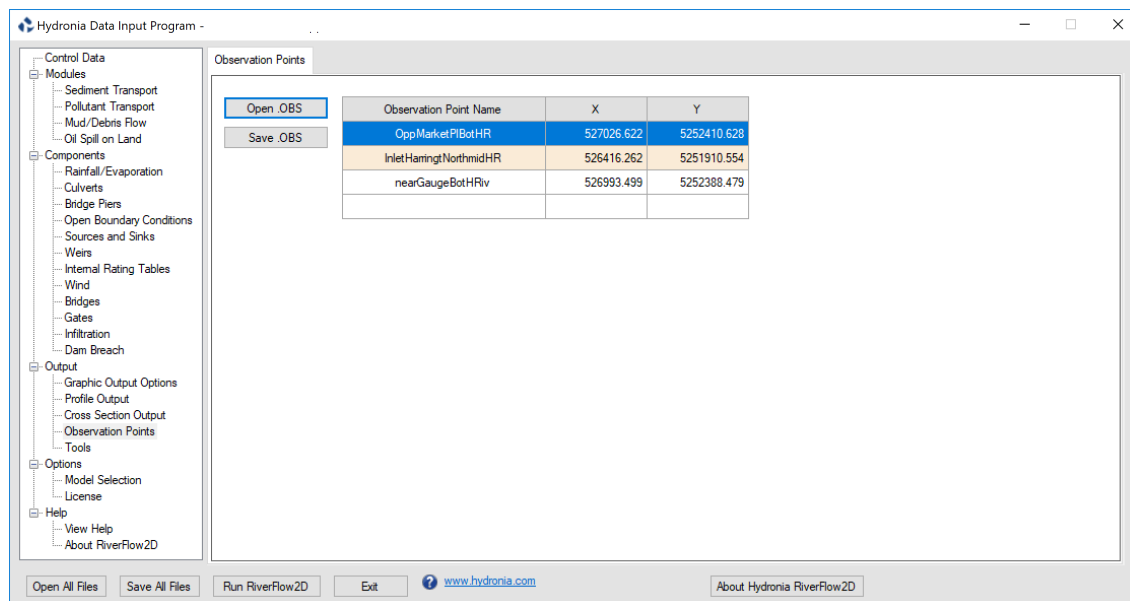


Figura 8.20 – Panel de puntos de observación.

Cuadro 8.24 – Parámetros en el panel de los puntos de observación.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
<b>Tabla de datos</b>	
Nombre del punto de observación	Nombre del punto de observación. No debe contener espacios en blanco y debe tener menos de 26 caracteres.
X,Y	Coordenadas del punto.
<b>Botones</b>	
Abrir .OBS	Abre un archivo .OBS existente.
Gardar .OBS	Guarda solamente los datos del punto de observación a un archivo .OBS.

## 8.17 Panel de herramientas

Esta sección describe herramientas disponibles en el Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

### 8.17.1 Herramienta de extracción de datos de HEC-RAS

El propósito de esta herramienta es el de facilitar la migración de proyectos de HEC-RAS existentes a HydroBID Flood. El programa permite la extracción de datos de puntos de elevación desde secciones transversales geo-referenciadas del modelo unidimensional HEC-RAS desarrollado por la USACE. La herramienta lee los archivos de geometría de HEC-RAS con la extensión .g01, .g02, etc. y crea archivos X Y Z que pueden ser importados en HydroBID Flood. La utilidad discrimina las elevaciones en el canal entre el banco izquierdo y el derecho en cada sección transversal y exporta los archivos como se detalla en la siguiente tabla.

**Cuadro 8.25** – Archivos generados por la herramienta de extracción de datos de HEC-RAS.

NOMBRE DEL ARCHIVO	DESCRIPCIÓN
<HEC-RAS file name>_ALL_STATIONS.EXP	Contiene los puntos de elevación en todas las secciones transversales de HEC-RAS en el archivo <HEC-RAS file name>.g0?.
<HEC-RAS file name>_ALL_POLY.EXP	Contiene polígonos que incluyen todos los puntos de elevación en cada tramo
cline1-2 <HEC-RAS file name>h0_CHANNEL_STATIONS.EXP	Contiene solamente los puntos de elevación entre los bancos izquierdo y derecho en todas las secciones y tramos contenidos en el archivo <HEC-RAS file name>.g0?.
<HEC-RAS file name>_CHANNEL_POLY.EXP	Contiene polígonos que incluyen solamente la elevación en el canal principal de cada tramo.

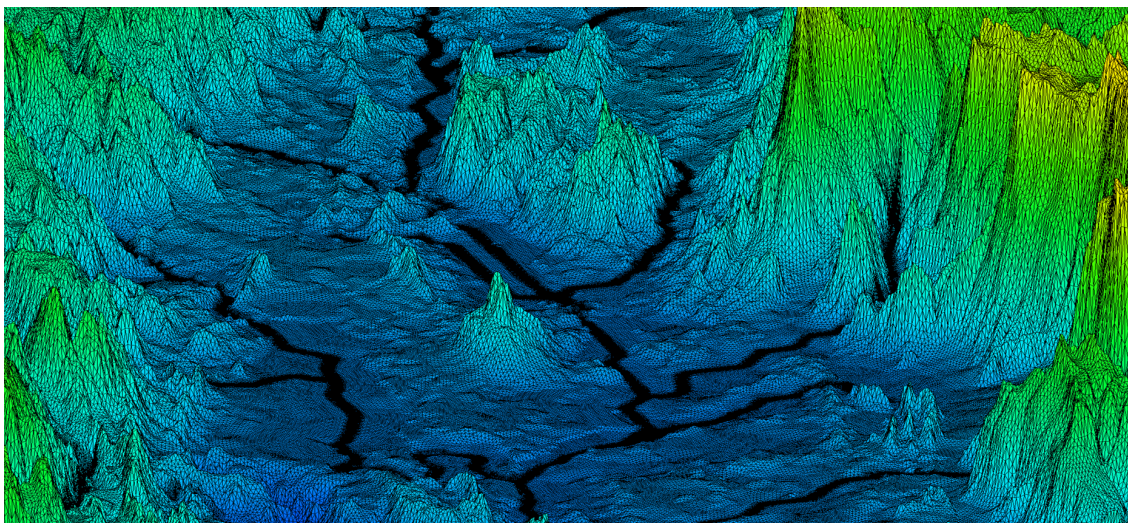
Para activar este panel, primero seleccione *Tools* del grupo de *Output group* en el panel izquierdo del Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

## 9 - Archivos de entrada de datos

Los datos para la información no espacial requerida para simular con HydroBID Flood son creados por el complemento desde QGIS. Todos los archivos de entrada de HydroBID Flood están en formato ASCII con forma libre, el cuál puede ser importado en cualquier editor de texto u hoja de cálculo. En algunos casos, puede ser conveniente editar directamente los datos. Sin embargo, es recomendable editar los archivos con precaución y solamente después de haber adquirido un cabal entendimiento de los formatos de archivos de HydroBID Flood. Esta sección explica los archivos de entrada de datos y los parámetros incluidos en cada uno.

La instalación del programa HydroBID Flood crea una carpeta con varios proyectos de ejemplo que pueden ser consultados para revisar los archivos de datos del modelo. Dependiendo del sistema operativo empleado y su configuración, esta carpeta puede encontrarse en:

.\Documentos\RiverFlow2D\_QGIS\ExampleProjects.



**Figura 9.1** – Ejemplo de una malla de HydroBID Flood.

Los archivos de datos de HydroBID Flood tendrán el mismo nombre y usarán las extensiones listadas en la tabla inferior. Por ejemplo, una simulación de nombre Run1 tendrá una serie de archivos denominados Run1 . DAT, Run1 . FED, etc. La siguiente tabla resume los archivos de datos usados por el modelo HydroBID Flood.



Cuadro 9.1 – Lista de archivos de entrada.

NOMBRE	EXTENSIÓN DEL ARCHIVO	DEPENDENCIAS	CONTENIDO
<b>QGIS</b>			
<b>ARCHIVOS INDIVIDUALES DE DATOS CREADOS DESDE EL *2DM</b>			
<b>ARCHIVOS DE DATOS ESPACIALES</b>			
Datos de elevaciones	cualquiera	Requerido	Puntos con los datos de elevación.
Datos de la malla de elementos triangulares	.FED	Requerido	Coordenadas de los nodos y elevaciones, topología de la malla triangular, tipos de condiciones de contorno, niveles iniciales de agua y coeficientes n de Manning.
Nodos de contorno	.TBA	Archivo interno	Listado de nodos de contorno, tanto externos como de tipo isla. Este archivo es generado automáticamente por HydroBID Flood.
Condiciones de contorno I/O	.IFL	Archivo interno	Listado de nodos de contorno externos, condiciones de entrada y salida. Este archivo es generado automáticamente por HydroBID Flood.
Archivo de condiciones de contorno	.OBCP	Requerido	Listado de condiciones de contorno externas. Para cada contorno, contiene la lista de nodos y el archivo de datos asociado. Este archivo es generado automáticamente por HydroBID Flood, basándose en la información en el archivo .FED.
<b>ARCHIVOS DE CONTROL</b>			
Datos de control de la simulación	.DAT	Requerido	Opciones generales de control de la simulación, incluyendo el paso de tiempo, tiempo de simulación, unidades métricas o inglesas, opciones de salida gráfica, condiciones iniciales, componentes, etc.
Opciones de representación de resultados	.PLT	Opcional	Opciones de salida gráfica.
Datos de los puntos de observación	.OBS	Opcional	Localización de los puntos de observación donde el modelo reportará series temporales de resultados.
Salida de secciones transversales	.XSECS	Opcional	Lista de secciones transversales donde el modelo reportará resultados. Cada sección transversal se define por las coordenadas de sus dos puntos extremos.
Salida de perfiles	.PROFILES	Opcional	Línea en la malla a lo largo de la cual se obtienen los resultados.
<b>CONDICIONES DE CONTORNO</b>			

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.1 – viene de la página anterior

Archivos con serie temporal o tabla de caudal/nivel para las condiciones de contorno de entrada o salida	definido por el usuario	Requerido	Hidrograma, nivel de agua vs. tiempo, etc. El modelo requiere un archivo para cada condición de contorno abierta, excepto las condiciones de tipo <i>libre</i> .
Concentración inicial de cada contaminante	.CINITIAL	Se selecciona la componente de transporte de contaminantes	Define las concentraciones iniciales sobre la malla.
<b>ARCHIVOS DE COMPONENTES</b>			
Puentes	.BRIDGES	Se selecciona la componente de puentes	El archivo con la geometría de la sección transversal se emplea para calcular pérdidas energéticas.
Alcantarillas	.CULVERTS	Se selecciona la componente de alcantarillas	Archivos de datos con la localización de la alcantarilla y sus datos asociados.
Compuertas	.GATES	Se selecciona la componente de compuertas	Archivos de datos con la localización de la compuerta y su apertura asociada.
Infiltración	.LRAIN	Se selecciona la componente de infiltración	Archivos de datos de infiltración.
Tablas de distribución interna ( <i>Internal Rating Tables</i> , IRT)	.IRT	Se selecciona la componente de IRT	Datos para imponer IRTs a lo largo de contornos internos.
Coefficiente n de Manning variable con la profundidad	.MANN	Creado a partir de polígonos en la capa <i>ManningsNz</i>	Provee los parámetros necesarios para tener en cuenta la dependencia del coeficiente de rugosidad de Manning con la profundidad, de acuerdo con una tabla proporcionada por el usuario.
Lodos	.MUD	Se selecciona la componente de flujo de lodos/detritos	Provee los parámetros necesarios para simular el flujo de lodos y detritos.
Derrames de petróleo	.OILP	Se selecciona la componente de derrames superficiales de petróleo	Contiene los parámetros para simulación de derrames de fluidos viscosos sobre tierra.
Pilares de puente	.PIERS	Se selecciona la componente de pilares de puentes	Datos de los pilares de puentes empleados para calcular fuerzas de arrastre.
Transporte de contaminantes	.SOLUTE	Se selecciona la componente de transporte de contaminantes	Datos para contaminantes pasivos o reactivos.
Lluvia/Evaporación	.LRAIN	Se selecciona la componente de lluvia/evaporación	Serie temporal para lluvia y evaporación.
Transporte de sedimento de fondo	.SEDB	Modelo de transporte de sedimentos	Datos de transporte de sedimento de fondo.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.1 – viene de la página anterior

Transporte de sedimento en suspensión	.SEDS	Modelo de transporte de sedimentos	Datos de transporte de sedimento en suspensión.
Fuentes y sumideros	.SOURCES	Se selecciona la componente de fuentes/sumideros	Este archivo contiene la localización de las fuentes de caudal de entrada o los sumideros de caudal de salida, así como los archivos asociados con la serie temporal de caudal.
Weirs	.WEIRS	Se selecciona la componente de vertederos	Este archivo contiene las polilíneas del vertederos y datos asociados al mismo.
Socavación de puentes	.SCOUR	Se requiere para cálculo de socavación en estribos y pilas de puentes.	Contiene los parámetros de las pilas y estribos necesarios para calcular la socavación.
Viento	.WIND	Se selecciona la componente de viento	Este archivo contiene datos sobre la densidad específica del viento y la velocidad.

## 9.1 Datos del control de simulación

### 9.1.1 Archivo de datos del control de simulación: .DAT

Este archivo contiene los parámetros para controlar la simulación, incluyendo el paso de tiempo, el tiempo de simulación, unidades métricas o inglesas, los procesos físicos o las componentes a incluir, las salida gráfica y las opciones de condiciones iniciales.

Línea 1: Número de versión interna del programa.

**RELEASE**

Línea 2: Selector de modelo.

**IMS**

Línea 3: Selector de procesos físicos o componentes.

**IRAIN ISED IPIERS IWEIRS ICULVERTS ISOURCES IINTRC IBRIDGES IGATES IDAMS ISWMM**

Línea 4: Activador del método de seco-mojado.

**IWETDRY**

Línea 5: Activadores de control de salida.

**IEXTREMES IXSEC IPROFILE DUMMY IOBS**

Línea 6: Datos de control de tiempo.

**DUMMY CFL DUMMY TOUT TLIMIT**

Línea 7: Activadores del control de condiciones iniciales y *hot start*.

**IINITIAL IHOTSTART**

Línea 8: Activador del coeficiente de Manning variable con la profundidad.

**IMANN**

Línea 9: Factor multiplicativo global para el coeficiente n de Manning.

**XNMAN**

Línea 10: Parámetro sin uso.

**DUMMY**

Línea 11: Definición del sistema de unidades.

**NUNITS**

Línea 12: Detención de la superficie de agua o valor mínimo de profundidad para áreas secas.

**HMIN**

Línea 13: Nivel de agua inicial.

**INITIAL\_WSE**

Línea 14: Selector del modelo de transporte de contaminantes.

**IADDISP**

Línea 15: Esfuerzo con el viento.

**IWIND**

Línea 16: Modelo de flujo de lodos/detritos.

**IMUD**

Línea 17: Número de núcleos o ID de la GPU.

**IDGPU**

Línea 18: Interfaz gráfica de usuario que generó los archivos.

**IGUI IGUI**

Línea 19: Componentes adicionales.

**ISOUR USOFUTURO2 USOFUTURO3 USOFUTURO4 USOFUTURO5 USOFUTURO6 USOFUTURO7 USOFUTURO8 USOFUTURO9 USOFUTURO10**

### 9.1.1.1 Ejemplo de archivo .DAT

```
201301
1
0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0
2
0 0 0 0 0
0 0.5 0.25 0.25 8
1 0
1
1
0.9
1
-1
```

0  
0  
0  
0  
4  
2  
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Cuadro 9.2 – Descripción de las variables para el archivo .DAT.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CFL	R	(0, 1]	-	Se aplica a los modelos HydroBID Flood y HydroBID Flood GPU. Número de Courant. El valor por defecto es 0.7. El modelo puede requerir valores más pequeños de CFL si los resultados muestran signos de oscilaciones inesperadas o inestabilidades. A menudo el CFL se puede incrementar hasta 1 sin comprometer la estabilidad de los resultados.
DUMMY	R	-	-	Parámetro para uso futuro. Ignorado en HydroBID Flood.
HMIN	R	-1 o > 0	m/ft	En HydroBID Flood, HMIN es el límite de profundidad para los cálculos de seco-mojado. Si la profundidad es menos que HMIN, la velocidad de la celda se impondrá como 0. Si HMIN=-1, todas las celdas con profundidades menores que $10^{-6}$ se considerarán secas.
IADDISP	I	0,1	-	Interruptor para activar el modelo de transporte de contaminantes. 0: Apaga los cálculos de transporte de contaminantes. 1: Aplica el transporte de contaminantes.
IBRIDGES	I	0,1	-	Interruptor para activar la componente de puentes. 0: Apaga la componente de puentes. 1: Aplica la componente de puentes. Requiere el archivo .BRIDGES. Ver los detalles en la Sección <i>Puentes</i> de este manual.
ICULVERTS	I	0,1	-	Interruptor que indica si se usarán las alcantarillas unidimensionales. 0: No se usarán alcantarillas. 1: Se usarán alcantarillas. Requiere el archivo .CULVERTS. Ver los detalles en la Sección <i>Alcantarillas</i> de este manual.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.2 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IDAMS	I	0,1	-	<p>Interruptor para activar la componente <i>Dam Breach</i> .</p> <p>0: Apaga la componente <i>Dam Breach</i> .</p> <p>1: Aplica la componente <i>Dam Breach</i> .</p> <p>Requiere el archivo <i>.DAMBREACH</i>. Ver los detalles en la Sección <i>Dam Breach</i> de este manual.</p>
IDGPU	I	$\geq 0$	-	<p>HydroBID Flood : Este parámetro indica cuántos procesadores o núcleos será usados en el cálculo en paralelo. El número máximo dependerá de las capacidades del procesador. HydroBID Flood GPU: Si el ordenador dispone de múltiples tarjetas GPU, este parámetro permite seleccionar qué tarjeta será empleada para la simulación. Dado que el modelo tiene un límite de una simulación por tarjeta, este parámetro permite realizar simulaciones simultáneas en tarjetas diferentes.</p>
IEXTREMES	I	0,1	-	<p>Interruptor para reportar valores máximos a lo largo de la simulación.</p> <p>0: No reporta valores máximos.</p> <p>1: Reporta valores máximos.</p>
IGATES	I	0,1	-	<p>Interruptor para activar la componente de compuertas.</p> <p>0: Apaga la componente de compuertas.</p> <p>1: Aplica la componente de compuertas.</p> <p>Requiere el archivo <i>.GATES</i>. Ver los detalles en la Sección <i>Compuertas</i> de este manual.</p>
IGUI	I	1, 2, 3	-	<p>Este parámetro indica qué interfaz gráfica de usuario fue usada para generar los archivos de HydroBID Flood.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aquaveo SMS</li> <li>2. QGIS</li> </ol>
IHOTSTART	I	0,1	-	<p>Interruptor para comenzar la simulación desde cero o continuar desde una simulación previa.</p> <p>0: Comenzar la simulación desde el tiempo inicial.</p> <p>1: Comenzar la simulación desde una simulación previa.</p>

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.2 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IINTRC	I	0,1	-	<p>Interruptor para las tablas de distribución internas (<i>Internal Rating Tables</i>).</p> <p>0: No usar la componente IRT.</p> <p>1: Usar la componente IRT.</p> <p>Ver detalles en la Sección <i>Tablas de gasto internas</i> de este manual.</p>
IINITIAL	I	0,1,2,-9999	-	<p>Interruptor para la condición inicial de nivel de agua.</p> <p>0: Nivel de agua horizontal.</p> <p>1: Fondo seco en toda la malla.</p> <p>2: Niveles de agua iniciales leídos del archivo .FED.</p>
INITIAL_WSE	R	-	<i>m/ft</i>	<p>Nivel inicial de agua en la malla. Éste será el nivel inicial de la superficie del agua si IINITIAL es 0. Ver comentario 3.</p>
IMANN	I	1,2	-	<p>Interruptor para el coeficiente n de Manning variable con la profundidad.</p> <p>0: El coeficiente n de Manning es constante para todas las profundidades.</p> <p>1: El coeficiente n de Manning puede variar con la profundidad tal como se define en el archivo .MANNN.</p>
IMS	I	1,2	-	<p>Interruptor para seleccionar el motor del modelo hidrodinámico.</p> <p>1: HydroBID Flood .</p> <p>2: HydroBID Flood GPU.</p>
IMUD	I	0,1	-	<p>Interruptor para activar el modelo de flujo de lodo/detritos.</p> <p>0: No simular con el modelo de flujo de lodo/detritos.</p> <p>1: Simular con el modelo de flujo de lodo/detritos.</p> <p>Requiere el archivo .MUD. Ver detalles en la Sección <i>Modelo de flujo de lodo/detritos</i> de este manual.</p>

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.2 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IOBS	I	0,1	-	<p>Interruptor para reportar series temporales de resultados en localizaciones específicas definidas por coordenadas.</p> <p>0: No reportar los resultados de puntos de observación.</p> <p>1: Reportar los resultados de puntos de observación.</p> <p>Requiere el archivo .OBS. Ver detalles en la Sección <i>Puntos de observación</i> de este manual.</p>
IPIERS	I	0,1	-	<p>Interruptor para permitir considerar la fuerza de rozamiento con el pilar del puente.</p> <p>0: No usar la opción de fuerza de rozamiento con el pilar del puente.</p> <p>1: Usar la opción de fuerza de rozamiento con el pilar del puente.</p> <p>Requiere el archivo .PIERS. Esta opción puede ser usada si la malla no considera la geometría del pilar de puente. Ver detalles en la Sección <i>Pilares de puente</i> de este manual.</p>
IPOLLUTANT	I	0,1	-	<p>Interruptor para activar el modelo de transporte de contaminantes.</p> <p>0: No simular con el modelo de transporte de contaminantes.</p> <p>1: Simular con el modelo de transporte de contaminantes. Requiere el archivo .AD.</p> <p>Ver detalles en las Sección <i>Modelo de transporte de contaminantes</i> de este manual.</p>
IPROFILE	I	0,1	-	<p>Interruptor para controlar la salida de los perfiles.</p> <p>0: No se generan resultados de perfiles.</p> <p>1: Se generan resultados de perfiles.</p> <p>Requiere el archivo .PROFILES. Ver comentario 4.</p>
IRAIN	I	0-4	-	<p>Interruptor para la entrada de lluvia y evaporación.</p> <p>0: No se modela la lluvia.</p> <p>1: No se usa.</p> <p>2: Lluvia/evaporación.</p> <p>3: Infiltración.</p> <p>4: Lluvia/evaporación e infiltración.</p>

Continúa en la próxima página



Cuadro 9.2 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ISED	I	0,1	-	<p>Interruptor para el transporte de sedimentos.</p> <p>0: No se modela el transporte de sedimentos.</p> <p>1: Se simulará el transporte de sedimentos, erosión del fondo móvil y deposición. Requiere el archivo .SED.</p> <p>Ver detalles en las Sección <i>Transporte de sedimentos</i> de este manual.</p>
ISCOUR	I	0,1	-	<p>Interruptor para cálculo de socavación en puentes.</p> <p>0: Desactiva el cálculo de socavación en puentes.</p> <p>1: Se calcula la socavación en pilas y estribos de puentes. Se requiere el archivo .SCOUR.</p>
ISOURCES	I	0,1	-	<p>Interruptor para las fuentes y sumideros.</p> <p>0: No hay fuentes ni sumideros.</p> <p>1: Hay fuentes o sumideros. Requiere el archivo .SOURCES.</p> <p>Ver detalles en las Sección <i>Fuentes</i> de este manual.</p>
ISWMM	I	0,1	-	<p>Interruptor para el Módulo de Drenaje Urbano.</p> <p>0: Desactiva el cálculo de colectores de drenaje.</p> <p>1: Se integra el cálculo de red de colectores de drenaje urbano mediante el modelo EPA-SWMM model. Requiere el archivo .LSWMM y un archivo .INP de SWMM.</p>
IWEIRS	I	0,1	-	<p>Interruptor para considerar el cálculo de vertederos en contornos internos.</p> <p>0: No considera el cálculo de vertederos en contornos internos.</p> <p>1: Considera el cálculo de vertederos en contornos internos.</p> <p>Ver detalles en las Sección <i>Vertederos</i> de este manual.</p>

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.2 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IWIND	I	0,1	-	<p>Interruptor para considerar el esfuerzo del viento sobre la superficie del agua.</p> <p>0: No considera el esfuerzo del viento.</p> <p>1: Considera el esfuerzo del viento. Requiere el archivo .WIND.</p> <p>Ver detalles en las Sección <i>Esfuerzo del viento</i> de este manual.</p>
IXSEC	I	0,1	-	<p>Interruptor para la salida de las secciones transversales.</p> <p>0: No se generarán resultados para las secciones transversales.</p> <p>1: Se generarán resultados para las secciones transversales. Requiere el archivo .XSECS. Ver comentario 5.</p>
NUNITS	I	0,1	-	<p>Variable para identificar el sistema de unidades:</p> <p>0: Unidades métricas.</p> <p>1: Unidades inglesas.</p>
RELEASE	I	-	-	Número de versión usado internamente como referencia. No debe ser modificado.
TLIMIT	R	> 0	hrs.	Tiempo total de simulación.
TOUT	R	$\leq$ <i>TLIMIT</i>	hrs.	Intervalo de tiempo para reportar resultados.
XNMAN	R	[0.1-2]	-	Multiplicador del coeficiente n de Manning. Ver comentario 6.

Note: *I* = Variable integral. *R* = Variable real.

### 9.1.1.2 Comentarios para el archivo .DAT

1. El ajuste del CFL (Courant-Friederich-Lewy) o número de Courant es crítico para una estabilidad adecuada y para asegurar una conservación de la masa. El esquema explícito de HydroBID Flood es condicionalmente estable, lo que significa que hay un paso de tiempo máximo por encima del cuál las simulaciones se vuelven inestables. Este umbral puede ser teóricamente calculado por la condición de Courant-Friederich-Lewy, definida como sigue:

$$CFL = \frac{\Delta t \sqrt{gh}}{\Delta x} \leq 1 \quad (9.1)$$

donde  $\Delta t = DT$  es el paso de tiempo,  $\Delta x$  es una medida del tamaño mínimo de los elementos o celdas triangulares,  $g$  es la aceleración de la gravedad, y  $h$  es la profundidad. Puede ocurrir que durante la etapa inicial de un hidrograma, las velocidades sean pequeñas y la elección del paso de tiempo sea la adecuada. Sin embargo, durante la simulación, las velocidades y la profundidad puede incrementarse, lo que causará que se supere el límite establecido por la condición de estabilidad. En estos casos, será necesario repetir la simulación con un valor de CFL más pequeño. Alternativamente, se puede emplear la opción de paso de tiempo variable.

2. Para simulaciones con un paso de tiempo variable, HydroBID Flood estima el máximo DT usando la condición de Courant-Friederich-Lewy (CFL). A veces, el DT estimado puede ser demasiado alto, lo que conlleva a inestabilidades. En estos casos, puede ser necesario reducir el CFL a un valor menor. Típicamente, el rango de valores para el CFL, está entre 0.3 y 1, pero puede variar en función del proyecto.

3. Hay tres opciones diferentes para las condiciones iniciales. Si IINITIAL = 0, el nivel de agua inicial será una superficie constante horizontal en la elevación dada como INITIAL\_WSE. Si INITIAL\_WSE es = -9999, entonces el programa asignará un nivel de agua constante e igual al valor más alto de la elevación del fondo en toda la malla. Si IINITIAL = 1, toda la malla estará inicialmente seca, excepto los contornos abiertos donde se imponga un caudal y se suponga una profundidad > 0 para el primer paso de tiempo. Si IINITIAL = 2, los niveles iniciales de agua se leerán del archivo de datos .FED para cada nodo de la malla. Estas elevaciones iniciales pueden ser impuestas mediante la capa *InitialConditions* o mediante un archivo raster. En este último caso, la superficie libre puede ser variable. De esta forma se pueden simular casos donde parte del dominio este inundado (e.g. un embalse) y otras partes de la malla estén secas. Las velocidades iniciales se suponen siempre nulas.
4. Usar la opción IPROFILE para permitir que HydroBID Flood genere resultados a lo largo de una polilínea. La polilínea y otros datos requeridos deben darse en el archivo de perfiles (.PROFILES), el cuál se define más adelante en este documento.
5. Usar esta opción para permitir a HydroBID Flood generar resultados a lo largo de secciones transversales. Las secciones transversales y otros datos requeridos deben darse en el archivo de secciones transversales (.XSECS), el cuál se define más adelante en este documento.
6. Usar la opción XNMAN para comprobar la sensibilidad de los resultados al valor n de Manning. El coeficiente de Manning asignado a cada elemento de la malla será multiplicado por XNMAN. Esta opción es útil para comprobar la sensibilidad del modelo al valor n de Manning durante la calibración.
7. El modelo creará archivos de salida con valores máximos para cada variable.
8. El usuario puede especificar un nivel de agua inicial imponiendo IINITIAL = 0 e introduciendo INITIAL\_WSE.

## 9.2 Datos de la malla

### 9.2.1 Archivo de datos de la malla: .FED

Este archivo contiene los datos que definen la malla de elementos triangulares e incluye las coordenadas de los nodos, la conectividad para cada elemento triangular, elevaciones de los nodos, los coeficientes n de Manning y otros parámetros. Este archivo se genera con HydroBID Flood

Línea 1: Número de elementos y nodos.

**NELEM NNODES DUMMY DUMMY**

NNODES líneas que contienen las coordenadas de los nodos y sus parámetros.

**IN X(IN) Y(IN) ZB(IN) INITWSE(IN) MINERODELEV(IN) BCTYPE BCFILENAME**

NELEM líneas que contienen la conectividad de la malla y los parámetros de los elementos/celdas.

**IE NODE(IE,1) NODE(IE,2) NODE(IE,3) MANNINGN(IE) ELZB(IE) ELINITWSE(IE) ELMINERODELEV(IE)**

#### 9.2.1.1 Ejemplo de archivo .FED

```
1965 1048 5 5
1 243401.515 94305.994 51.071 0.000 -9999.000 0 0
2 243424.157 94325.674 49.833 0.000 -9999.000 0 0
3 243446.800 94345.354 49.136 0.000 -9999.000 12 0.025
4 243469.443 94365.034 48.879 0.000 -9999.000 0 0
5 243503.168 94394.347 51.662 0.000 -9999.000 12 0.025
```

...

## Archivos de entrada de datos

```

1044 243830.638 93310.994 48.603 0.000 -9999.000 6 QIN.DAT
1045 243492.493 93320.046 49.987 0.000 -9999.000 6 QIN.DAT
1046 243693.660 93297.785 47.390 0.000 -9999.000 0 0
1047 243964.332 93388.332 50.843 0.000 -9999.000 0 0
1048 243861.431 93893.192 50.863 0.000 -9999.000 0 0
1 456 987 188 0.035 51.395 0.000 -9999.000 0.000
2 478 183 809 0.035 49.778 0.000 -9999.000 0.000
3 336 37 869 0.035 53.992 0.000 -9999.000 0.000
4 601 393 97 0.035 53.486 0.000 -9999.000 0.000
5 456 509 987 0.035 51.690 0.000 -9999.000 0.000
...

1961 1024 972 23 0.035 47.480 0.000 -9999.000 0.000
1962 930 1028 377 0.035 48.126 0.000 -9999.000 0.000
1963 1028 960 377 0.035 48.385 0.000 -9999.000 0.000
1964 1043 1017 426 0.035 51.994 0.000 -9999.000 0.000
1965 850 78 77 0.035 49.715 0.000 -9999.000 0.000

```

Esta malla tiene 1965 elementos y 1048 nodos.

**Cuadro 9.3** – Descripción de las variables para el archivo .FED.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
BCTYPE	I	-	-	Código para indicar el tipo de contorno abierto. Ver detalles adicionales sobre condiciones de contorno en la descripción del archivo .IFL más adelante.
BCFILENAME	S	< 26	-	Nombre del archivo de condiciones de contorno. No debe contener espacios y no tiene que tener más de 26 caracteres. Ver detalles adicionales en la descripción del archivo .IFL más adelante.
DUMMY	I	-	-	Siempre igual a 2.
ELINITWSE(IE)	R	-	m ó ft	Nivel de agua inicial para el elemento/celda EL. Usado en HydroBID Flood GPU.
ELMINERODELEV (IE)	R	≥ 0	-	Elevación mínima para la erosión permitida en cada celda. Usado en HydroBID Flood y HydroBID Flood GPU.
ELZB (IE)	R	-	m ó ft	Elevación inicial del fondo para el elemento/celda EL. Usado en HydroBID Flood y HydroBID Flood GPU.
INITWSE(IN)	R	-	m ó ft	Nivel inicial de agua para el nodo IN.
IE	I	> 0	-	Índice de elemento. Consecutivo desde 1 hasta NELEM.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.3 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IN	I	> 0	-	Número de nodo. Consecutivo desde 1 hasta NNODES.
MANNINGN(IE)	R	> 0	-	Valor del coeficiente n de Manning para el elemento IE.
MINERODELEV (IN)	R	≥ 0	m ó ft	Elevación mínima para la erosión permitida en cada nodo.
NELEM	I	1-5	-	Número de elementos triangulares.
NNODES	I	> 0	-	Número de nodos de elementos triangulares.
NODE(IE,1), NODE(IE,2), NODE(IE,3)	I	> 0	-	Numeración de los nodos para el elemento IE en dirección contraria a las agujas del reloj.
X(IN)	R	-	m ó ft	Coordenada X para el nodo IN.
Y(IN)	R	-	m ó ft	Coordenada Y para el nodo IN.
ZB (IN)	R	-	m ó ft	Elevación inicial del fondo para el nodo IN.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto..*

*Todas las variables son separadas al menos por un espacio en blanco.*

## 9.2.2 Archivos de datos de condiciones de contorno abiertas: .IFL y .OBCP

Estos archivos contienen los datos de condiciones de contorno usadas solamente de forma interna por el modelo. Ambos archivos son generados automáticamente por HydroBID Flood. El formato del archivo .IFL se describe a continuación:

Línea 1: Número de nodos en el contorno externo.

**NNODESBOUNDARY**

NNODESBOUNDARY líneas que contienen los datos de las condiciones de contorno externas.

**NODE BCTYPE BCFILENAME**

### 9.2.2.1 Ejemplo de archivo .IFL

```
1165
365 1 WSE97out.txt
367 1 WSE97out.txt
431 1 WSE97out.txt
```

Este archivo .IFL tiene 1165 nodos en el contorno. El node 365 tiene un tipo BCTYPE=1 (Nivel de agua) y la serie temporal de niveles de agua vs. tiempo está en el archivo WSE97out.txt.

El formato del archivo .OBCP es el siguiente:

Línea 1: Número de contornos abiertos de entrada y salida.

**NOB**

NOB grupo de líneas que contienen los siguientes datos:

**BCTYPE**

**BCFILENAME**

**NNODESBOUNDARYI**

NNODESBOUNDARYI líneas que contienen la lista de nodos en este contorno..

**NODE[I]**

### 9.2.2.2 Ejemplo de archivo .OBCP

```

2
12
UNIF1.DATP
24

2916
...
3299

6
INFLOW1.QVT
17
2
1
...
25
26
    
```

Este archivo .OBCP tiene dos contornos abiertos. El primer contorno abierto es de tipo BCTYPE=12, lo que corresponde a flujo uniforme de salida. La tabla de flujo uniforme WSE vs. caudal se incluye en el archivo UNIF1.DATP. Existen 24 nodos en el contorno. El segundo contorno abierto es de tipo BCTYPE = 6, lo que corresponde a un hidrograma de entrada donde se especifica una tabla de caudal vs. tiempo en el archivo INFLOW1.QVT. Existen 17 nodos en el contorno.

**Cuadro 9.4** – Descripción de las variables para los archivos .IFL y .OBCP.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
BCTYPE	I	-	-	Código para indicar el tipo de contorno abierto. Ver Tabla 9.5 y comentario 1.
BCFILENAME	S	< 26	-	Nombre del archivo de condición de contorno. No debe contener espacios y tienen que tener menos de 26 caracteres. Ver comentarios 2 y 3.
NOB	I	-	-	Número de contornos abiertos de entrada o salida.
NODE	I	-	-	Número de nodo.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.4 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NNODESBOUNDARYI	I	-	-	Número de nodos en el contorno abierto I.
NNODESBOUNDARY	I	-	-	Número total de nodos en el contorno.

Nota: I = Variable entera. S = Variable de texto.

Cuadro 9.5 – Tipos de condición de contorno.

BCTYPE	DESCRIPCIÓN
0	Contorno cerrado impermeable. Se imponen una condición de contorno de tipo <i>slip</i> (no hay flujo normal). Ver comentario 5.
1	Se impone el nivel de agua (WSE). Se debe proporcionar un archivo asociado a la condición de contorno. Ver comentarios 2 y 4.
5	Impone el caudal y el nivel de agua. Se debe proporcionar un archivo de condición de contorno de dos variables. Ver comentario 3.
6	Se impone el caudal. Se debe proporcionar un archivo asociado a la condición de contorno. Ver comentario 2.
9	Impone una tabla de distribución monovaluada de caudal/nivel. Se debe proporcionar un archivo asociado a la condición de contorno. Ver comentario 6.
10	Condición de entrada o salida <i>Libre</i> . Las velocidades y los niveles de agua son calculadas por el modelo. Ver comentario 7.
11	Condición de salida <i>Libre</i> . Las velocidades y los niveles de agua son calculadas por el modelo. Solamente se permite flujo de salida. Ver comentario 7.
12	Condición de flujo uniforme de salida. Ver comentario 10.
17	Se impone el nivel de agua (WSE) y la velocidad perpendicular al contorno. Se debe proporcionar un archivo asociado a la condición de contorno. Ver comentarios 2 y 4.
19	Impone una tabla de distribución monovaluada de caudal/nivel a lo largo de una polilínea interna. Se debe proporcionar un archivo asociado a la condición de contorno. Ver comentario 8.
20-25	Para uso futuro.
26	Impone series temporales de caudal de agua y de caudal de sedimentos. Se debe proporcionar un archivo asociado a la condición de contorno. Ver comentario 9.

### 9.2.2.3 Comentarios para los archivos .IFL y .OBCP

1. HydroBID Flood permite tener cualquier número de contornos de entrada y salida con varias combinaciones de condiciones a imponer. El uso apropiado de estas condiciones es un componente crítico de una simulación satisfactoria con HydroBID Flood. Teóricamente, para flujo subcrítico se requiere proporcionar al menos una condición en los contornos de entrada y una en los de salida. Para flujo supercrítico, todas las condiciones tiene que ser impuestas en los contornos de entrada a 'ninguna' en los de salida. La Tabla 9.6 puede servir como referencia para determinar qué condiciones usar en la mayoría de aplicaciones.

**Cuadro 9.6** – Condiciones de contorno para régimen de flujo supercrítico.

RÉGIMEN DE FLUJO EN EL CONTORNO	CONDICIÓN DE CON-TORNO DE ENTRADA	CONDICIÓN DE CON-TORNO DE SALIDA
Subcrítico	Q o Velocidad	Nivel de agua (WSE)
Supercrítico	Q y WSE	<i>Libre</i>

Es recomendable tener al menos una condición donde el nivel de agua o la relación caudal/nivel sea impuesta. Tener solamente caudal y no WSE puede dar lugar a inestabilidades debidas a la violación de los requisitos teóricos de condiciones de contorno para las ecuaciones de aguas poco profundas.

2. Cuando se impone un único valor (nivel de agua, Q, U o V), el usuario tiene que proporcionar un archivo ASCII con la serie temporal para la variable correspondiente. Ver la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para los detalles sobre el formato del archivo para condiciones de contorno de una variable.
3. Cuando se imponen dos variables (nivel de agua y caudal, etc.), se requiere proporcionar un archivo ASCII con las series temporales para las variables. Ver la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para los detalles sobre el formato del archivo para condiciones de contorno de dos variables.
4. Cuando se impone el nivel de agua, es importante comprobar que el valor impuesto es mayor que el de la elevación del fondo. Incluso aunque HydroBID Flood puede simular con esa condición, puede dar lugar a errores.
5. Una condición de contorno cerrada se impondrá por defecto en todos los nodos de contorno. En este caso, el modelo calcula velocidades y niveles de agua para todos los nodos del contorno en función del valor del parámetro ISPLIPBC. Por ejemplo, ISPLIPBC = 1 impondrá condiciones de tipo *slip* con flujo nulo a través del contorno. El flujo tangencial es libre, como corresponde a una condición de este tipo.
6. Cuando se utilizan condiciones caudal/nivel (*stage-discharge*) monovaluadas, el modelo primero calcula el caudal en el contorno y, posteriormente, interpola el correspondiente nivel de agua a partir de la tabla de caudal/nivel e impone ese valor para el siguiente paso de tiempo. En caso de que el contorno esté seco, funcionará como una condición de contorno libre (ver comentario 7). Los niveles de agua son impuestos solamente en nodos mojados. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con la tabla de valores de entrada (ver la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para los detalles sobre el formato de archivo). En general, es preferible usar un hidrograma de niveles de la superficie de agua en lugar de una condición caudal/nivel. En la mayoría de los ríos con pendiente pequeña, la relación caudal/nivel se ve afectada por la histéresis. En otras palabras, la curva caudal/nivel tiene bucles con caudales más altos que ocurren en la rama ascendente que en la rama de rescisión del hidrograma. Esto es causado principalmente por el gradiente de niveles en la dirección del flujo, el cual cambia de signo a lo largo del hidrograma. En la práctica, esto implica que pueden existir dos posibles niveles para el mismo caudal. Si la relación caudal/nivel no está bien definida o si se ha calculado suponiendo condiciones de flujo uniforme en estado estacionario, puede dar lugar a considerables errores cuando se emplea como condición de contorno aguas abajo. Por esta razón, a menudo se prefiere el uso de hidrogramas de caudal para este propósito. Sin embargo, dicho hidrograma puede no estar disponible para el estudio de cambios en el río y evaluar las condiciones propuestas. Para estos casos, resulta útil usar una relación caudal/nivel, preferiblemente medida sobre un extenso rango de caudales. Cuando esta relación no está disponible, una opción podría ser la de suponer flujo estacionario para determinar una curva de distribución (*rating table*) monovaluada. Dado que esta condición puede generar reflexión de ondas que se pueden propagar aguas arriba, es importante situar el contorno aguas abajo en una rama lo suficientemente alejada del área de interés minimizando, por lo tanto, efectos artificiales de agua estancada (*backwater*). Desafortunadamente, no existe una forma general de seleccionar este lugar, por lo que será necesaria la experimentación numérica con el modelo para alcanzar una localización razonable.

Las relaciones caudal/nivel de tipo *loop* no están implementadas en esta versión de HydroBID Flood.



7. En las condiciones de contorno libres, el modelo calcula las velocidades y los niveles de agua aplicando las ecuaciones completas desde los elementos internos. No se imponen *per se* valores específicos para las velocidades o profundidades en estos nodos. En la práctica, esto es equivalente a suponer que las derivadas de los niveles de agua y las velocidades son 0. En situaciones de flujo subcrítico, es aconsejable usar esta condición cuando haya, al menos, otro contorno abierto donde se imponga el nivel de agua (WSE) o una tabla caudal/nivel.
8. Cuando se usa una condición de tabla caudal/nivel monovaluada en secciones internas, el modelo primero calcula los caudales a través del contorno y, posteriormente, interpola el correspondiente nivel de agua de la tabla de caudal/nivel, imponiendo ese valor para el siguiente paso de tiempo para todos los nodos en el contorno interno. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con la tabla de valores. Ver la sección *Archivos de datos de las condiciones de contorno* para los detalles del formato de archivo.
9. Cuando se impone un caudal de agua y de sedimento, se requiere proporcionar un archivo ASCII con las series temporales para el caudal de agua y el caudal volumétrico de sedimento para cada una de las fracciones. Notar que el caudal de sedimento siempre se espera en unidades de volumen por unidad de tiempo. Ver la sección *Archivos de datos de las condiciones de contorno* para los detalles sobre el formato de los archivos de condiciones de contorno de múltiples variables.
10. El usuario tiene que proporcionar un archivo con la pendiente de energía  $S_0$  para el contorno correspondiente. Este archivo contendrá solamente un único valor  $S_0$ . El modelo usará  $S_0$ , el coeficiente  $n$  de Manning y el caudal para generar una tabla de caudal/nivel (*rating table*) mediante la cuál se impondrá el nivel de agua como una función del caudal de salida calculado. La tabla de caudal/nivel se calcula cada 0.05 m (0.16 ft.) comenzando desde la elevación de fondo más pequeña en la sección transversal de salida hasta 50 m (164 ft.) por encima de la elevación de fondo más alta en la sección. Si  $S_0 = -999$ , el modelo calculará la pendiente de fondo media perpendicular a la línea de contorno. Por favor, notar que cuando se permite que el modelo calcule la pendiente de fondo media, empleará las elevaciones en los elementos adyacentes a la línea de contorno, lo cuál puede resultar en pendientes adversas o pendientes que no capturan la tendencia general de la rama.
11. Esta condición de contorno es similar al tipo BCTYPE = 6 para caudal de agua entrante. Sin embargo, en este caso, en lugar de convertir el caudal en velocidades que son impuestas en todos los nodos de entrada, el modelo genera fuentes en todos los elementos adyacentes a la línea de contorno. La condición puede ser visualizada como si el caudal dado entrara sobre los elementos de entrada. Para cada tiempo, el modelo divide por igual el caudal entre todos los elementos de entrada. Por ejemplo, si hay  $N_e$  elementos de entrada y el caudal impuesto es  $Q_{in}$ , cada elemento recibirá un caudal igual a  $Q_{in}/N_e$ . EL volumen de agua fluirá naturalmente más allá de la entrada dependiendo de las pendientes de fondo, etc. Se debe ser cuidadoso cuando los elementos del contorno de entrada tengan menor elevación de fondo que los elementos de su alrededor. Cuando se impone esta condición el usuario tiene que proporcionar un archivo ASCII con la serie temporal de caudal. Ver la sección *Archivos de datos de las condiciones de contorno* para los detalles sobre el formato de los archivos de condiciones de contorno de una variable.

### 9.2.3 Archivo de datos del contorno de la malla: .TBA

El archivo .TBA es para uso interno del modelo y contiene la lista de nodos de contorno en orden contrario al de las agujas del reloj para el polígono del contorno externo y en el orden de las agujas del reloj para los contornos internos. Este archivo es generado automáticamente por HydroBID Flood.

Línea 1: Comienzo del indicador de contorno.

**IBOUNDARYID**

Línea 2: Número de nodos en el contorno externo de la malla.

**NNODESBOUNDARY**

NNODESBOUNDARY líneas que contienen la lista de nodos de contorno en sentido contrario al de las agujas del reloj.

**BOUNDARYNODE (1:NNODESBOUNDARY)**

Las siguientes líneas se usan solamente si existen islas en la malla.

Para cada isla:

Comienzo del parámetro indicador del contorno para cada isla o contorno interno cerrado.

**IBOUNDARYID**

Número de nodos en el contorno de la isla.

**NNODESISLANDBOUNDARY**

NNODESISLANDBOUNDARY líneas que contienen la lista de nodos de contorno en la dirección de las agujas del reloj.

**ISLANDBOUNDARYNODE (1:NNODESISLANDBOUNDARY)**

### 9.2.3.1 Ejemplo de archivo .TBA

```
-9999
132
1
2
3
173
...
224
175
1
-9999
34
5
...
5
```

En este ejemplo, el contorno exterior tiene 132 nodos y existe una isla con 34 nodos.

**Cuadro 9.7** – Descripción de las variables para el archivo .DAT.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
IBOUNDARYID	I	-9999	-	Siempre = -9999. Este valor es usado para indicar el comienzo de un nuevo contorno.
NNODESBOUNDARY	I	>0	-	Número de nodos en el contorno externo de la malla.
BOUNDARYNODE	I	>0	-	Número de nodo en el contorno externo. Ver comentarios 1 y 2.
NNODESISLANDBOUNDARY	I	>0	-	Número de nodos en el contorno de la isla.
ISLANDBOUNDARYNODE	I	>0	-	Número de nodo en el contorno de la isla.

*Nota: I = Variable entera.*

### 9.2.3.2 Comentarios para el archivo .TBA

1. Debe haber un único polígono de contorno externo y cualquier número de islas internas o contornos cerrados.
2. El contorno externo también debe ser el primero en el archivo. El primer contorno tiene que ser siempre el exterior. Los contornos internos como islas, pilares de puentes, etc. deben seguir al polígono del dominio exterior.

## 9.3 Datos de componentes

HydroBID Flood proporciona componentes para simular problemas hidráulicos específicos, incluyendo pilares de puentes, alcantarillas, tablas internas de caudal/nivel, vertederos, transporte de sedimentos y transporte de contaminantes. Esta sección explica los formatos de archivos de datos usados en estas componentes.

### 9.3.1 Puentes

HydroBID Flood proporciona cuatro opciones para tener en cuenta los pilares de los puentes. La opción más común es la de crear la geometría en planta del pilar, generando una malla 2D de celdas triangulares que represente cada pilar como un obstáculo sólido. Es ese caso, el modelo calculará el flujo alrededor del pilar y tendrá en cuenta el rozamiento con el mismo. Esta será la aproximación recomendada cuando el usuario necesite conocer los detalles del flujo alrededor de los pilares y el flujo no sobrepase el tablero del puente (*overtopping*). Sin embargo, la malla resultante puede tener elementos muy pequeños, lo que conlleva un incremento en los tiempos de computación.

La segunda opción (*Pilares de puentes*) consiste en una formulación simplificada que no requiere de la definición de la malla alrededor de los pilares, pero calculará la fuerza de rozamiento en los pilares basándose en datos geométricos. Esta será la opción recomendada cuando el flujo no genere *overtopping* en el tablero del puente y el usuario no necesite tener una descripción detallada del flujo alrededor de los pilares pero necesite tener en cuenta el efecto general que los pilares tienen en el flujo.

La tercera opción representada en la componente *Puentes* es una herramienta de cálculo detallado de la hidráulica del puente que no requiere la captura en detalle de la geometría en plano del pilar del puente. De esta forma, se permiten pasos de tiempo más largos, a la vez que se calcula la hidráulica del puente teniendo en cuenta el alineamiento arbitrario en plano, la geometría compleja del puente, el flujo en superficie libre, flujo presurizado, *overtopping*, combinación de flujo a presión y *overtopping* y sumersión, todo ello en 2D. Esta es la opción recomendada para la mayoría de los puentes.

Existe una cuarta opción usando la componente IRT *tabla interna de caudal/nivel* (Internal Rating Table), pero para la mayoría de las aplicaciones se recomienda el uso de alguna de las opciones anteriores, ya que representan mejor la hidráulica del puente.

### 9.3.2 Archivos de datos de puentes: .BRIDGES

Esta componente requiere el archivo de datos .BRIDGES que es generado automáticamente por el modelo basándose en la representación geométrica introducida en el HydroBID Flood. El archivo .BRIDGES tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de puentes.

**NB**

NB líneas que contienen los datos para cada puente.

Id del puente.

**PUENTE\_ID**

Nombre del archivo de la geometría de las sección transversal del puente.

**ARC\_SECCION\_PUENTE**

Número de parejas de celdas a lo largo del alineamiento del puente.

**NC**

NCELDAS líneas que contienen los números de las parejas de celdas a lo largo del alineamiento del puente.

**CELDA\_A[1] CELDA\_B[1]**

...

**CELDA\_A[NC] CELDA\_B[NC]**

### 9.3.2.1 Ejemplo de archivo .BRIDGES

```
1
BRIDGE1
1894878.176 586966.254 1895274.636 586613.844
BRIDGEGEOM.DAT
9
133 1294
131 1296
129 1298
127 1300
125 1302
123 1304
121 1306
119 1308
94 1310
```

**Cuadro 9.8** – Descripción de las variables para el archivo .BRIDGES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
ARC_SECCION_PUENTE	S	< 26	-	Contiene la geometría de la sección transversal del puente, como se explica a continuación.
PUENTE_ID	S	< 26	-	ID del puente.
CELDA_A[i] CELDA_B[i]	I	-	-	Pareja de celdas a lo largo del alineamiento del puente.
NC	I	> 0	-	Número de parejas de celdas a lo largo del alineamiento del puente.
NB	I	> 0	-	Número de puentes.

*Nota: I = Variable entera. S = Variable de texto.*

### 9.3.3 Archivo de datos de la geometría de la sección transversal del puente

El archivo de la geometría de la sección transversal del puente es necesario para definir la sección transversal del puente y se define mediante cuatro polígonos dispuestos en cinco columnas, como sigue:

Línea 1: Número de puntos que definen las polilíneas.

**NP**

NP líneas con estas entradas:

**STATION(1) BEDELEV(1) ZLOWER(1) LOWCHORD(1) DECKELEV(1)**

...

**STATION(NP) BEDELEV(NP) ZLOWER(NP) LOWCHORD(NP) DECKELEV(NP)**

La relación entre las cuatro polilíneas tiene que ser la siguiente:

- Para todas las estaciones,  $STATION(I) \leq STATION(I+1)$ .
- $BEDELEV \leq ZLOWER \leq LOWCHORD \leq DECKELEV$ .
- En una línea dada, todas las elevaciones corresponden a la misma estación.
- El espacio entre BEDELEV y ZLOWER está bloqueado para el flujo.
- El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD está abierto al flujo.
- El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV está bloqueado para el flujo.

#### 9.3.3.1 Ejemplo de archivo de datos de la geometría de la sección transversal

La siguiente tabla es un ejemplo de uno de los archivos de la sección del puente que se representa esquemáticamente en la Figura 9.2.

NP →	23	Station ↓	BedElev ↓	ZLower ↓	LowChord ↓	DeckElev ↓
		0.00	142.00	142.00	142.00	142.00
		96.68	125.72	125.72	125.85	142.00
		193.37	123.03	123.03	123.32	142.00
		290.05	119.86	119.86	120.79	142.00
		386.74	110.37	110.37	120.79	142.00
		483.42	109.00	109.00	120.79	142.00
		580.10	107.58	107.58	120.79	142.00
		676.79	106.35	106.35	120.79	142.00
		750.00	106.30	106.30	120.79	142.00
		750.00	106.30	106.30	106.44	142.00
		780.00	106.30	106.30	106.55	142.00
		780.00	106.30	106.30	120.79	142.00
		870.16	105.18	105.18	120.79	142.00
		966.84	106.77	106.77	120.79	142.00
		1063.52	107.30	107.30	120.79	142.00
		1160.21	116.47	116.47	120.79	142.00
		1256.89	116.02	116.02	120.79	142.00
		1353.58	116.09	116.09	120.79	142.00
		1450.26	119.61	119.61	120.79	142.00
		1546.94	121.24	120.92	120.79	142.00
		1643.63	124.74	124.74	124.67	142.00
		1644.00	142.00	142.00	142.00	142.00

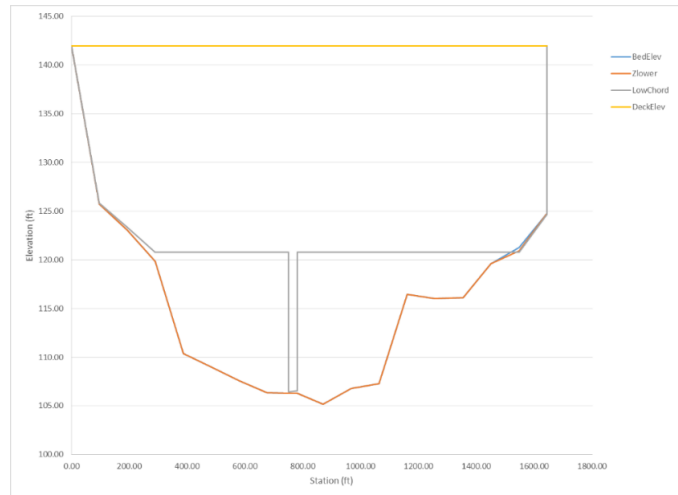


Figura 9.2 – Vista frontal de la sección transversal del puente.

**Cuadro 9.9** – Descripción de las variables para el archivo de la geometría de la sección transversal del puente.

VARIABLE	TIP	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
BEDELEV	R	-	m o ft	Elevación del fondo. Tiene que ser la elevación menor para todos las polilíneas en un punto dado.
DECKELEV	R	-	m o ft	Elevación del tablero del puente ( <i>bridge deck</i> ). Tiene que ser la elevación más alta para todas las polilíneas en un punto dado.
NP	I	-	> 1	Número de puntos que definen las polilíneas de las sección transversales.
STATION	R	-	m o ft	Distancia desde el punto más a la izquierda de los que definen la polilínea de sección transversal. Todas las polilíneas deben que tener una estación en común.
ZLOWER	R	-	m o ft	Elevación de la polilínea más baja. ZLOWER tiene que ser mayor o igual que BEDELEV y más pequeño o igual que LOWCHORD para un punto dado. El espacio entre BEDELEV y ZLOWER es un área bloqueada al flujo. El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD es una espacio abierto. Si el puente no tiene agujeros, ZLOWER tiene que ser idéntico a BEDELEV.
LOWCHORD	R	-	m o ft	Elevación del tablero inferior del puente. LOWCHORD tiene que ser mayo o igual que ZLOWER y más pequeño o igual que DECKELEV para un punto particular. El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV es un área bloqueada para el flujo.

*Nota: R = Variable real. I = Variable entera.*

### 9.3.4 Archivos de fuerzas de rozamiento de los pilares del puente: .PIERS

Esta opción requiere el archivo de datos .PIERS que es generado automáticamente por el modelo basándose en la representación geométrica introducida en QGIS. El archivo de datos .PIERS tiene el siguiente formato:

Línea 1: Numero de pilares.

**NP**

NP líneas que contienen los datos para cada pilar.

**X Y ANGLEX LENGTH WIDTH CD PIERID**

#### 9.3.4.1 Ejemplo de archivo .PIERS

124

```
2042658.82 14214769.48 47.33 19.00 4.00 0.64 P1
2042690.52 14214739.87 46.66 19.00 4.00 0.64 P2
2042786.89 14214649.58 44.88 19.00 4.00 0.64 P3
2042818.95 14214619.53 45.17 19.00 4.00 0.64 P4
2042851.05 14214589.46 45.72 19.00 4.00 0.64 P6
2042883.13 14214559.39 45.10 19.00 4.00 0.64 P7
2042915.40 14214529.15 43.01 19.00 4.00 0.64 P8
2040307.66 14214876.12 0.00 70.00 1.00 0.90 P9
2040328.07 14214790.33 0.00 70.00 1.00 0.90 P10
2040351.38 14214705.48 0.00 70.00 1.00 0.90 P11
2040375.99 14214622.12 0.00 70.00 1.00 0.90 P12
```

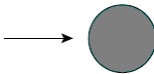



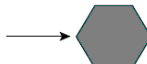
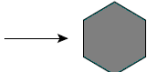
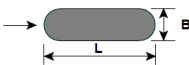
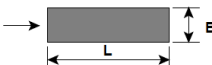
**Cuadro 9.10** – Descripción de las variables para el archivo .PIERS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ANGLEX	R	0 – 180	Grados	Ángulo del pilar con respecto al eje X. Ver comentario 1.
$C_D$	R	0,5 – 2,5	-	Coefficiente adimensional de rozamiento del pilar. Ver comentario 2
LENGTH	R	-	m ó ft	Longitud del pilar.
PIERID	S	< 26'	-	Nombre del pilar. No debe contener espacios y tiene que ser menor qde 26 caracteres.
WIDTH	R	-	m ó ft	Anchura del pilar.
X	R	-	m ó ft	Coordenada X del centroide del pilar.
Y	R	-	m ó ft	Coordenada Y del centroide del pilar.

*Nota: R = Variable real. S = Variable de texto.*



**Cuadro 9.11** – Coeficientes de arrastre (drag) para los pilares de puente. Adaptado de Froehlich (2003).

FORMA EN PLANTA DEL PILAR Y VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN		COEFICIENTE DE ARRASTRE $C_D$	
Cilindro redondo			1.0
Cilindro cuadrado			2.2
Cilindro cuadrado			1.6
Cilindro cuadrado con esquinas redondeadas		R/B	$C_D$
		0	2.2
		0.02	2.0
		0.17	1.2
		0.33	1.0
Cilindro hexagonal			1.0
Cilindro hexagonal			0.7
Sección de nariz redondeada		L/B	$C_D$
		1	1.0
		2	0.7
		4	0.68
		6	0.64
Sección de nariz cuadrada		L/B	$C_D$
		1	2.2
		2	1.8
		4	1.3
		6	0.9

### 9.3.4.2 Comentarios para el archivo .PIERS

1. El ángulo ANGLEX se aplica solamente a los pilares que son rectangulares en planta. Por ejemplo, ANGLEX = 90 se corresponde con un pilar cuyo eje más largo es perpendicular al eje X.
2. El coeficiente de arrastre (drag)  $C_D$  está relacionado con la fuerza de arrastre mediante la siguiente formula:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A_P \quad (9.2)$$

donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre del pilar,  $\rho$  es la densidad del agua,  $U$  es la velocidad del agua y  $A_P$  es el área mojada del pilar, proyectada en la normal de la dirección del flujo.

Para tener en cuenta la fuerza de arrastre que el pilar ejerce sobre el flujo, HydroBID Flood la convierte en esfuerzo cortante distribuido en el elemento donde el centroide del pilar se encuentra situado. Las expresiones resultantes para el esfuerzo cortante del pilar en las direcciones  $x$  e  $y$  son:

$$\tau_{px} = \frac{1}{2} C_D \rho U \sqrt{U^2 + V^2} \left( \frac{A_P}{A_e} \right) \quad (9.3)$$

$$\tau_{py} = \frac{1}{2} C_D \rho V \sqrt{U^2 + V^2} \left( \frac{A_P}{A_e} \right) \quad (9.4)$$

donde  $A_e$  es el área del elemento.

### 9.3.5 Archivo de datos de alcantarillas: .CULVERTS

La componente de alcantarillas permite tener en cuenta las estructuras hidráulicas que conducen el flujo entre dos localizaciones. El caudal entre la entrada y la salida de la estructura será calculado basándose en una tabla de gastos (*rating table*) de la estructura hidráulica proporcionada por el usuario. El modelo determinará la dirección del flujo basándose en las condiciones hidráulicas en el final de la estructura.

Línea 1: Número de alcantarillas.

#### NCULVERTS

NCULVERTS grupos que contienen

**CulvertID**

**CulvertType**

**CulvertFile**

**X1 Y1 X2 Y2**

...

#### 9.3.5.1 Ejemplo de archivo .CULVERTS

```
2
CulvertA
2
CulvertA.TXT
799550.846 309455.307 799363.544 309031.842
CulvertB
1
CulvertB.TXT
798858.644 309313.609 799153.441 309004.154
```

**Cuadro 9.12** – Descripción de variables del archivo .CULVERTS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CulvertFile	S	< 26	-	Nombre del archivo con la tabla de caudal/nivel para la alcantarilla o archivo característico de la misma. Ver la siguiente sección para los detalles sobre el archivo característico de las alcantarillas. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
CulvertID	S	< 26	-	Nombre de la alcantarilla. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
CulvertType	I	0, 1, 2	-	Tipo de alcantarilla. Ver comentarios 1 y 2.
NCULVERTS	I	> 0	-	Número de alcantarillas.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.12 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
X1 Y1 X2 Y2	R	-	m o ft	Coordenadas de los vértices que definen cada línea de alcantarilla.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.5.2 Archivos de datos con la tabla de distribución profundidad-caudal para las alcantarillas con CulvertType=0

Este formato se aplica a las tablas de distribución profundidad vs. caudal en la alcantarilla.

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos

#### NDATA

NDATA líneas que contienen profundidad y caudal.

#### DEPTH(I) Q(I)

donde DEPTH(I) es la profundidad correspondiente al caudal Q(I).

#### INVERT\_Z1

#### INVERT\_Z2

donde INVERT\_Z1 y INVERT\_Z2 son las elevaciones para entrada y la salida, respectivamente.

### 9.3.5.3 Ejemplo de archivo con la tabla de distribución profundidad-caudal de la alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de distribución profundidad-caudal para una alcantarilla. NDATA es 7 y hay 7 líneas con parejas de profundidad y el correspondiente caudal:

```
7
0 0.20
0.1 1.00
1.00 36.09
2.00 60.00
3.00 84.78
4.00 110.01
100.00 110.02
5.0
1.0
```

**Cuadro 9.13** – Descripciones de las variables de los archivos de datos de profundidad-caudal de la alcantarilla.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de líneas en el archivo de datos.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.13 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
INVERT_Z1	R	> 0	m o ft	Elevación de entrada. Si INVERT_Z1 = -9999, el modelo hace INVERT_Z1 igual a la elevación promedio del fondo del elemento de entrada.
INVERT_Z2	R	> 0	m o ft	Elevación de salida. Si INVERT_Z2 = -9999, el modelo hace INVERT_Z2 igual a la elevación promedio del fondo del elemento de entrada.
DEPTH	R	> 0	m o ft	Profundidad de agua.
Q	R	> 0	m <sup>3</sup> /s o ft <sup>3</sup> /s	Caudal de agua.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

### 9.3.5.4 Archivos de datos característicos de la alcantarilla para CulvertType = 1, 2

Los datos característicos de la alcantarilla tienen la siguiente estructura:

**Nb**  
**Ke**  
**nc**  
**Kp**  
**M**  
**Cp**  
**Y**  
**m**  
 Si CulvertType=1  
**Hb**  
**Base**  
 si no, si CulvertType=2  
**Dc**  
**INVERT\_Z1**  
**INVERT\_Z2**

### 9.3.5.5 Ejemplo de archivo de datos característicos de la alcantarilla

1  
 0.5  
 0.012  
 1  
 1  
 1.1  
 0.6  
 -0.5

0.10  
5.0  
1.0

El archivo de datos característicos de la alcantarilla de este ejemplo indica que la alcantarilla tiene un conducto ( $N_b = 1$ ),  $K_e = 0.4$ ,  $n_c = 0.012$ ,  $K_p = 1$ ,  $c_p = 1$ ,  $M = 1.1$ ,  $Y = 0.6$ ,  $m = -0.5$ , y  $D_c = 0.10$ ,  $INVERT\_Z1 = 5.0$  y  $INVERT\_Z2 = 1.0$ .

**Cuadro 9.14** – Descripciones de las variables para el archivo característico de la alcantarilla.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
$N_b$	I	-	-	Número de conductos idénticos. El caudal calculado para una conducto es multiplicado por $N_b$ para obtener el caudal total de la alcantarilla.
$K_e$	R	0-1	-	Coefficiente de pérdidas de entrada dado por la Tabla 9.16.
$n_c$	R	0.01-0.1	-	Coefficiente $n$ de Manning de la alcantarilla dado por la Tabla 9.15.
$K'$	R	0.1-2.0	-	Coefficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
$M$	R	0.6-2.0	-	Coefficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
$c'$	R	0.6-2.0	-	Coefficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
$Y$	R	0.5-1.0	-	Coefficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
$m$	R	0.7,-0.5	-	Coefficiente de forma de la entrada. $m = 0.7$ para entradas en bisel, $m = -0.5$ para el resto de entradas.
$H_b$	R	> 0	m o ft	Altura del conducto para alcantarillas tipo caja. Solamente para CulvertType = 1.
Base	R	> 0	m o ft	Anchura del conducto para alcantarillas tipo caja. Solamente para CulvertType = 1.
$D_c$	R	> 0	m o ft	Diámetro para alcantarillas circulares. Solamente para CulvertType = 2.
INVERT_Z1	R	> 0	m o ft	Elevación de la entrada. Si INVERT_Z1 = -9999, el modelo hace INVERT_Z1 igual a la elevación de fondo promedio de la entrada.
INVERT_Z2	R	> 0	m o ft	Elevación de la salida. Si INVERT_Z2 = -9999, el modelo hace INVERT_Z2 igual a la elevación de fondo promedio de la entrada.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

**Cuadro 9.15** – Coeficientes de rugosidad  $n$  de Manning para varios materiales de alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003).

MATERIAL	ENTRADA	N DE MANNING, $n_c$
Hormigón	Buenas uniones, paredes pulidas	0.012
	Saliente, final de corte cuadrado	0.015
	Malas uniones, paredes rugosas	0.017
Metal corrugado	2-2/3 pulgadas × Corrugaciones de 1/2 pulgada	0.025
	6 inch × corrugaciones de 1 pulgada	0.024
	5 inch × corrugaciones de 1 pulgada	0.026
	3 inch × corrugaciones de 1 pulgada	0.028
	6 inch × corrugaciones de 2 pulgadas	0.034
	9 inch × corrugaciones de 2 1/2 pulgadas	0.035

**Cuadro 9.16** – Coeficientes de pérdidas a la entrada coefficients  $K_e$ . Adaptado de Froehlich (2003).

Tipo de alcantarilla	Descripción de la entrada*	Coefficiente de pérdidas a la entrada $K_e$
Tubería de hormigón	Saliente, final acanalado	0.2
	Saliente, final de corte cuadrado	0.5
	Muro con o sin aletas (hormigón o sacos de cemento)	
	Final de la tubería acanalado	0.2
	Final de la tubería de corte cuadrado	0.1
	final de la tubería redondeada	0.7
	Final biselado que enrasa con la pendiente del terraplén	
	Sin rejilla	0.5
Con rejilla	0.7	
Tubería de metal corrugado	Saliente sin mudo	0.9
o <i>pipe-arch</i>	Muro con o sin aletas (hormigón o sacos de cemento))	0.5
	Final biselado que enrasa con la pendiente del terraplén	0.7
	Sección manufacturada del final de metal u hormigón que enrasa con la pendiente del terraplén	
	Sin rejilla	0.5
	Con rejilla	0.7
	Muro paralela al terraplén (no Aletas)	
Caja de hormigón armado	Borde cuadrado en tres lados	0.5
	Redondeado en tres lados al radio de 1/12 la dimensión del conducto	0.2
	Aletas en 30° hasta 75°	

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.16 – viene de la página anterior

Tipo de alcantarilla	Descripción de la entrada*	Coefficiente de pérdidas a la entrada $K_e$
	Borde cuadrado en la corona	0.4
	Borde de la corona redondeado al radio de 1/12 la dimensión del conducto	0.2
	Aletas en 10° hasta 30°	
	Corona con bordes cuadrados	0.5
	Aletas paralelas al terraplén	
	Borde cuadrado en la corona	0.7

Ver Table 9.18 para las configuraciones de la entrada.

Cuadro 9.17 – Coeficientes de la fórmula de control de entrada. Adaptado de Froehlich (2003).

MATERIAL	FORMA	ENTRADA*	K'	M	c'	Y
Hormigón	Circular	Muro; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Muro; borde acanalado	0.2509	2.0000	0.9394	0.7400
Hormigón	Circular	Saliente; borde acanalado	0.1448	2.0000	1.0198	0.6900
Metal cor.	Circular	Muro	0.2509	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Circular	Biselada a la pendiente	0.2112	1.3300	1.4895	0.7500
Metal cor.	Circular	Saliente	0.4593	1.5000	1.7790	0.5400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; biseles a 45°	0.1379	2.5000	0.9651	0.7400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; biseles a 33.7°	0.1379	2.5000	0.7817	0.8300
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 30° y 75° ; borde cuadrado	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 90° y 15° ; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas a 0° ; Borde cuadra	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200
Hormigón	Rectangular	Aletas a 45° ; Borde acanalado	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 18° y 33.7° ; Borde acanalado	1.5466	0.6670	0.8010	0.8300
Hormigón	Rectangular	Muro; biseles de 3/4 pulgadas	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Muro; biseles a 45°	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200
Hormigón	Rectangular	Muro; biseles a 33.7°	1.5466	0.6670	0.8107	0.8650
Hormigón	Rectangular	Muro sesgado a 45°; biseles de 3/4 in.	1.6611	0.6670	1.2932	0.7300
Hormigón	Rectangular	Muro sesgado a 30° ; biseles de 3/4 in.	1.6961	0.6670	1.3672	0.7050
Hormigón	Rectangular	Muro sesgado a 15° ; biseles de 3/4 in.	1.7343	0.6670	1.4493	0.6800
Hormigón	Rectangular	Muro sesgado entre 10-45° ; 45° bevels	1.5848	0.6670	1.0520	0.7500
Hormigón	Rectangular	Aletas no compensadas a 45°	1.5816	0.6670	1.0906	0.8030

Continúa en la próxima página

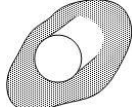
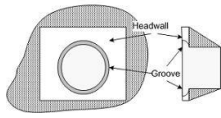
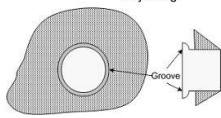
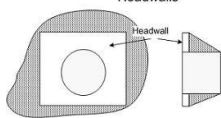
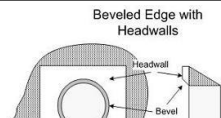
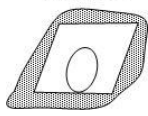
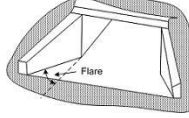
Cuadro 9.17 – viene de la página anterior

MATERIAL	FORMA	ENTRADA*	K'	M	c'	Y
Hormigón	Rectangular	Aletas no compensadas a 18.4°; 3/4 en los biseles	1.5689	0.6670	1.1613	0.8060
Hormigón	Rectangular	Aletas no compensadas a 18.4°; conducto sesgado 30°	1.5752	1.2418	0.7100	0.6670
Hormigón	Rectangular	Aletas compensadas a 45°; borde superior biselado	1.5816	0.6670	0.9715	0.8350
Hormigón	Rectangular	Aletas compensadas a 33.7°; borde superior biselado	1.5752	0.6670	0.8107	0.8810
Hormigón	Rectangular	Aletas compensadas a 18.4°; bisel del borde superior	1.5689	0.6670	0.7303	0.8870
Metal cor.	Rectangular	Muro	0.2670	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Rectangular	Saliente; muro grueso	0.3023	1.7500	1.3479	0.6400
Metal cor.	Rectangular	Saliente; muro fino	0.4593	1.5000	1.5956	0.5700
Hormigón	Circular	Garganta cónica	1.3991	0.5550	0.6305	0.8900
Metal cor.	Circular	Garganta cónica	1.5760	0.6400	0.9297	0.9000
Hormigón	Rectangular	Garganta cónica	1.5116	0.6670	0.5758	0.9700
Hormigón	Circular	Muro; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Muro; borde acanalado	0.2509	2.0000	0.9394	0.7400
Hormigón	Circular	Saliente; borde acanalado	0.1448	2.0000	1.0198	0.6900
Metal cor.	Circular	Muro	0.2509	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Circular	Biselada a la pendiente	0.2112	1.3300	1.4895	0.7500
Cor. metal	Circular	Saliente	0.4593	1.5000	1.7790	0.5400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; 45° biseles	0.1379	2.5000	0.9651	0.7400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; 33.7° biseles	0.1379	2.5000	0.7817	0.8300
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 30° y 75° ; borde cuadrado	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 90° y 15° ; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas a 0°; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200
Hormigón	Rectangular	Aletas a 45°; borde biselado	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Aletas entre 18° to 33.7° ; borde biselado	1.5466	0.6670	0.8010	0.8300
Hormigón	Rectangular	Muro; biseles de 3/4 pulgadas	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Muro; 45° biseles	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200

Ver Tabla 9.18 para las configuraciones de entrada.



**Cuadro 9.18** – Configuraciones de la entrada de la alcantarilla (adaptado de [www.xmswiki.com/xms/](http://www.xmswiki.com/xms/)).

ENTRADA	DESCRIPCION
<p data-bbox="397 310 511 338">Projecting</p> 	<p data-bbox="695 430 1177 457">El final del conducto se proyecta fuera del terraplén.</p>
<p data-bbox="462 468 576 495">Grooved Pipe with Headwalls</p> 	<p data-bbox="695 592 1205 646">Tubería acanalada para alcantarillas de hormigón disminuyen las pérdidas de energía a través de la entrada.</p>
<p data-bbox="479 657 560 684">Grooved Pipe Projecting</p> 	<p data-bbox="695 781 1205 835">Esta opción es para alcantarillas de tuberías de hormigón.</p>
<p data-bbox="462 846 576 873">Square Edge with Headwalls</p> 	<p data-bbox="695 970 1205 1060">Borde cuadrado con Muro es una condición de entrada donde la entrada de la alcantarilla está enrasada con la Muro.</p>
<p data-bbox="462 1035 576 1062">Beveled Edge with Headwalls</p> 	<p data-bbox="695 1190 1205 1281">'borde biselados' es un borde de entrada cónico que disminuye las pérdidas a medida que el flujo entra en el conducto de la alcantarilla.</p>
<p data-bbox="414 1297 511 1325">Mitered</p> 	<p data-bbox="695 1421 1205 1501">Una entrada ingleteada es cuando el conducto de la alcantarilla se corta de forma que enrase con la pendiente del terraplén.</p>
<p data-bbox="462 1518 527 1545">Wingwalls</p> 	<p data-bbox="695 1642 1205 1722">Las Aletas son usadas cuando la alcantarilla es más corta que el terraplén y previenen la entrada de material del terraplén en la alcantarilla.</p>

### 9.3.5.6 Comentarios para los archivos .CULVERTS y de características de las alcantarillas

1. Para CulvertType 0, el caudal de la alcantarilla se calcula usando una tabla de caudal/nivel dada en el archivo *culverFile*.
2. Para CulvertType 1 y 2, el modelo calculará el caudal de la alcantarilla para el control de entrada ya salida usando los procedimientos FHWA (Norman et al.,1985) que fueron replanteados posteriormente en forma adimensional por Froehlich (2003). Ver la guía de usuario para más detalles.

### 9.3.6 Archivos de datos de las compuertas: .GATES

esta componente requiere el archivo de datos .GATES que es automáticamente generado por el modelo en la representación geométrica introducida en HydroBID Flood. El archivo .GATES tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de compuertas.

**NG**

NG líneas que contienen los datos para cada compuerta.

Id de la compuerta

**GATES\_ID**

Elevación de la cresta Cd

**CRESTELEV GATEHEIGHT CD**

Serie temporal de la apertura de la compuerta

**GATE\_APERTURES\_FILE**

Número de parejas de celdas a lo largo del alineamiento de la compuerta

**NC**

NCELDAS líneas que contienen la numeración de las parejas de celdas a lo largo del alineamiento de la compuerta

**CELDA\_A[1] CELDA\_B[1]**

...

**CELDA\_A[NC] CELDA\_B[NC]**

#### 9.3.6.1 Ejemplo de archivo .GATES

```
2
Gate2
102.00 2.00 1.720
Gate2.DAT
5
3105 29
3103 79
3101 87
3099 137
3097 141
Gate1
```

111.00 11.00 1.710  
 Gate1.DAT  
 8  
 4099 285  
 4097 283  
 4033 281  
 4031 279  
 4029 277  
 4027 156  
 4026 82  
 4024 16

**Cuadro 9.19** – Descripción de las variables para el archivo .GATES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CD	R	> 0	-	Coefficiente de descarga de la compuerta.
CRESTELEV	R	> 0	-	Elevación de la cresta de la compuerta.
GATE_APERTURES_FILE	S	< 26	-	Serie temporal de la apertura de la compuerta.
GATEHEIGHT	R	> 0	-	Altura de la compuerta.
GATE_ID	S	< 26	-	ID de la compuerta. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
CELDA_A[i] CELDA_B[i]	I	-	-	Números de celdas de las parejas de celdas a lo largo del alineamiento de la compuerta.
NG	I	> 0	-	Número de compuertas

*Nota: I = Variable entera, R = Variable real, S = Variable texto.*

### 9.3.7 Archivo de serie temporal de apertura de compuerta

Línea 1: Número de puntos en la serie temporal de la apertura de la compuerta.

#### **NPOINTS**

NPOINTS líneas que contienen:

Tiempo de apertura.

#### **TIEMPOAPERTURE**

#### 9.3.7.1 Ejemplo de archivo de datos de apertura de compuerta

3  
 0 0.0  
 2 0.5

**Cuadro 9.20** – Descripciones de las variables para el archivo .GATES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NPOINTS	I	> 1	-	Número de puntos de datos en la serie temporal de la apertura de compuerta.
TIEMPO	R	> 0	h	Tiempo.
H(I)	R	-	m-ft	Apertura de la compuerta para el tiempo correspondiente.

*Nota: I = Variable integral. R = Variable real.*

### 9.3.8 Archivo de datos de la tabla de caudal/nivel interna (Internal Rating Table): .IRT

Este archivo de datos permite representar estructuras hidráulicas complejas dentro del dominio. El usuario debe polilíneas coincidentes con los nodos de la malla y asignar una tabla de distribución de caudal vs. elevación de la superficie del agua en la polilínea. En otras palabras, las polilíneas de la IRT tienen que conectar nodos de la malla de elementos triangulares. Para cada paso de tiempo, el modelo calculará el caudal que atraviesa la polilínea y encontrará, por interpolación, el correspondiente nivel de agua de la tabla proporcionada. El modelo impondrá este nivel de agua a todos los nodos a lo largo de la polilínea. Las velocidades serán calculadas usando las ecuaciones 2D estándar. Por lo tanto, en las polilíneas de la tabla de caudal/nivel interna, las velocidades calculadas no tienen que ser necesariamente perpendiculares a la polilínea de la IRT.

La estructura del archivo es como se describe a continuación:

Línea 1: Número de polilíneas IRT.

**IRT\_NPL**

IRT\_NPL grupos de líneas que contienen el ID de la polilínea IRT, el número de vértices que definen cada polilínea, el tipo de condición de contorno de la IRT (siempre igual a 19 en esta versión) y el nombre del archivo de la tabla de caudal/nivel, seguido de la lista de coordenadas de los vértices de la polilínea, como se muestra a continuación:

**IRT\_ID**

**IRT\_NV IRT\_BCTYPE IRT\_FILENAME**

**X\_IRT(1) Y\_IRT(1)**

**X\_IRT(2) Y\_IRT(2)**

...

**X\_IRT(IRT\_NV) Y\_IRT(IRT\_NV)**

#### 9.3.8.1 Ejemplo de archivo .IRT

2

IRT\_A

4 19 IRT\_A.DAT

799429.362 308905.287

799833.895 308354.857

799986.424 307738.111  
 799847.158 307141.259  
 IRT\_B  
 4 19 IRT\_B.DAT  
 799482.440 309453.678  
 799135.525 309118.164  
 798914.020 309269.634  
 798787.701 309467.583

Este archivo tiene 2 polilíneas IRT, el ID de la primera es IRT\_A, la cuál tiene 4 vértices, BCTYPE 19 y un nombre de archivo IRT\_A.DAT.

**Cuadro 9.21** – Descripciones de las variables para el archivo .IRT.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IRT_NPL	I	> 0	-	Número de polilíneas IRT.
IRT_NV	I	≥ 2	-	Número de puntos que definen cada polilínea IRT.
IRT_ID	S	< 26	-	Nombre de la IRT. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
IRT_BCTYPE	I	19	-	La condición de contorno siempre es del tipo 19 en esta versión, lo que corresponde a tabas de caudal vs. elevación de la superficie del agua. En versiones futuras incluirán más opciones.
X_IRT Y_IRT	R	-	m o ft	Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea IRT. Ver comentario 1.
IRT_FILENAME	S	< 26	-	Nombre del archivo que contiene la IRT en el formato descrito como un archivo de datos de caudal/nivel ( <i>stage-discharge</i> ). No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real, S = Variable de texto.*

### 9.3.8.2 Comentarios para el archivo .IRT

1. Las polilíneas IRT deben ser definidas evitando cambios abruptos de dirección (e.g. giros de 90 grados). Las polilíneas de ese estilo pueden causar errores en el algoritmo del modelo que identifica los nodos que recaen sobre la polilínea. Por lo tanto, es recomendable que la polilínea de la IRT siga un camino más o menos suave.

### 9.3.9 Archivo de datos de flujo de lodo y detritos: .MUD

Este archivo solamente se aplica al modelo HydroBID Flood. Este archivo proporciona los parámetros necesarios para representar el flujo de lodo y detritos usando el modelo HydroBID Flood.

Línea 1: Relación de resistencia al flujo.

**MF\_FRR**

Línea 2: Esfuerzo de fluencia (*yield stress*).

**MF\_YS**

Línea 3: Viscosidad de Bingham.

**MF\_BVIS**

Línea 4: Ángulo de fricción interna.

**MF\_THETA**

Línea 5: Densidad del material.

**MF\_DENS**

### 9.3.9.1 Ejemplo de archivo .MUD

```
1
300.
0.00899
3.5
2200.
```

**Cuadro 9.22** – Descripción de las variables para el archivo .MUD.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
MF_BVIS	I	> 0	Poise ó lb/in <sup>2</sup>	Viscosidad de Bingham.
MF_DENS	R	> 0	kg/m <sup>3</sup> ó lb/ft <sup>3</sup>	Densidad del material.
MF_FRR	R	1-7	-	Relación de resistencia al flujo (ver Tabla 9.23).
MF_THETA	R	> 0	Grados	Ángulo de fricción interna.
MF_YS	R	> 0	N/m <sup>2</sup> o lb/in <sup>2</sup>	Esfuerzo de fluencia ( <i>yield stress</i> ).

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

### 9.3.9.2 Comentarios para el archivo .MUD

1. Las ecuaciones que describen las fuerzas tangenciales generadas por los esfuerzos pueden ser agrupadas dentro de la misma fórmula matemática a pesar de tener naturaleza diferente. De este modo, diferentes formulaciones para los esfuerzos cortantes pueden ser consideradas: esfuerzo turbulento  $\tau_t$ , esfuerzo dispersivo  $\tau_d$ , esfuerzo de fricción de tipo Coulomb  $\tau_f$ , esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  y esfuerzo viscoso  $\tau_\mu$ . La Tabla 9.23 incluye los términos de resistencia al flujo turbulento-colisional, esfuerzo de fluencia y laminaren una ley reológica cuadrática, donde un valor estándar de  $\kappa = 24$  es supuesto. En esta tabla, también se incluyen los parámetros de entrada que son requeridos para su cálculo.

**Cuadro 9.23** – Relación de resistencia al flujo.

MF_FFR	RELACION DE RESISTENCIA	TERMINO DE RESISTENCIA	PARAMETROS DE ENTRADA
1	Turbulento	$\tau_b = \tau_t$	n de Manning, densidad.
2	Bingham completo	$\tau_b = \tau_0$ con $f_1(\tau_b, \tau_0) = 0$	Viscosidad de Bingham, esfuerzo de fluencia, densidad.
3	Bingham simplificado	$\tau_b = 1,5\tau_y + 3\tau_\mu$	Viscosidad de Bingham, esfuerzo de fluencia, densidad.
4	Turbulento y Coulomb	$\tau_b = \tau_t + \tau_f$	n de Manning, densidad, ángulo de fricción.
5	Turbulento y fluencia	$\tau_b = \tau_t + \tau_y$	n de Manning, densidad, esfuerzo de fluencia.
6	Turbulento, Coulomb y fluencia.	$\tau_b = \tau_t + \min(\tau_y, \tau_f)$	n de Manning, densidad, esfuerzo de fluencia, ángulo de fricción.
7	Cuadrática	$\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{\tau_y}{8}\tau_\mu$	n de Manning, densidad, esfuerzo de fluencia, ángulo de fricción.
8	Flujo granular	$\tau_b = \tau_f$	viscosidad, densidad. Para esta fórmula, el modelo automáticamente impone un n de Manning = 0 para todas las celdas.

### 9.3.10 Oil Spill on Land Data File: .OILP

Este archivo sólo se aplica al modelo OilFlow2D. Este archivo proporciona los parámetros necesarios para modelar el flujo de fluidos viscosos, incluido el aceite sobre terrenos complejos, utilizando el modelo OilFlow2D.

Line 1: Relación de resistencia al flujo.

**OL\_FRR**

Line 2: Esfuerzo de fluencia. No usado en esta versión.

**OL\_YS**

Line 3: Viscosidad del fluido.

**OL\_BVIS**

Line 4: Ángulo de fricción interna. No usado en esta versión.

**OL\_THETA**

Line 5: Densidad del petróleo.

**OL\_DENS**

Line 6: Archivo de series de datos de temperatura.

**OL\_TEMPTSERIES**

Line 7: Archivo con la tabla Temperatura - Viscosidad - Densidad.

**OL\_TEMPVISCDENS**

### 9.3.10.1 Ejemplo de archivo .OILP

```
3
1.
0.00899
1
2200.
Tempseries.TXT
Tempviscdensetable.TXT
```

**Cuadro 9.24** – Descripción de las variables para el archivo .OILP.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
OL_BVIS	I	> 0	$Pa \cdot s$ o $lb - s/in^2$	Viscosidad del fluido que será usada si las líneas correspondientes al archivo con la tabla temperatura-viscosidad-densidad y el archivo de datos de temperatura no son proporcionadas.
OL_DENS	R	> 0	$kg/m^3$ o $lb/ft^3$	Densidad del fluido que será usada si las líneas correspondientes al archivo con la tabla temperatura-viscosidad-densidad y el archivo de datos de temperatura no son proporcionadas.
OL_FRR	R	3	-	Relación de resistencia al flujo. Siempre debe ser igual a 3 en esta versión.
OL_TEMP SERIES	S	$\leq 26$	-	Archivo con la serie temporal de temperatura.
OL_TEMPVISCDENS	S	$\leq 26$	-	Archivo con la tabla temperatura-viscosidad-densidad. El modelo usará la temperatura a un tiempo dado para interpolar la viscosidad y la densidad en la tabla.
OL_THETA	R	> 0	Grados	No usado en esta versión.
OL_YS	R	> 0	$N/m^2$ o $lb/in^2$	Esfuerzo de fluencia. No usado en esta versión.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.10.2 Ejemplo de archivo de serie temporal de temperatura

```
7
0.0 60
2.0 65
4.0 70
```



6.0 75  
 8.0 77  
 10.0 79  
 12.0 65

En este ejemplo, hay 7 entradas en la serie temporal de temperatura. Para el tiempo inicial, 0.0 hours, la temperatura es 60° F y así, sucesivamente.

### 9.3.10.3 Ejemplo de archivo de tabla de temperatura-viscosidad-densidad

2  
 50 1.38E-06 58.00  
 120 6.94E-07 56.00

En este ejemplo, hay 2 líneas en el archivo de la tabla de temperatura-viscosidad-densidad. Para 50° F la viscosidad es 1.38E-06 lb – s/in<sup>2</sup> y la densidad 50 lb/ft<sup>3</sup>.

## 9.3.11 Archivo de datos del módulo de transporte de contaminantes: .SOLUTES

El módulo de transporte de contaminantes calcula la concentración de contaminantes (solutos) pasivos o reactivos basándose en la advección y dispersión. Los datos requeridos están incluidos en el archivo de datos .SOLUTES que tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de contaminantes (solutos)  
**NPOLLUTANTS\_MAX**

Línea 2: Número de contaminantes usados en la simulación  
**NPOLLUTANTS\_USED**

Línea 3: Lista de solutos usados (todos en una línea)  
**I\_1 I\_2 ... I\_NPOLLUTANTS\_USED**

Línea 4: Coeficientes de dispersión longitudinales y transversales  
**DISPL DISPT**

Línea 5...: Lista de nombres de contaminantes (uno en cada línea)  
**NAME\_I1**  
**NAME\_I1**  
 ...  
**NAME\_NPOLLUTANT\_MAX**

Línea 6 hasta la NPOLLUTANT\_MAX+6: Matriz K(I,J) de coeficientes de la tasa de reacción de primer orden  
**K(1,1) K(1,2) ... K(1,NPOLLUTANT\_MAX)**  
**K(2,1) K(2,2) ... K(2,NPOLLUTANT\_MAX)**  
 ...  
**K(NPOLLUTANT\_MAX,1) K(NPOLLUTANT\_MAX,2) ... K(NPOLLUTANT\_MAX,NPOLLUTANT\_MAX)**

## 9.3.11.1 Ejemplo de archivo .SOLUTES

```

5
5
1 2 3 4 5
0.1 0.02
NITRATE
AMMONIUM
TEMPERATURE
CHLORINE
PHOSPHATE
0.2 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.1 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.1 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.2 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.5

```

Cuadro 9.25 – Explicación del archivo ejemplo .SOLUTES.

DATOS	DESCRIPCIÓN
5	Hay cinco contaminantes
5	Cinco contaminantes serán usados en esta simulación
1 2 3 4 5	Los contaminantes activos serán del 1 al 4
0.1 0.02	El coeficiente de dispersión longitudinal es 0.1 y el transversal 0.02.
D	El nombre del contaminante No. 1 es: NITRATE
AMMONIUM	El nombre del contaminante No. 2 es: AMMONIUM
TEMPERATURE	El nombre del contaminante No. 3 es: TEMPERATURE
CHLORINE	El nombre del contaminante No. 4 es: CHLORINE
PHOSPHATE	El nombre del contaminante No. 5 es: PHOSPHATE
0.2 0.0 0.0 0.0 0.0	La constante de reacción de primer orden para el contaminante No. 1 es 0.2
0.0 0.1 0.0 0.0 0.0	La constante de reacción de primer orden para el contaminante No. 2 es 0.1
0.0 0.0 1.1 0.0 0.0	La constante de reacción de primer orden para el contaminante No. 3 es 1.1
0.0 0.0 0.0 0.2 0.0	La constante de reacción de primer orden para el contaminante No. 4 es 0.2
0.0 0.0 0.0 0.0 0.5	La constante de reacción de primer orden para el contaminante No. 5 es 0.2

Cuadro 9.26 – Descripciones de las variables para el archivo .SOLUTES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
DISPL	R	> 0	m <sup>2</sup> /s ó ft <sup>2</sup> /s	Coeficiente de dispersión longitudinal.
DISPT	R	> 0	m <sup>2</sup> /s ó ft <sup>2</sup> /s	Coeficiente de dispersión transversal.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.26 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
K(I,J)	R	-	s <sup>-1</sup>	Constantes de reacción de primer orden, donde K(I,I) es la constante de reacción para el contaminante I y K(I,J) la constante de reacción para el contaminante I con el contaminante J.
NPOLLUTANTS_MAX	I	0, 1, 2	-	Número máximo de contaminantes.
NPOLLUTANTS_USED	I	> 0	-	Número de contaminantes usados en la simulación. Debe ser igual a NPOLLUTANTS_MAX

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

### 9.3.12 Archivo de datos de la concentración inicial del módulo de transporte de contaminantes: .CINITIAL

El archivo de datos de concentración inicial es generado cuando el conjunto de datos con las concentraciones iniciales es exportado desde HydroBID Flood basándose en los datos introducidos como concentraciones iniciales.

Cada columna en este archivo se corresponde con cada uno de los contaminantes indicados en el correspondiente archivo .SOLUTIONS. Cada línea corresponde a las concentraciones iniciales para cada celda. Por lo tanto, el archivo .CINITIAL tiene que tener NPOLLUTANTS\_MAX columnas y NELEM líneas.

### 9.3.13 Archivo de datos del coeficiente n de Manning variable con la profundidad: .MANN

Este archivo es generado por HydroBID Flood basándose en los datos que el usuario introduce en la capa *ManningsNz*. Se utiliza para distribuir espacialmente el coeficiente n de Manning variable con la profundidad.

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde los coeficientes n de Manning variable con las profundidades son definidos.

**NNZONES**

NRZONES grupo de líneas que contienen los archivos de datos del coeficiente n de Manning variable con la profundidad para cada zona **MANNFILE**

Número de vértices del polígono i

**NPZONE[i]**

Lista de NPZONE[i] coordenadas de vértice

**X(1) Y(1)**

...

**X(NPZONE[i]) Y(NPZONE[i])**

### 9.3.13.1 Ejemplo de archivo .MANNN

```

2
Manning1.TXT
4
25.0 25.0
25.0 75.0
75.0 75.0
75.0 25.0
Manning2.TXT
4
25.0 125.0
25.0 175.0
75.0 175.0
75.0 125.0

```

En este ejemplo, hay dos polígonos. El archivo de datos del coeficiente  $n$  de Manning para el primer polígono es `Manning1.txt` y el polígono está definido por cuatro vértices.

**Cuadro 9.27** – Descripción de las variables para el archivo .MANNN.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NNZONE[i]	I	$\geq 1$	-	Número de vértices que definen la zona $i$ .
NNZONES	I	-	-	Número de zonas.
MANNNFILE	S	$\leq 26$	-	Archivo de coeficiente $n$ de Manning. Ver comentario 1.
X(i) Y(i)	R	$> 0$	m o ft	Coordenadas de los vértices del polígono que define la zona $i$ .

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.13.2 Comentarios para el archivo .MANNN

1. La distribución espacial de coeficientes  $n$  de Manning variables con la profundidad viene dada como un número de polígonos no solapados que pueden cubrir o no el área de la malla. A las zonas no cubiertas por ningún polígono (área complementaria) se le asignará el archivo por defecto de coeficientes  $n$  de Manning.

### 9.3.13.3 Archivo de datos de los coeficientes $n$ de Manning variable con el profundidad

Línea 1: Número de puntos en el archivo de coeficientes  $n$  de Manning.

**NPRE**

ND líneas que contienen:

**DEPTH MANNINGS N**

### 9.3.13.4 Ejemplo de archivo de datos de los coeficientes $n$ de Manning variable con el profundidad

3  
0. 0.1  
0.3 0.1  
1.0 0.03

**Cuadro 9.28** – Descripciones de variables para el archivo de datos de los coeficientes  $n$  de Manning variable con el profundidad.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
DEPTH	R	$\geq 0$	m ó ft	Profundidad. Ver comentario 1.
MANNINGS N	R	$\geq 0$	-	Coefficiente $n$ de Manning correspondiente a DEPTH. Ver comentario 1.
ND	I	-	-	Número de valores en el archivo.

*Nota:* I = Variable entera. R = Variable real.

### 9.3.13.5 Comentarios para el archivo de datos de los coeficientes $n$ de Manning variable con el profundidad

1. Para calcular el coeficiente  $n$  sobre la malla, el modelo primero identificará el polígono sobre cada celda y, posteriormente, usará el valor interpolado de  $n$  para la profundidad de la celda a partir de la tabla correspondiente al polígono. En el ejemplo de arriba, para todas las profundidades entre 0.3 y 1, el coeficiente  $n$  de Manning será obtenido por interpolación lineal entre 0.1 y 0.03.
2. El usuario debe proporcionar un archivo DefaultManningsn.dat en la carpeta del proyecto y el programa aplicará los datos contenidos en el mismo para el área complementaria a los polígonos proporcionados. Si el archivo DefaultManningsn.dat no existe, el modelo aplicará un valor por defecto de 0.035 a las áreas que no estén cubiertas por los polígonos de los coeficientes  $n$  de Manning.

## 9.3.14 Archivo de datos de lluvia y evaporación: .LRAIN

El usuario debe emplear este archivo para introducir los datos de lluvia y evaporación espacialmente distribuidos y variables en el tiempo. El modelo assume que la lluvia y evaporación pueden variar sobre el área modelada.

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde las series temporales de lluvia son definidas.

**NRZONES**

NRZONES grupo de líneas que contienen el archivo de datos de hietograma y evaporación para cada zona

**RAINEVFILE[i]**

Número de vértices del polígono  $i$

**NPZONE[i]**

Lista de coordenadas de vértices de NPZONE[i]

**X(1) Y(1)**

...

**X(NPZONE[i]) Y(NPZONE[i])**

### 9.3.14.1 Ejemplo de archivo .LRAIN

```

2
hyeto1.TXT
4
25.0 25.0
25.0 75.0
75.0 75.0
75.0 25.0
hyeto2.TXT
4
25.0 125.0
25.0 175.0
75.0 175.0
75.0 125.0

```

En este ejemplo, hay dos polígonos. El archivo de datos de lluvia y evaporación para el primer polígono es `hyeto1.txt` y el polígono está definido por cuatro vértices.

**Cuadro 9.29** – Descripciones de las variables para el archivo .LRAIN.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NPZONE[i]	I	$\geq 1$	-	Número de vértices que definen la zona i.
NRZONES	I	-	-	Número de zonas.
RAINEVFILE	S	$\leq 26$	-	Intensidad de lluvia. Ver comentario 1.
X(i) Y(i)	R	$> 0$	m o ft	Coordenadas de los vértices del polígono que define la zona i.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.14.2 Comentarios para el archivo .LRAIN

1. La distribución espacial de lluvia y evaporación viene dada como un número de polígono no solapados que pueden cubrir o no el área de la malla. Las zonas que no son cubiertas por ningún polígono, no tendrán lluvia ni evaporación impuestas.

### 9.3.14.3 Archivo de datos de hietograma y evaporación

Línea 1: Número de puntos en la serie temporal de lluvia y evaporación.

#### NPRE

NPRE líneas que contienen:

Tiempo, intensidad de la lluvia, intensidad de la evaporación.

#### TIEMPOLLUVIA EVAPORACION

### 9.3.14.4 Ejemplo de archivo de datos de hietograma y evaporación

```

8
0.0 0.0 0.01
1.0 1.0 0.02
3.0 4.0 0.02
6.0 12.0 0.00
6.2 7.0 0.00
7.0 3.0 0.0
7.1 0.0 0.0
9.0 0.0 0.0

```

**Cuadro 9.30** – Descripción de las variables para el archivo de datos del hietograma y la evaporación.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
EVAPORATION	R	$\geq 0$	<i>mm/hr</i> ó <i>in/hr</i>	Intensidad de evaporación. Ver comentario 1.
NPRE	I	-	-	Número de tiempos en la serie temporal de lluvia y evaporación.
RAINFALL	R	$\geq 0$	<i>mm/hr</i> ó <i>in/hr</i>	Intensidad de lluvia. Ver comentario 1.
TIEMPO	R	$> 0$	horas	Intervalo de tiempo

*Nota:* *I* = Variable entera. *R* = Variable real.

### 9.3.14.5 Comentarios para el archivo de datos para el hietograma y la evaporación

1. Para calcular la lluvia/evaporación sobre la malla, el modelo usará las intensidades de lluvia y evaporación dadas para cada intervalo de tiempo. En el ejemplo de arriba, la lluvia será constante e igual a 1 mm/h y la evaporación 0.02 mm/h desde la hora 1 a la hora 3, y entre la hora 6 y la hora 6.2, la intensidad de la lluvia será de 12 mm/h mientras que la evaporación será nula.
2. Si el usuario tiene un archivo `DefaultRainEvap.dat` en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en ese archivo al área complementaria al los polígonos provistos. Es decir, todas las celdas que estén fuera de los polígonos definidos en el la capa *RainEvap* recibirán la precipitación indicada en el archivo `DefaultRainEvap.dat`.

## 9.3.15 Archivo de datos de la infiltración: .LINF

El usuario deberá usar este archivo para introducir los parámetros espacialmente distribuidos de la infiltración.

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde los parámetros de infiltración son definidos.

#### **NIZONES**

NIZONES grupos de líneas que contienen:

Archivo de datos de infiltración para cada zona

#### **INFILFILE**

Número de vértices del polígono  $i$

**NPZONE[i]**

Lista de coordenadas de los vértices de NPZONE[i]

**X(1) Y(1)**

...

**X(NPZONE[i]) Y(NPZONE[i])**

### 9.3.15.1 Ejemplo de archivo .LINF

```
2
inf1.inf
4
0.0 0.0
0.0 200.0
200.0 200.0
200.0 0.0
Inf2.inf
4
200.0 200.0
400.0 200.0
400.0 0.0
200.0 0.0
```

En este ejemplo, hay dos polígonos. El archivo de datos de infiltración para el primer polígono es `inf1.inf` y el polígono está definido por cuatro vértices.

**Cuadro 9.31** – Descripciones de las variables para el archivo .LINF.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
NPZONE[i]	I	$\geq 1$	-	Número de vértices que definen la zona $i$ .
NIZONES	I	-	-	Número de zonas. Ver comentarios 1 y 2.
INFILFILE	S	$\leq 26$	-	Archivo de parámetros de infiltración.
X(i) Y(i)	R	$> 0$	m o ft	Coordenadas de los vértices del polígono que define la zona $i$ .

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.15.2 Comentarios para el archivo .LINF

1. La distribución espacial de los parámetros de infiltración viene dada como un número de polígono no solapados que pueden cubrir o no el área de la malla. Las zonas no cubiertas por ningún polígono no tendrán asignado cálculo de infiltración.
2. Cada polígono puede tener un método de infiltración diferente asignado.
3. Si el usuario tiene un archivo `DefaultInfiltration.dat` en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en el mismo al área complementaria a los polígonos provistos.



### 9.3.15.3 Archivo de parámetros de infiltración

Línea 1: Modelo para calcular la infiltración.

#### INFILMODEL

Línea 2: Número de parámetros de infiltración.

#### NIPARAM

Si INFILMODEL = 1: Método de Horton:

Línea 3: **K**  $f_c$   $f_0$

Si INFILMODEL = 2: Método de Green-Ampt:

Línea 3: **KH PSI DELTATHETA**

Si INFILMODEL = 3: Método SCS-CN:

Línea 3: **CN POTRETCONST FUTUREUSE FUTUREUSE**

### 9.3.15.4 Ejemplo de archivo de datos de parámetros de infiltración

```
1
3
8.3E-04 3.47E-06 2.22E-5
```

En este ejemplo, el método de infiltración es seleccionado como 1, correspondien al modelo de Horton. Hay 3 parámetros:  $K = 8.3E-04$ ,  $f_c = 3.47E-06$  y  $f_0 = 2.22E-5$ .

**Cuadro 9.32** – Descripción de las variables para el archivo de parámetros de infiltración.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CN	R	> 0	-	Número de curva. Ver USDA (1986) para determinar los valores adecuados dependiendo de la cobertura del suelo. Los valores típicos varían entre 10 para suelos altamente permeables hasta 99 para suelos impermeables.
DeltaTheta	R	> 0	-	Diferencia entre el contenido volumétrico de humedad saturada e inicial. Valor por defecto = 3E-5.
$f_c$	R	[0,5E-4]	m/s ó ft/s	Tasa de infiltración final. Por defecto = 2E-5.
$f_0$	R	[0,5E-4]	m/s ó ft/s	Tasa de infiltración inicial. Por defecto = 7E-5.
INFILMODEL	I	1,2,3	-	Método de infiltración. 1: Horton, 2: Green y Ampt, 3: SCS-CN.
K	I	[0,30]	1/s	Coficiente de decaimiento usado en el método de Horton. Por defecto = 1.
Kh	I	$\geq 0$	m/s o ft/s	Conductividad hidráulica usada en el método de Green y Ampt. Por defecto = 0.00001.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.32 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NIPARAM	I	[3-4]	-	Número de parámetros de datos dependiendo del modelos de infiltración seleccionado. Debe ser como sigue: 3 para los métodos de Horton o Green-Ampt, 4 para el método SCS-CN.
POTRETCONST	R	[0-1]	-	Máxima retención potencial. Típicamente = 0.2.
PSI	R	[0-1]	m o in	Altura de succión en el frente húmedo. Por defecto = 0.05.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

### 9.3.16 Archivos de datos de transporte de sedimentos de HydroBID Flood: .SEDS y .SEDB

Estos archivos proporcionan los parámetros necesarios para simular el transporte de sedimentos usando el modelo HydroBID Flood.

#### 9.3.16.1 Archivo .SEDS para los datos de sedimento en suspensión

El archivo .SEDS proporcionan los datos para el modelo de transporte de sedimento en suspensión.

Línea 1: Ininterruptor para activar/desactivar el sedimento en suspensión.

**ISSACT**

Línea 2: Número de fracciones de sedimento en suspensión.

**NSSNFRAC**

Línea 3: Fórmula de concentración de equilibrio.

**ISSTF**

Línea 4: Densidad del sedimento para cada fracción.

**SSDEN(1) ... SSDEN(NSSNFRAC)**

Línea 5: Concentración inicial de sedimento en suspensión para cada fracción.

**INICON(1) ... INICON(NSSNFRAC)**

Línea 6: Para uso futuro.

**DUMMY1(1) ... DUMMY1(NSSNFRAC)**

Línea 7: Tamaño D50 de sedimento en suspensión para cada fracción.

**D50(1) ... D50(NSSNFRAC)**

Línea 8: Para uso futuro.

**DUMMY2(1) ... DUMMY2(NSSNFRAC)**

Línea 9: Porosidad para cada fracción.

**SSPOR(1) ... SSPOR(NSSNFRAC)**

Línea 10: Esfuerzo de Shield crítico para cada fracción.

**THETAC(1) ... THETAC(NSSNFRAC)**

Línea 11: Ángulo de fricción para cada fracción.

**FRICANG(1) ... FRICANG(NSSNFRAC)**

Línea 12: Factor de la fórmula de la concentración de equilibrio para cada fracción.

**SSTFACT(1) ... SSTFACT(NSSNFRAC)**

Línea 13: Fórmula de velocidad de asentamiento

**SETFOR**

Línea 14: Factor de la fórmula de velocidad de asentamiento.

**SETFORFACT**

### 9.3.16.2 Ejemplo de archivo .SEDS

```

1
2
1
165.00 165.00
0.01 0.01
0.003937008 0.003937008
0.0039370 0.0039370
0.003937008 0.003937008
0.40 0.40
0.047 0.047
35.00 35.00
1.00 1.00
1
1

```

**Cuadro 9.33** – Descripción de las variables para el archivo .SEDS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
INICON	R	0,0.3	-	Concentración volumétrica inicial de sedimento. Ver comentario 1.
ISSACT	I	0,1	-	Interruptor para el sedimento en suspensión. Si ISSACT = 1, el modelo calculará el transporte de sedimento en suspensión. Si ISSACT = 0 el transporte de sedimento en suspensión no será calculado.
NSSNFRAC	I	1-10	-	Número de fracciones de sedimento en suspensión.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.33 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ISSTF	I	1,2	-	Fórmula de concentración de equilibrio. Este código indica la fórmula de acuerdo a la lista: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bagnold (1966)</li> <li>2. Van Rijn (1984a)</li> </ol>
DUMMY1	R	> 0	-	No usado en este versión, pero tiene que estar presente.
D50	R	> 0	mm o in	Tamaño mediano de sedimento. El 50 % del sedimento es más fino que D50. Ver comentario 1.
DUMMY2	R	> 0	-	No usado en este versión, pero tiene que estar presente.
SSPOR	R	0.3-0.6	-	Porosidad. Ver comentario 1.
THETAC	R	0.03-0.06	-	Esfuerzo de Shield crítico. Ver comentario 1.
FRICANG	R	5-45	-	Ángulo de fricción. Ver comentario 1.
ISETFOR	I	0-9	-	Fórmula de velocidad de asentamiento. Es una fórmula única para todas las fracciones. Este código indica la fórmula de acuerdo a la lista <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rubey (1983)</li> <li>2. Zhang (1961)</li> <li>3. Zanke (1977)</li> <li>4. Van Rijn (1984a)</li> <li>5. Raudkivi (1990)</li> <li>6. Julien (1998)</li> <li>7. Cheng (1997)</li> <li>8. Jimenez-Madsen (2003)</li> <li>9. Wu-Wong (2006)</li> </ol>
SETFORFACT	R	-	-	Factor de la fórmula de velocidad de asentamiento. Este factor multiplica la velocidad de asentamiento calculada por la fórmula seleccionada en ISETFOR. Es un factor que puede ser usado para calibrar el modelo.
SSDEN	R	-	kg/m <sup>3</sup> ó lb/ft <sup>3</sup>	Densidad del sedimento en suspensión. Ver comentario 1.
SSTFACT	R	-	-	Factor de la fórmula de concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor multiplica la fórmula de concentración de equilibrio ISSTF. Es un factor que puede ser usado para calibrar el modelo. Ver comentario 1.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

### 9.3.16.3 Comentarios para el archivo .SEDS

1. Debe haber un valor para cada fracción de sedimento hasta NSSNFRAC.

### 9.3.16.4 Archivo .SEDB para los datos de transporte de sedimento de fondo

El archivo .SEDS proporciona los datos para el modelo de transporte de sedimento de fondo.

Línea 1: Interruptor para activar el transporte de sedimento de fondo.

**IBLACT**

Línea 2: Número de fracciones de sedimento de fondo.

**NBLNFRAC**

Línea 3: Fórmula de transporte de sedimento.

**IBLTF**

Línea 4: Densidad de sedimento para cada fracción.

**BLDEN(1) ... BLDEN (NBLNFRAC)**

Línea 5: Tamaño D30 de sedimento para cada fracción.

**D30(1) ... D30(NBLNFRAC)**

Línea 6: Tamaño D50 de sedimento para cada fracción.

**D50(1) ... D50(NBLNFRAC)**

Línea 7: Tamaño D90 de sedimento para cada fracción.

**D90(1) ... D90(NBLNFRAC)**

Línea 8: Porosidad para cada fracción.

**BLPOR(1) ... BLPOR(NSSNFRAC)**

Línea 9: Esfuerzo crítico de Shields para cada fracción.

**THETAC (1) ... THETAC (NBLNFRAC)**

Línea 10: Ángulo de fricción para cada fracción.

**FRICANG (1) ... FRICANG (NBLNFRAC)**

Línea 11: Fracciones en el fondo.

**BEDFRACT (1) ... BEDFRACT (NBLNFRAC)**

Línea 12: Factor de la fórmula de transporte para cada fracción.

**BLFORFACT(1) ... BLFORFACT (NBLNFRAC)**

### 9.3.16.5 Ejemplo de archivo .SEDB

1

2

2

165.0 165.0

0.0039370 0.0039370  
 0.0039000 0.0039370  
 0.0039370 0.0039370  
 0.40 0.40  
 0.047 0.047  
 35.00 35.00  
 0.50 0.50  
 1.00 1.00  
 0

**Cuadro 9.34** – Descripciones de las variables para le archivo .SEDS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
IBLACT	I	0,1	-	Interruptor para el transporte del sedimento de fondo. Si IBLACT = 1, el modelo calculará el transporte del sedimento de fondo. Si IBLACT = 0, el modelo no calculará el transporte del sedimento de fondo.
NBLNFRAC	I	1-10	-	Número de fracciones de sedimento.
IBLTF	I	1,10	-	Fórmula de transporte de sedimento. Este código indica la fórmula de acuerdo a la siguiente lista: 1. Meyer-Peter & Muller (1948) 2. Ashida (1972) 3. Engelund (1976) 4. Fernandez (1976) 5. Parker fit to Einstein (1979) 6. Smart (1984) 7. Nielsen (1992) 8. Wong 1 (2003) 9. Wong 2 (2003) 10. Camenen-Larson (2005)
D30	R	> 0	m o in	Tamaño D30 de sedimento. El 30 % del sedimento es más fino que D30. Solamente se emplea en la fórmula de Smart. Ver comentario 1.
D50	R	> 0	m o in	Tamaño mediano de sedimento. El 50 % del sedimento es más fino que D50. Ver comentario 2.
D90	R	> 0	m o in	Tamaño D90 de sedimento. El 90 % del sedimento es más fino que D90. Solamente se emplea en la fórmula de Smart. Ver comentario 1.
BLPOR	R	0.3-0.6	-	Porosidad. Ver comentario 1.
THETAC	R	0.03-0.06	-	Esfuerzo crítico de Shields. Ver comentario 3.
FRICANG	R	5-45	-	Ángulo de fricción. Ver comentario 1.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.34 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
BEDFRACT	R	-	-	Fracción de sedimento. La suma de todas las fracciones debe ser 1. Ver comentario 1.
BLDEN	R	-	kg/m <sup>3</sup> o lb/ft <sup>3</sup>	Densidad del sedimento. Ver comentario 1.
BLFORFACT	R	-	-	Factor de la fórmula de transporte para cada fracción. Este factor multiplica el resultado de la fórmula de transporte seleccionada (IBLTF). Es un factor que puede ser empleado para la calibración del modelo. Ver comentario 1.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

### 9.3.16.6 Comentarios para el archivo .SEDB

1. Debe haber un valor para cada fracción de sedimento hasta NBLNFRAC.
2. Diámetro característico para todas las fórmulas de transporte de sedimentos.
3. El esfuerzo crítico de Shields que por defecto se toma igual a 0.047.

### 9.3.17 Archivo de datos socavación en puentes: .SCOUR

Este archivo contiene los datos requeridos para calcular socavación en pilas y estribos de puentes.

Line 1: Numero de pilas, estribos y puentes.

**NP**

**NP** grupo de líneas que contienen los siguientes datos (ver descripción en la tabla 9.35 ):

**lmode**

**PierID**

**lcomp**

**XA, YA**

**Y1**

**V1**

**Fr1**

**alfa**

**ishape**

**L**

**a**

**iBedCondition**

**D50**

**D84**

**Vcritical**

**SedimentSpecificDensity**

**WaterSpecificDensity**

**FrD**

**K1**

**K2**

**K3**

**K**

theta  
 ys  
 W  
 Wbottom  
 iAbutmentType  
 AlfaA  
 AlfaB  
 YmaxLB  
 YmaxCW  
 YcLB  
 YcCW1  
 YcCW2  
 YsA  
 q1  
 q2c  
 n Manning  
 Tauc  
 BridgeXSEC\_X1, BridgeXSEC\_Y1, BridgeXSEC\_X2, BridgeXSEC\_Y2  
 UpstreamXSEC\_X1, UpstreamXSEC\_Y1, UpstreamXSEC\_X2, UpstreamXSEC\_Y2

### 9.3.17.1 Example of a .SCOUR file

```

2
DrainA
2
Drain.TXT
799019.633 309402.572
DischargeIn
1
Discharge.TXT
799222.740 309048.493
  
```

**Cuadro 9.35** – Descripción de las variables del archivo .SCOUR.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
ID	S	-	-	Nombre de la pila
lcomp	I	(1, 2, 3, 4)		Método de cálculo
XA, YA	R	-		Coordenadas de la pila
Y1	R	> 0	m, ft	Profundidad aguas arriba de la pila
V1	R	> 0	m/s, ft/s	Velocidad aguas arriba de la pila
Alfa	R	[0, 180]	Grados	Ángulo de ataque
alfaRAD	R	[0, Pi]	Radianes	Ángulo de ataque
ishape	I			Forma de la pila
L	R	> 0	m, ft	Longitud de la pila
a	R	> 0	m, ft	Ancho de la pila
iBedCondition	I			Condición del fondo
D50	R	> 0	m, ft	D50

Continúa en la próxima página



Cuadro 9.35 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
D84	R	> 0	m, ft	D84
Ss	R	(0,3)		Peso específico relativo del sedimento
Sw	R	(0,1.2]		Peso específico relativo del agua
K1	R			Factor de corrección por forma de la pila
K2	R			Factor de corrección por el ángulo de ataque
K3	R			Factor de corrección por la condición del fondo
K	R	(0,3)	(0,3)	Ancho en el fondo relativo a Ys.
theta	R	20-48 °	Grados	Ángulo de reposo del material de fondo
ys	R	≥0	m, ft	Profundidad de la socavación
W	R	≥0	m, ft	Ancho tope del socavón
Wbottom	R	≥0	m, ft	Ancho base del socavón
Fr1	R	> 0		Número de Froude aguas arriba de la pila
FrD	R	> 0		Número de Froude Densimétrico
SIGMA	R	> 0		Coefficiente de graduación del sedimento
Vc	R	> 0	m/s/ ft/s	Velocidad crítica para inicio de la erosión
iAbutmentType	I	[1-2]	-	Tipo de estribo
AlfaA	R	[1-2]	-	Factor de amplificación para condiciones de capa viva
AlfaB	R	[1-2]	-	Factor de amplificación para condiciones de aguas claras
YmaxLB	R	≥0	m or ft	Profundidad máxima después de ocurrir socavación para condiciones de capa viva
YmaxCW	R	≥0	m or ft	Profundidad máxima después de ocurrir socavación para condiciones de aguas claras
YcLB	R	≥0	m or ft	Profundidad incluyendo socavación debida a contracción en condiciones de capa viva
YsA	R			Profundidad de socavación del estribo
YcCW1	R	≥0	m or ft	Profundidad incluyendo socavación por contracción para condiciones de aguas claras. Método 1
YcCW2	R	≥0	m or ft	Profundidad incluyendo socavación por contracción para condiciones de aguas claras. Método 2
q1	R	≥0	m <sup>2</sup> /s or ft <sup>2</sup> /s	Caudal unitario aguas arriba
q2c	R	≥0	m <sup>2</sup> /s or ft <sup>2</sup> /s	Caudal unitario de la sección contraída del puente
n Manning	R	≥0.01	-	n de Manning
TauC	R	≥0	Pa or ln/ft <sup>2</sup>	Esfuerzo cortante crítico
GammaW	R	≥0	N/m <sup>3</sup> or lb/ft <sup>3</sup>	Peso específico del agua
BridgeXSEC_X1, BridgeXSEC_Y1, BridgeXSEC_X2, BridgeXSEC_Y2	R	-	m or ft	Coordenadas de la sección del puente

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.35 – viene de la página anterior

<b>VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>	<b>RANGO</b>	<b>UNIDS.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
UpstreamXSEC_X1, UpstreamXSEC_Y1, UpstreamXSEC_X2, UpstreamXSEC_Y2	R	-	m or ft	Coordenadas de la sección aguas arriba del puente.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Texto.*

### 9.3.17.2 Comentarios del archivo .SCOUR

1. El nombre del archivo es arbitrario pero no debe tener espacios en blanco.

### 9.3.18 Archivo de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES

El usuario debe emplear este archivo para introducir datos para simular entradas o salidas de flujo en cualquier localización. Esta característica se utiliza habitualmente cuando se modelan tomas (salidas de flujo) o entradas puntuales. El usuario puede proporcionar hidrogramas variables en el tiempo que será aplicados a cada punto.

Línea 1: Número de puntos fuente o sumidero.

#### NSOURCES

NSOURCES grupo de líneas que contienen el texto identificativo de la fuente/sumidero, nombre del archivo que contiene la serie temporal de caudal y las coordenadas del punto, como se muestra a continuación:

```
SOURCEID
ISFILENAME
X_S(I) Y_S(I)
...
```

#### 9.3.18.1 Ejemplo de archivo .SOURCES

```
2
DrainA
2
Drain.TXT
799019.633 309402.572
DischargeIn
1
Discharge.TXT
799222.740 309048.493
```

Este archivo tiene 2 fuentes/sumideros. El primero se llama IntakeA localizado en las coordenadas: X = 799019.633 y Y = 309402.572 y los datos de caudal están en el archivo: Intake .txt.

**Cuadro 9.36** – Descripción de las variables para el archivo .SOURCES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
NSOURCES	I	> 0	-	Número de puntos fuente o sumidero.
ISFILENAME	S	-	-	Nombre del archivo que contiene la serie temporal de cada punto fuente o sumidero. No puede contener espacios en blanco. Ver comentarios 1 y 2.
SOURCEID	S	< 26	-	Nombre del punto fuente o sumidero. Debe tener menos de 26 caracteres y no puede contener espacios en blanco.
X_S_Y_S	R	-	m o ft	Coordenadas de la fuente/sumidero.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.18.2 Comentarios del archivo .SOURCES

1. El nombre del archivo es arbitrario pero no puede contener espacios en blanco. El formato de archivo es el mismo que el de los archivos de *condición de contorno de una variable* descritos en la sección 9.6.1.
2. Para las entradas se usan valores positivos de caudal y para valores negativos.

### 9.3.19 Archivos de datos de vertederos: .WEIRS

Este archivo de datos permite utilizar cálculos de vertederos a lo largo de polilíneas definidas por el usuario, que podrían representar el fenómeno de *overtopping* por ejemplo en una carretera o en un aliviadero. El usuario selecciona el coeficiente de vertedero asociado con cada vertedero y el modelo determinará los nodos en cada polilíneas y la descarga a través de cada pareja de nodos basándose en las fórmulas de vertedero y los métodos descritos en *Hydraulics of Bridge Waterways* (FHWA, 1978), (ver comentario 1). La versión actual permite definir una elevación de cresta variable a lo largo de la polilínea del vertedero.

Línea 1: Número de polilíneas de vertedero.

#### **NWEIRS**

NWEIRS grupo de líneas incluyendo el ID del vertedero, número de vértices que definen cada polilínea de vertedero y el coeficiente de vertedero seguido de las coordenadas de cada vértices, como se muestra a continuación:

```
WEIR_ID  
NV CF WRCRESTELEV  
X_W(1) Y_W(1) WRCREST(1)  
X_W(2) Y_W(2) WRCREST(2)  
...  
X_W(NV) Y_W(NV) WRCREST(NV)
```

#### 9.3.19.1 Ejemplo de archivo .WEIRS

```
2  
WEIR_A  
4 3.0 -999  
799429.362 308905.287 200.  
799833.895 308354.857 201.  
799986.424 307738.111 202.  
799847.158 307141.259 203.  
WEIR_B  
4 3.04 -999  
799482.440 309453.678 203.5  
799135.525 309118.164 204.0  
798914.020 309269.634 204.9  
798787.701 309467.583 205.0
```

Este archivo tiene 2 vertederos. El primero se llama WEIR\_A y está definido por una polilínea con 4 vértices. El coeficiente de descarga del vertedero es igual a 3.0.

**Cuadro 9.37** – Descripciones de las variables para el archivo .WEIRS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CF	R	> 0	-	Coefficiente de vertedero. Ver comentario 1.
NWEIRS	I	> 0	-	Número de polilíneas del vertedero.
NV	I	≥ 2	-	Número de puntos que definen cada polilínea del vertedero.
WEIR_ID	S	< 26	-	Nombre del vertedero. Debe tener menos de 26 caracteres y no puede contener espacios en blanco.
WRCRESTELEV	R	-	m of ft	Elevación de la cresta del vertedero. Si WRCRESTELEV = -999 se proporciona una elevación de vertedero para cada vértice de la polilínea.
WRCREST(I)	R	-	m of ft	Elevación de la cresta de vertedero para el vértice I.
X_W(I) Y_W(I)	R	-	m of ft	Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea de vertedero. Ver comentario 2.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.19.2 Comentarios para los archivos .WEIRS

1. El caudal del vertedero se calcula entre parejas de nodos a lo largo de la polilínea basándose en la siguiente fórmula:

$$Q = C_f L H^{3/2} \quad (9.5)$$

donde  $L$  es la distancia entre nodos,  $H$  es la altura total aguas arriba del segmento de la polilínea y  $C_f$  es el coeficiente de descarga. El modelo comprueba si existe submersión y, si ocurre,  $C_f$  será corregido de acuerdo al factor de corrección definido en FHWA (2001).

2. Las polilíneas de los vertederos deben ser definidas evitando cambios de dirección abruptos (e.g. giros de  $\geq 90$ ), ya que dichos ángulos pueden crear errors en el algoritmo que identifica los nodos que recaen sobre la polilínea.

### 9.3.20 Archivo de datos de viento: .WIND

El usuario deberá emplear este archivo para introducir los datos de velocidad del viento espacialmente distribuida y variable en el tiempo. El modelo supone que la velocidad del viento puede variar sobre el área del dominio. El usuario debe proporcionar un conjunto de polígonos y una serie temporal de velocidades para cada polígono..

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde se define las series temporales para la velocidad del viento.

#### NWZONES

Línea 2: Coeficiente de esfuerzo del viento.

#### CD

Línea 3: Densidad del aire.

#### AIRDENSITY

NWZONES grupo de líneas con las velocidades del viento.

**WINDFILE**

Número de vértices del polígono i.

**NPZONE[i]**

Lista de coordenadas de los vértices de NPZONE[i].

**X(1) Y(1)**

...

**X(NPZONE[i]) Y(NPZONE[i])**

### 9.3.20.1 Ejemplo de archivo .WIND

```
2
0.009
1.225
Wind1.TXT
4
25.0 25.0
25.0 75.0
75.0 75.0
75.0 25.0
Wind2.TXT
4
25.0 125.0
25.0 175.0
75.0 175.0
75.0 125.0
```

En este ejemplo, hay dos polígonos. El coeficiente  $C_d$  es 0.009 y la densidad del aire es  $1.225 \text{ kg/m}^3$ . El archivo de velocidad del viento para el primer polígono es `wind1.txt` y el polígono está definido por 4 vértices.

**Cuadro 9.38** – Descripción de las variables para el archivo .WIND.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
AIRDENSITY	R	$\geq 0$	-	Densidad del aire. Siempre especificada en unidades métricas. Por defecto = 1.225.
CD	R	$\geq 0$	-	Coefficiente de esfuerzo del viento. Siempre especificado en unidades métricas. Por defecto = 0.009.
NPZONE[i]	I	$\geq 1$	-	Número de vértices que definen la zona i.
NWZONES	I	-	-	Número de zonas.
WINDFILE	S	$\leq 26$	-	Archivo de serie temporal del vector velocidad del viento. Ver comentario 1.
X(l) Y(l)	R	$> 0$	m o ft	Coordenadas de los vértices del polígono que define la zona i.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.3.20.2 Comentarios para el archivo .WIND

1. La distribución espacial del viento viene dada como un número de polígonos no solapados que pueden cubrir o no el área de la malla. Para las zonas no cubiertas por ningún polígono, se considerará que no están sometidas al esfuerzo del viento.
2. Si el usuario dispone de un archivo DefaultWind.dat en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en ese archivo al área complementaria a los polígonos proporcionados.

### 9.3.20.3 Archivo de datos de velocidad del viento

Línea 1: Número de puntos en la serie temporal de datos de velocidad del viento.

#### **NPOINTS**

NPOINTS líneas que contienen:

Tiempo y velocidad del viento en las direcciones X e Y.

#### **TIEMPO UX UY**

### 9.3.20.4 Ejemplo de archivo de datos de velocidad del viento

```
3
0. 0.0 0.0
24 4.0 -3.0
48 4.0 -3.0
```

**Cuadro 9.39** – Descripciones de las variables para el archivo de velocidad del viento

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NPOINTS	I	> 1	-	Número de puntos de datos en la serie temporal de velocidad del viento.
TIEMPO	R	> 0	h	Tiempo.
UX(I) UY(I)	R	-	m/s o ft/s	Componentes de la velocidad del viento en las direcciones X e Y.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

## 9.4 Datos de control de salida

### 9.4.1 Archivo de datos de puntos de observación: .OBS

Este archivo contiene los datos que permiten al modelo reportar series de datos de resultados en localizaciones especificadas por el usuario mediante coordenadas. El usuario deberá indicar el número de puntos de observación y la lista de coordenadas de los puntos.

Line 1: Número de puntos de observación.

**NOBSPPOINTS**

NOBSPPOINTS grupos de líneas que contienen el ID del punto de observación y las coordenadas de cada punto:

**ObsID**

**X\_OP(I) Y\_OP(I)**

...

### 9.4.1.1 Ejemplo de archivo .OBS

```
3
PointA
798798.380 309627.950
PointB
799146.926 309430.876
PointC
799721.8608 309041.615
```

Este archivo .OBS tiene 3 puntos. El primer punto se llama PointA y tiene coordenadas: X=798798.380 Y=309627.950.

**Cuadro 9.40** – Descripciones de las variables para el archivo .OBS

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ObsID	S	< 26	-	Nombre del punto de observación. Debe tener menos de 26 caracteres y no puede contener espacios en blanco.
NOBSPPOINTS	I	> 0	-	Número de puntos de observación.
X_OP Y_OP	R	-	m o ft	Coordenadas del punto.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

### 9.4.2 Archivo de datos de control de la salida gráfica: .PLT

Este archivo proporciona parámetros para controlar las opciones de salida gráfica para las representaciones generadas mientras el modelo está simulando..

Línea 1: Variables de control de representación gráfica.

**IGRAPHCODE COLORSCHEME IAXES IDXFI IGRAPHFILES IVSF**

Línea 2: Multiplicador de escala del vector velocidad.

**SF\_MULT**

Línea 3: Coordenadas para la ventana de representación gráfica.

**XMING XMAXG YMING YMAXG**

Línea 4: Límites de la variable representada.

**MINVARG MAXVARG**



Línea 5: Velocidad máxima a representar.

**MAXVELOC**

Línea 6: Foto aérea

**USEBACKIMAGE**

Línea 7: Transparencia.

**TRANSP**

Línea 8: Imagen aérea de fondo.

**IMAGEFILE**

Línea 9: World file.

**IMAGEWF**

### 9.4.2.1 Ejemplo de archivo .PLT

```
100 5 1 0 1 0
5
0 0 0 0
0 0
7
1
0.6
C:\Projects\Example\Aerial.gif
C:\Projects\Example\Aerial.gwf
```

**Cuadro 9.41** – Descripción de las variables para el archivo .PLT

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
COLORScheme	I	1-6	-	Variable para seleccionar la opción de representación. Ver comentario 1.
IAXES	I	0,1	-	Interruptor para controlar si trazar los ejes o no. 1. No representar los ejes X e Y. 2. Representar los ejes X e Y.
IDXF	I	0,1	-	Interruptor para controlar la salida del campo de velocidades en formato DXF CAD. 1. No generar la salida de malla DXF ni campo de velocidades. 2. Generar los archivos de malla y velocidades DXF para cada tiempo de salida.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.41 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
IGRAPHCODE	I	100,	-	Parámetro para indicar el tipo de gráfico a mostrar mientras el programa está simulando.  100: Representar el campo de velocidades usando vectores en negro.  101: Representar el campo de velocidades usando vectores en negro sobre las profundidades.  102: Representar el campo de velocidades sobre la elevación del fondo.  103: Representar niveles de agua.  110: Representar el campo de velocidades vectores en color.  201: Representar las profundidades.  202: Representar elevaciones del fondo.  203: Representar el campo de velocidades sobre niveles de agua.  204: Representar los cambios en la elevación del fondo.  600-610: Representar concentraciones de sedimentos en suspensión o contaminantes. concentrations.
		101,		
		102,		
		103,		
		110,		
		201,		
		202,		
		203,		
		204,		
		600-		
610				
IGRAPHFILES	I	0,1	-	Variable para controlar si se generan archivos de salida gráfica.  1. No generar archivos de salida gráfica.  2. Generar archivos de salida gráfica.
IMAGEFILE	S	-	-	Nombre del archivo de imagen aérea incluyendo la ruta y la extensión. Entre los formatos soportados se incluyen: .BMP, .GIF, .PNG y .TIFF. Otros formatos de archivos gráficos serán incluidos en futuras versiones.
IMAGEWF	S	-	-	Nombre de la foto aérea incluyendo la ruta y la extensión. El formato del archivo World file debe seguir las especificaciones ESRI. Ver comentario 2.

Continúa en la próxima página

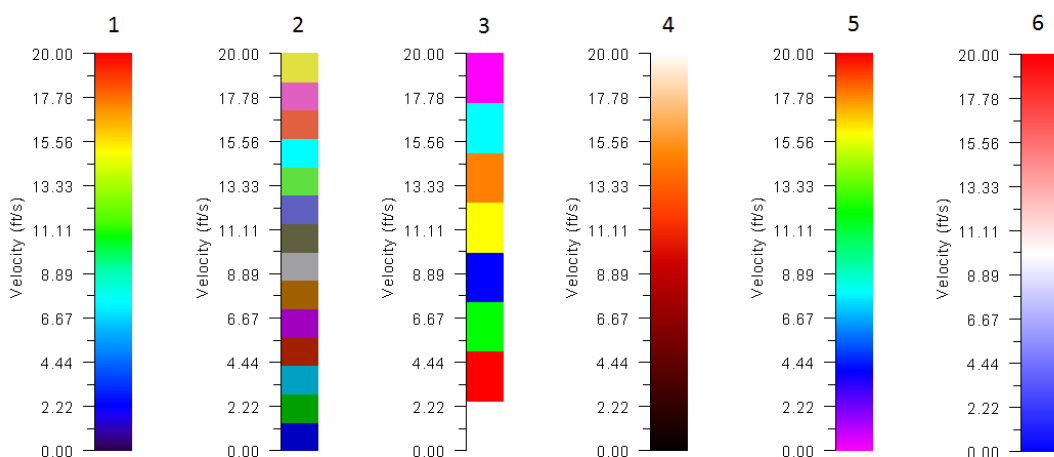
Cuadro 9.41 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
IVSF	I	0,1	-	<p>Interruptor para controlar la salida del campo de velocidades en un archivo que permite la creación de <i>shapefiles</i>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. No generar los archivos SF del campo de velocidades.</li> <li>2. Generar los archivos SF del campo de velocidades para cada tiempo de reporte. Ver comentario 3.</li> </ol>
MAXVELOC	R	-	m/s ó ft/s	<p>Usar esta variable para controlar la velocidad máxima mostrada en los gráficos de vectores.</p> <p>If MAXVELOC = 0, se representará el rango completo de velocidades.</p> <p>If MAXVELOC &gt; 0, este parámetro definirá la velocidad máxima a representar.</p>
MINVARG, MAXVARG	R	-	-	<p>Estos parámetros definen los valores mínimos y máximos a representar de las variables seleccionadas. Si son iguales a 0, se representará el rango máximo.</p>
SF_MULT	R	> 1	-	<p>Variable para controlar la escala del vector velocidad. Usar esta variable para ajustar los vectores velocidad. Las velocidades serán escaladas de acuerdo a SF_MULT.</p>
TRANSP	R	[0,1]	-	<p>Variable para controlar la transparencia del gráfico cuando se usa una imagen de fondo. TRANSP debe estar en el rango de 0.0 a 1.0, donde 0.0 representa un color totalmente transparente y 1.0 representa un color completamente opaco.</p>
USEBACKIMAGE I	I	[0,1]	-	<p>Variable para controlar si se usa una imagen de fondo para representaciones dinámicas durante la simulación. Si es igual a 1, el gráfico incluirá como fondo la imagen proporcionada en IMAGEFILE y IMAGEWF.</p>
XMING, XMAXG, YMING, YMAXG	R	-	m ó ft	<p>estas variables indican las coordenadas de un rectángulo que define la ventana de representación gráfica. Si todos los valores son 0, se mostrará la extensión completa del área modelada.</p>

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

#### 9.4.2.2 Comentarios para el archivo .PLT

1. COLORSCHEME define la paleta de colores que se usará para todos los gráficos. Las paletas disponibles se muestran en la siguiente figura:
2. El significado genérico de los parámetros del World File es:



**Figura 9.3 – Paletas de color.**

Línea 1: A: Tamaño del pixel en la dirección X en unidades de mapa/pixel in the x-direction in map units/pixel.

Línea 2: D: Rotación sobre el eje Y (ignorada en esta versión).

Línea 3: B: Rotación sobre el eje X (ignorada en esta versión).

Línea 4: E: Tamaño del pixel en la dirección Y en unidades de mapa, casi siempre negativo.

Línea 5: C: Coordenada X del centro del pixel superior izquierdo.

Línea 6: F: Coordenada Y del centro del pixel superior izquierdo.

Ejemplo:

```
2.05
0.00
0.00
-2.05
795944.99
310049.73
```

En este ejemplo, el tamaño del pixel en la dirección X es 2.05, la rotación en los ejes X e Y es 0.00, el tamaño del pixel en la dirección Y es 2.05 (mostrado en negativo), la coordenada X del centro del pixel superior izquierdo es 795944.99 y la coordenada Y del centro del pixel superior izquierdo es 310049.73.

La siguiente tabla indica los formatos de imagen soportados y sus correspondientes extensiones de *world file*.

**Cuadro 9.42 – Formatos de imagen soportados y sus correspondientes extensiones de *world file*.**

IMAGE FILE FORMATO	WORLD FILE EXTENSIÓN
.BMP	.BMPW, .BPW
.GIF	.GFW, .GIFW, .WLD
.PNG	.PGW, .PNGW, .WLD
.TIF, .TIFF	.TFW, .WLD

### 9.4.3 Datos para la salida de resultados de perfiles: .PROFILES

El usuario deberá usar este archivo para proporcionar perfiles (polilíneas) a lo largo de los cuáles se generarán resultados.

Línea 1: Número de perfiles.

#### **NPROFILES**

NPROFILES grupo de perfiles incluyendo: ID del perfil, número de vértices en el perfil I, el número de intervalos para dividir cada perfil y las coordenadas para cada vértice en la polilínea.

#### **PROFILEID**

**NVERTICES\_PR(I) ND\_PR**

**X\_PRF(I), Y\_PRF(I)**

...

#### 9.4.3.1 Ejemplo de archivo .PROFILES

```
2
ProfileA
2 10
800500.45 }306895.63
799095.07 307457.34
ProfileB
3 10
800503.45 306896.63
799500.00 306900.00
799095.07 307457.34
```

Este archivo indica que hay 2 perfiles. El ID del primer perfil es ProfileA, el cuál está definido con una polilínea de 2 vértices y será dividido en 10 segmentos.

**Cuadro 9.43** – Descripciones de las variables para el archivo .PROFILES

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
ND_PR	I	> 2	-	Intervalos para dividir cada sub-segmento del perfil entre vértices. Los resultados se reportarán en cada intervalo.
NPROFILES	I	> 0	-	Número de perfiles.
NVERTICES_PR(I)	I	> 1	-	Número de vértices en cada perfil.
PROFILEID	S	< 26	-	Nombre del perfil. Debe tener menos de 26 caracteres y no puede contener espacios en blanco.
X_PRF(I,J), Y_PRF(I,J)	R	-	m o ft	Coordenadas de cada vértice J en el perfil I.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

## 9.4.4 Datos de secciones transversales para los archivos de salida de resultados: .XSECS

Las secciones transversales se utilizan para generar resultados numéricos en las líneas definidas por el usuario en la malla.

Línea 1: Número de secciones transversales.

### NCROSS\_SECTIONS

NCROSS\_SECTIONS grupos de líneas que contienen el ID de la sección transversal, el número de vértices que definen la sección transversal (siempre igual a 2), el número de intervalos para dividir la sección transversal y la lista de coordenadas de los puntos inicial y final de la sección transversal:

### XSECID

#### NPXSEC ND\_CS

#### X1\_CS(I) Y1\_CS(I)

#### X2\_CS(I) Y2\_CS(I)

### 9.4.4.1 Ejemplo de archivo .XSECS

```
3
CrossSectionA
2 40
800500.45 306895.63
799095.07 307457.34
CrossSectionB
2 40
800492.17 307163.36
799171.99 307594.56
CrossSectionC
2 40
800449.99 307404.31
799223.97 307690.20
```

Este archivo .XSECS indica que hay 3 secciones transversales. La primera de ellas tiene un ID = CrossSectionA y será dividida en 40 segmentos.

**Cuadro 9.44** – Descripciones de las variables para el archivo .XSECS

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
NCROSS_SECTIONS	I	> 0	-	Número de secciones transversales.
ND_CS	I	> 2	-	La sección transversal será dividida en ND_CS segments. Los resultados serán reportados en cada segmento. Ver comentario 1.

Continúa en la próxima página

Cuadro 9.44 – viene de la página anterior

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
NPXSEC	I	2	-	Número de puntos que definen la sección transversal. En la versión actual, solamente se pueden especificar los dos puntos extremos para definir una sección, por lo que este valor debería ser 2 siempre.
X1_CS, Y1_CS, X2_CS, Y2_CS	R	-	m o ft	Coordenadas de los puntos inicial y final de cada sección transversal.
XSECID	S	< 26	-	Nombre de la sección transversal. Debe tener menos de 26 caracteres y no puede contener espacios en blanco.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real. S = Variable de texto.*

#### 9.4.4.2 Comentarios para el archivo .XSECS

1. El modelo cortará la malla usando la línea de la sección transversal y extrayendo los resultados en los puntos de división. Si ND\_CS es demasiado pequeño, el programa podría no capturar nada entre las divisiones y, por lo tanto, los caudales calculados en la sección transversal podrían ser erróneos.

## 9.5 Datos de elevación

### 9.5.1 Datos X Y Z con cabecera

Estos archivos contienen datos en un formato adecuado para su importación en HydroBID Flood, como por ejemplo la capa de datos *BedElevations*. Normalmente, tienen la extensión *.EXP*, pero pueden tener cualquier otra extensión de archivo siempre que el formato sea el descrito aquí. Cada punto es identificado por sus coordenadas X e Y y el valor de la elevación para esa coordenada.

Línea 1: Número de puntos y número de parámetros (cabecera)

**NP NPAR**

NP líneas con X, Y y datos de parámetros.

**X(POINT) Y(POINT) P1(POINT) P2(POINT) ... PN(POINT)**

#### 9.5.1.1 Ejemplo de archivo .EXP

```
11086 1
798439.73 306063.87 160.00
798477.04 309506.95 201.10
798489.45 309522.30 200.93
798498.09 306222.29 162.00
798504.45 305915.63 160.00
798511.71 306075.55 161.00
798516.09 309412.73 201.74
798517.37 309592.42 163.14
```

...

En este archivo de ejemplo .EXP, hay 11086 puntos de datos de elevación y un parámetro por punto (la elevación para cada punto).

**Cuadro 9.45** – Descripción de las variables para el archivo .EXP.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NP	I	> 0	-	Número de puntos de datos en el archivo.
NPAR	I	> 0	-	Número de parámetros para cada punto. En el caso del archivo de datos de elevación, este valor será igual a 1.
X	I	-	m o ft	Coordenada X de cada punto de elevación. Ver comentario 1..
Y	R	-	m o ft	Coordenada Y de cada punto de elevación. Ver comentario 1..
P	R	-	m o ft	Valor del parámetro. Ver comentarios 2.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

### 9.5.1.2 Comentarios para el archivo .EXP

1. Las coordenadas X e Y pueden ser especificadas en metros o en pies, dependiendo de las unidades que se estén usando en el proyecto. El sistema de coordenadas siempre debe corresponderse con la proyección en el plano. HydroBID Flood no soporta coordenadas geográficas en formato Latitud/Longitud. Si los datos disponibles están en formato Lat./Long., será necesario convertirlos a coordenadas UTM o cartesianas en plano antes de importar las coordenadas en HydroBID Flood.
2. Los valores de elevación deben ser dados en las mismas unidades que las correspondientes coordenadas.

### 9.5.2 Datos generales X Y Z

Los datos generales XYZ pueden ser importados usando PANEL, archivos ASCII delimitados por espacios o comas o archivos ASCII Grid usando el comando *PIE/Import.../Import Data* command.

## 9.6 Datos de condiciones de contorno

### 9.6.1 Archivos de condición de contorno de una variable

Este formato se aplica a los siguientes archivos de datos:

- Tiempo vs. WSE (BCTYPE = 1)
- Tiempo vs. Caudal (BCTYPE = 6)
- Tiempo vs. Componente U de la velocidad en dirección X (BCTYPE = 2)
- Tiempo vs. Componente V de la velocidad en dirección Y (BCTYPE = 3)



Nota: el parámetro *BCTYPE* se describe en la Tabla 7.

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos.

**NDATA**

NDATA líneas que contienen

**TIME(I) VARIABLE(I)**

donde VARIABLE(I) es WSE, Q, U ó V, dependiendo de la condición de contorno **BCTYPE**.

### 9.6.1.1 Ejemplo de archivo de condiciones de contorno para una serie temporal de una variable

El siguiente ejemplo muestra un hidrograma de entrada donde NDATA es 7 y hay 7 líneas con parejas de tiempo y caudal:

```
7
0. 20.
1. 30.
1.3 50.
2. 90.
4. 120.
5. 200.
7. 250.
```

**Cuadro 9.46** – Descripción de las variables de los archivos de condiciones de contorno.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de puntos en la serie de datos.
TIEMPO	R	> 0	h	Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
VARIABLE	R	-	-	Representa WSE, Caudal, Componentes de la velocidad U o V, dependiendo de la condición de contorno.

Nota: *I* = Variable entera. *R* = Variable real.

### 9.6.2 Archivos de condiciones de contorno de dos variables

Este formato se aplica a los siguientes archivos de datos:

- Tiempo vs. Componentes U y V de la velocidad (*BCTYPE* = 4)
- Tiempo vs. Caudal y WSE (*BCTYPE* = 5)
- Tiempo vs. Componente U de la velocidad y WSE (*BCTYPE* = 7)
- Tiempo vs. Componente V de la velocidad y WSE (*BCTYPE* = 8)

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos.

**NDATA**

NDATA líneas que contienen el tiempo y dos valores.

**TIME(I) VARIABLE1(I) VARIABLE2(I)**

donde VARIABLE1(I) y VARIABLE2(I) dependen del tipo de condición de contorno, como se muestra a continuación:

BCTYPE	VARIABLE1	VARIABLE2
4	U	V
5	Q	WSE
7	U	WSE
8	V	WSE
26	Q	Qs

### 9.6.2.1 Ejemplo de archivo de condiciones de contorno de dos variables

El siguiente ejemplo muestra un archivo para BCTYPE=5 donde se da el caudal y la WSE, NDATA es 10 y hay 10 líneas con parejas de tiempo, caudal y WSE:

```
10
0. 20. 1420.
1. 30. 1421.5
1.3 50. 1423.
...
7. 250. 1420.
8.1 110. 1426.
10. 60. 1423.5
20. 20. 1421.
```

**Cuadro 9.48** – Descripción de las variables de los archivos de condiciones de contorno de dos variables.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDS.	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de puntos en la serie de datos.
TIEMPO	R	> 0	h	Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
VARIABLE1	R	-	-	Representa WSE, Caudal, Componentes de la velocidad U o V, dependiendo de la condición de contorno.
VARIABLE2	R	-	-	Representa WSE, Caudal, Componentes de la velocidad U o V, dependiendo de la condición de contorno.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

### 9.6.3 Archivos de condiciones de contorno de múltiples variables

Este formato se aplica al siguiente archivo de datos:

- Tiempo vs. Q (caudal de agua) y Qs (caudal de sedimento) (BCTYPE = 26)

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos.

**NDATA**

NDATA líneas que contienen el tiempo y dos valores.

**TIME(I) VARIABLE1(I) VARIABLE2(I) ... VARIABLEN(I)**

donde VARIABLE1(I) ... VARIABLEN(I) dependen del tipo de condición de contorno, como se muestra a continuación:

BCTYPE	VARIABLE1	VARIABLE2
26	Q	Qs

#### 9.6.3.1 Ejemplo de archivo de condiciones de contorno de múltiples variables

El siguiente ejemplo muestra un archivo para BCTYPE=26 donde se da el caudal de agua y el caudal de sedimento para dos fracciones, NDATA es 10 y hay 10 líneas con parejas de tiempo, caudal y WSE:

```

10
0. 20. 0.001 0.002
1. 30. 0.002 0.005
1.3 50. 0.003 0.010
...
7. 250. 0.01 0.015
8.1 110. 0.005 0.009
10. 60. 0.004 0.007
20. 20. 0.003 0.005.
```

**Cuadro 9.50** – Descripciones de las variables de los archivos de condiciones de contorno de múltiples variables.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de puntos en la serie de datos.
TIEMPO	R	> 0	h	Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
VARIABLE1	R	-	-	Representa el caudal de agua.
VARIABLE2..N	R	-	-	Representa el caudal de sedimentos para la fracción dada.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

## 9.6.4 Archivos de datos de nivel-caudal

Este formato se aplica a la table de nivel de agua vs. caudal usada para BCTYPE = 9 y 19.

Línea 1: Número de puntos en las series de datos.

### NDATA

NDATA líneas que contienen el nivel y el caudal.

### STAGE(I) Q(I)

donde STAGE(I) es el nivel y Q(I) es el correspondiente caudal.

### 9.6.4.1 Ejemplo de archivo de condición de contorno nivel-caudal

El siguiente ejemplo muestra una tabla de distribución de tipo nivel-caudal donde NDATA es 21 y hay 21 líneas con parejas de altura de agua y su correspondiente caudal:

```

21
-1.00 0.00
-0.75 1.79
-0.50 5.20
-0.25 9.45
0.00 14.23
0.25 19.37
0.50 24.76
0.75 30.36
1.00 36.09
1.25 41.95
1.50 47.89
1.75 53.92
2.00 60.00
2.25 66.14
2.50 72.31
2.75 78.53
3.00 84.78
3.25 91.05
3.50 97.35
3.75 103.67
4.00 110.01

```

**Cuadro 9.51** – Descripción de las variables de los archivos de condiciones de contorno de dos variables.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de líneas en el archivo de datos.
STAGE	R	> 0	m o ft	Nivel de agua.
Q	R	> 0	m <sup>3</sup> /s o ft <sup>3</sup> /s	Caudal de agua.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

## 9.6.5 Archivos de datos profundidad-caudal de la alcantarilla

Este formato se aplica a la tabla profundidad vs. caudal de la alcantarilla.

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos.

### NDATA

NDATA líneas que contienen la profundidad y el caudal.

### DEPTH(I) Q(I)

donde DEPTH(I) es la profundidad correspondiente al caudal Q(I).

### 9.6.5.1 Ejemplo de archivo de profundidad-caudal de la alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de caudal/profundidad (*rating table*) para una alcantarilla. NDATA es 7 y hay 7 líneas con parejas de profundidad y su correspondiente caudal:

```
7
0      0.20
0.1    1.00
1.00   36.09
2.00   60.00
3.00   84.78
4.00  110.01
100.00 110.02
```

**Cuadro 9.52** – Descripción de las variables de los archivos de datos profundidad-caudal de las alcantarillas.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de líneas en el archivo de datos.
DEPTH	R	> 0	m o ft	profundidad de agua.
Q	R	> 0	m <sup>3</sup> /s o ft <sup>3</sup> /s	Caudal de agua.

*Nota: I = Variable entera. R = Variable real.*

## 10 - Archivos de salida

HydroBID Flood genera resultados de salida en una serie de archivos ASCII de texto. Estos archivos son fácilmente accesibles mediante cualquier editor de texto y pueden ser importados en HydroBID Floody otros programas GIS para visualización y análisis. HydroBID Flood también genera archivos de salida ASCII en ambos sistemas de unidades (inglesas y métricas) dependiendo de las unidades provistas en los archivos de datos.

### 10.1 Resumen de los archivos de salida

La siguiente tabla resumen los archivos de salida generados por HydroBID Flood:

**Cuadro 10.1** – Lista de archivos de datos de salida.

RESULTADOS	EXTENSIÓN DEL ARCHIVO	DESCRIPCIÓN
<b>SALIDA GENERAL</b>		
Parámetros de control de la simulación, componentes empleadas, etc.	.OUTI, .OUTE	Muestra los datos de entrada leídos desde los archivos, incluyendo los parámetros de control del modelo, datos de la malla, condiciones de contorno y, para cada intervalo de tiempo a reportar, los caudales de entrada y salida, así como las velocidades. El archivo .OUTI está en unidades métricas y el archivo .OUTE en unidades inglesas.
Información sobre la malla de elementos triangulares	.MESHOUTI, .MESHOUTE	Estos archivos proveen una información completa sobre la malla de elementos triangulares. El archivo .MESHOUTI está en unidades métricas y el archivo .MESHOUTE en unidades inglesas.
Resultados del progreso de la simulación	.ROUT	Este archivo reporta, para cada intervalo de tiempo, el tiempo de simulación, el paso de tiempo promedio, cantidad de agua de entrada y salida, caudales de entrada y salida de agua y sedimento en los contornos abiertos y errores de conservación de masa y volumen.
Resultados generales de salida	.UVHI, .UVHE	Para cada intervalo de escritura, las velocidades, profundidades, niveles de agua y fondo, cambios en las elevaciones del fondo, condición de seco-mojado y número de Froude se escriben en el archivo .UVHI en unidades métricas y en el archivo .UVHE en unidades inglesas.
Resultados de valores máximos	.MAXI, .MAXE	Para cada intervalo de escritura, los valores máximos de los módulos de las velocidades y profundidades se escriben en el archivo .MAXI en unidades métricas y al archivo .MAXE en unidades inglesas.

Continúa en la próxima página

Cuadro 10.1 – viene de la página anterior

RESULTADOS	EXTENSIÓN DEL ARCHIVO	DESCRIPCIÓN
Serie temporal en puntos de observación	.OUTI, .OUTE	Estos archivos reportan series temporales de resultados en puntos de observación. El modelo encuentra la celda correspondiente a las coordenadas provistas y los archivos reportan series temporales de velocidades, profundidades, niveles de agua y elevación del fondo, cambios en la elevación del fondo, condición de seco-mojado, número de Froude y caudal de transporte de sedimento. El formato del nombre del archivo es: RESvsT_NCELDA.OUTI para unidades métricas y RESvsT_NCELDA.OUTE para unidades inglesas.
Comienzo en caliente ( <i>Hot-start</i> )	2binitialized. HOTSTART	Generado en HydroBID Flood para reiniciar una simulación a partir de resultados calculados anteriormente. El archivo contiene el tiempo (en segundos) y el nombre del archivo correspondiente stateN.out desde el cuál el modelo reiniciará la simulación cuando se use esta opción.
<b>SALIDAS DE PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES</b>		
Salida de secciones transversales	.XSECI, .XSECE	Para todos los intervalos de escritura, estos archivos proveen valores de elevación del fondo, profundidad, nivel de agua, velocidad promediada en la vertical, número de Froude y caudal de agua y sedimento. El archivo .XSEC está en unidades métricas y el archivo .XSECE en unidades inglesas.
Hidrogramas de sección transversal	.XSECH, .XSECS	Reporta una tabla de hidrograma para cada sección transversal. El archivo .XSECH es el hidrograma de agua y el archivo .XSECS el hidrograma de flujo de sedimento para cada sección transversal. Ver comentario 1.
Salida de perfiles	.PRFI, .PRFE	Para cada intervalo de salida y para un número de puntos a lo largo de las polilíneas definidas por el usuario, estos archivos proveen valores de la elevación del fondo, profundidades, niveles de agua, velocidades promediadas en la vertical y número de Froude. Estas magnitudes se escriben en el archivo .PRFI en unidades métricas y en el archivo .PRFE en unidades inglesas.
<b>SALIDA DE COMPONENTES</b>		
Alcantarillas	.OUT	Caudal de salida en cada alcantarilla para cada intervalo de escritura. El formato del nombre del archivo es: CULVERT_culvertID.OUT donde culvertID es el nombre proporcionado por el usuario.
Tablas internas de gastos ( <i>Internal Rating Tables</i> )	.OUT	Caudal de salida en todas las IRT para cada intervalo de escritura. El formato del nombre del archivo es: IRT_irtID.OUT, donde irtID es el texto provisto por el usuario para identificar la IRT.
Vertederos	.WEIRI, .WEIRE	Reporta resultados para vertederos. El archivo .WEIRI está en unidades métricas y el archivo and .WEIRE en unidades inglesas.
<b>SALIDA DE APOYO GIS</b>		
<b>SALIDA GRÁFICA</b>		
Malla	.DXF	Cuando la exportación a DXF está activada, el programa exportará la malla en formato DXF al archivo: <ProjectName>_MESH.DXF. Ver comentario 1.

Continúa en la próxima página

Cuadro 10.1 – viene de la página anterior

RESULTADOS	EXTENSIÓN DEL ARCHIVO	DESCRIPCIÓN
Vectores de velocidad	.DXF	Vectores de velocidad en formato DXF de AutoCAD. Ver comentario 1.
Varios	.GIF	Varias salidas en formato raster GIF. Ver comentario 1.
<b>Visualization Toolkit Files</b>		
Resultados generales	.vtk	Cuando se selecciona la casilla <i>Create Graphic Output Files</i> en el panel de salida gráfica ( <i>Graphic Output Panel</i> ), los modelos HydroBID Flood y HydroBID Flood GPU reportará archivos .vtk, con datos de velocidades, profundidades, niveles de agua y de fondo, cambios en la elevación del terreno, condición de seco-mojado, número de Froude y caudal de transporte de sedimento para cada intervalo de tiempo de escritura. Estos archivos pueden ser usados por software de terceros, incluyendo ParaView, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de HydroBID Flood. ParaView ( <a href="http://www.paraview.org">www.paraview.org</a> ) es una aplicación de análisis de datos y visualización de código abierto, multi-plataforma. Los usuarios de ParaView podrán construir visualizaciones rápidamente para analizar sus datos usando técnicas cualitativas y cuantitativas. La exploración de datos puede realizarse interactivamente en 3D o de forma programática usando las funcionalidades de procesado de ParaView.

## 10.2 Archivos generales de salida

Esta sección describe el contenido de cada archivo de salida.

### 10.2.1 Resumen de las opciones de simulación

Estos archivos replican los datos de entrada leídos de los archivos, incluyendo los parámetros de control del modelo, datos de la malla, condiciones de contorno, caudales de entrada y salida y velocidades para cada intervalo de escritura. El archivo .OUTI está en unidades métricas y el archivo .OUTE en unidades inglesas. Una parte de archivos típicos .OUTI/ .OUTE se muestra a continuación:



```
=====
RiverFlow2D Plus - Release CPU 6.11.01
Build NOV 04 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE-VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 14/DEC/2018
=====
GRAPHICAL USER INTERFACE
QGIS was used to process RiverFlow2D input files.
=====
TIME CONTROL OPTIONS
=====
Simulation time : 2.000 hrs.
Report output interval : 0.100 hrs.
Use variable time-steps : ON.
Courant-Friederich-Lewy (CFL) : 1.000
Start simulation : Time = 0.
Manning n multiplier : 1.00
Input units : Metric.
Depth tolerance for dry bed : -1.000 [model controlled].
Wetting-drying method : Plus.
=====
MODULE OPTIONS
=====
Sediment Transport : OFF.
Mud/Debris Flow : OFF.
Pollutant Transport : OFF.
=====
COMPONENT OPTIONS
=====
Bridges : OFF.
Culverts : OFF.
Internal rating tables : OFF.
Gates : OFF.
Dams : OFF.
Piers : OFF.
Rainfall/evaporation : OFF.
Sources/Sinks : OFF.
Weirs : OFF.
Wind : OFF.
=====
MESH DATA
=====
Number of elements/cells : 1965
Number of nodes : 1048
Total mesh area : 0.551E+00 km2.
Average element area : 0.280E+03 m2.
Average element size (approx.) : 23.682 m.
Element with minimum area : 1814
Minimum element size (approx.) : 13.655 m.
Minimum area : 93.224 m2.
Element with maximum area : 122
Maximum element size (approx.) : 34.653 m.
Maximum area : 600.408 m2.
Minimum element angle : 32.080
Element with minimum angle : 1965
Maximum bed elevation : 56.470
=====
```

```

=====
                        OPEN BOUNDARIES
=====
Number of Open Boundaries:  2

Number of nodes on open boundary  1:  21
node  bc  type  bc file name
 75   12   0.03
117   12   0.03
 74   12   0.03
 73   12   0.03
 72   12   0.03
 71   12   0.03
 70   12   0.03
 69   12   0.03
 68   12   0.03
 67   12   0.03
 66   12   0.03
 65   12   0.03
 64   12   0.03
 63   12   0.03
 62   12   0.03
 61   12   0.03
 60   12   0.03
 59   12   0.03
 58   12   0.03
 57   12   0.03
 56   12   0.03

Number of nodes on open boundary  2:  7
node  bc  type  bc file name
  6    6    QIN.DAT
110    6    QIN.DAT
  5    6    QIN.DAT
  4    6    QIN.DAT
  3    6    QIN.DAT
  2    6    QIN.DAT
  1    6    QIN.DAT

Boundary  1 has uniform flow condition.

Cross section for boundary No.  1

Node  Distance  Bed elevation
      m.         m.
 75    0.00    163.47
117   60.55    163.78
 74   121.09    164.00
 73   221.09    164.00
 72   321.09    163.87
 71   421.09    163.74
 70   521.09    163.24
 69   621.09    159.01
 68   721.09    157.06
 67   821.09    155.51
 66   921.09    153.79
 65  1021.09    154.51
 64  1121.09    159.43
 63  1221.09    161.44
 62  1321.09    161.47
 61  1421.09    161.27
 60  1521.09    162.54
 59  1621.09    164.35
 58  1721.09    167.54
 57  1821.09    173.44
 56  1921.09    177.04

```

## 10.2.2 Datos y métrica de la malla

Los datos de la malla se escriben en archivos con extensiones: .MESHOUTI (unidades métricas) and .MESHOUTE (unidades inglesas). Estos archivos proveen información completa sobre la malla de elementos triangulares. La siguiente tabla resume los datos disponibles.

**Cuadro 10.2** – Variables reportadas en los archivos .MESHOUTI y .MESHOUTE.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Número de elementos	Número total de elementos en la malla
Número de nodos	Número total de nodos en la malla
X	Coordenada X del nodo
Y	Coordenada Y del nodo
BEDEL	Elevación del fondo inicial del nodo
INITIAL_WSE	Nivel de agua inicial del nodo
BC ID	Identificador de la condición de contorno
BC File	Nombre del archivo de condiciones de contorno
Node1, Node2, Node3	Numeración de los nodos de cada elemento en orden inverso a las agujas del reloj
<i>n</i> de Manning	Coefficiente de rozamiento <i>n</i> de Manning
Área	Área del elemento/celda
Ángulo	Ángulo mínimo en el elemento/celda
Área total de la malla	Suma de las áreas de todos los elementos/celdas en la malla
Área promedio de elemento	Área total de la malla dividida por el número de elementos/celdas
Tamaño promedio de elemento	Tamaño promedio de los elementos/celdas en la malla
Elemento con área mínima	Elemento/celda más pequeño
Tamaño mínimo de elemento	Tamaño lineal aproximado del elemento/celda más pequeño
Área mínima de elemento	Área del elemento/celda más pequeño
Elemento con área máxima	Elemento/celda más grande
Tamaño máximo de elemento	Tamaño lineal aproximado del elemento/celda más grande
Área máxima de elemento	Área del elemento/celda más grande
Ángulo mínimo de elemento	Valor mínimo del ángulo interno de elemento/celda
Elemento con el ángulo mínimo	Elemento/celda con el ángulo interno mínimo

Este archivo también reporta la lista de celdas agudas que tienen un ángulo interno menor que 22.5 grados. Si hay celdas agudas, el modelo lanzará un mensaje de error y no se realizará la simulación.

A continuación se muestra una parte de un archivo típico:

```

=====
RiverFlow2D Plus - Release CPU 6.11.01
Build NOV 04 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE-VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 06/DEC/2018
=====
MESH DATA
=====
Number of elements/cells : 1803
Number of nodes : 963

Node X Y BEDEL Initial WSE BCType BC File Name
(m) (m) (m) (m)
1 798610.25 309314.51 183.62 0.00 6 QIN.DAT
2 798682.26 309383.90 166.34 0.00 6 QIN.DAT
3 798754.27 309453.28 161.56 0.00 6 QIN.DAT
...
73 798854.66 306009.70 164.00 0.00 12 0.03
74 798761.72 306046.62 164.00 0.00 12 0.03
75 798649.18 306091.32 163.47 0.00 12 0.03
...
962 799630.89 307402.41 168.31 0.00 0 0
963 799885.60 305990.72 161.14 0.00 0 0

ELEMENT/CELL COEACTIVITY AND MANNING'S n
Element Node1 Node2 Node3 Manning's n Area Angle
deg.
1 897 160 400 0.035 2827.00 40.48
2 363 160 897 0.035 3048.55 36.34
3 623 225 273 0.035 2975.26 46.67
4 124 462 619 0.035 2615.70 48.62
...
1801 858 857 370 0.035 2301.06 54.04
1802 718 935 57 0.035 1679.56 45.25
1803 949 76 75 0.035 1586.29 31.70

=====
Total mesh area : 0.532E+01 km2.
Average element area : 0.295E+04 m2.
Average element size (approx.) : 76.828 m.
Element with minimum area : 1466
Minimum area : 1088.114 m2.
Minimum element size (approx.) : 46.650 m.
Element with maximum area : 158
Maximum element size (approx.) : 109.155 m.
Maximum element area : 5957.432 m2.
Minimum element angle : 31.699
Element with minimum angle : 1803
Maximum bed elevation : 0.000
Minimum bed elevation : 0.000

=====
ACUTE ELEMENT REPORT (Elements with an internal angle less than 22.5 degrees.)
(Elements with an internal angle less than 5 degree are m
arked with *(<5.)
=====
The mesh has no acute angle elements.

=====
EXTERNAL BOUNDARY NODES (COUNTERCLOCKWISE)
=====
Number of Nodes on Boundary: 122
Node X Y
m. m.
121 798648.537 309256.390
109 798686.825 309198.266
...
121 798648.537 309256.390

```

## 10.2.3 Resumen de la simulación

El informe con el resumen de la simulación se escribe en un archivo con la extensión: .ROUT. Estos archivos reportan, para cada intervalo de salida, el tiempo de cálculo, el paso de tiempo promedio, el caudal de entrada (positivo) o salida (negativo) para cada contorno abierto ( $m^2/s$  ó  $ft^3/s$ ), el error de conservación de volumen (%), el caudal volumétrico de sedimento ( $m^2/s$  ó  $ft^3/s$ ) y el error de conservación de masa de sedimento (%).

### 10.2.3.1 Ejemplo de archivo .ROUT

```

=====
RiverFlow2D
Build Nov 4 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 06/Dec/2018
=====
MODEL RUN REPORT
=====

```

TIME	CPU Time	Ave. DT (s)	Open Boundary	Q (m3/s)	Vol. Error (%)	Qs (m3/s)	Mass Error (%)
0000:00:06:00	0000:00:00:00	2.222	01	14199.83	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	0.00	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:00:12:00	0000:00:00:00	1.809	01	27385.05	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	0.00	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:00:18:00	0000:00:00:00	1.565	01	40561.07	5.035e-014	0.00	5.035e-014
			02	6297.06	5.035e-014	0.00	5.035e-014
0000:00:24:00	0000:00:00:00	1.422	01	53797.19	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	28126.91	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:00:30:00	0000:00:00:00	1.332	01	66987.93	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	45701.26	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:00:36:00	0000:00:00:00	1.268	01	67000.00	1.653e-014	0.00	1.653e-014
			02	62257.67	1.653e-014	0.00	1.653e-014
0000:00:42:00	0000:00:00:01	1.222	01	67000.00	3.240e-014	0.00	3.240e-014
			02	65813.14	3.240e-014	0.00	3.240e-014
0000:00:48:00	0000:00:00:01	1.190	01	67000.00	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	66716.17	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:00:54:00	0000:00:00:01	1.166	01	67000.00	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	66585.47	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:01:00:00	0000:00:00:01	1.148	01	67000.00	3.219e-014	0.00	3.219e-014
			02	66985.45	3.219e-014	0.00	3.219e-014
0000:01:06:00	0000:00:00:02	1.133	01	67000.00	4.828e-014	0.00	4.828e-014
			02	66998.03	4.828e-014	0.00	4.828e-014
0000:01:12:00	0000:00:00:02	1.122	01	67000.00	6.438e-014	0.00	6.438e-014
			02	66996.58	6.438e-014	0.00	6.438e-014
0000:01:18:00	0000:00:00:02	1.111	01	67000.00	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	67000.48	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:01:24:00	0000:00:00:02	1.103	01	67000.00	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	66999.88	0.000e+000	0.00	0.000e+000
0000:01:30:00	0000:00:00:02	1.096	01	67000.00	3.219e-014	0.00	3.219e-014
			02	66650.54	3.219e-014	0.00	3.219e-014
0000:01:36:00	0000:00:00:03	1.090	01	67000.00	1.609e-014	0.00	1.609e-014
			02	66652.01	1.609e-014	0.00	1.609e-014
0000:01:42:00	0000:00:00:03	1.085	01	67000.00	3.219e-014	0.00	3.219e-014
			02	67001.08	3.219e-014	0.00	3.219e-014
0000:01:48:00	0000:00:00:03	1.080	01	67000.00	1.609e-014	0.00	1.609e-014
			02	66651.90	1.609e-014	0.00	1.609e-014
0000:01:54:00	0000:00:00:03	1.076	01	67000.00	4.828e-014	0.00	4.828e-014
			02	66648.49	4.828e-014	0.00	4.828e-014
0000:02:00:00	0000:00:00:03	1.072	01	67000.00	0.000e+000	0.00	0.000e+000
			02	66651.47	0.000e+000	0.00	0.000e+000

```

=====
MAXIMUM VALUES AT CELLS FILES CREATED. 3.125000E-02
FLOOD HAZARD AT CELLS FILES CREATED 1.562500E-02
PROGRAM EXECUTION AND OUTPUT PROCESS COMPLETED.
=====

```

## 10.2.4 Archivos de salida tabulados

Estos archivos reportan, velocidades, profundidades, niveles de agua y de elevación del fondo, cambios en la elevación del fondo, condición seco-mojado, número de Froude y flujos de transporte de sedimento para cada intervalo de salida. El archivo .UVHI está en unidades métricas y el archivo .UVHE en unidades inglesas.

A continuación, se muestra un archivo de salida típico .UVHE:

```

=====
RiverFLO-2D Plus - Release 4.1
Build Jan 22 2014
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2014 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 27/Jan/2014
=====

```

NODE	Ux (m/s)	Uy (m/s)	VELOCITY (m/s)	WSEL (m)	DEPTH (m)	BEDEL_ORI (m)	BEDEL (m)	DELTA_BED (m)	DRY-WET	FROUDE	QSX (m <sup>2</sup> /s)	QSY (m <sup>2</sup> /s)	QS (m <sup>2</sup> /s)
1	0.000	0.000	0.000	4.302	0.000	4.302	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	4.435	0.000	4.435	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	4.701	0.000	4.701	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	3.941	0.000	3.941	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	4.445	0.000	4.445	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	3.345	0.000	3.345	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	4.530	0.000	4.530	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	3.751	0.000	3.751	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	4.250	0.000	4.250	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	4.338	0.000	4.338	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	3.153	0.000	3.153	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	3.744	0.000	3.744	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.000	4.245	0.000	4.245	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.000	3.146	0.000	3.146	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.000	4.335	0.000	4.335	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.000	3.164	0.000	3.164	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	0.000	3.420	0.000	3.420	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	0.000	2.767	0.000	2.767	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000	3.877	0.000	3.877	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	3.923	0.000	3.923	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.000	0.000	0.000	3.329	0.000	3.329	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.000	2.379	0.000	2.379	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	2.033	0.000	2.033	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.000	0.000	0.000	3.470	0.000	3.470	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.000	0.000	0.000	4.204	0.000	4.204	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
26	0.000	0.000	0.000	2.466	0.000	2.466	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
27	0.000	0.000	0.000	1.020	0.000	1.020	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
28	0.000	0.000	0.000	3.243	0.000	3.243	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.000	0.000	0.000	3.997	0.000	3.997	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	2.664	0.000	2.664	0.000	0.000	DRY	0.000	0.000	0.000	0.000

## 10.2.5 Archivos tabulados de valor máximo

Estos archivos reportan los valores máximos del módulo de la velocidad, profundidad, elevaciones de la superficie del agua y cambios en el fondo a lo largo de la simulación completa. El archivo .MAXI está en unidades métricas y el archivo .MAXE en unidades inglesas. Las variables reportadas están descritas en la siguiente tabla:

**Cuadro 10.3** – Variables reportadas en los archivos de valores máximos.

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES IN- GLESAS	UNIDADES MÉ- TRICAS
1	CELDA	Número de la celda	-	-
4	MAX VEL	Magnitud de la velocidad máxima $\sqrt{U^2 + V^2}$	ft/s	m/s
5	MAX DEPTH	Profundidad máxima	ft	m
6	MAX WSEL	Nivel de agua máximo	ft	m
7	MAX BEDEL	Máxima elevación del fondo*	ft	m
8	MIN BEDEL	Mínima elevación del fondo*	ft	m
9	MIN EROSION DEPTH	Mínima profundidad de erosión*	ft	m
10	MAX DEPOSI- TION DEPTH	Máxima profundidad de deposi- ción*	ft	m

\*Salida cuando se utiliza la componente de transporte de sedimentos.

**Cuadro 10.4** – Variables reportadas en los archivos de valores máximos cuando no se utiliza el modulo de transporte de sedimentos.

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES INGLE-SAS	UNIDADES MÉTRI-CAS
1	CELDA	Número de la celda	-	-
2	VELOCIDAD	Magnitud de la velocidad máxima $\sqrt{U^2 + V^2}$	ft/s	m/s
3	PROFUNDIDAD	Máxima profundidad	ft	m
4	WSEL	Máxima elevación del agua	ft	m
6	PROFUNDIDAD x VELOCIDAD	Máximo producto de la profundidad y la velocidad	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
7	ESFUERZO CORTANTE	Esfuerzo cortante máximo	lb/ft <sup>2</sup>	Pa
8	FUERZA DE IMPACTO	Fuerza de impacto máximo	lb/ft	kg/m

**Cuadro 10.5** – Variables reportadas en los archivos de valores máximos cuando no se utiliza el modulo de transporte de sedimentos.

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES INGLE-SAS	UNIDADES MÉTRI-CAS
1	CELDA	Número de la celda	-	-
2	VELOCIDAD	Magnitud de la velocidad máxima $\sqrt{U^2 + V^2}$	ft/s	m/s
3	PROFUNDIDAD	Máxima profundidad	ft	m
4	WSEL	Máxima elevación del agua	ft	m
6	PROFUNDIDAD x VELOCIDAD	Máximo producto de la profundidad y la velocidad	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
6	BED ELEV.	Máxima elevación del fondo	ft	m
7	MIN BED ELEV.	Mínima elevación del fondo	ft	m
8	EROS. DEPTH	Máxima profundidad de erosión	ft	m
9	DEPOS. DEPTH	Máxima profundidad de deposición	ft	m
10	ESFUERZO CORTANTE	Esfuerzo cortante máximo	lb/ft <sup>2</sup>	Pa
11	FUERZA DE IMPACTO	Fuerza de impacto máximo	lb/ft	kg/m

A continuación, se muestra un archivo de salida típico .MAXE:

```

=====
RiverFlow2D Plus - Release CPU 6.11.01
Build NOV 04 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE-VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 14/DEC/2018
=====

```

ALL COLUMNS INDICATE TO MAXIMUM VALUES AT THE CORRESPONDING CELL IN SI UNITS

CELL	VELOCITY (m/s)	DEPTH (m)	WSEL (m)	DEPTHxVEL (m <sup>2</sup> /s)	SHEAR STRESS (Pa)	IMPACT FORCE (kg/m)
1	3.851	9.021	168.865	34.738	0.856E+02	0.533E+06
2	5.563	4.271	168.024	22.461	0.270E+03	0.208E+06
3	6.428	17.949	179.659	114.008	0.192E+03	0.230E+07
4	6.385	8.082	174.646	51.608	0.244E+03	0.650E+06
5	5.120	5.624	167.624	28.796	0.177E+03	0.303E+06
6	5.526	5.352	167.666	29.572	0.210E+03	0.304E+06
7	5.567	15.771	179.474	87.580	0.149E+03	0.171E+07
8	6.077	13.357	177.966	81.176	0.188E+03	0.137E+07
9	6.780	10.889	177.887	73.443	0.250E+03	0.108E+07
10	4.487	10.128	175.067	45.447	0.112E+03	0.707E+06
11	10.115	13.293	169.890	129.237	0.547E+03	0.212E+07
12	5.344	5.811	174.766	31.052	0.191E+03	0.332E+06
13	5.374	5.765	174.959	30.977	0.194E+03	0.329E+06
14	9.451	13.711	170.477	127.030	0.453E+03	0.210E+07
15	3.272	14.252	168.286	46.510	0.553E+02	0.115E+07
16	7.696	19.229	173.812	147.994	0.275E+03	0.295E+07
17	7.014	4.225	167.569	15.600	0.137E+04	0.145E+06
18	7.090	22.327	178.037	127.759	0.282E+03	0.318E+07
19	5.706	18.560	180.811	105.900	0.148E+03	0.229E+07
20	4.415	28.418	179.450	73.028	0.128E+03	0.415E+07
21	6.554	14.428	179.029	94.027	0.251E+03	0.163E+07
22	8.153	15.484	170.203	126.137	0.323E+03	0.220E+07
23	3.789	5.325	174.986	20.141	0.119E+03	0.215E+06
24	2.564	3.099	168.720	5.561	0.724E+02	0.571E+05

## 10.2.6 Series temporales de resultados en los puntos de observación

Estos archivos reportan series temporales de resultados en los puntos de observación. El programa encuentra la celda correspondiente a la coordenada del punto de observación y escribe las series temporales de resultados de las siguientes variables:

**Cuadro 10.6** – Variables reportadas en los archivos de puntos de observación.

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES INGLE- SAS	UNIDADES MÉTRI- CAS
1	Tiempo	Tiempo en horas	-	-
2	U	Componente de la velocidad en dirección X	ft	m
3	V	Componente de la velocidad en dirección Y	ft	m
4	VELOCITY	Magnitud de la velocidad $\sqrt{U^2 + V^2}$	ft/s	m/s
5	DEPTH	Profundidad	ft	m
6	WSEL	Nivel de agua	ft	m
7	BEDEL_ORI	Elevación de fondo original*	ft	m
8	BEDEL	Elevación de fondo*	ft	m
9	DELTA_BED	Cambio de la cota de fondo*	ft	m
10	Froude	Profundidad de deposición máxima*	ft	m

Continúa en la próxima página



Cuadro 10.6 – viene de la página anterior

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES INGLE-SAS	UNIDADES MÉTRI-CAS
11	QSX	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección X	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
12	QSY	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección Y	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
13	QS	Magnitud del caudal volumétrico de sedimento $Q_s = \sqrt{Q_{sx}^2 + Q_{sy}^2}$	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s

El nombre del archivo para cada celda es:

RESvsT\_NCELDA .OUTI para unidades métricas y

RESvsT\_NCELDA .OUTE para unidades inglesas.

Por ejemplo: RESvsT\_0000010 .OUTI es el nombre del archivo para las series temporales de resultados de la celda 10. A continuación, se muestra un ejemplo de este archivo:

```

=====
RiverFlow2D
Build May 16 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 14/Oct/2018
=====

RESULTS FOR CELL:      6781 OBSERVATION POINT ID: ptObs1
LOCATED AT COORDINATE: ( 799401.88),( 305706.13)

TIME      U          V          VELOCITY  DEPTH    WSEL    BEDEL_ORI  BEDEL    DELTA_BED  FROUDE    QSX          QSY          QS
(hours)   (ft/s)   (ft/s)   (ft/s)   (ft)     (ft)    (ft)       (ft)      (ft)       0.000      (ft2/s)     (ft2/s)     (ft2/s)
0.10000  0.000    0.000    0.000    0.000    154.219  154.219    154.219    0.000    0.000    0.00E+00    0.00E+00    0.00E+00
0.20000  0.000    0.000    0.000    0.000    154.219  154.219    154.219    0.000    0.000    0.00E+00    0.00E+00    0.00E+00
0.30000  0.000    0.000    0.000    0.000    154.219  154.219    154.219    0.000    0.000    0.00E+00    0.00E+00    0.00E+00
0.40000  0.000    0.000    0.000    0.000    154.219  154.219    154.219    0.000    0.000    0.00E+00    0.00E+00    0.00E+00
0.50000  -2.754   -6.195   6.780    4.999    159.218  154.219    154.219    0.000    0.535    0.000      0.000      0.000
0.60000  -3.817   -8.471   9.291    7.505    161.724  154.219    154.219    0.000    0.598    0.000      0.000      0.000
0.70000  -4.055   -9.247   10.097   8.462    162.681  154.219    154.219    0.000    0.612    0.000      0.000      0.000
0.80000  -4.091   -9.706   10.533   9.085    163.304  154.219    154.219    0.000    0.616    0.000      0.000      0.000
0.90000  -4.107   -10.049  10.856   9.589    163.808  154.219    154.219    0.000    0.618    0.000      0.000      0.000
1.00000  -4.103   -10.332  11.117  10.043   164.262  154.219    154.219    0.000    0.618    0.000      0.000      0.000
1.10000  -4.130   -10.516  11.298  10.358   164.577  154.219    154.219    0.000    0.619    0.000      0.000      0.000
1.20000  -4.153   -10.550  11.338  10.422   164.641  154.219    154.219    0.000    0.619    0.000      0.000      0.000
1.30000  -4.164   -10.560  11.352  10.435   164.654  154.219    154.219    0.000    0.620    0.000      0.000      0.000
1.40000  -4.172   -10.564  11.358  10.440   164.659  154.219    154.219    0.000    0.620    0.000      0.000      0.000
1.50000  -4.185   -10.569  11.367  10.443   164.662  154.219    154.219    0.000    0.620    0.000      0.000      0.000
1.60000  -4.199   -10.576  11.379  10.446   164.665  154.219    154.219    0.000    0.621    0.000      0.000      0.000
1.70000  -4.213   -10.582  11.390  10.450   164.669  154.219    154.219    0.000    0.621    0.000      0.000      0.000
1.80000  -4.236   -10.577  11.394  10.451   164.670  154.219    154.219    0.000    0.621    0.000      0.000      0.000
1.90000  -4.253   -10.590  11.412  10.454   164.673  154.219    154.219    0.000    0.622    0.000      0.000      0.000
2.00000  -4.270   -10.606  11.434  10.457   164.676  154.219    154.219    0.000    0.623    0.000      0.000      0.000

```

## 10.2.7 Archivo 2binitialized.HOTSTART para arranque en caliente (Hot Start)

El archivo de arranque en caliente o *hot start* se emplea para reiniciar una simulación a partir de resultados previamente calculados y cuando la opción *hot start* está seleccionada. Por defecto, el archivo contiene el nombre del último

## Archivos de salida

---

tiempo de reporte en segundos y el correspondiente archivo de resultados (*stateN.out*). Estos resultados se tomarán como condición inicial para reiniciar la simulación cuando la opción *hot start* esté activada. Por ejemplo, si el usuario detiene la simulación al cabo de 5 horas (18000 segundos) para revisar los resultados o por cualquier otra razón, el archivo *2binitialized.HOTSTART* contendría el siguiente texto:

```
18000 state5.out
```

Los archivos *stateN.out* se nombran secuencialmente. Por ejemplo, *stateN.out* corresponde al N-ésimo intervalo de reporte.

HydroBID Flood puede ser reiniciado desde cualquier tiempo en el que existan resultados, leyendo las condiciones iniciales desde el archivo *stateN.out*, indicado en el archivo *2binitialized.HOTSTART*. Para reiniciar desde un tiempo diferente que el último calculado, simplemente se debe editar el archivo *2binitialized.HOTSTART* e introducir el tiempo deseado (en segundos) y el correspondiente nombre del archivo *stateN.out* que se empleará como condición inicial. Por ejemplo, para realizar un *hot start* desde la hora 3 (10800 segundos) y suponiendo que el intervalo de reporte es de 0.5 horas, el archivo *2binitialized.HOTSTART* deberá contener lo siguiente:

```
10800 state6.out
```

La opción *hot start* es útil habitualmente para establecer condiciones iniciales comunes para una serie de simulaciones con varios períodos de retorno. Por ejemplo, para generar un estado inicial, el usuario podría lanzar el modelo con un caudal constante de entrada hasta que el modelo converja a un estado estacionario. Suponiendo que el tiempo final de reporte se corresponde con el archivo *state20.out*, el usuario puede editar el archivo *2binitialized.HOTSTART* como se muestra a continuación:

```
0 state20.out
```

Entonces, cuando se lance HydroBID Flood usando la opción *hot start*, el modelo comenzará suponiendo que los datos en el archivo *state20.out* definirán las condiciones iniciales. El usuario puede querer mantener los archivos *2binitialized.HOTSTART* y *state20.out* en un directorio a parte y copiarlos a la carpeta del proyecto para cada escenario deseado.

Téngase en cuenta que los archivos *stateN.out* están ligados a la malla que se emplee, por lo que si el usuario modifica la malla de cualquier forma, se necesitará utilizar el archivo *stateN.out* correspondiente a esa malla.

## 10.3 Archivos de salida de componentes

### 10.3.1 Archivos de salida de alcantarillas

Para cada alcantarilla, HydroBID Flood genera un archivo de salida llamado: *CULVERT\_culvertID.OUT*, donde *culvertID* es el texto provisto por el usuario para identificar la alcantarilla. El archivo de salida incluye el caudal y las elevaciones de la superficie de agua en los extremos de la alcantarilla (*WSEL1*, *WSEL2*) para cada intervalo de reporte, como se muestra a continuación:

```

=====
=====
                        RiverFlow2D
                        Build Jun 29 2018
=====
                TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                (C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
                ALL RIGHTS RESERVED
                RUN DATE: 20/Aug/2018
=====

=====
Results for Culvert no.:                1 Culvert ID: Ret01
=====
Time          Qc          WSEL1          WSEL2
hrs.          m3/s          m.            m.
0.10000      0.000      843.631      843.572
0.20000      14.427      844.737      843.572
0.30000      16.703      844.220      844.091
0.40000      17.093      843.993      844.321
0.50000      17.264      844.496      843.926
0.60000      20.183      844.151      844.228
0.70000      20.222      843.699      844.605
0.80000      20.292      844.911      843.615
0.90000      18.133      843.631      844.699
1.00000      21.038      843.929      844.507

```

### 10.3.2 Archivos de salida de las tablas de gasto interna

Para cada tabla de gasto interna (*Internal Rating Table*), HydroBID Flood genera un archivo de salida llamado: IRT\_irtID.OUT, donde irtID es el texto provisto por el usuario para identificar le IRT. El archivo de salida incluye el caudal para cada intervalo de reporte, como se muestra a continuación:

```

=====
Results for Internal Rating Table no.:    1 ID: IIRT1
=====
Time          WSE          Qc
hrs.          m.            m3/s
0.10000      0.712         4.110
0.20000      1.080         7.888
0.30000      1.290         10.376
0.40000      1.291         10.381
0.50000      1.290         10.375
|

```

### 10.3.3 Archivos de salida de vertederos

Estos archivos reportan resultados para cada vertedero y para cada intervalo de salida. La extensión de los archivos es .WEIRI para unidades métricas y .WEIRE para unidades inglesas. El reporte de salida incluye la siguiente información:

**Cuadro 10.7** – Variables reportadas en los archivos de salida de vertederos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
EDGE	Número de cara
N1	Celda en el lado 1 de la cara
N2	Celda en el lado 2 de la cara
WSE1	Nivel de agua en la celda N1
WSE2	Nivel de agua en la celda N2
D1	Profundidad en la celda N1
D2	Profundidad en la celda N2
Distancia	Longitud de la cara
Q	Caudal en la cara

A continuación, se muestra un archivo de salida típico de vertederos:

```
=====
WEIR RESULTS IN SI UNITS
| TIME: 0000 days,07 hours,30 min.,00 secs.
WEIR NO.: 1 WEIR ID: weir6
EDGE      N1      N2      WSE1      WSE2      D1      D2      Distance      Q
          (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m3/s)
1  208257  24110  527.13  527.14  0.63  3.14  6.00  0.20
2  208259  24105  527.13  527.14  0.63  3.14  6.00  0.24
3  208261  24101  527.13  527.14  0.63  3.14  6.00  0.25
4  208263  24085  527.13  527.14  0.63  3.14  6.00  0.25
5  208265  1800   527.13  527.14  0.63  3.14  6.00  0.25
6  208267  909    527.13  527.14  0.63  3.14  6.00  0.25
7  208269  111    527.13  527.14  0.64  3.14  6.00  0.15
Total discharge over weir Q = 1.597 m3/s
```

## 10.4 Archivos de salida de perfiles y secciones transversales

### 10.4.1 Archivos de salida generales para las secciones transversales

Cuando se usa la opción *Output results* para *cross sections*, el modelo generará archivos con extensiones *.XSECI* y *.XSECE*, que reportarán resultados a lo largo de secciones transversales provistas por el usuario. Para cada intervalo de salida y para cada sección transversal definida por el usuario, los valores de elevación del fondo, profundidad, nivel de agua, velocidad promediada en la vertical, número de Froude y caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura se escribirán en el archivo *.XSECI* en unidades métricas y en el archivo *.XSECE* en unidades inglesas. Un archivo típico *.XSECI* sería:

```

=====
=====
                        RiverFlow2D
                        Build Nov  4 2018
=====
                TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                (C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
                ALL RIGHTS RESERVED
                RUN DATE: 07/Dec/2018
=====

CROSS SECTION RESULTS IN SI UNITS

CROSS SECTION NO.:  1 CROSS SECTION ID: X1

(      243546.87,      94395.30), (      243406.27,      94246.14)
ELEM  STATION    BEDEL    DEPTH    WSEL    VELOCITY    FROUDE    QS
      (m)        (m)        (m)        (m)        (m/s)        (m2/s)
259   33.13     51.61     2.31     53.92     3.73        0.78     0.000000
589   39.34     51.52     2.47     53.99     3.63        0.74     0.000000
1733  57.97     49.68     4.26     53.94     4.09        0.63     0.000000
1676  72.47     48.98     5.09     54.08     3.58        0.51     0.000000
1584  78.68     48.59     5.43     54.02     3.74        0.51     0.000000
1731  89.03     48.84     5.09     53.93     3.94        0.56     0.000000
1848  99.38     49.06     4.88     53.93     3.76        0.54     0.000000
1841 107.67     49.21     4.70     53.91     3.83        0.56     0.000000
1393 120.09     49.45     4.41     53.86     3.57        0.54     0.000000
1654 138.72     49.44     4.45     53.89     3.41        0.52     0.000000
1793 140.79     49.59     4.53     54.13     2.32        0.35     0.000000
184   144.94     51.55     1.87     53.42     4.73        1.11     0.000000
Q = 1905.999 m3/s.

```

Cuando solamente se simula la componente hidrodinámica, los archivos *.XSECI* y *.XSECE* mostrarán el caudal de agua en la sección transversal. Cuando se simula el transporte de sedimentos, además del caudal de agua estos archivos reportarán el caudal total de sedimento en  $\text{ft}^3/\text{s}$  ó  $\text{m}^3/\text{s}$ .

## 10.4.2 Archivos de salida de hidrogramas de secciones transversales

Estos archivos solamente se generarán usando el botón de post-procesado *Plot HydroBID Flood results* en el panel *Graphic Output Options*. Cuando se emplea la opción *Output results for cross sections*, el modelo generará archivos con las extensiones *.XSECH* y *.XSECSED* (si se usa la componentes de transporte de sedimentos), que reportarán una table de hidrograma para cada sección transversal. A continuación, se muestra un archivo *.XSECH* típico:

```
=====
=====
                        RiverFlow2D
                        Build Nov  4 2018
=====
                TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                (C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
                ALL RIGHTS RESERVED
                RUN DATE: 07/Dec/2018
=====
```

Hydrograph for cross sections in m<sup>3</sup>/s, time in hours

Time	Q-X1	Q-x2	Q-x3
0.000000	-0.000	-0.000	-0.000
0.100000	198.264	-0.000	-0.000
0.200000	387.976	180.700	-0.000
0.300000	564.022	407.099	134.082
0.400000	757.734	596.830	435.154
0.500000	950.410	810.896	656.584
0.600000	1142.998	1017.487	901.355
0.700000	1333.144	1224.109	1120.433
0.800000	1523.201	1416.349	1308.080
0.900000	1712.219	1612.098	1501.255
1.000000	1901.146	1804.103	1705.973
1.100000	1905.654	1877.983	1858.916
1.200000	1905.948	1884.967	1888.445
1.300000	1905.992	1885.975	1892.804
1.400000	1905.999	1886.126	1893.624
1.500000	1906.000	1886.320	1892.845
1.600000	1905.999	1886.168	1893.636
1.700000	1905.999	1886.166	1893.388
1.800000	1905.999	1886.166	1893.357
1.900000	1905.999	1886.165	1893.359
2.000000	1905.999	1886.165	1893.363

### 10.4.3 Archivos de salida de perfiles

Cuando se usa la opción *Output results for profiles*, el modelo generará archivos con las extensiones .PRFI y .PRFE, que reportarán resultados a lo largo de las polilíneas provistas por el usuario. Para cada intervalo de salida y para el número de puntos a lo largo de la polilínea, estos archivos contendrán el nivel del fondo, profundidad, nivel del agua, velocidad promediada en la vertical y número de Froude. El archivo .PRFI está en unidades métricas y el archivo .PRFE en unidades inglesas. A continuación, se muestra un ejemplo:

```

=====
=====
RiverFlow2D
Build Nov 4 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 07/Dec/2018
=====

PROFILE RESULTS IN SI UNITS

TIME: 0000 days,00 hours,00 min.,00 secs.

PROFILE NO.: 1 PROFILE ID: Perfill

ELEM  DISTANCE  BEDEL  DEPTH  WSEL  VELOCITY  FROUDE
      (m)      (m)    (m)    (m)    (m/s)
527   17.52    49.16  0.50   49.66  0.00     0.00
1458  35.04    48.91  0.75   49.66  0.00     0.00
1092  52.56    48.85  0.00   48.85  0.00     0.00
1731  70.08    48.84  0.00   48.84  0.00     0.00
1707  87.60    49.15  0.00   49.15  0.00     0.00
1298  105.13   49.01  0.00   49.01  0.00     0.00
517   122.65   49.11  0.00   49.11  0.00     0.00
1568  140.17   49.01  0.00   49.01  0.00     0.00
1402  157.69   48.96  0.00   48.96  0.00     0.00
967   175.21   48.93  0.00   48.93  0.00     0.00
1678  192.73   48.76  0.00   48.76  0.00     0.00
1736  210.25   48.78  0.00   48.78  0.00     0.00
182   227.77   48.82  0.00   48.82  0.00     0.00
162   245.29   48.97  0.00   48.97  0.00     0.00
238   262.81   48.88  0.00   48.88  0.00     0.00
64    278.94   49.13  0.00   49.13  0.00     0.00
25    295.07   49.16  0.00   49.16  0.00     0.00
176   311.20   48.99  0.00   48.99  0.00     0.00

```

## 10.5 Archivos de salida para el post-procesado con QGIS

### 10.5.1 Resultados generales en celdas para QGIS

Estos archivos ASCII permiten la transferencia al sistema de información geográfica QGIS. Estos archivos usan la extensión .TEXTOUT y se nombran como sigue:

Para unidades inglesas: CELL\_TIME\_ENG\_DDDD\_HH\_MM\_SS.TEXTOUT

Para unidades métricas: CELL\_TIME\_METRIC\_DDDD\_HH\_MM\_SS.TEXTOUT

donde DDDD son los días, HH las horas, MM los minutos y SS los segundos. Por ejemplo:

CEL\_TIME\_ENG\_0001\_12\_01\_34.TEXTOUT

corresponde a un archivo en unidades inglesas para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

El formato para estos archivos se describe a continuación. La primera línea contiene el número de celdas o elementos (NELEM) y el número de parámetros de celda, que es de 16. A continuación, siguen NELEM líneas con los resultados para cada celda de la malla de elementos triangulares, como se muestra a continuación:

**Cuadro 10.8** – Variables reportadas en los archivos de salida CELL\_TIME\_\*.TEXTOUT.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
1	Componente X de la velocidad (U)	ft/s	m/s
2	Componente Y de la velocidad (V)	ft/s	m/s
3	Magnitud de la velocidad $ \vec{U}  = \sqrt{U^2 + V^2}$	ft/s	m/s
4	Elevación de la superficie del agua	ft	m
5	Profundidad H	ft	m
6	Elevación inicial del fondo	ft	m
7	Elevación del fondo	ft	m
8	Cambios en la elevación del fondo desde tiempo=0	ft	m
9	Número de Froude	-	-
10	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección X: $Q_{sx}$	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
11	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección Y: $Q_{sy}$	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
12	Magnitud del caudal volumétrico de sedimento: $Q_s \sqrt{Q_{sx}^2 + Q_{sy}^2}$	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
13	Esfuerzo cortante con el fondo*: $\tau = \gamma H S_f = \gamma (U n/k)^2 / H^{1/3}$	lb/ft <sup>2</sup>	Pa
14	Volumen de lluvia acumulada	ft <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
15	Volumen de infiltración acumulada	ft <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
16	Coefficiente n de Manning	-	-

Continúa en la próxima página



Cuadro 10.8 – viene de la página anterior

COLUMNA	VALOR	UNIDADES IN- INGLESAS	UNIDADES MÉ- TRICAS
	*Unidades inglesas: = $62,4lb/ft^3$ , $k = 1,49$ .		
	*Unidades métricas: = $9810N/m^3$ ; $k = 1$ , $n =$ coeficiente de Manning.		

## 10.5.2 Archivos de QGIS de valores máximos en las celdas

Estos archivos ASCII reportan los valores máximos del módulo de la velocidad, la profundidad y el nivel de agua y permiten la transferencia al programa QGIS. Estos archivos usan la extensión .TEXTOUT y se nombran como sigue:

Para unidades inglesas: <ProjectName>\_CELLS\_ENG\_MAX.TEXTOUT

Para unidades métricas: <ProjectName>\_CELL\_METRIC\_MAX.TEXTOUT

El formato para estos archivos se describe a continuación. La primera línea contiene el número de celdas (NELEM) y el número de parámetros de celda, que es 4 por defecto, pero será de 8 si la simulación ha sido hecha con el módulo de transporte de sedimentos. A continuación, siguen NELEM líneas con el módulo de la velocidad, la profundidad y el nivel de agua para cada celda, como se muestra a continuación:

**Cuadro 10.9** – Variables reportadas en los archivos <ProjectName>\_CELLS\_ENG\_MAX.TEXTOUT o <ProjectName>\_CELLS\_METRIC\_MAX.TEXTOUT.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES IN- INGLESAS	UNIDADES MÉ- TRICAS
1	Magnitud de la velocidad máxima $\sqrt{U_x^2 + U_y^2}$	ft/s	m/s
2	Profundidad máxima	ft	m
3	Nivel de agua máximo	ft	m
4	Profundidad máxima $\times$ velocidad	ft <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /s
5	Máxima elevación del fondo*	ft	m
6	Mínima elevación del fondo*	ft	m
7	Máxima profundidad de erosión*	ft	m
8	Máxima profundidad de deposición*	ft	m

\*solamente se escribe cuando se emplea la componente de transporte de sedimentos.

## 10.5.3 Archivo de QGIS *Time-to-Depth* en las celdas

Este archivo reporta el tiempo para el cuál ciertas profundidades son alcanzados durante la simulación y permite la transferencia al software QGIS. En unidades métricas, el archivo incluye el tiempo hasta los 0.30 m de profundidad, el tiempo hasta 1 m de profundidad y el tiempo hasta la profundidad máxima para cada celda. En unidades inglesas, el archivo incluye el tiempo hasta alcanzar 1 ft de profundidad, el tiempo hasta 2 ft y el tiempo hasta la profundidad máxima en cada celda. El tiempo siempre se da en horas. Los archivos "time-to-depth" siempre tienen el siguiente nombre: <ProjectName>\_TIME2DEPTHS\_CELLS.TEXTOUT

El formato de estos archivos se muestra a continuación. La primera línea indica el número de celdas (NELEM) y el

número de parámetros de celda (5 por defecto). Para el archivo en unidades métricas, a continuación hay NELEM líneas con el tiempo hasta los 0.30 m, el tiempo hasta los 0.5 m, el tiempo hasta 1 m, el tiempo hasta la profundidad máxima y el tiempo total inundado para cada celda, tal como se muestra en la Tabla 10.10. Cuando la celda permanece seca o la profundidad está por debajo de 0.30 m, el valor reportado es -1. Para el archivo en unidades inglesas, a continuación hay NELEM líneas con el tiempo hasta 1 ft, el tiempo hasta 2 ft, el tiempo hasta 3 ft, el tiempo hasta la profundidad máxima y el tiempo total inundado para cada celda, tal como se muestra en la Tabla 10.10. Cuando la celda permanece seca o la profundidad está por debajo de 1 ft, el valor reportado es -1.

**Cuadro 10.10** – Variables reportadas en el archivo <ProjectName>\_TIME2DEPTH\_CELLS.TEXTOUT.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES
1	Tiempo hasta 0.30 m (métricas) o 1 ft. (inglesas)*	h
2	Tiempo hasta 0.50 m (métricas) o 2 ft. (inglesas)*	h
3	Tiempo hasta 1 m (métricas) o 3 ft. (inglesas)*	h
4	Tiempo hasta la profundidad máxima	h
5	Tiempo total inundado con profundidades $\geq 0.1$ m	h

\**tiempo = -1 cuando la celda está seca o su profundidad no alcanza los 0.3 m (1 ft).*

## 10.5.4 Valores de intensidad de amenaza en archivos de celdas de QGIS

Estos archivos ASCII reportan los valores de intensidad de amenaza para varias clasificaciones de amenazas empleadas en diferentes países. Esto incluye la *United States Bureau of Reclamation*, *Swiss methods* y los criterios empleados en Austria y UK. El archivo puede ser usado para generar mapas de amenazas en el software QGIS Geographic Information System. Estos archivos usan la extensión .TEXTOUT y son nombrados como sigue:

<ProjectName>\_CELLS\_HAZARD.TEXTOUT

El formato de estos archivos se describe a continuación. La primera línea indica el número de elementos (NELEM) y el número de parámetros de celda (11). A continuación, hay NELEM líneas con las intensidades de amenaza para cada celda:

**Cuadro 10.11** – Variables reportadas en el archivo <ProjectName>\_CELLS\_HAZARD.TEXTOUT.

COLUMNA	VALOR	ZONAS DE AMENAZA
1	USBR Casas	0, 1, 2, y 3
2	USBR Vehículos de pasajeros	0, 1, 2, y 3
3	USBR Casas móviles	0, 1, 2, y 3
4	USBR Adultos	0, 1, 2, y 3
5	USBR Niños	0, 1, 2, y 3
6	Método suizo para inundaciones	0, 1, 2, y 3
7	Método suizo para flujo de lodos/detritos	0, 1, 2, y 3
8	Método austriaco para inundaciones de ríos	0, 1, y 2
9	Método austriaco para torrentes $Tr=100$ años.	0, 1, y 2
10	Método austriaco para torrentes $Tr=10$ años.	0, 1, y 2
11	Método de UK	0, 1, 2, y 3

## 10.6 Archivos de salida gráfica

### 10.6.1 Archivos DXF

Estos archivos contienen el campo de velocidades para cada intervalo de salida usando vectores coloreados en formato DXF de AutoCAD. El nombre del archivo tiene la forma: VelField\_TIME\_DDDD\_HH\_MM\_SS.DXF.

### 10.6.2 Archivos de salida VTK

HydroBID Flood escribirá archivos de salida `.vtk`, que reportarán velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del fondo, cambios en la elevación del fondo, condición seco-mojado, número de Froude y caudal de transporte de sedimento para cada intervalo de salida. Estos archivos pueden ser usados por software de terceros, incluyendo ParaView, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de HydroBID Flood. ParaView ([www.paraview.org](http://www.paraview.org)) es una aplicación de análisis de datos y visualización de código abierto, multi-plataforma. Los usuarios de ParaView podrán construir visualizaciones rápidamente para analizar sus datos usando técnicas cualitativas y cuantitativas. La exploración de datos puede realizarse interactivamente en 3D o de forma programática usando las funcionalidades de procesamiento de ParaView.

# 11 - Herramientas del programa de entrada de datos (DIP)

Esta sección describe varias utilidades que se encuentran disponibles en el Programa de Entrada de Datos de Hydronia.

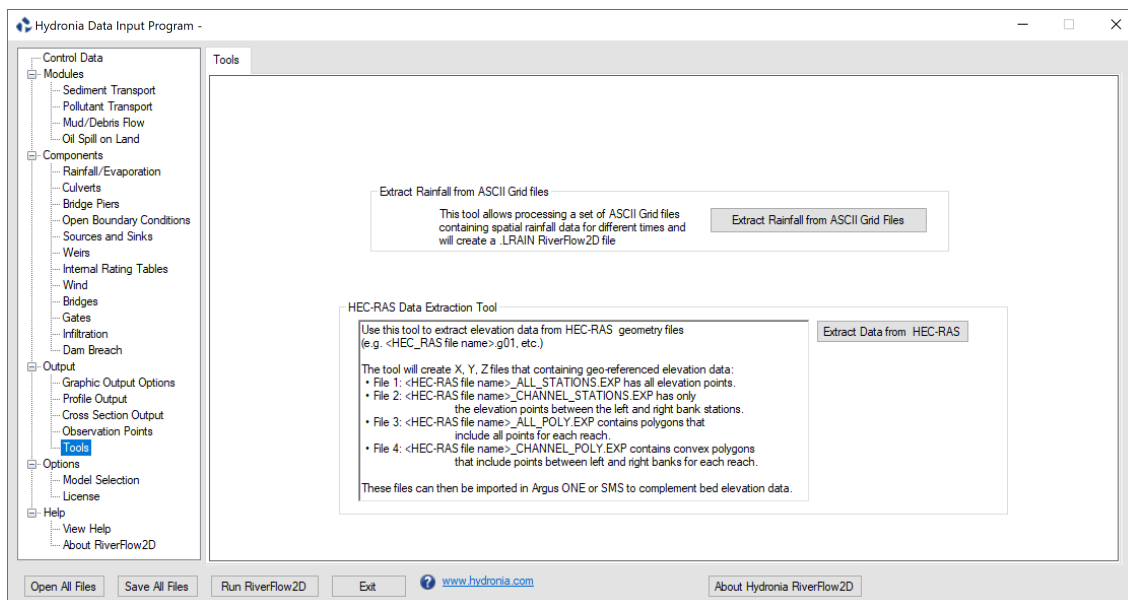
## 11.1 Herramienta de extracción de datos de HEC-RAS

El propósito de esta herramienta es el de facilitar la migración de proyectos existente de HEC-RAS a HydroBID Flood. El programa permite la extracción de datos de puntos de elevación desde las secciones transversales geo-referenciadas de HEC-RAS, un modelo unidimensional desarrollado por el USACE. Estos datos de elevación pueden ser usados posteriormente en los pre-procesadores de HydroBID Flood como base batimétrica y datos topográficos o como información complementaria a la topografía existente. La herramienta lee los archivos de geometría de HEC-RAS con la extensión .g01, .g02, etc., y crea archivos de tipo XYZ que pueden ser importados en HydroBID Flood. La utilidad discrimina las elevaciones en el canal entre el banco izquierdo y derecho en cada sección transversal y exporta los archivos tal como se detalla en la siguiente tabla:

**Cuadro 11.1** – Archivos de HEC-RAS con información de las elevaciones.

NOMBRE DEL ARCHIVO	CONTENIDO
<nombre del archivo HEC-RAS>_ALL_STATIONS.EXP	Contiene todos los puntos de elevación en todas las secciones transversales y todos los tramos en <HEC-RAS file name>.g0 file.
<nombre del archivo HEC-RAS>_ALL_POLY.EXP	Contiene los polígonos que envuelven las zonas donde están los puntos de elevación en cada tramo.
<nombre del archivo HEC-RAS>_CHANNEL_STATIONS.EXP	Contiene solo los puntos de elevación entre la margen izquierda y derechas de todas las secciones transversales y todos los tramos en <HEC-RAS file name>.g0 file.
<nombre del archivo HEC-RAS>_CHANNEL_POLY.EXP	Contiene los polígonos que envuelven las zonas donde están los puntos de elevación del canal principal en cada tramo.

La herramienta de extracción de datos de HEC-RAS es accesible desde el panel Herramientas del Programa de Entrada de Datos de Hydronia.



**Figura 11.1** – Comando HEC-RAS en el panel de herramientas.

## 12 - Referencias

- Abderrezzak, K. & Paquier, A. (2011), 'Applicability of sediment transport capacity formulas to dam-break flows over movable beds', *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* **137**, 209–221.
- Ackers, P. & White, W. (1973), 'Sediment transport, new approach and analysis', *Journal of Hydraulic Div. ASCE* **99**(11), 2041–2060.
- Akan, A. O. (1993), *Urban Stormwater Hydrology: A Guide to Engineering Calculations*, CRC Press.
- Alcrudo, F. & Benkhaldoun, F. (2001), 'Exact solutions to the riemann problem of the shallow water equations with a bottom step', *Comput. and Fluids* **30**, 643–671.
- Armanini, A. & Di Silvio, G. (1988), 'A one-dimensional model for the transport of a sediment mixture in non-equilibrium conditions', *Journal of Hydraulic Research* **26**(3), 275–292.
- Armanini, A., Fraccarollo, L. & Rosatti, G. (2009), 'Two-dimensional simulation of debris flows in erodible channels', *Computers & Geosciences* **35**(5), 993 – 1006.
- Arneson, L.A. Zevenbergen, L. (2012), Evaluating scour at bridges, Report, Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation.
- ASCE (1996), *Hydrology Handbook*, 2nd edn, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Ashida, K. & Michiue, M. (1972), 'Study on hydraulic resistance and bed-load transport rate in alluvial streams', *Transactions Japan Society of Civil Engineering* **206**, 59–69.
- Audusse, E., Bouchut, F., Bristeau, M. O., Klein, R. & Perthame, B. (2004), 'A fast and stable well-balanced scheme with hydrostatic reconstruction for shallow water flows', *SIAM J. Sci. Comput.* **25**, 2050–2065.
- Audusse, E., Bouchut, F., Bristeau, M. O. & Sainte-Marie, J. (2016), 'Kinetic entropy inequality and hydrostatic reconstruction scheme for the saint-venant system', *Math. Comput.* **85**, 2815–2837.
- Bagnold, R. (1973), 'The nature of saltation of bed load transport in water', *Proc. of Royal Society. Ser. A* **332**, 473–504.
- Bai, L. & Jin, S. (2009), 'A conservative coupled flow/transport model with zero mass error', *J. of Hydrodynamics* **21**, 166 – 175.
- Baldock, T., Tomkins, M., Nielsen, P. & Hughes, M. (2004), 'Settling velocity of sediments at high concentrations', *Coastal Engineering* **51**, 91–100.
- Belleudy, P. (2000), 'Restoring flow capacity in the loire river bed', *Hydrological Processes* **14**, 2331–2344.
- Benkhaldoun, F., Sari, S. & Seaid, M. (2012), 'A flux-limiter method for dam-break flows over erodible sediment beds', *Applied Mathematical Modelling* **36**(10), 4847–4861.
- Bermudez, A. & Vázquez-Cendón, M. E. (1994), 'Upwind methods for hyperbolic conservation laws with source terms', *Comput. and Fluids* **23**, 1049–1071.
- Bohorquez, P. & Ancey, C. (2016), 'Particle diffusion in non-equilibrium bedload transport simulations', *Applied Mathematical Modelling* **40**(17), 7474 – 7492.
- Bollermann, A., Chen, G., Kurganov, A. & S. Noelle, A. (2013), 'well-balanced reconstruction of wet/dry fronts for the shallow water equations', *SIAM J. Sci. Comput.* **56**, 267–290.

- Brooks, G. & Lawrence, D. (1999), 'The drainage of the lake ha!ha! reservoir and downstream geomorphic impacts along ha!ha! river, saguenay area, quebec, canada', *Geomorphology* **28**(1), 141 – 167.
- Brufau, P., García-Navarro, P. & Vázquez-Cendón, M. (2004), 'Zero mass error using unsteady wetting-drying conditions in shallow flows over dry irregular topography', *Int. Journal for Numerical Methods in Fluids* **45**, 1047–1082.
- Buist, I. (1987), The transient submergence of oil spills: Tank tests and modelling, Rep. ee-96., Environment Canada.
- Burguete, J. & García-Navarro, P. (2001), 'Efficient construction of high-resolution tvd conservative schemes for equations with source terms: application to shallow water flows', *International Journal for Numerical Methods in fluids* **37**(2), 209–248.
- Burguete, J., García-Navarro, P. & Murillo, J. (2008), 'Friction term discretization and limitation to preserve stability and conservation in the 1d shallow-water model: Application to unsteady irrigation and river flow', *Int. J. Numer. Meth. Fluids* **54**, 403–425.
- Calhoun, N. C. & Clague, J. J. (2018), 'Distinguishing between debris flows and hyperconcentrated flows: an example from the eastern swiss alps', *Earth Surface Processes and Landforms* **43**(6), 1280–1294.
- Camenen, B. & Larson, M. (2005), 'A bedload sediment transport formula for the nearshore', *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **63**, 249–260.
- Cao, Z., Day, R. & Egashira, S. (2002), 'Coupled and decoupled numerical modeling of flow and morphological evolution in alluvial rivers', *Journal of Hydraulic Engineering* **128**(3), 306–321.
- Cao, Z., Hu, P. & Pender, G. (2007), 'Multiple time scales of alluvial rivers carrying suspended sediment and their implications for mathematical modeling', *Advances in Water Resources* **30**(4), 715–729.
- Cao, Z., Hu, P. & Pender, G. (2011), 'Multiple time scales of fluvial processes with bed load sediment and implications for mathematical modeling', *Journal of Hydraulic Engineering* **137**(3), 267–276.
- Cao, Z., Hu, P. & Pender, G. Liu, H.-H. (2016), 'Non-capacity transport of non-uniform bed load sediment in alluvial rivers', *Journal of Mountain Science* **13**(3), 377–396.
- Cao, Z., Li, Z., Pender, G. & Hu, P. (2012), 'Non-capacity or capacity model for fluvial sediment transport', *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management* **165**(4), 193–211.
- Cao, Z., Pender, G., Wallis, S. & Carling, P. (2004), 'Computational dam-break hydraulics over erodible sediment bed', *Journal of Hydraulic Engineering* **130**(7), 689–703.
- Cao, Z., Xia, C., Pender, G. & Liu, Q. (2017a), 'Shallow water hydro-sediment-morphodynamic equations for fluvial processes', *Journal of Hydraulic Engineering* **143**(5), 02517001.
- Cao, Z., Xia, C., Pender, G. & Liu, Q. (2017b), 'Shallow water hydro-sediment-morphodynamic equations for fluvial processes', *Journal of Hydraulic Engineering* **143**(5), 02517001.
- Capart, H., Eldho, T., Huang, S., Young, D. & Zech, Y. (2003), 'Treatment of natural geometry in finite volume river flow computations', *Journal of Hydraulic Engineering* **129**(5), 385–393.
- Capart, H., Spinewine, B., Young, D. L., Y., Z., Brooks, G. R., Leclerc, M. & Secretan, Y. (2003), The 1996 lake ha! ha! breakout flood, québec: Proposed test case for geomorphic flood models, in '3rd IMPACT Workshop', Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Capart, H., Spinewine, B., Young, D., Zech, Y., Brooks, G., Leclerc, M. & Secretan, Y. (2007), 'The 1996 lake ha! ha! breakout flood, québec: Test data for geomorphic flood routing methods', *Journal of Hydraulic Research* **45**(sup1), 97–109.
- Castro-Díaz, M., Fernández-Nieto, E. & Ferreiro, A. (2008), 'Sediment transport models in shallow water equations and numerical approach by high order finite volume methods', *Computers & Fluids* **37**(3), 299 – 316.
- Castro, M. J., LeFloch, P. G., Muñoz-Ruiz, M. L. & Parés, C. (2008), 'Why many theories of shock waves are necessary. convergence error in formally path-consistent schemes', *J. Comput. Phys* **227**, 8107–8129.
- Catella, M., Paris, E. & Solari, L. (2005), 1-D morphodynamic model for natural rivers, in 'River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: Proceedings of the 4th IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2005)', Urbana, Illinois, USA, pp. 283–300.

## Referencias

---

- Caviedes-Voullième, D., García-Navarro, P. & Murillo, J. (2012), 'Influence of mesh structure on 2D full shallow water equations and SCS Curve Number simulation of rainfall/runoff events', *Journal of Hydrology* **448-449**(0), 39 – 59.
- Caviedes-Voullième, D., Morales-Hernández, M., Juez, C., Lacasta, A. & García-Navarro, P. (2017), 'Two-dimensional numerical simulation of bed-load transport of a finite-depth sediment layer: Applications to channel flushing', *Journal of Hydraulic Engineering* **143**(9), 04017034.
- Charru, F. (2006), 'Selection of the ripple length on a granular bed sheared by a liquid flow', *Physics of Fluids* **18**(12), 121508.
- Chen, C.-H., Lin, Y.-T., Chung, H.-R., Hsieh, T.-Y., Yang, J.-C. & Lu, J.-Y. (2018), 'Modelling of hyperconcentrated flow in steep-sloped channels', *Journal of Hydraulic Research* **56**(3), 380–398.
- Cheng, N. (1997), 'Simplified settling velocity formula for sediment particle', *J. Hydraulic Eng., ASCE*. **123**(2), 149–152.
- Chien, N. & Ma, H. (1958), 'Properties of slurry flow', *J. Sediment Res.* **3**(3).
- Chow, V. T. (1959), *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York.
- Chow, V. T., Maidment, D. & Mays, L. (1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Civil Engineering Series, MCGRAW-HILL Higher Education.
- Cordier, S., Le, M. & Morales de Luna, T. (2011), 'Bedload transport in shallow water models: Why splitting (may) fail, how hyperbolicity (can) help', *Advances in Water Resources* **34**(8), 980 – 989.
- Corporation., J. S. (1976), Physical and chemical behavior of crude oils, Report, American Petroleum Institute.
- Crank, J. (1975), *The mathematics of diffusion*, Oxford Univ. Press.
- Cunge, J., Holly, F. & Verwey, A. (1980), *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*, Pitman: London.
- Cunge, J., Holly, F. & Verwey, A. (1980), *Practical aspects of computational river hydraulics*, Monographs and surveys in water resources engineering, Pitman Advanced Publishing Program.
- Dai, J. (1980), An experimental study of slurry transport in pipes, in 'Proc. Int. Symposium on River Sedimentation', China., pp. 195–204.
- Darcy, H. P. G. (1858), *Recherches expérimentales relatives aux mouvements de l'eau dans les tuyaux*, Mémoires Présentés à l'Académie des Sciences, Paris.
- Davies, A., van Rijn, L., Damgaard, J., van de Graaff, J. & Ribberink, J. (2002), 'Intercomparison of research and practical sand transport models', *Coastal Engineering* **46**(1), 1 – 23.
- De Vriend, H., Zyserman, J., Nicholson, J., Roelvink, J., Péchon, P. & Southgate, H. (1993), 'Medium-term 2DH coastal area modelling', *Coastal Engineering* **21**(1-3), 193–224.
- Delestre, O., Cordier, S., Darboux, F. & F. James, A. (2012), 'Limitation of the hydrostatic reconstruction technique for shallow water equations', *C. R. Acad. Sci, Paris, Ser. I* **350**, 677–681.
- Delis, A. I., Nikolos, I. K. & Kazolea, M. (2011a), 'Performance and comparison of cell-centered and node-centered unstructured finite volume discretizations for shallow water free surface flows', *Arch. of Comput Methods Eng* **18**, 57–118.
- Delis, A. I., Nikolos, I. K. & Kazolea, M. (2011b), 'A robust well-balanced finite volume model for shallow water flows with wetting and drying over irregular terrain', *Adv. Water Resour.* **34**, 915–932.
- Dewals, B., Rulot, F., Erpicum, S., Archambeau, P. & Pirotton, M. (2011), Advanced topics in sediment transport modelling: Non-alluvial beds and hyperconcentrated flows, in S. S. Ginsberg, ed., 'Sediment Transport', IntechOpen, Rijeka, Croatia, chapter 1.
- Díaz, M. J. C., López-García, J. A. & Parés, C. (2013), 'High order exactly well-balanced numerical methods for shallow water systems', *J. Comput. Phys* **246**, 242–264.
- Egiazaroff, I. (1965), 'Calculation of nonuniform sediment concentrations', *Proc. ASCE* **91**, 225–247.
- El Kadi Abderrezak, K. & Paquier, A. (2009), 'One-dimensional numerical modeling of sediment transport and bed deformation in open channels', *Water Resources Research* **45**(5).
- El Kadi Abderrezak, K., Paquier, A. & Gay, B. (2008), 'One-dimensional numerical modelling of dam-break waves over movable beds: application to experimental and field cases', *Environmental Fluid Mechanics* **8**(2), 169–198.



- Engelund, F. & Fredsoe, J. (1976), 'A sediment transport model for straight alluvial channels.', *Nordic Hydrology* **7**, 293–306.
- Engelund, F. & Hensen, E. (1967), A monograph on sediment transport to alluvial streams, Report, Copenhagen: Teknique Vorlag.
- Exner, F. (1925), *Über die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flüssen: Gedr. mit Unterstützung aus d. Jerome u. Margaret Stonborough-Fonds*, Akademie der Wissenschaften, Wien.
- F., L. M., Y., S., N., D. S., N., B. & M., L. (1998), 'Response of the Ha!Ha! River to the flood of July 1996 in the Saguenay region of Quebec: Large-scale avulsion in a glaciated valley', *Water Resources Research* **34**(9), 2383–2392.
- Fay, J. A. (1969), The spread of oil slick on a calm sea, in 'Oil on The Sea', USA., pp. 53–63.
- Fei, X. J. (1981), 'Bingham yield stress of sediment water mixtures with hyperconcentration', *J. Sediment Res.* **3**.
- Fent, I., Zech, Y. & Soares-Frazão, S. (2019), 'Dam-break flow experiments over mobile bed: velocity profile', *Journal of Hydraulic Research* **57**(1), 131–138.
- Fernandez-Luque, R. & van Beek, R. (1976), 'Erosion and transport of bed sediment', *Journal of Hydraulic Research, IAHR* **14**(2), 127–144.
- Fernández-Nieto, E. D., Luna, T. M. d., Narbona-Reina, G. & Zabsonré, J. d. D. (2017), 'Formal deduction of the saint-venant-exner model including arbitrarily sloping sediment beds and associated energy', *Mathematical Modelling and Numerical Analysis* **51**(1), 115–145.
- Fernández-Nieto, E., Lucas, C., Morales-de Luna, T. & Cordier, S. (2014), 'On the influence of the thickness of the sediment moving layer in the definition of the bedload transport formula in Exner systems', *Computers & Fluids* **91**, 87 – 106.
- Ferreira, R., LEAL, J. & Cardoso, H. (2005), Mathematical modeling of the morphodynamic aspects of the 1996 flood in the Ha!Ha! River, in 'XXXI IAHR CONGRESS', Seoul, Korea.
- Ferreira, R. M. L., Franca, M. J., Leal, J. G. A. B. & Cardoso, A. H. (2009), 'Mathematical modelling of shallow flows: Closure models drawn from grain-scale mechanics of sediment transport and flow hydrodynamics', **36**(10), 1605–1621.
- FHWA (1978), Hydraulics of bridge waterways, Report EPD-86-101, FHWA (Federal Highway Administration).
- Fjordholm, U. S., Mishra, S. & Tadmor, E. (2011), 'Well-balanced and energy stable schemes for the shallow water equations with discontinuous topography', *J. Comput. Phys* **230**, 5587–5609.
- Flores, H. (1996), Numerical and experimental study of oil spreading on the water surface (in spanish), Thesis, M.Sc. Thesis, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Fracarollo, L., Capart, H. & Zech, Y. (2003), 'A Godunov method for the computation of erosional shallow water transients', *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **41**(9), 951–976.
- Francalanci, S. & Solari, L. (2007), 'Gravitational effects on bed load transport at low shields stress: Experimental observations', *Water Resources Research* **43**(3), n/a–n/a.
- Froehlich, D. (2003), *User's Manual for FESWMS FST2DH Two-dimensional Depth-averaged Flow and Sediment Transport Model*, Report No. FHWA-RD-03-053, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Furbish, D., Haff, P., Roseberry, J. & Schmeeckle, M. (n.d.), 'A probabilistic description of the bed load sediment flux: 1. theory', *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* **117**, F03031.
- García-Navarro, P. & Vazquez-Cendon, M. (2000), 'On numerical treatment of the source terms in the shallow water equations', *Computers & Fluids* **29**(8), 951 – 979.
- García, R., Espinoza, R., Valera, E. & González, M. (2006), 'An explicit two-dimensional finite element model to simulate short- and long-term bed evolution in alluvial rivers', *Journal of Hydraulic Research* **44**(6), 755–766.
- García, R., González, N. & O'Brien, J. (2009), *Dam-break flood routing. Chapter 4 in: Dam-Break Problems, Solutions and Case Studies*, WIT Press, Southampton-Boston.
- García R., Mata, L. & Flores-Tovar, H. (1996), A correction to the mackay oil spreading formulation, in '19<sup>th</sup> Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar AMOP', Calgary.

## Referencias

---

- Garde, R. & Ranga Raju, K. (1985), *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*, John Wiley & Sons, New York.
- Garegnani, G., Rosatti, G. & Bonaventura, L. (2011), 'Free surface flows over mobile bed: mathematical analysis and numerical modeling of coupled and decoupled approaches', *Communications in Applied and Industrial Mathematics* **2**(1).
- Gauckler, P. G. (1867), *Études théoriques et pratiques sur l'écoulement et le mouvement des eaux*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris.
- George, D. L. (2008), 'Augmented riemann solvers for the shallow water equations over variable topography with steady states and inundation', *J. Comput. Phys* **227**, 3089–3113.
- Godlewski, E. & Raviart, P.-A. (1996), *Numerical Approximation of Hyperbolic Systems of Conservation Laws*, Springer-Verlag, New York.
- Godlewski, E. & Raviart, P. A. (n.d.), 'Numerical approximation of hyperbolic systems of conservation laws', **1996**.
- Godunov, S. (1959), 'A difference method for numerical calculation of discontinuous solutions of the equations of hydrodynamics', *Mat. Sb.* **47**, 271–306.
- Goutière, L., Soares-Frazão, S., Savary, C., Laraichi, T. & Zech, Y. (2008), 'One-Dimensional model for transient flows involving bed-load sediment transport and changes in flow regimes', *Journal of Hydraulic Engineering* **134**(6), 726–735.
- Grass, A. (1981), *Sediments Transport by Waves and Currents*, Department of Civil Engineering, University College, London, UK.
- Greco, M., Di Cristo, C., Iervolino, M. & Vacca, A. (2019), 'Numerical simulation of mud-flows impacting structures', *Journal of Mountain Science* **16**(2), 364–382.
- Greenberg, J. M. & LeRoux, A. Y. (1996), 'A well-balanced scheme for the numerical processing of source terms in hyperbolic equations', *SIAM J. Numer. Anal* **33**, 1–16.
- Gunawan, P. & Lhébrard, X. (2015), 'Hydrostatic relaxation scheme for the 1d shallow water - exner equations in bedload transport', *Computers & Fluids* **121**, 44 – 50.
- Gupta, R. S. (1995), *Hydrology and Hydraulic Systems*, Waveland Press.
- Harten, A. & Hyman, J. (1983), 'Self adjusting grid methods for one-dimensional hyperbolic conservation laws', *Journal of Computational Physics* **50**(2), 235 – 269.
- Harten, A., Lax, P. & van Leer, B. (1983), 'On upstream differencing and godunov type methods for hyperbolic conservation laws', *SIAM review* **25**, 35–61.
- Henderson, F. (1966), *Open Channel Flow*, MacMillan series in civil Engineering.
- Horton, R. (1933), 'The role of infiltration in the hydrologic cycle', *Trans. Am. Geophys. Union* **14**, 446 – 460.
- Hosseinzadeh-Tabrizi, A. & Ghaeini-Hessaroeiyeh, M. (2018), 'Modelling of dam failure-induced flows over movable beds considering turbulence effects', *Computers & Fluids* **161**, 199 – 210.
- Hou, T. Y. & LeFloch, P. G. (1994), 'Why nonconservative schemes converge to wrong solutions: error analysis', *Math. Comput.* **62**, 497–530.
- Hoult, D. P. (1972), 'Oil spreading on the sea', *Annual Review of Fluid Mechanics* **4**.
- Hu, P., Cao, Z., Pender, G. & Liu, H.-H. (2014), 'Numerical modelling of riverbed grain size stratigraphic evolution', *International Journal of Sediment Research* **29**(3), 329 – 343.
- Hubbard, M. E. & García-Navarro, P. (2000), 'Flux difference splitting and the balancing of source terms and flux gradients', *J. Comp. Phys* **165**, 89–125.
- Hudson, J. & Sweby, P. K. (2003), 'Formulations for numerically approximating hyperbolic systems governing sediment transport', *Journal of Scientific Computing* **19**(1), 225–252.
- Hunter, J.R. Craig, P. & Phillips, H. (1993), 'On the use of random walk models with spatially variable diffusivity', *J. Comput. Physics* **106**.

- Ikeda, K. (n.d.), 'The mud flow that occurred near the explosion crater of mt. bandai on may 9 and 15, 1938, and some physical properties of volcanic mud', *Tokyo Imperial University Earthquake Research Institute Bulletin* **16**, 1938.
- Ikeda, S. (1982), 'Incipient motion of sand particles on side slopes', *Journal of the Hydraulics Division* **108**(1), 95–114.
- Iverson, R. M. (1997), 'The physics of debris flows', *Reviews of Geophysics* **35**(3), 245–296.
- Iverson, R. M., Logan, M., LaHusen, R. G. & Berti, M. (2010), 'The perfect debris flow? aggregated results from 28 large-scale experiments', *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* **115**, F03005.
- Iverson, R. M. & Ouyang, C. (2015), 'Entrainment of bed material by earth-surface mass flows: Review and reformulation of depth-integrated theory', *Reviews of Geophysics* **53**(1), 27–58.
- Iverson, R. M., Reid, M. E., Logan, M., LaHusen, R. G., Godt, J. W. & Griswold, J. P. (2011), 'Positive feedback and momentum growth during debris-flow entrainment of wet bed sediment', *Nature Geoscience* **4**, 116–121.
- Jimenez, J. & O.S., M. (2003), 'A simple formula to estimate settling velocity of natural sediments', *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng* **129**(2), 70–78.
- Juez, C., Caviades-Voullieme, D., Murillo, J. & García-Navarro, P. (2014), '2D dry granular free-surface transient flow over complex topography with obstacles. part ii: Numerical predictions of fluid structures and benchmarking', *Comput. Geosci.* **73**, 142–163.
- Juez, C., Ferrer-Boix, C., Murillo, J., Hassan, M. & García-Navarro, P. (2016), 'A model based on Hirano-Exner equations for two-dimensional transient flows over heterogeneous erodible beds', *Advances in Water Resources* **87**, 1 – 18.
- Juez, C., Murillo, J. & García-Navarro, P. (2013a), '2d simulation of granular flow over irregular steep slopes using global and local coordinates', *J. Comput. Phys* **255**, 166–204.
- Juez, C., Murillo, J. & Garcia-Navarro, P. (2013b), 'Numerical assessment of bed-load discharge formulations for transient flow in 1D and 2D situations', *Journal of Hydroinformatics* **15**(4), 1234–1257.
- Juez, C., Murillo, J. & García-Navarro, P. (2014), 'A 2d weakly-coupled and efficient numerical model for transient shallow flow and movable bed', *Advances in Water Resources* **71**, 93 – 109.
- Juez, C., Murillo, J. & P., G.-N. (2014), 'Numerical assessment of bed-load discharge formulations for transient flow in 1d and 2d situations', *Journal of Hydroinformatics* **15**(4), 1234–1257.
- Julien, P. (1998), *Erosion and Sedimentation*, Cambridge University Press.
- Jury, W. & Horton, R. (2004), *Soil Physics*, John Wiley and Sons.
- Kang, Z. & Zhang, S. (1980), A preliminary analysis of the characteristics of debris flow., in 'Proc. Int. Symposium on River Sedimentation', China., pp. 213–220.
- Karim, F. (1988), 'Bed material discharge prediction for non-uniform bed sediments', *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* **124**(6), 597–604.
- Khodashenas, S., El Kadi Abderrezzak, K. & Paquier, A. (2008), 'Boundary shear stress in open channel flow: A comparison among six methods', *Journal of Hydraulic Research* **46**(5), 598–609.
- Lacasta, A., Morales-Hernández, M., Murillo, J. & García-Navarro, P. (2014), 'An optimized GPU implementation of a 2D free surface simulation model on unstructured meshes', *Advances in Engineering Software* **78**(0), 1 – 15.
- Lajeunesse, E., Malverti, L. & Charru, F. (2010), 'Bed load transport in turbulent flow at the grain scale: Experiments and modeling', *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* **115**, F04001.
- Lee, H. & Hsu, I. (1994), 'Investigation of saltating particle motions', *Journal of Hydraulic Engineering* **120**(7), 831–845.
- LeFloch, P. G. & Mishra, S. (2014), 'Numerical methods with controlled dissipation for small-scale dependent shocks', *Acta Numer.* **23**, 1–72.
- LeFloch, P. G. & Thanh, M. D. (2011), 'A godunov-type method for the shallow water equations with discontinuous topography in the resonant regime', *J. Comput. Phys* **230**, 7631–7660.
- Leighton, F. Z., Borthwick, A. G. L. & Taylor, P. H. (2010), '1-d numerical modelling of shallow flows with variable horizontal density', *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **62**(11), 1209–1231.

## Referencias

---

- LeVeque, R. (2002a), *Finite-Volume Methods for Hyperbolic problems*, Cambridge University Press, New York.
- LeVeque, R. J. (1998), 'Balancing source terms and flux gradients in high-resolution godunov methods: The quasi-steady wave-propagation algorithm', *J. Comput. Phys.* **146**, 346–365.
- LeVeque, R. J. (2002b), *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*, Cambridge University Press.
- Li, J., Cao, Z., Hu, K., Pender, G. & Liu, Q. (2018), 'A depth-averaged two-phase model for debris flows over erodible beds', *Earth Surface Processes and Landforms* **43**(4), 817–839.
- Li, J. & Chen, G. (2006), 'The generalized riemann problem method for the shallow water equations with bottom topography', *Int J. Numer. Meth. Eng* **65**, 834–862.
- Liang, Q. & Borthwick, A. G. L. (2009), 'Adaptive quadtree simulation of shallow flows with wet-dry fronts over complex topography', *Comput. and Fluids* **38**, 221–234.
- Liu, X. & Beljadid, A. (2017), 'A coupled numerical model for water flow, sediment transport and bed erosion', *Computers & Fluids* **154**, 273 – 284.
- Liu, X., Mohammadian, A., Kurganov, A. & Infante-Sedano, J. (2015), 'Well-balanced central-upwind scheme for a fully coupled shallow water system modeling flows over erodible bed', *Journal of Computational Physics* **300**, 202 – 218.
- Luque, R. F. & Beek, R. V. (1976), 'Erosion and transport of bed-load sediment', *Journal of Hydraulic Research* **14**(2), 127–144.
- Lyn, D. & Altinakar, M. (2002), 'St. Venant-Exner equations for near-critical and transcritical flows', *Journal of Hydraulic Engineering* **128**(6), 579–587.
- MacDonald, I., Baines, M. J., Nichols, N. K. & Samuels, P. G. (1997), 'Analytical benchmark solutions for open-channel flows', *ASCE J. Hydraulic Eng* **123**(11), 1041–1045.
- Mackay, D. Buist, I. M. R. & S., P. (1980), Oils spills processes and models, Report, Environment Canada.
- Mackay, D. Stiver, W. & Tebeau, P. (1983), Testing of crude oils and petroleum products for environmental purposes, in 'Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference', San Antonio, Texas, USA.
- Mahdi, T.-F. (2009), 'Semi-two-dimensional numerical model for river morphological change prediction: theory and concepts', *Natural Hazards* **49**(3), 565–603.
- Mahdi, T. & Marche, C. (2003), 'Prévision par modélisation numérique de la zone de risque bordant un tronçon de rivière subissant une crue exceptionnelle', *Canadian Journal of Civil Engineering* **30**(3), 568–579.
- Manning, R. (1890), 'On the flow of water in open channels and pipes', *Trans. Inst. Civil Engineers* **20**, 161–207.
- Martínez-Aranda, S., Murillo, J. & García-Navarro, P. (2019a), 'A 1D numerical model for the simulation of unsteady and highly erosive flows in rivers', *Computers & Fluids* **181**, 8–34.
- Martínez-Aranda, S., Murillo, J. & García-Navarro, P. (2019b), 'A comparative analysis of capacity and non-capacity formulations for the simulation of unsteady flows over finite-depth erodible beds', *Advances in Water Resources* (**in print**).
- Maso, G. D., LeFloch, P. G. & Murat, F. (1995), 'Definition and weak stability of nonconservative products', *J. Math. Pures Appl.* **74**, 483–548.
- Mein, R. G. & Larson, C. L. (1973), 'Modeling infiltration during a steady rain', *Water Resources Research* **9**(2), 384–394.
- Meyer-Peter, E. & Muller, R. (1948), 'Formulas for bed-load transport', *Proc. of the Second Meeting. IAHR, Stockholm, Sweden* pp. 39–64.
- Mishra, S. & Singh, V. (2003), *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*, Kluwer Academic Publishers.
- Mooney, M. (1972), 'The viscosity of a concentrated suspension of spherical particles', *J. Colloid Sci.* **10**.
- Morales-Hernandez, M., Garcia-Navarro, P. & Murillo, J. (2012), 'A large time step 1d upwind explicit scheme (cfl >1): Application to shallow water equations', *J. Comput. Physics* **231**, 6532–6557.
- Morris, P. & Williams, D. (1996), 'Relative celerities of mobile bed flows with finite solids concentrations', *Journal of Hydraulic Engineering* **122**(6), 311–315.

- Morvan, H., Knight, D., Wright, N., Tang, X. & Crossley, A. (2008), 'The concept of roughness in fluvial hydraulics and its formulation in 1-d, 2-d and 3-d numerical simulation models', *Journal of Hydraulic Research* **46**(2), 191–208.
- Murillo, J., Burguete, J., Brufau, P. & García-Navarro, P. (2005), 'Coupling between shallow water and solute flow equations: analysis and management of source terms in 2D', *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **49**(3), 267–299.
- Murillo, J., Burguete, J., Brufau, P. & García-Navarro, P. (2007), 'The influence of source terms on stability, accuracy and conservation in two-dimensional shallow flow simulation using triangular finite volumes', *International Journal of Numerical Methods in Fluids* **54**, 543–590.
- Murillo, J. & García-Navarro, P. (2010a), 'An exner-based coupled model for two-dimensional transient flow over erodible bed', *J. Comput. Phys* **229**, 8704–8732.
- Murillo, J. & García-Navarro, P. (2010b), 'Weak solutions for partial differential equations with source terms: Application to the shallow water equations', *Journal of Computational Physics* **229**(11), 4327–4368.
- Murillo, J. & García-Navarro, P. (2011), 'Wave riemann description of friction terms in unsteady shallow flows: application to water and mud/debris floods', *J. Comput. Phys* **231**, 1963–2001.
- Murillo, J. & García-Navarro, P. (2012a), 'Augmented versions of the hll and hllc riemann solvers including source terms in one and two dimensions for shallow flow applications', *J. Comput. Phys* **231**, 6861–6906.
- Murillo, J. & García-Navarro, P. (2012b), 'Energy balance numerical schemes for shallow water equations with discontinuous topography', *J. Comput. Phys* **236**, 119–142.
- Murillo, J. & García-Navarro, P. (2014), 'Accurate numerical modeling of 1D flow in channels with arbitrary shape. application of the energy balanced property', *J. Comput. Phys* **260**, 222–248.
- Murillo, J., García-Navarro, P. & Burguete, J. (2008a), 'Analysis of a second-order upwind method for the simulation of solute transport in 2d shallow water flow', *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **56**(6), 661–686.
- Murillo, J., García-Navarro, P. & Burguete, J. (2008b), 'Time step restrictions for well balanced shallow water solutions in non-zero velocity steady states', *Int. J. Numer. Meth. Fluids* **56**, 661–686.
- Murillo, J., García-Navarro, P. & Burguete, J. (2009), 'Conservative numerical simulation of multicomponent transport in two-dimensional unsteady shallow water flow', *J. Comput. Phys* **228**, 5539–5573.
- Murillo, J., García-Navarro, P., Burguete, J. & Brufau, P. (2006), 'A conservative 2d model of inundation flow with solute transport over dry bed', *Int. J. Numer. Meth. Fluids* **52**, 1059–1592.
- Murillo, J., García-Navarro, P. & Roe, A. (2015), 'Type energy balanced solver for 1d arterial blood flow and transport', *Comput. and Fluids* **117**, 149–167.
- Murillo, J., Latorre, B., García-Navarro, P. & Riemann, A. (2012), 'A riemann solver for unsteady computation of 2d shallow flows with variable density', *J. Comput. Phys* **231**, 4775–4807.
- Murillo, J. & Navas-Montilla, A. (2016), 'A comprehensive explanation and exercise of the source terms in hyperbolic systems using Roe type solutions. application to the 1D-2D shallow water equations', *Advances in Water Resources* **98**, 70 – 96.
- Naef, D., Rickenmann, D., Rutschmann, P., & McArdell, B. (2006), 'Comparison of flow resistance relations for debris flows using a one-dimensional finite element simulation model', *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **6**, 155–156.
- Navas-Montilla, A. & Murillo, J. (2015), 'Energy balanced numerical schemes with very high order. the augmented roe flux ader scheme. application to the shallow water equations', *J. Comput. Phys* **290**, 188–218.
- Navas-Montilla, A. & Murillo, J. (2016), 'Asymptotically and exactly energy balanced augmented flux-ader schemes with application to hyperbolic conservation laws with geometric source terms', *J. Comput Phys* **317**, 108–147.
- Nielsen, P. (1992), *Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport*, Advanced Series on Ocean Engineering. World Scientific Publishing.
- Noelle, S., Xing, Y. & Shu, C. (2007), 'High-order well-balanced finite volume weno schemes for shallow water equation with moving water', *J. Comput. Phys* **226**, 29–58.

## Referencias

---

- Norman, J. M., Houghtalen, R. J. & Johnston, W. J. (1985), Hydraulic design of highway culverts, Hydraulic Design Series No. 5 FHWA-IP-85-15, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- O'Brien, J. & Julien, P. (1988), 'Laboratory analysis of mudflow properties', *J. Hydraul. Eng.* **114**(8), 877–887.
- Ortiz, P., Anguita, J. & Riveiro, M. (2015), 'Free surface flows over partially erodible beds by a continuous finite element method', *Environmental Earth Sciences* **74**(11), 7357–7370.
- Ouyang, C., He, S. & Tang, C. (2015), 'Numerical analysis of dynamics of debris flow over erodible beds in Wenchuan earthquake-induced area', *Engineering Geology* **194**, 62 – 72.
- Paquier, A. & El Kadi, K. (2008), A model for bed-load transport and morphological evolution in rivers: Description and pertinence, in S. Benzoni-Gavage & D. Serre, eds, 'Hyperbolic Problems: Theory, Numerics, Applications', Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 285–296.
- Paquier, A. & Goutal, N. (2016), 'Dam and levee failures: an overview of flood wave propagation modeling', *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau* (1), 5–12.
- Parés, C. (2006), 'Numerical methods for nonconservative hyperbolic systems: a theoretical framework', *SIAM J. Num. Anal* **44**, 300–321.
- Parker, G. (1979), 'Hydraulic geometry of active gravel rivers', *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* **105**(9), 1185–1201.
- Parker, G., Klingeman, P. & McLean, D. (1982), 'Bed load and size distribution in paved gravel bed streams', *Journal of Hydraulic Engineering* **108**(4), 544–571.
- Petaccia, G., Natale, L., Savi, F., Velickovic, M., Zech, Y. & Soares-Frazão, S. (2013), 'Flood wave propagation in steep mountain rivers', *Journal of Hydroinformatics* **15**(1), 120–137.
- Pierson, T. (2005), *Hyperconcentrated flow - transitional process between water flow and debris flow. Debris-flow Hazards and Related Phenomena*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.
- Pitlick, J. & Cress, R. (2002), 'Downstream changes in channel geometry of a large gravel bed river', *Water Resources Research* **38**(10), 34–1.
- Pouliquen, O. & Forterre, Y. (2002), 'Friction law for dense granular flows: application to the motion of a mass down a rough inclined plane', *J. of Fluid Mech.* **453**, 133–151.
- Qian, N. (1980), Basic characteristics of flow with hyperconcentration of sediment, in 'Proc. Int. Symposium on River Sedimentation', China., pp. 175–184.
- Qian, N. & Wan, Z. (1986.), A critical review of the research on the hyperconcentrated flow in china., Report, International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, China.
- Ratia, H., Murillo, J. & García-Navarro, P. (2014), 'Numerical modelling of bridges in 2D shallow water flow simulations', *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **75**(4), 250–272.
- Raudkivi, A. (1990), *Loose boundary hydraulics*, Pergamon Press, Inc., Tarrytown, N.Y.
- Rawls, W. & Brakensiek, D. (1983), A procedure to predict green and ampt infiltration parameters, in 'Proceeding of ASAE Conferences on Advances in Infiltration', Chicago, Illinois, pp. 102–112.
- Rawls, W., Yates, P. & Asmussen, L. (1976), Calibration of selected infiltration equation for the georgia coastal plain, Report ARS-S-113, Agriculture Research Service.
- Richardson, J. & Zaki, W. (1997), 'Sedimentation and fluidisation: Part i', *Chemical Engineering Research and Design* **75**, 82–100.
- Roe, P. (1981), 'Approximate riemann solvers, parameter vectors, and difference schemes', *Journal of Computational Physics* **43**(2), 357 – 372.
- Rogers, B. & Borthwick, A.G.L. Taylor, P. (2003), 'Mathematical balancing of flux gradient and source terms prior to using roe's approximate riemann solver', *J. Comput. Phys.* **192**(2), 422–451.
- Rosatti, G. & Begnudelli, L. (2010), 'The Riemann problem for the one-dimensional, free-surface shallow water equations with a bed step: theoretical analysis and numerical simulations', *J. Comput. Phys* **229**, 760–787.

- Rosatti, G. & Fraccarollo, L. (2006), 'A well-balanced approach for flows over mobile-bed with high sediment-transport', *Journal of Computational Physics* **220**(1), 312 – 338.
- Rosatti, G., Murillo, J. & Fraccarollo, L. (2008), 'Generalized roe schemes for 1D two-phase, free-surface flows over a mobile bed', *J. Comput. Phys.* **227**(24), 10058–10077.
- Ross., S. L. (1979), An experimental study of the dispersion of oil slicks into the water column, M.a.sc. thesis, University of Toronto. Canada.
- Rubey, M. (1933), 'Settling velocities of gravel, sand and silt particles', *Amer. J. Soc.* **225**, 325–338.
- Rulot, F., Dewals, B., Erpicum, S., Archambeau, P. & Piroton, M. (2012), 'Modelling sediment transport over partially non-erodible bottoms', *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **70**(2), 186–199.
- Sahmim, S., Benkhaldoun, F. & Alcrudo, F. (2007), 'A sign matrix based scheme for non-homogeneous pde's with an analysis of the convergence stagnation phenomenon', *J. Comput. Phys* **26**, 1753–1783.
- Saint-Venant, A.-J.-C. (1871), 'Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l'introduction des marées dans leur lit', *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, France* **73**, 11.
- Sanders, B. (2008), 'Integration of a shallow water model with a local time step', *Journal of Hydraulic Research* **46**(4), 466–475.
- Savary, E. & Zech, Y. (2007), 'Boundary conditions in a two-layer geomorphological model. application to a', *Journal of Hydraulic Research* **45**(3), 316–332.
- Sha, Y. (1965), *Introduction to Sediment Dynamics*, Industry Press, 302-310.
- Smart, G. (1984a), 'Sediment transport formula for steep channels', *Journal of Hydraulic Engineering* **3**, 267–276.
- Smart, G. (1984b), 'Sediment transport formula for steep channels', *J. Hydr. Eng., ASCE.* **111**(3), 267–276.
- Soares-Frazão, S., LeGrelle, N., Spinewine, B. & Zech, Y. (2007), 'Dam-break induced morphological changes in a channel with uniform sediments: measurements by a laser-sheet imaging technique', *Journal of Hydraulic Research* **45**(sup1), 87–95.
- Soliman, M. R. & Ushijima, S. (2013), 'Equilibrium and non-equilibrium sediment transport modeling based on parallel macs algorithm', *Journal of Japan Society of Civil Engineers* **69**(2), 79–86.
- Spinewine, B. & Zech, Y. (2007), 'Small-scale laboratory dam-break waves on movable beds', *Journal of Hydraulic Research* **45**(sup1), 73–86.
- Strickler, A. (1923), *Beitrag zur Frage der Gerschwindigkeit Formel und der Rauigkeitszahlen fuer Strome kanale und Geschlossene Leitungen*, Mitteilungen des Eidgenossischer Amtes fuer Wasserwirtschaft, Bern.
- Struiksmas, N. (1999), Mathematical modelling of bedload transport over non-erodible layers, in 'IAHR symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics', Genova, Italy, pp. 89–98.
- Thacker, W. C. (1981), 'Some exact solutions to the non linear shallow water equations', *J. Fluid Mech.* **107**, 499–508.
- Tingsanchali, T. & Chinnarasri, C. (2001), 'Numerical modelling of dam failure due to flow overtopping', *Hydrological Sciences Journal* **46**(1), 113–130.
- Toro, E. (1997), *Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics: A Practical Introduction*, Springer, Berlin, Germany.
- Toro, E. (2001), *Shock-Capturing Methods for Free-Surface Shallow Flows*, Wiley, New York, p. 109.
- Toro, E. F., Spruce, M. & Spears, W. (1994), 'Restoration of the contact surface in the hll riemann solver', *Shock Waves* **4**, 25–34.
- USBR (1988), Downstream hazard classification guidelines, ACER Technical Memorandum 5, United States Bureau of Reclamation (USBR).
- USDA (1986), Urban hydrology for small watersheds, Environment agency report, United States Department of Agriculture (USDA).

## Referencias

---

- USDA (2004), National engineering handbook part 630 hydrology, Technical report, United States Department of Agriculture (USDA).
- Van Rijn, L. (1984a), 'Sediment pick-up functions', *J. Hydr. Eng., ASCE*. **110**(10), 1494–1502.
- Van Rijn, L. (1984b), 'Sediment transport, part I: bed load transport', *J. Hydr. Eng., ASCE*. **110**(10), 1431–1456.
- Van Rijn, L. (1984c), 'Sediment transport, part II: suspended load transport', *J. Hydr. Eng., ASCE*. **110**(11), 1613–1641.
- Van-Rijn, L. (1993), *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*, Aqua Publications, Amsterdam, chapter 10, Bed material transport, erosion and deposition in non-steady and non-uniform flow.
- Van Rijn, L., Walstra, D., Van Helvert, M. & De Boer, G. (2003), Morphology of pits, channels and trenches part 1: Literature review and study approach, Technical report, Hydraulic Engineering Reports, Delf Hydraulics, Netherlands.
- Vater, S., Beisiegel, N. & Behrens, J. (2015), 'A limiter-based well-balanced discontinuous galerkin method for shallow-water flows with wetting and drying: One-dimensional case', *Adv. Water Resour.* **85**, 1–13.
- Vázquez-Cendón, M. (1999), 'Improved treatment of source terms in upwind schemes for the shallow water equations in channels with irregular geometry', *Journal of Computational Physics* **148**(2), 497–526.
- Vreugdenhil, C. (1994), *Numerical methods for shallow water flow*, Water Science and Technology Library. Kluwer Academic Publishers.
- Wan, Z. & Wang, Z. (1994), *Hyperconcentrated Flow*, Balkema, Rotterdam.
- Wilcock, P. & Crowe, J. (2003), 'Surface-based transport model for mixed-sized sediment', *Journal of Hydraulic Engineering* **129**(2), 120–128.
- Wong, M. (2003), 'Does the bedload transport relation of Meyer-Peter and Muller fits its own data?', *Proc. 30th IAHR-Congress, Thessaloniki, Greece, 8 pp.* .
- Wong, M. & Parker, G. (2006), 'Re-analysis and correction of bed load relation of meyer-peter and muller using their own database', *Journal of Hydraulic Engineering* **132**(11), 1159–1168.
- Wu, W. (2008), *Computational River Dynamics*, Taylor and Francis.
- Wu, W., Vieira, D. & Wang, S. (2004), 'One-dimensional numerical model for nonuniform sediment transport under unsteady flows in channel networks', *Journal of Hydraulic Engineering* **130**(9), 914–923.
- Wu, W. & Wang, S. (2006), 'Formulas for sediment porosity and settling velocity', *J. Hydraulic Eng., ASCE*. **132**(8), 858–862.
- Wu, W. & Wang, S. (2007), 'One-dimensional modeling of dam-break flow over movable beds', *Journal of Hydraulic Engineering* **133**(1), 48–58.
- Xia, C.-c., Li, J., Cao, Z.-x., Liu, Q.-q. & Hu, K.-h. (2018), 'A quasi single-phase model for debris flows and its comparison with a two-phase model', *Journal of Mountain Science* **15**(5), 1071–1089.
- Xing, Y. (2014), 'Exactly well-balanced discontinuous galerkin methods for the shallow water equations with moving water equilibrium', *J. Comput. Phys* **257**, 536–553.
- Xing, Y. & Shu, C. W. (2014), 'A survey of high order schemes for the shallow water equations', *J. Math. Study* **47**, 221–249.
- Xing, Y. & Zhang, X. (2013), 'Positivity-preserving well-balanced discontinuous galerkin methods for the shallow water equations on unstructured triangular meshes', *J. Sci. Comput.* **57**, 19–41.
- Yang, C. (1996), *Sediment Transport Theory and Practice*, McGraw Hill, New York.
- Yang, S. & Lim, S. (2002), 'A geometrical method for computing the distribution of boundary shear stress across irregular straight open channels', *Journal of Hydraulic Research* **40**(4), 535–539.
- Yarnell, D. (1934a), 'Bridge piers as channel obstructions', *U.S. Department of Agriculture, Tech. Bull.* **442**.
- Yarnell, D. (1934b), 'Pile trestles as channel obstructions', *U.S. Department of Agriculture, Tech. Bull.* **429**.
- Zanke, U. (n.d.), Berechnung der sinkgeschwindigkeiten von sedimenten, Technical report, Technischen Universität Hannover.



- Zech, Y., Soares-Frazão, S., Spinewine, B. & Grelle, N. L. (2008), 'Dam-break induced sediment movement: Experimental approaches and numerical modelling', *Journal of Hydraulic Research* **46**(2), 176–190.
- Zhang, R. (1961), *River Dynamics (in Chinese)*, Industry Press.
- Zhang, R. & Xie, J. (1993), *Sedimentation Research in China: Systematic Selections*, China Water and Power Press.
- Zhang, R., Xie, J. & Chen, W. (2007), *River Dynamics*, Wuhan University Press, Wuhan, China.
- Zhang, S. & Duan, J. (2011), '1D finite volume model of unsteady flow over mobile bed', *Journal of Hydrology* **405**(1), 57 – 68.
- Zhou, J. G., Causon, D. M., Mingham, C. G. & Ingram, D. M. (2001), 'The surface gradient method for the treatment of source terms in the shallow-water equations', *J. Comput. Phys* **168**, 1–25.

